

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus



Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement ETH Zürich
Professur für Bauprozess- und Bauunternehmensmanagement
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus



Herausgeber und Autor

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement

ETH Zürich

Professur für Bauprozess- und
Bauunternehmensmanagement

Titelbild: Trump World Tower III, New York, USA

Quelle: PERI GmbH, Weissenhorn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Girmscheid, Gerhard:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Gerhard Girmscheid.

IBI – Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement. –

Zürich: Eigenverlag des IBI an der ETH, 2015

ISBN 978-3-906800-24-0

© 7. Auflage 2015

Eigenverlag des IBI an der ETH Zürich

ISBN 978-3-906800-24-0

Vorwort

Die Baubetriebswissenschaft und Bauverfahrenstechnik an der ETH Zürich beschäftigt sich mit der Gestaltung der Leistungserstellungs- und Supportprozesse in Bauunternehmen.

Die Bauverfahrenstechnik ist die Produktionswissenschaft im Rahmen des Leistungserstellungsprozesses in der Bauwirtschaft und somit eine unabdingbare Kernkompetenz des Bauingenieurs. Ein Bauingenieur muss das, was er plant und berechnet, auch realisieren. Dazu ist es erforderlich, die Herstellprozesse und die Ressourcen (Equipen, Inventar, Material etc.) zu planen sowie die effizientesten und wirtschaftlichsten Baumethoden projektspezifisch auszuwählen.

Da jedes Bauwerk bedingt durch

- individuelle Gestaltung in Form, Funktion und Grösse,
- individuelle Baustoffe und Konstruktion,
- weitgehend individuelle Vertragsgestaltung und ergänzende technische Anforderungen,
- individuelle topografische, geologische und hydrologische Bedingungen,
- künstlich gestaltete und natürliche Umwelt am Baufeld,
- geografische Lage und verkehrs- und versorgungstechnische Anbindung und
- Herstellung am Ort der Nutzung

ein Unikat ist, muss für jedes Projekt die Produktionsplanung neu entwickelt werden. Dazu sind die wissenschaftlichen, prozessorientierten Grundlagen der Bauverfahrenstechnik unentbehrlich.

Die Kenntnisse der Bauverfahrenstechnik bilden die Grundlage für einen prozess- und systemorientierten Ansatz zur Planung des interaktiven Produktionsprozesses. Aufgrund der heute üblichen kurzen Bauzeiten ("time to market") sind die Herstellprozesse auf den Baustellen weitgehend parallelisiert und müssen gewerkeübergreifend aufeinander abgestimmt werden. Daher sind die einzelnen Teilprozesse in den Gesamtherstellprozess zu integrieren, um eine wirtschaftliche Lösung bei der geforderten Qualität zu erzielen.

Bei aller erforderlichen Detailkenntnis muss der Ingenieur immer die Ganzheitlichkeit seiner Aufgabe im Fokus haben. Was nützt ihm der schönste Entwurf, die ausgefallenste und komplexeste Analyse, wenn er nicht weiss, wie er seine Lösung produktionstechnisch und wirtschaftlich realisieren kann? Daher bildet die Bauverfahrenstechnik des Tief- und Hochbaus einen wichtigen Wissensbaustein in der Ausbildung, damit der Bauingenieur der Herausforderung eines sehr interessanten Berufsbilds mit lösungsorientierten und ganzheitlichen Ansätzen gerecht wird.

Ziel der Vorlesung ist es, dass die Studenten

- die Bauverfahren und Teilprozesse kennen,
- die technischen und wirtschaftlichen Einsatzbereiche der Bauverfahren kennen,
- die methodischen, systemorientierten Selektionsverfahren beherrschen, um nach gegebenen projektspezifischen Anforderungen die Bauverfahren zu bestimmen,
- die Leistungen von Produktionsketten bestimmen können, um Ressourcen, Aktivitätsdauer, Bauzeit und Kosten zu ermitteln,
- den projektspezifischen Produktionsprozess einer Baustelle hinsichtlich der Produktionsinfrastruktur und der Kern- und Nebenprozesse der Leistungserstellung planen können.

Zürich, 2011

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung - Bauproduktionsprozesse	3
2.	Planung des Bauproduktionsprozesses eines Bauwerkes	27
3.	Bauproduktionsprozess – Auswahlmethodik für Bauverfahren und Bauprozesse	49
4.	Bauproduktionsprozess – Vorbereitung und Logistik einer Baustelle	139
5.	Bauproduktionsprozess – Lean Construction - Arbeitsplanung auf der Baustelle	261
6.	Bauverfahren des Tiefbaus – Baugrubenumschliessung	313
7.	Bauverfahren des Tiefbaus – Erdbau und Aushub	395
8.	Bauverfahren des Tiefbaus – Richtpreise für Baugrubenumschliessungen und Erdarbeiten	457
9.	Bauverfahren des Tiefbaus – Leistungsermittlung und Geräteauswahl im Erdbau	465
10.	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Schalungssysteme und Schalungstechnik	467
11.	Bauverfahren des Stahlbetonbaus - Armierungstechnik	589
12.	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Betonherstellungs- und -verarbeitungstechnik	611
13.	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Leistungsermittlung und Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten	665
14.	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Ausführungsbedingte Fehler bei der Betonherstellung	705
15.	Bauproduktionsprozess – Industrielles Bauen	719
16.	Bauproduktionsprozess – Bereitstellungs-, Arbeitsablaufplanung und Controlling	821
17.	Bauproduktionsprozess – Sicherheitsmanagement	839

Detailliertes Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung – Bauproduktionsprozesse.....	3
2	Planung des Bauproduktionsprozesses eines Bauwerks	29
2.1	Bauunternehmensorganisation	29
2.2	Bauproduktionstheorie	35
2.3	Planung des Bauproduktionsprozesses	38
	Literaturverzeichnis	43
3	Bauproduktionsprozess – Auswahlmethodik für Bauverfahren und Bauprozesse	51
3.1	Einleitung.....	51
3.2	Bauverfahrenvergleichsmethode.....	51
3.3	Zielsetzung bei Verfahrensvergleichen	55
3.4	Methodik des Bauverfahrensvergleichs	59
3.4.1	Verfahrenseignung	62
3.4.2	Qualitativer Verfahrensvergleich.....	63
3.4.3	Quantitativer Verfahrensvergleich – methodisches Vorgehen.....	65
3.4.4	Wirtschaftlicher Bauverfahrensvergleich – Kostenanalyse	66
3.5	Nutzwertanalyse	79
3.5.1	Konzept	79
3.5.2	Verfahrensvergleich mit Hilfe der beiden vorgestellten Nutzwertanalysen am Praxisbeispiel „Pumpstation Alexandria“	81
3.5.3	Einfache Nutzwertanalyse (E-NWA) – Beispiel Pumpstation Alexandria	84
3.5.4	Differenzierte risikoorientierte Nutzwertanalyse (D-NWA) – Beispiel Pumpstation Alexandria	86
3.5.5	Umgang mit möglichen Streubreiten:	95
3.5.6	Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA):	95
3.6	Analytic Hierarchy Process (AHP) - Grundlagen.....	96
3.6.1	Definition des Entscheidungsproblems.....	97
3.6.2	Mathematische Formulierung der AHP-Methode.....	98
3.7	AHP-Beispiel – Pumpstation Alexandria	112
3.7.1	Definition des Entscheidungsproblems.....	112

3.7.2	Ermittlung der absoluten Gewichtungsfaktoren der Haupt- und Unterkriterien	113
3.7.3	Bewertung der alternativen Bauverfahren mittels Vergleichsfaktoren	119
3.7.4	Entscheidungsfindung	130
Literatur		133
4	Bauproduktionsprozess – Vorbereitung und Logistik einer Baustelle	141
4.1	Arbeitsvorbereitung	141
4.2	Bauproduktionsprozessplanung	148
4.2.1	Einleitung.....	148
4.2.2	Bauproduktionsprozess – Prinzipien und Ablauf	151
4.2.3	Bauproduktionsprozessplanung – Schritte	152
4.2.4	Bauprozesssteuerung.....	154
4.2.5	Vorgehensweise bei der Bauproduktionsprozessplanung	155
4.2.6	Fazit.....	163
4.3	Einrichtung einer Baustelle.....	164
4.3.1	Allgemeines	164
4.3.2	Planungsumfang für die Baustelleneinrichtung	165
4.3.3	Planung der Versorgungseinrichtungen	172
4.3.4	Planung der Baustellenbauten	182
4.3.5	Planung der Lager- und Bearbeitungsanlagen	189
4.3.6	Planung der Sicherung von Baustellen im Verkehrsraum	192
4.3.7	Planung der Transportgeräte auf der Baustelle	193
4.3.8	Flächenbedarf für die Baustelleneinrichtung	211
4.3.9	Baustelleneinrichtungsplan.....	211
4.4	Energieumsetzung auf der Baustelle	219
4.4.1	Elektrische Energie.....	219
4.4.2	Ermittlung des elektrischen Leistungsbedarfs	220
4.4.3	Verbrennungsmotoren.....	223
4.4.4	Ermittlung des Druckluftbedarfs.....	224
4.4.5	Hydraulik	224
4.4.6	Dampfenergie.....	227
4.5	Logistikplanung der Bauabwicklung	228

4.6	Nachhaltigkeit während der Baurealisierung	236
4.6.1	Definition Nachhaltigkeit	236
4.6.2	Instrumente für einen nachhaltigen Bauprozess	244
4.6.3	Beispiele	245
Literaturverzeichnis		255
5	Bauproduktionsprozess – Lean Construction – Arbeitsplanung auf der Baustelle	263
5.1	Lean Construction – Wochenarbeitsprogramm	263
5.1.1	Rohbauphase	265
5.1.2	Ausbauphase	276
5.1.3	Beispiel: Wochen- und Tagesfliessprogramm – Gesamtinstallation der Ausbau-Job-Pakete	280
5.2	Geräte- und Materialabruf	294
5.3	Organisation des Bauablaufs, der Baumethoden und der Arbeitssicherheit	295
5.4	Baustellencontrollingprozess	296
5.4.1	Leistungsvorgaben	297
5.4.2	Wochenleistungs-Controlling	298
5.5	KVP - Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	303
6	Bauverfahren des Tiefbaus – Baugrubenumschliessungen... 315	
6.1	Grundlagen und Arten von Baugrubenumschliessungen	315
6.2	Spundwandbauweise	317
6.3	Trägerbohlwände - Rühlwände	318
6.4	Ausführung der Rammarbeiten	322
6.4.1	Einflussgrössen	322
6.4.2	Rambärsysteme	327
6.4.3	Schnellschlaghammer	330
6.4.4	Vibratoren / Vibrationshämmer	332
6.4.5	Beurteilung des Baugrunds für das Einbringen von Rammgut	334
6.4.6	Rammleistungen	335
6.4.7	Einbauverfahren	336
6.4.8	Einbringen von Spundbohlen	340
6.4.9	Probleme beim Einbau von Spundwandbohlen	344
6.4.10	Dichten von Spundwänden	346

6.4.11	Baugrubenumschliessung mit Kastenfangdamm.....	347
6.4.12	Spezielle Aspekte beim Ziehen der Spundwände	350
6.5	Trägergeräte für das Rammen und Ziehen	352
6.6	Baugrubenaussteifung	358
6.7	Anker und Ankerarbeiten.....	366
6.8	Pfahlwände.....	371
6.9	Schlitzwände	374
6.10	Mixed-in-Place-Wände	376
6.11	Gefrierwände/Injektionswände	379
6.12	Auswahlkriterien für Baugrubenumschliessungen	379
6.13	Ausführungsbeispiele	385
6.13.1	Querung einer bestehenden Rohrleitung durch eine Rühlwand	385
6.13.2	Querung einer bestehenden Rohrleitung durch eine Spundwand	385
6.13.3	Baugrube im Grundwasser – Einbindung der Baugrubenumschliessung	386
Literaturverzeichnis		388
7	Bauverfahren des Tiefbaus – Erdbau und Aushub.....	397
7.1	Bodenuntersuchungen	399
7.1.1	Eigenschaften des Bodens.....	399
7.1.2	Abbaubarkeit des Bodens	399
7.1.3	Hydrologie	401
7.1.4	Standfestigkeit und Gebrauchstauglichkeit.....	401
7.2	Maschinenarten und Maschineneinsatz	402
7.2.1	Geräteeinsätze bei engen und steilen Verhältnissen.....	403
7.2.2	Geräteeinsatz in offeneren Verhältnissen.....	404
7.3	Gerätewahl	425
7.4	Erstellen des Planums.....	425
7.5	Schütten und Verdichten	425
7.5.1	Verdichtungsgeräte	429
7.5.2	Statisch wirkende Verdichtungsgeräte	431
7.5.3	Vibrierende Geräte	432
7.5.4	Stampfende Vibrations-Geräte	435

7.5.5	Geräteanwendungsbereich	435
7.5.6	Organisation der Verdichtungsarbeiten	437
7.5.7	Ausführung von Schütt- und Dammbauarbeiten.....	437
7.5.8	Bodenverbesserungs-Massnahmen	438
7.6	Arbeiten mit Kulturerde.....	440
7.7	Aushub von Gräben.....	442
7.7.1	Allgemeines.....	442
7.7.2	Verbaumethoden	442
7.7.3	Herstellungsprozess.....	444
7.8	Aushub von Baugruben	446
7.8.1	Allgemeines.....	446
7.8.2	Baugrubenerstellung und Ankersetzen.....	447
7.8.3	Herstellungsprozess mit Einfahrtsrampe	448
7.8.4	Herstellungsprozess mit mehrstufigem Baggerbetrieb	450
	Literaturverzeichnis	452
8	Bauverfahren des Tiefbaus – Richtpreise für Baugruben- umschliessungen und Erdarbeiten	457
9	Bauverfahren des Tiefbaus – Leistungsermittlung und Geräteauswahl im Erdbau	465
10	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Schalungssysteme und Schalungstechnik	469
10.1	Einleitung.....	469
10.2	Voraussetzungen für die Schalungsarbeiten.....	472
10.3	Schalungsaufbau.....	474
10.3.1	Einleitung.....	474
10.3.2	Schalungselemente	477
10.3.3	Systemschalungen	481
10.4	Schalungssysteme	485
10.4.1	Beurteilungskriterien.....	485
10.4.2	Wandschalungen.....	485
10.4.3	Stützen- und Säulenschalung.....	494
10.4.4	Deckenschalungen	498
10.4.5	Randschalungen.....	511

10.4.6	Schalungen für Unterzüge.....	511
10.4.7	Vorsatzschalungen.....	513
10.4.8	Verlorene Schalung.....	514
10.5	Die Rüstung.....	516
10.6	Spezial-Schalverfahren.....	519
10.6.1	Gleitschalung.....	519
10.6.2	Kletterschalung.....	522
10.6.3	Schachtbühnen mit Schachtschalungen.....	529
10.6.4	Kletterplattformschalung.....	533
10.6.5	Tunnelschalung.....	541
10.6.6	Brückenschalungen.....	543
10.7	Der Schalungsdruck.....	545
10.7.1	Schalungsdruck nach SBA Baupraxis und Erfahrungswerten.....	545
10.7.2	Ermittlung des Schalungsdrucks nach DIN 18218 und CIRIA- Report 108.....	547
10.8	Schalungsgenauigkeiten.....	551
10.9	Schalungsfehler.....	551
10.10	Kriterien zur Selektion des projektspezifischen Schalungssystems	552
10.11	Schalungskennzahlen.....	556
10.12	Schalungskosten.....	556
10.13	Systembetrachtung der Stahlbetonkonstruktionen im Hochbau.....	557
10.14	Herstellungssequenzen für Hochhäuser.....	560
10.15	Anwendungsbeispiel Schalungssysteme im Hochbau.....	566
10.15.1	Grundsätze der Schalungsplanung.....	566
10.15.2	Vorausseilende Bauweise – Millennium Tower Wien.....	566
10.15.3	Stockwerkbauweise – Wochentakt für ein Hochhaus mit Regelgeschossen.....	575
	Literaturverzeichnis.....	583
11	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Armierungstechnik.....	591
11.1	Armierungsdisposition.....	591
11.2	Durchführung der Armierungsarbeiten.....	592
11.3	Armierungsverlegekosten und Armierungskennwerte.....	593
11.4	Armierungsoptimierung.....	594

11.5 Fugen	599
11.5.1 Allgemein.....	599
11.5.2 Dilatationsfugen.....	600
11.5.3 Schwindfugen	600
11.5.4 Fugenabstände.....	602
11.5.5 Schwindbewehrung	603
11.5.6 Arbeitsfugen	603
Literaturverzeichnis	605
12 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Betonherstellungs- und – verarbeitungsprozess.....	613
12.1 Betonherstellung.....	613
12.1.1 Grundlagen.....	613
12.1.2 Beton-Herstellung.....	614
12.1.3 Geräte zur Betonherstellung.....	616
12.1.4 Betonmischanlagen	622
12.1.5 Entscheidungskriterien für den Ort der Betonherstellung	628
12.2 Betonverarbeitung	630
12.2.1 Transport zum Bauwerk	630
12.2.2 Geräte zur Förderung des Betons zur Einbaustelle.....	630
12.2.3 Verdichten von Beton	639
12.2.4 Festigkeitsentwicklung und Ausschulfristen	649
12.2.5 Nachbehandlung des Betons	650
12.2.6 Vakuumbeton	650
12.2.7 Unterwasserbeton	651
Literaturverzeichnis	659
13 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Leistungsermittlung und Aufandswerte für Stahlbetonarbeiten	667
13.1 Einleitung.....	667
13.2 Schalungsarbeiten.....	668
13.2.1 Konventionelle Elementschalsysteme (lose Schalhaut)	671
13.2.2 Grossflächen-Wandschalungen aus Systemelementen	682
13.2.3 Rahmenschalungen.....	684
13.2.4 Kletterschalungen.....	685

13.3	Armierungseinbau	686
13.3.1	Hochbau	688
13.3.2	Ingenieur- und Brückenbau	692
13.3.3	Spannglieder	693
13.4	Betonarbeiten	694
13.4.1	Lieferbeton mit Kranumschlag	695
13.4.2	Lieferbeton mit Betonpumpenumschlag	697
13.5	Dauer der Arbeitsgänge	699
	Literaturverzeichnis	700
14	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Ausführungsbedingte Fehler und Rissursachen bei der Herstellung von Betonbauwerken	707
14.1	Ausführungsbedingte Fehler	707
14.2	Rissursachen	710
	Literaturverzeichnis	713
15	Bauproduktionsprozess – Industrielles Bauen	721
15.1	Systematisierung, Gliederung und Merkmale	721
15.2	Implementierung des industriellen Bauens in Unternehmen	726
15.2.1	Wege zur Neuorientierung	726
15.2.2	Massnahmen im Unternehmen	728
15.2.3	Kundenfokus der Industrialisierung	736
15.3	Unterscheidung und Auswahl von Fertigteilen	738
15.3.1	Vorteile und Nachteile der Werksfertigung	738
15.3.2	Häufig verwendete Fertigteile	739
15.3.3	Halbfertig-Rohbauelemente	740
15.3.4	Rohbauelemente	742
15.3.5	Fertigelemente – Sandwich-Wandelemente	745
15.3.6	Fertigmodule – Fertigteil-Räume	745
15.3.7	Fertigteile im Holzbau	747
15.3.8	Vorauswahl Beton-Deckentypen	748
15.3.9	Quantitative Entscheidungskriterien zur Bauverfahrenswahl im Betonbau	750
15.4	Industrielle Vorfertigung im Betonbau	753

15.4.1	Produktionsverfahren auf stationären kurzen Bahnen.....	754
15.4.2	Produktionsverfahren auf stationären langen Bahnen.....	758
15.4.3	Produktionsverfahren mit mobiler Schalung – Umlaufproduktionsverfahren (Fließfertigung).....	762
15.4.4	Einsatz von CAD/CAM in der Vorfertigung.....	767
15.5	Industrielle Vorfertigung im Holzbau	773
15.5.1	Brettschichtholz	773
15.5.2	Brettstapelelemente.....	775
15.5.3	Wandtafeln für die Tafelbauweise	776
15.6	Konstruktionsprinzipien der Montagebauweise.....	777
15.6.1	Skelettbauweise	777
15.6.2	Rippenbauweise	780
15.6.3	Wand- oder Tafelbauweise.....	781
15.6.4	Raumzellenbauweise	782
15.6.5	Sonderbauweisen im Brückenbau	784
15.6.6	Elementverbindungen, Auflagerpunkte und Fugen.....	786
15.7	Industrielle Baustellenfertigung	790
15.7.1	Industrialisierung der Montage von Fertigteilen.....	790
15.7.2	Industrialisierung der Ortbetonbauweise	797
15.8	Ausblick	802
	Literaturverzeichnis	811
16	Bauproduktionsprozess – Bereitstellungs-, Arbeitsablaufplanung und Controlling	823
16.1	Einleitung.....	823
16.2	Bereitstellungsplanung	824
16.3	Ablaufplanung.....	826
16.4	Zielüberwachung durch das Baustellencontrolling	829
	Literaturverzeichnis	833
17	Bauproduktionsprozess – Sicherheits-management	841
17.1	Einleitung.....	841
17.2	Sicherheit und Gesundheit auf Baustellen – Grundlagen	843
17.3	Sicherheit und Gesundheit auf Baustellen – Umsetzung.....	845
17.4	Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie	850

17.4.1	Begriff und Ziele	850
17.4.2	Konzept der Integralen Sicherheit	852
17.4.3	Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase	853
17.4.4	Eingegangene Risiken.....	857
17.4.5	Sicherheitsorganisation und Notmassnahmen	858
17.5	Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften	860
17.5.1	Motivation	860
17.5.2	Sicherheitsplanung	861
17.5.3	Umsetzung des Sicherheitsplans	863
17.6	Zusammenfassung	864
	Literaturverzeichnis	865
	Anhang: Vorschriften zum Arbeits- und Unfallschutz	866



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 1: Einleitung - Bauproduktionsprozesse

1 Einleitung - Bauproduktionsprozesse

Im Fach **Baubetriebswissenschaften und Bauverfahrenstechnik** beschäftigen wir uns mit dem Prozess der Herstellung von Bauwerken (Bauwerkserstellungsprozesse) und mit einigen wichtigen operativen Aspekten des Bauunternehmensmanagements. Die Kenntnisse auf diesen Gebieten sollen folgende Schwerpunkte umfassen:

- Organisation des Bauunternehmens
- Bauprozesse und Bauverfahren zur Herstellung von Bauwerken
- Methodik der Auswahl von Bauverfahren
- Integration der Bauverfahren zu einem Bauproduktionsprozess
- Vorbereitung und Planung des Bauproduktionsprozesses zur Herstellung eines Bauwerks (Planungsprozess)
- Ausführung von Bauaufgaben

Die wesentlichen **Kernkompetenzen** dieses Fachs bestehen in

- der **technischen** Kompetenz bezüglich der Anwendung und Entwicklung von Bauwerkserstellungsprozessen zur Bauwerksherstellung sowie der Methodik der Auswahl von Bauverfahren und
- der **betriebswirtschaftlichen** Kompetenz zur Bewertung der Bauverfahren und Bauwerkserstellungsprozesse.

Diese Kernkompetenzen entfalten im Wertschöpfungsprozess für ein Bauwerk ihre Wirkung in der Realisierungsphase (Bild 1-1). Die Ursache für die richtige technische und effiziente wirtschaftliche Wirkung liegt aber bereits in den vorgelagerten Planungsphasen. Die entwerfenden und planenden Ingenieure müssen die Konstruktion der Bauwerke so gestalten, dass die Realisierung mit den technisch verfügbaren Bauverfahren wirtschaftlich mit hoher Effizienz gewährleistet wird.

Daher ist es unabdingbar, dass nicht nur die in Bauproduktionsunternehmen tätigen Ingenieure die Bauproduktionsprozesse und Bauverfahren kennen und deren Einsatzmöglichkeiten beurteilen können, sondern auch die planenden Ingenieure. Ein interessanter Entwurf, der technisch nicht oder nur mit unwirtschaftlichen Bauverfahren ausführbar ist, ist ein schlechter Entwurf für den Bauherrn, da er die Bauwerksproduktion meist ohne Gebrauchsnutzensteigerung verteuert. Das Gleiche gilt für das Aufstellen des Terminrahmenprogramms durch den ausschreibenden Ingenieur, der aufgrund der fehlenden, erforderlichen Kenntnisse der Bauverfahrenskapazität und Leistungsfähigkeit den zeitlichen Aufwand für die Hauptaktivitäten und deren Vernetzung mit den verschiedenen Arbeitsgewerken nicht richtig abschätzen kann.

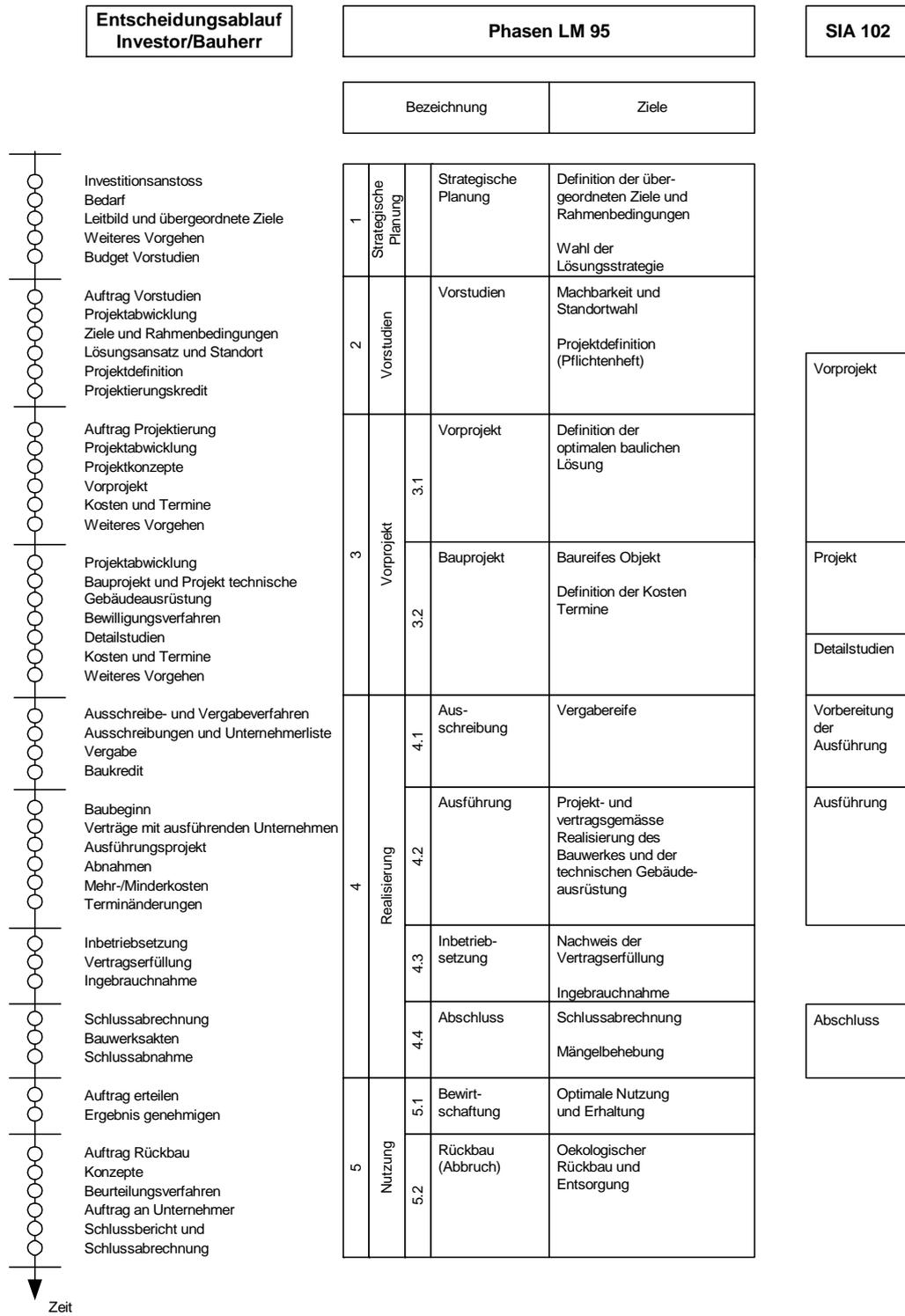


Bild 1-1: Projektphasen nach SIA LHO 102

Die Projektleistungen können nach Bild 1-2 systematisiert werden. Dieses integrierte Leistungssystem kann in Bauherrn- und Leistungsanbietaufgaben gegliedert werden.

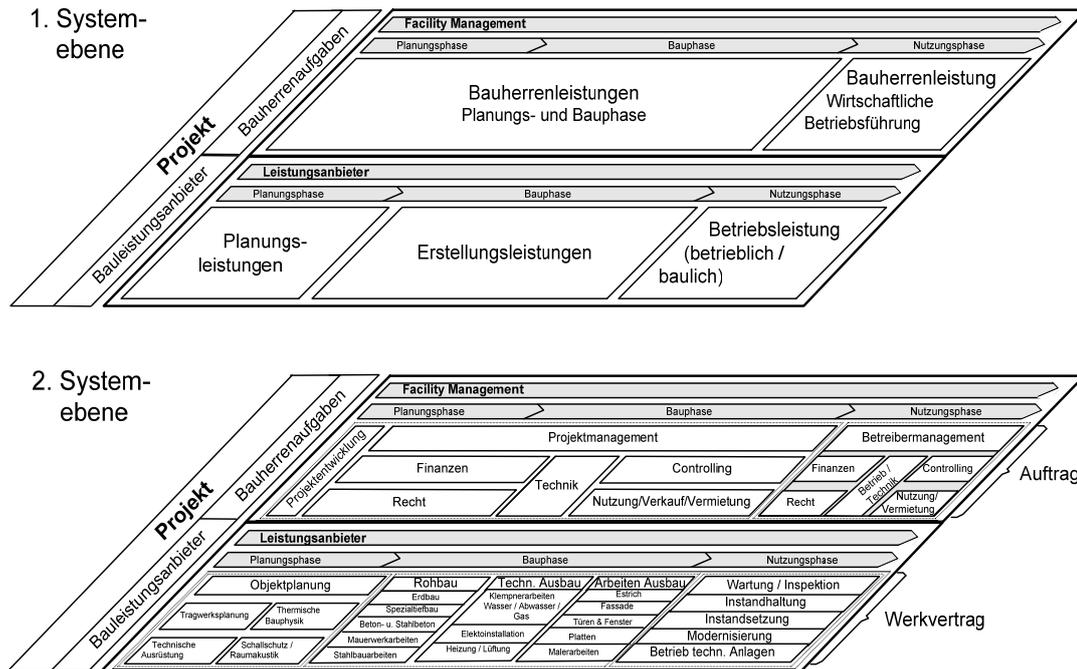


Bild 1-2: Systematisierung von Projektleistungen – Integriertes Leistungssystem

Damit wird die Komplexität der Aufgaben von Bauprojekten deutlich. Die Komplexität der Bauaufgaben ergibt sich einerseits aus der Grösse und Schwierigkeit der Bauaufgabe, sowie andererseits aus der Vielzahl der interagierenden Aufgaben und Leistungsträger (Planer und Unternehmer). Diese müssen so koordiniert werden, dass die Kundenbedürfnisse in Leistungsziele transferiert werden und dann im Laufe eines meist dynamischen, hochinteraktiven, integrativen Prozesses mit hoher wirtschaftlicher Effizienz ins Leistungsergebnis geführt werden.

Basierend auf der Charakterisierung *komplex* und *dynamisch* bezeichnet man solche integrierten Leistungssysteme als kompliziert.

Bauunternehmen treten je nach Projektabwicklungsform in unterschiedlichen Wertschöpfungsphasen in die Projekte ein.

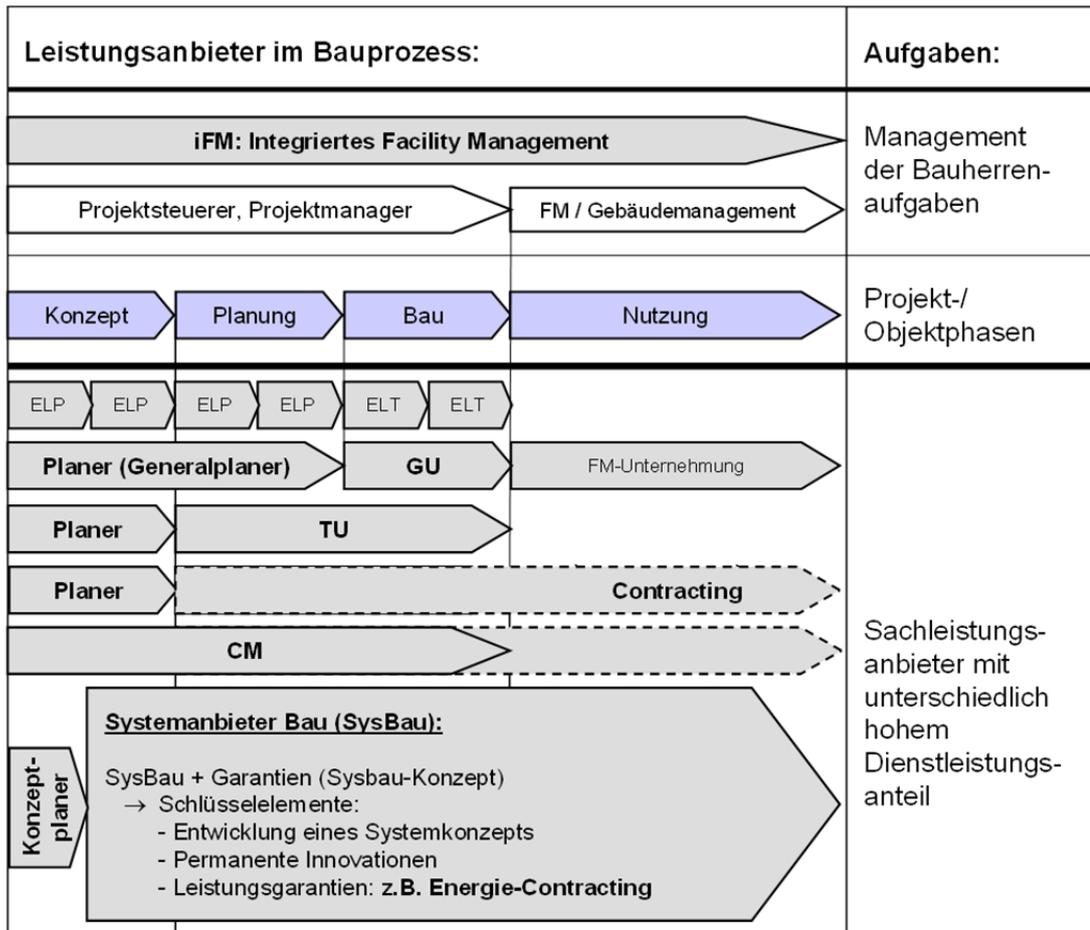


Bild 1-3: Projektabwicklungsformen und Leistungsanbieter in der Bauwirtschaft

Die heutigen Projektabwicklungsformen sind (Bild 1-3):

- Einzelleistungsträger-Projektabwicklungsform
 - Einzelleistungsplaner (ELP)
 - Einzelleistungsanbieter (ELT)
- Generalleistungsträger-Projektabwicklungsform
 - Generalplaner (GP)
 - Generalunternehmen (GU)
- Totalunternehmer-Projektabwicklungsform (TU)
- Construction Management-Projektabwicklungsform (CM)
- Systemanbieter-Projektabwicklungsform

In Bild 1-4 sind unterschiedliche Aufgaben des Bauherrn, sowie der Bauunternehmen wiedergegeben.

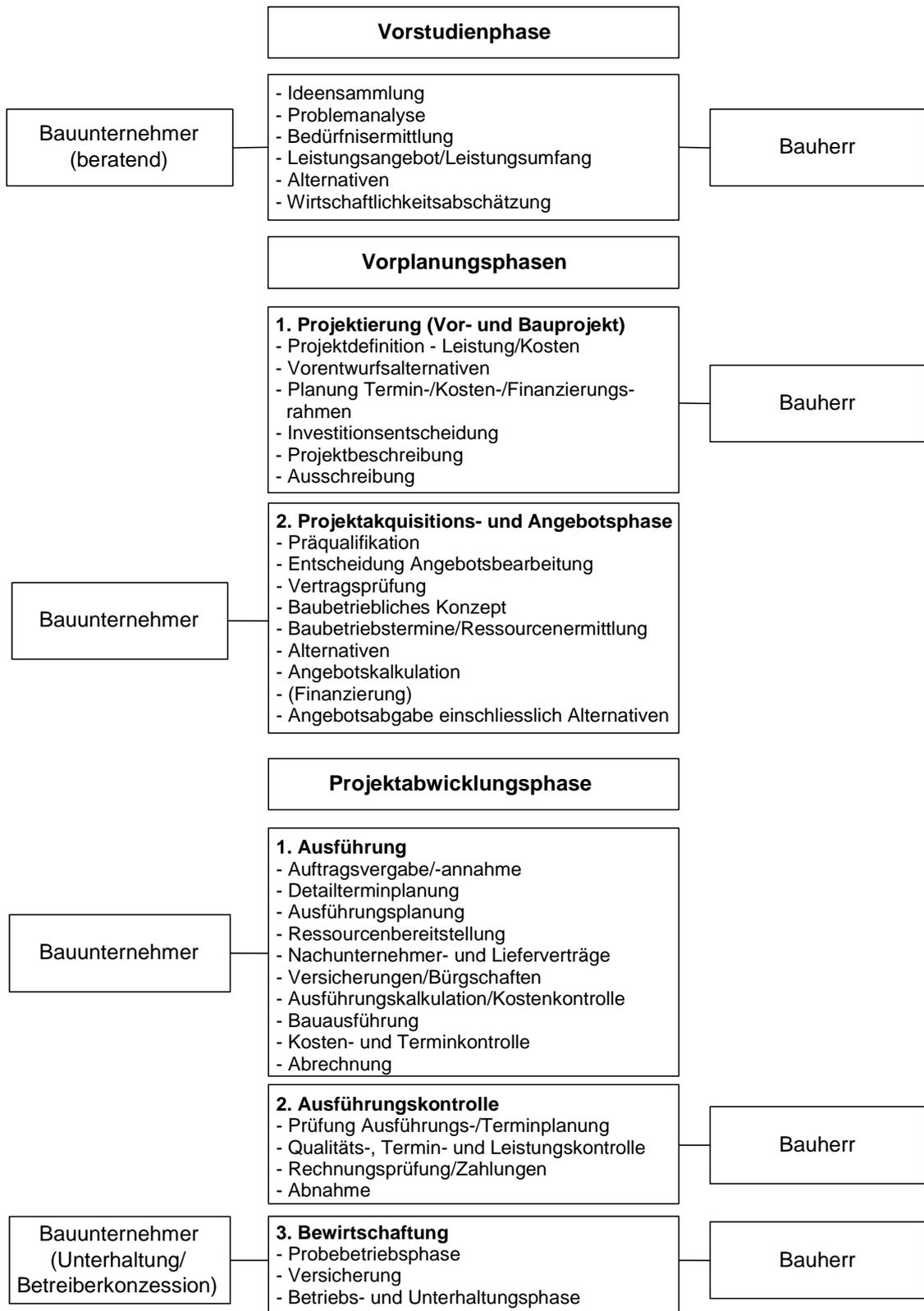


Bild 1-4: Projektphasen in Bezug auf das Bauunternehmen

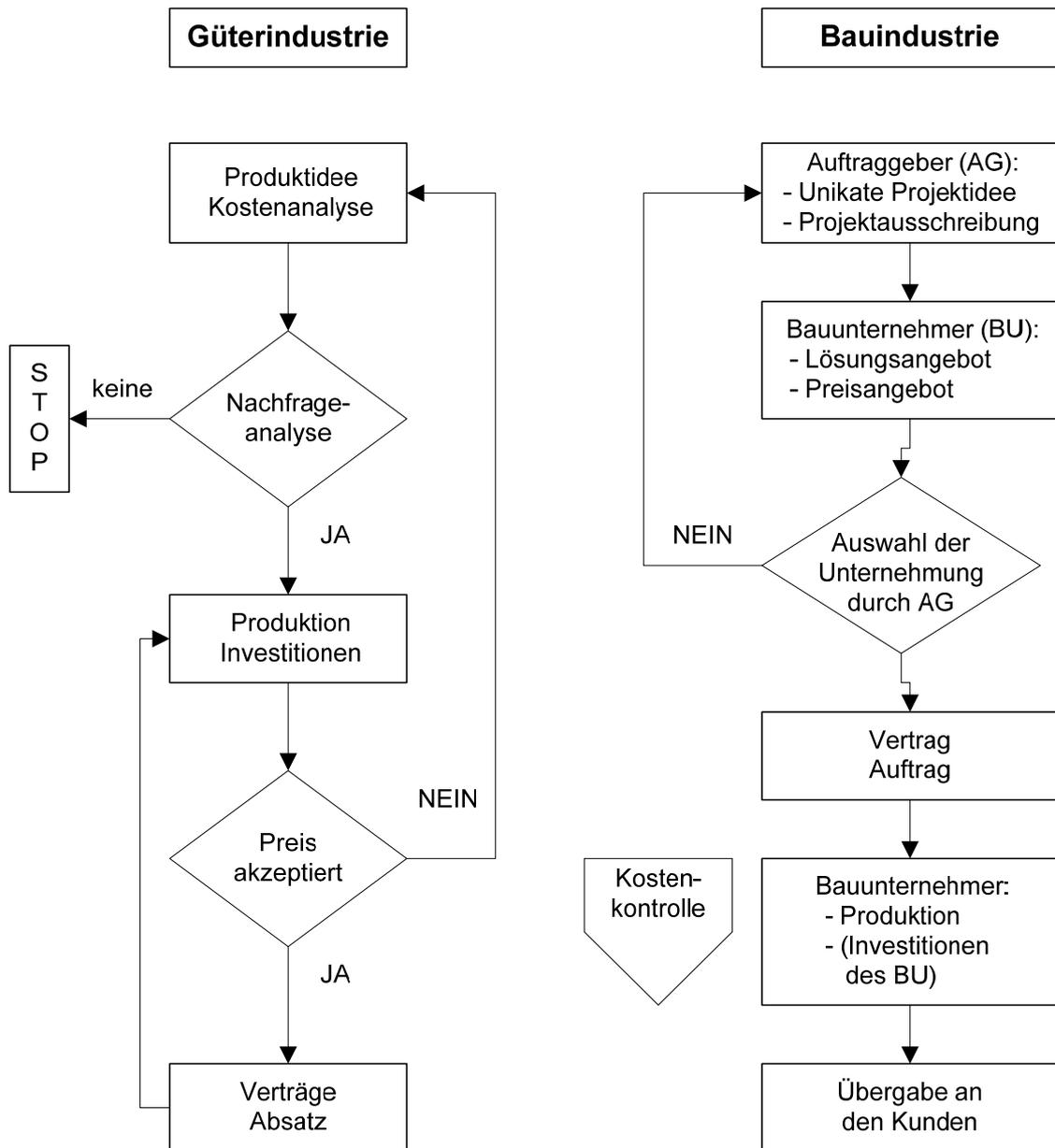


Bild 1-5: Produktentwicklung, Herstellung und Absatz

Das Marktverhalten von traditionellen Bauunternehmen ist oft passiv, sie reagieren auf die Ausschreibungen der Bauherren und Projektentwickler mit Offerten.

Damit weicht das **Marktverhalten grosser Teile der Bauwirtschaft** von dem der Güterindustrie in wesentlichen Punkten ab (Bild 1-5). Die Güterindustrie vermarktet ihre Produkte, d.h. sie produziert ein Produkt und vermarktet es an die für das Unternehmen meist anonymen Käufer. Für die Güterindustrie ist meist nur das Käuferprofil (soziale Schicht, Einkommensklasse, Bedürfnislage etc.) bekannt. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei den Produkten der Bauindustrie um **Bestellprodukte**, die nach den Wünschen des Bauherrn vor Ort hergestellt werden. Die **Bauproduktion** wird somit meist **vor Ort abgewickelt**, am Entstehungsort des Gebäudes. Daher müssen die Produktionseinrichtungen im Regelfall mobil sein, damit sie zu jeder neuen Baustelle transportiert werden können. Im Allgemeinen stellt die Bauindustrie **Unikate** her, d.h. jedes Bauwerk unterscheidet sich in der Grösse, der Form, der Verwendung der viel-

seitigen Bauwerksmaterialien und den sehr unterschiedlichen Bauwerkserstellungsprozessen.

Weil die Komplexität bei grossen Bauprojekten sehr hoch ist, ist eine **systematische** Vorgehensweise beim Identifizieren und Handhaben der Prozesse ([5], [6]) sehr wichtig. Der prozessorientierte Ansatz in der Baubetriebslehre ordnet die Bauverfahren und Tätigkeiten in diese Prozesse ein, woraus sich dann die Funktionen innerhalb der Leistungserstellungsorganisation ergeben.

Die Prozesse in der Baubetriebswissenschaft werden untergliedert in:

- **Unternehmensprozesse**, die auf das Leistungsangebot des Unternehmens zur Erfüllung der Kundenbedürfnisse abgestimmt sind.
- **Bauwerkserstellungsprozesse**, die zur Erstellung des Bauwerks von der Konzeptidee bis zur Nutzung notwendig sind.

Die charakteristischen Unterscheidungsmerkmale dieser Systematik sind wie folgt:

- **Unternehmensprozesse** (Anbieterprozesse) werden aus dem Unternehmenszweck, der Unternehmens- und Geschäftsfeldstrategie sowie in Interaktion mit der Organisationsstruktur abgeleitet und gebildet. Damit soll sichergestellt werden, dass durch den effektiven Einsatz der Ressourcen des Unternehmens (Personal, Inventar, Finanzen, Fähigkeiten) eine möglichst hohe Effizienz erzielt wird. Diese Prozesse sind Anbieterprozesse. Die Unternehmensprozesse beinhalten die Management-, Support- und Leistungserstellungsprozesse.
- **Bauwerkserstellungsprozesse** (Besteller- bzw. Projektprozesse) sind losgelöst von Unternehmensprozessen. Sie sollen den zweckorientierten Ablauf eines Bauprojektes sicherstellen. Ausgehend von den Bauherrn- bzw. Investorenbedürfnissen sollen die notwendigen Aufgaben prozessorientiert abgewickelt werden, um eine hohe Effizienz zur Zielerreichung zu sichern. Diese Prozesse sind besteller- bzw. projektorientiert und beziehen sich auf die Projektaufgaben. Die Bauwerkserstellungsprozesse beinhalten das Ziel- und Schnittstellenmanagement zur Herstellung des Bauwerks. Im Rahmen der Unternehmensprozesse erfolgt die Leistungserstellung.

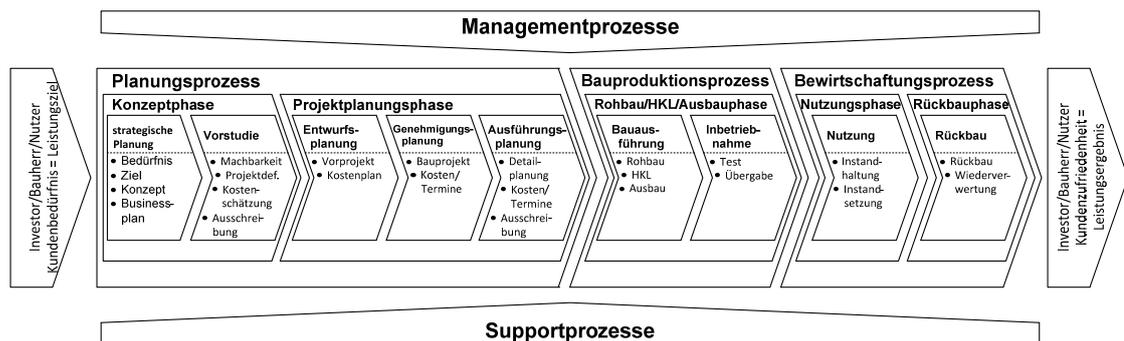


Bild 1-6: Bauwerkserstellungsprozess

Die **Bauwerkserstellungsprozesse** (Bild 1-6) können weitgehend an die Ziele, Aufgaben und Phasen in der SIA 102 (Bild 1-1) angelehnt werden. Die beauftragten Phasen und die jeweils verantwortlichen Akteure können sich jedoch je nach Projektabwicklungsform (Bild 1-3) ändern [2]. Der Bauwerkserstellungsprozess ist determiniert durch die Kundenbedürfnisse und die zur Befriedigung dieser Bedürfnisse erforderlichen Aufgaben. Der besteller- bzw. bauwerks- und projektorientierte Bauwerkserstel-

lungsprozess wird untergliedert in die Planungs-, Bauproduktions- und Nutzungsprozesse. Er wird durch Managementprozesse geleitet und durch die Supportprozesse zur effizienten Zielerreichung unterstützt. Dabei kann der Planungsprozess wiederum in die Konzept- und Projektplanungsphase bzw. -planungsprozesse gegliedert werden. Der Bauproduktionsprozess kann wiederum in die Rohbau-, HKL- und Ausbauphase bzw. -prozesse untergliedert werden. Diese Unterprozesse verlaufen teilweise parallel und/oder sequentiell.

Die Durchführung des Bauproduktionsprozesses erfolgt in Unternehmen der Bauwirtschaft. Zu diesen Unternehmen gehören Bauunternehmen, die sowohl als Rohbauhersteller, als auch als Generalleistungsträger auftreten. Ferner gehören Ausbaunternehmen, wie Fliesenleger, Putz- und Stuckateurunternehmer, Dachdecker, sowie Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Elektrounternehmer dazu. Auch Unternehmen für die Aussenanlagen gehören dazu. Im Regelfall sind bei einem Hochbau 30 bis 40 Unternehmen für die unterschiedlichen Gewerke/Werkgruppen tätig.

Der auf den Bauproduktionsprozess folgende Bewirtschaftungsprozess gliedert sich in die Nutzungs- und Rückbauphase. In der Nutzungsphase sind die Nutzungsprozesse für den reibungslosen Betrieb von grosser Bedeutung. Zu diesen Nutzungsprozessen gehören die Instandhaltung und Instandsetzung. Die Wirtschaftlichkeit der Nutzungsphase wird determiniert durch die Zielvorgaben und Wettbewerbsverfahren der Planungs- und Bauproduktionsphasen. Heutige Bauwerke werden, wenn überhaupt, nur im Hinblick auf die Investitionskosten optimiert. Das gesamte Potential der Nutzungskosten besonders im Energiebereich wird nicht dem Wettbewerb in Bezug auf Life-Cycle-Kosten unterzogen. Hier steckt zukünftig ein hohes Potential für Leistungs-, Prozess- und Produktionsinnovationen in der Bauwirtschaft.

Die **Unternehmensprozesse** [4] bzw. Geschäftsprozesse eines Unternehmens gliedern sich nach dem Wertschöpfungsprinzip in den Primärprozess des Leistungserstellungsprozesses sowie die sekundären steuernden und unterstützenden Prozesse der Management- und Supportprozesse [1] (Bild 1-7).

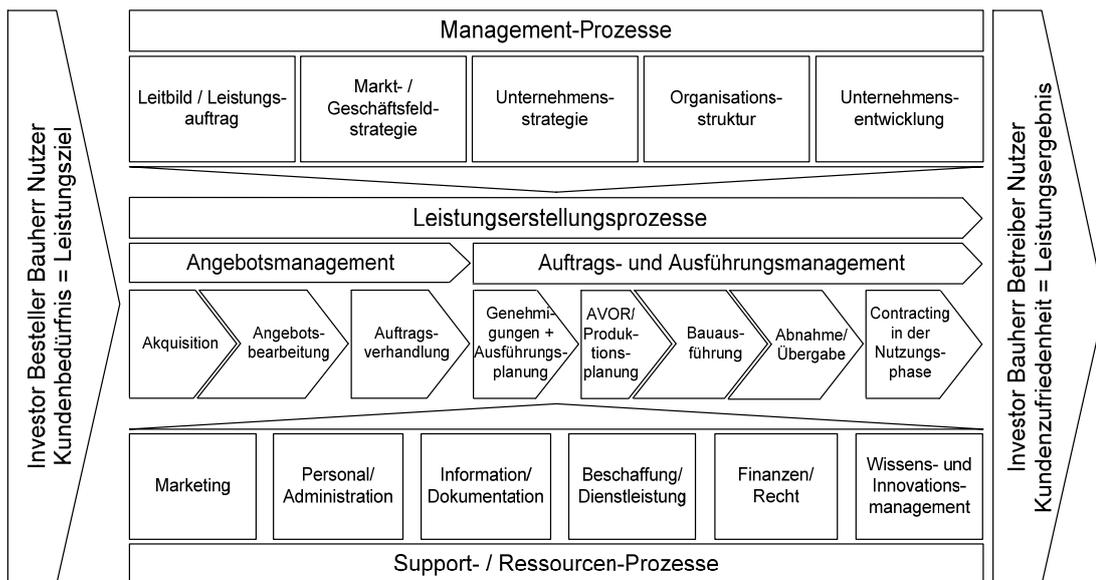


Bild 1-7: Prozessmodell der Wertschöpfungskette eines Bauunternehmens

Der **Leistungserstellungsprozess** in einem Unternehmen oder einer Geschäftseinheit enthält alle direkt wertschöpfenden Teilprozesse und Aktivitäten eines Unternehmens und stellt einen Input- und Outputprozess dar. Aufgrund der Kundenbedürfnisse (Input) wird innerhalb des Leistungserstellungsprozesses das Leistungsergebnis (Output) erzeugt. Dieser Prozess gliedert sich in den meisten Firmen in die Teilprozesse Akquisition von Aufträgen bis hin zur Übergabe der fertigen Leistung an den Bauherrn bzw. Auftraggeber.

Die **Support- und Managementprozesse** unterstützen den Leistungserstellungsprozess zur effizienten und effektiven Zielerfüllung und gehören zu den notwendigen aber nicht wertschöpfenden Aktivitäten des Unternehmens.

Die **Supportprozesse** für den Leistungserstellungsprozess kommen von den Unternehmensbereichen Personaladministration, Finanzwesen, Informatik, Werkhof usw. Diese Bereiche stellen Ressourcen in Form von Fähigkeiten, Know-how, Material, Finanzen oder direkten Unterstützungsleistungen für den Leistungserstellungsprozess bereit.

Die **Managementprozesse** bilden den notwendigen Rahmen zur Führung, Steuerung und Ausrichtung des Unternehmens. Hier wird der strukturelle Rahmen des Unternehmens geformt (Geschäftsbereiche, Organisation, Prozesse etc.) sowie die Ausrichtung auf die Unternehmensziele vorgenommen.

Das Ziel jedes Bauunternehmens ist es, aufgrund seines Leistungspotentials die Bedürfnisse des Bauherrn / Kunden bzw. dessen Kundenbedürfnisse und Leistungsziele im Leistungserstellungsprozess in das gewünschte Leistungsergebnis umzusetzen. Der Bauunternehmer erhält vom Kunden den Auftrag aufgrund des Angebotspreises und der Produktionsfaktoren, die das Leistungspotential für einen erfolgreichen Leistungserstellungsprozess garantieren. Im Rahmen des unternehmerischen Leistungserstellungsprozesses entscheidet es sich, ob die antizipierten Leistungsziele des Kunden realisiert werden. Damit der Leistungserstellungsprozess im Unternehmen optimal effizient zur Erreichung der Kundenzufriedenheit und zur Gewinnerzielung abgewickelt werden kann, sind die Management-, Ressourcen- und Supportprozesse erforderlich (Bild 1-7). Das Ziel des Unternehmens ist es, die Kundenzufriedenheit sicherzustellen; dies erfolgt im Rahmen des Leistungserstellungsprozesses im Unternehmen. Der Leistungserstellungsprozess ist somit die Kerntätigkeit des Unternehmens. Um die Unternehmensziele zu unterstützen, müssen die Management- und Supportprozesse so gestaltet und optimiert werden, dass ein Höchstmass an Effizienz erreicht wird.

Da Bauprojekte im Regelfall Unikatcharakter aufweisen und somit ein typisches Projektgeschäft darstellen [2], ist die Prozessorientierung des Leistungserstellungsprozesses von grösster Bedeutung. Dadurch wird erreicht, dass die Projektziele den Prozess bestimmen und somit die Kundenorientierung gesichert wird. Dieser Grundgedanke muss dann auch als Bedingungsgrösse in der Organisationsgestaltung konsequent umgesetzt werden. Der Leistungserstellungsprozess muss im Bauunternehmen als kontinuierlicher Ablauf mit einem Prozessverantwortlichen – dem Bereichsleiter, Oberbauleiter bzw. Bauleiter – angesehen werden.

Der Leistungserstellungsprozess (Bild 1-8) wird in Angebots- und Ausführungsmanagement gegliedert.

Das **Angebotsmanagement** wird in folgende Hauptphasen gegliedert:

- Akquisition von Ausschreibungen
- Angebotsbearbeitung mit Vertragsprüfung, AVOR und Kalkulation
- Vertragsverhandlungen mit dem Kunden

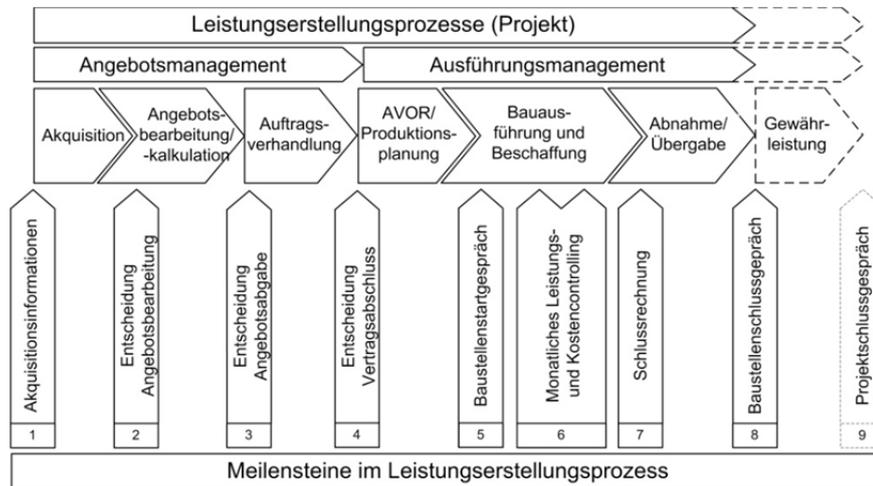


Bild 1-8: Prozessphasen und Meilensteine im Leistungserstellungsprozess eines Bauunternehmens

Das **Ausführungsmanagement** beginnt mit dem Vertragsabschluss und wird in folgende Hauptphasen gegliedert:

- Arbeitsvorbereitung (AVOR) der Baustelle mit Planung des Bauproduktionsprozesses mit Bauverfahrensauswahl, Kapazitäts-, Ressourcen- und Terminplanung, d.h., das Unternehmen plant sein Leistungspotential, um die Leistungsziele des Kunden zu erfüllen;
- Bauausführung und Beschaffung von Materialien und Subunternehmern;
- Abnahme und Übergabe des Projekts / Leistungsergebnisses an den Bauherrn / Kunden;
- Gewährleistungsfrist mit der Verpflichtung zur Beseitigung von auftretenden Mängeln und Rückgabe möglicher Gewährleistungsgarantien an den Bauunternehmer. Diese Phase fällt in die Leistungsverantwortung des Prozessverantwortlichen / Bauleiters und wird oft von diesem unterpriorisiert, obwohl sie für die Kundenzufriedenheit und Kundenbindung sehr wichtig ist.

Angebotsmanagement

Das Angebotsmanagement eines Unternehmens beschreibt den entscheidenden Prozess zur Gewinnung der projektspezifischen Aufträge. Diese Phase entscheidet darüber, ob

- das Unternehmen den Auftrag erhält,
- der Auftrag den angestrebten Erlös bringt,
- die Risiken weitgehend erkannt wurden.

Damit wird deutlich, welche wichtigen Aufgaben in dieser Phase zu erfüllen sind. Sie entscheidet somit auch darüber, ob

- eine ausreichende Auslastung der vorhandenen Ressourcen in Zukunft gesichert ist,

- eine ausreichende Erlösmarge erreicht werden kann.

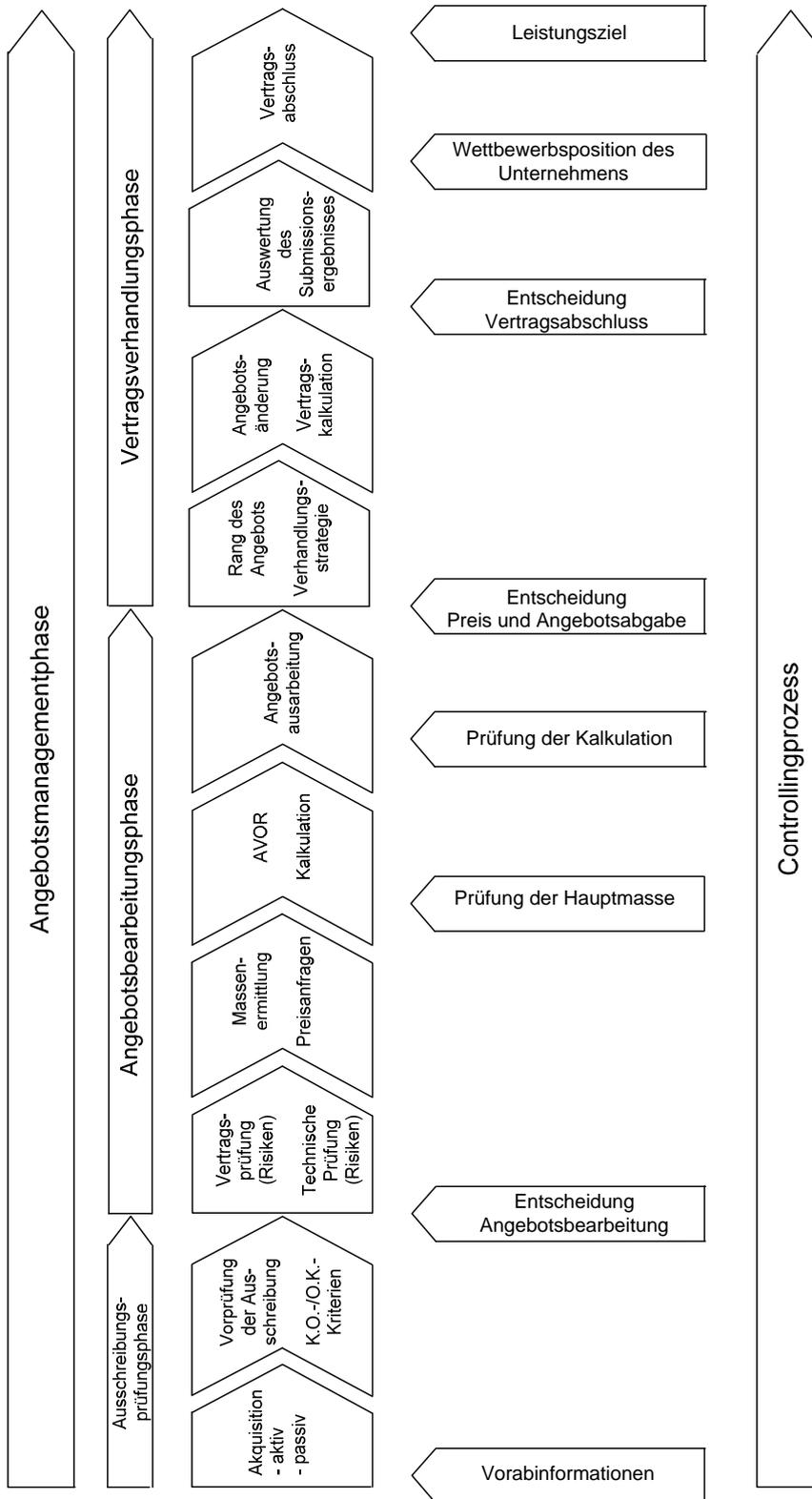


Bild 1-9: Phasen und Meilensteine des Angebotsmanagements

Das Angebotsmanagement kann man in vier Hauptschritte gliedern: Akquisition von Ausschreibungen, Prozess der Projektauswahl zur Bearbeitung der Angebote, Ablauf

der Angebotsbearbeitung im Unternehmen, Abgabe des Angebots an den Kunden und Vertragsverhandlungen mit dem Kunden. Die einzelnen Schritte des Angebotsmanagements sind wie folgt (Bild 1-9):

- Akquisition: aktive Marktbearbeitung oder Offertanfragen
- Entscheidung über Offertbearbeitung nach Vorprüfung
- Vertragsprüfung und technische Prüfung
- Massenermittlung
- Bauproduktionsplanung (Bauverfahren, Kapazität, Ressourcen, Termin)
- Angebotskalkulation und Preisbildung
- Angebotsausarbeitung und Einreichung des Angebots
- Vergabeverhandlungen
- Auftragserteilung

Ausführungsmanagement

Fast jedes Bauwerk besitzt Unikatcharakter und ist gekennzeichnet durch:

- Errichtung am Ort der Nutzung und damit individuelle topografische, geologische, verkehrstechnische und nachbarliche Bedingungen
- individuelle Architektur, Baustoffkombination und Konstruktion
- regionale Bau- und Umweltgesetze
- individuelle Vertragsgestaltung, Bauherrenorganisation und Projektabwicklungsform

Diese Charakteristik beeinflusst und gestaltet den Bauproduktionsprozess, der daher für jedes Bauwerk individuell geplant werden muss, um eine technisch wie ökonomisch optimale Abwicklung zu erreichen. Dies unterscheidet den Bauwerkserstellungsprozess von fast allen anderen Produktionsprozessen in stationären Produktionsanlagen mit Massen- und kundenindividuellen Produkten. Kein individuelles Industrieprodukt hat im Verlauf der Transaktion von der Planung bis zur Herstellung so ausgeprägte Charakteristiken in Bezug auf:

- Integrativitätsgrad
- Interaktionsgrad
- Individualitätsgrad
- Immaterialitätsgrad

Das bedeutet, dass der Bauherr in fast allen Phasen des Bauwerkserstellungsprozesses seine individuellen Bedürfnisse und Vorstellungen in den Prozess integrieren möchte. Dies ist nur durch eine starke Interaktion möglich. Bei einem individuellen Industrieprodukt spezifiziert der Besteller seine technischen sowie Qualitäts- und Leistungsanforderungen und überlässt dem Hersteller die Gestaltung und Produktion des Produkts, ohne sich um die Details zu kümmern. Bei einem Bauwerk jedoch müssen die individuellen Wünsche des Bauherrn von der funktionalen und architektonischen Gestaltung bis zur Auswahl der Farben für den Aussenputz oder Form und Grösse der Keramikplatten im Verlauf des Bauwerkserstellungsprozesses interaktiv zwischen Bauherrn, Architekten und Bauunternehmer integriert werden. Jede im Leistungsverzeichnis

ausgeschriebene Bauleistung hat in gewissem Umfang immer noch einen relativ hohen Immaterialitätsgrad. Diese Besonderheit muss ein Bauunternehmen im Rahmen des Ausführungsmanagements besonders berücksichtigen, um die Bauausführung zu einer Erfolgsstory für sich werden zu lassen. Als Erfolgsstory wird in den Bauunternehmen und im Besonderen von den Baustellenchefs nur der finanziell erfolgreiche Abschluss der Baustelle verstanden, der bei weniger kundenorientierten Leistungsanbietern durch möglichst viele Nachträge erreicht wird. Eine erfolgreiche Abwicklung einer Baustelle muss heute umfassender als Key Account Management und Bauproduktionsprozessmanagement verstanden werden. Dabei sind als Erfolgsdeterminanten zu definieren:

- die finanziell erfolgreiche Abwicklung der Baustelle
- die Einbindung des Bauherrn und der Bauherrenvertreter in den Bauwerkserstellungsprozess durch regelmässige Information über Ablauf, Termine und Qualität, ohne jedoch die Kompetenz hinsichtlich des Bauproduktionsprozesses zu teilen
- konstruktive und faire Problemlösungsstrategien sowie problemorientiertes und faires Nachtragsmanagement

Jeder Baustellenchef muss sich als Bauproduktions- und Key Account Manager verstehen. Dies ist eine sehr komplexe Aufgabe, die weit über die rein technische Kompetenz hinausgeht und ein hohes Mass an sozialer Kompetenz verlangt. Nur ein zufriedener, fair und kompetent bedienter Kunde wird mit dem Bauunternehmen in Zukunft wieder zusammenarbeiten oder es weiterempfehlen. Damit ist der Baustellenchef auch für die Kundenbindung verantwortlich, da er die Baumanager und Entscheidungsträger des Kunden persönlich kennen lernt. Bei entsprechender Kompetenz wird der Kunde diesen Kontakt nutzen, um das Bauunternehmen frühzeitig, z.B. beratend, bei neuen Projekten einzubinden.

Daher ist neben der kompetenten, technischen Ausführungsvorbereitung und der Durchführung des Bauproduktionsprozesses der Aufbau einer systematischen, regelmässigen, institutionalisierten Kommunikation zum Bauherrn ein Schlüssel zum Erfolg. Dies verlangt vom Baustellenchef eine starke, offene und flexible Persönlichkeit, die die Interessen des Unternehmens mit Kompetenz umsetzt, die dazugehörigen Massnahmen kommuniziert und trotzdem für die Fragen und Bedürfnisse des Bauherrn offen ist.

Das Ausführungsmanagement eines Bauunternehmens umfasst die Phasen der Ausführungsvorbereitung, des Ablaufs der Bauausführung und der Übergabe bzw. Inbetriebnahme. Die umfassende Planung der Vorbereitung ist der Grundstein für einen technisch und finanziell erfolgreichen Ablauf der Bauausführung. Sie baut auf einer soliden und robusten Angebotsbearbeitung und der daraus resultierenden Angebots- und Auftragskalkulation auf. Die Schlüsselemente einer erfolgreichen Ausführungsvorbereitung sind:

- Vertragskontrolle nach Auftragserteilung
- Baustellenbegehung
- Erstellung einer Arbeitskalkulation als Basis der Baustellensteuerung und der Vergabe von Subunternehmeraufträgen
- Planung des Bauproduktionsprozesses mit Festlegung der Bauverfahren sowie der erforderlichen Geräte, Bauhilfsstoffe und Leistungsvorgaben
- Entwicklung des Projektorganisations- und Kommunikationskonzepts

- detaillierter Termin- und Ressourcenplan für Personal, Geräte, Bauhilfsstoffe, Materialien gemäss den zeitlich veränderlichen Anforderungen des Bauproduktionsprozesses
- Planung der Baustellen- und Sicherheitseinrichtungen gemäss den aufgabenorientierten, zeitlich veränderlichen Anforderungen des Bauproduktionsprozesses
- Erstellung eines Projektqualitätshandbuchs auf der Basis des betrieblichen Qualitätsmanagementsystems

Die Planungsvorgaben der Ausführungsvorbereitung müssen dann situativ flexibel in den Bauproduktionsprozess vor Ort, d.h. am Ort der Entstehung des Bauwerks, umgesetzt werden. „Situativ flexibel“ bedeutet, dass eine noch so gute Bauproduktionsplanung stetige Anpassungen vor Ort verlangt, bedingt durch Wetterverhältnisse, Differenzen zwischen prognostizierten und realen geologischen und hydrologischen Bedingungen, Differenzen zwischen prognostizierten und realen Leistungen usw. Die Schlüsselemente einer erfolgreichen Bauausführung, die auf einer soliden Ausführungsvorbereitung aufbaut, sind:

- Aufbau einer den Aufgaben und den zeitlichen Phasen der Baustelle angepassten Organisation
- zügige Erstellung der Baustelleninstallation sowie technische und zeitliche Anpassung an die Anforderungen des Bauproduktionsprozesses
- Wahl der optimalen Bauverfahrenstechnik für die jeweilige Aufgabe und kontinuierliche Verbesserung der Abläufe des Leistungserstellungsprozesses
- kontinuierliche Sicherstellung und Überprüfung der Qualität und Arbeitssicherheit
- optimal geplante und situativ angepasste Logistik
- wöchentliche Arbeitsprogramme und monatliche Leistungskontrolle
- Sicherstellung der offenen Kommunikation mit dem Bauherrn, Dritten, der Baustellenführung und Baustellenmitarbeitern sowie Subunternehmern durch Routinebesprechungen und informelle Kontakte
- systematische monatliche Termin-, Leistungs- und Kostenkontrolle sowie Steuerungsmassnahmen zur Zielerreichung bzw. -verbesserung
- systematisches und faires Änderungs- und Nachtragsmanagement
- regelmässige Rechnungsstellung
- mängelfreie Übergabe des Bauwerks

Das Ausführungsmanagement gliedert sich in die in Bild 1-10 dargestellten Prozessphasen mit den dazugehörigen Meilensteinen.

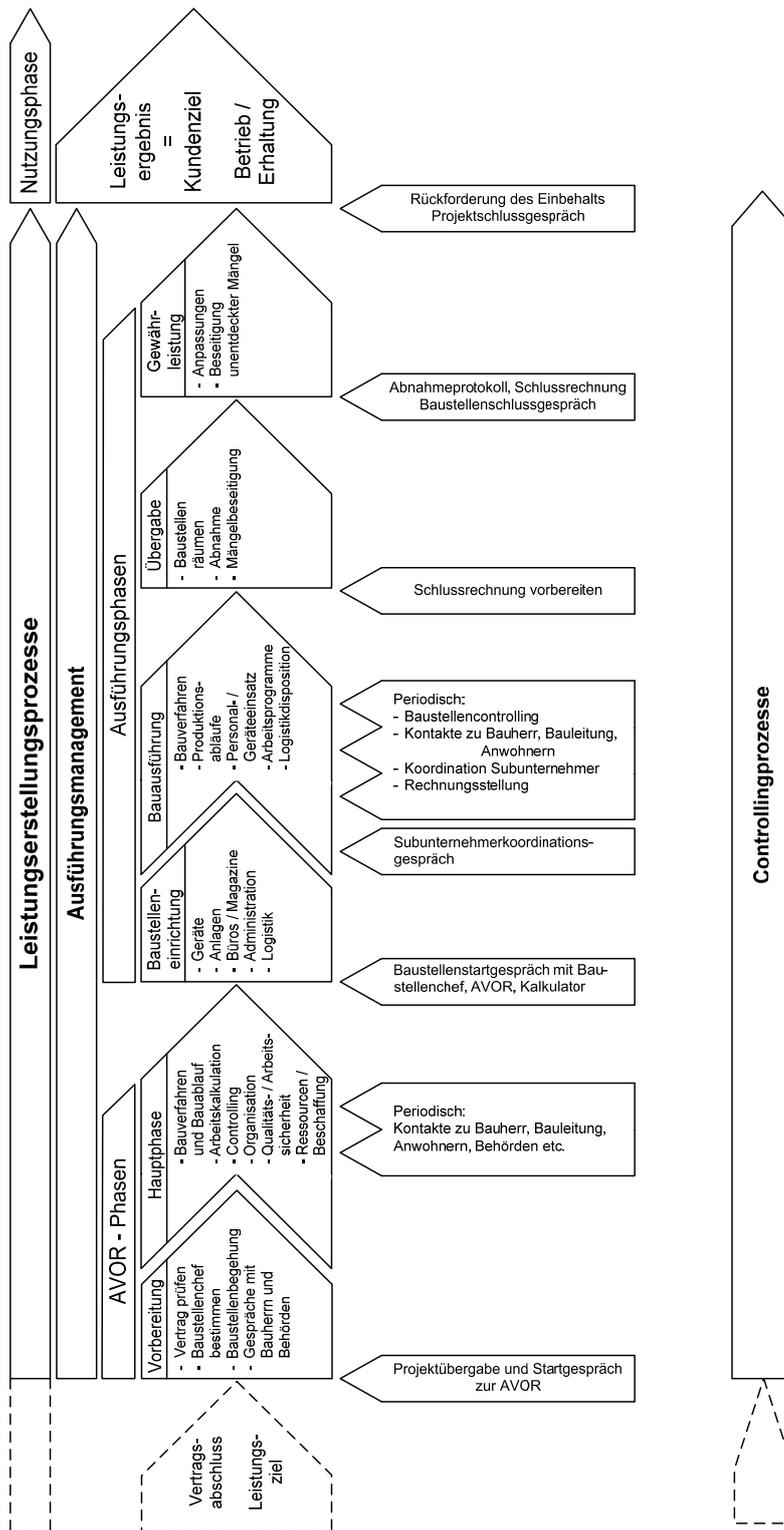


Bild 1-10: Phasen und Meilensteine des Ausführungsmanagements

Die Bauwerkserstellungsprozesse und Unternehmensprozesse interagieren. Je nach Projektentwicklungsform und Phase innerhalb des Bauwerkserstellungsprozesses sind verschiedenste Leistungsanbieter (Planer bzw. Unternehmer) involviert. Die Leistungserstellung für das Projekt erfolgt in den jeweiligen Unternehmen (Planungsbüro, Bauunternehmen) bzw. durch das jeweilige Unternehmen.

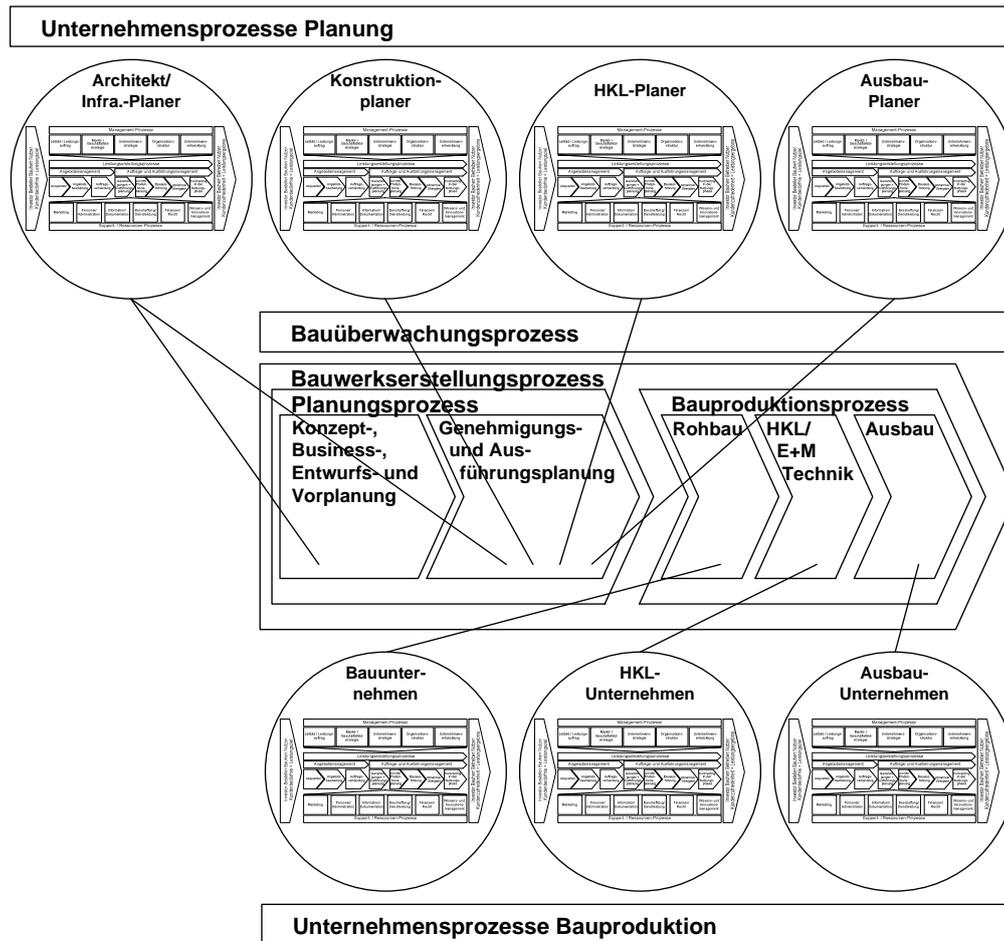


Bild 1-11: Einzelleistungsträgerabwicklung – Interaktion der Leistungsanbieterprozesse mit den Bauwerkserstellungsprozessen

Bei der **Einzelleistungsvergabe** (Bild 1-11) werden die wertschöpfenden Leistungen der Teilaufgaben innerhalb des Leistungserstellungsprozesses weitgehend in den Unternehmen (Planungsbüro, Bauunternehmen) und deren Unternehmensprozessen ausgeführt. Die koordinierenden und überwachenden Aufgaben des Bauwerkserstellungsprozesses werden vom Bauherrn oder dessen Stellvertreter durchgeführt.

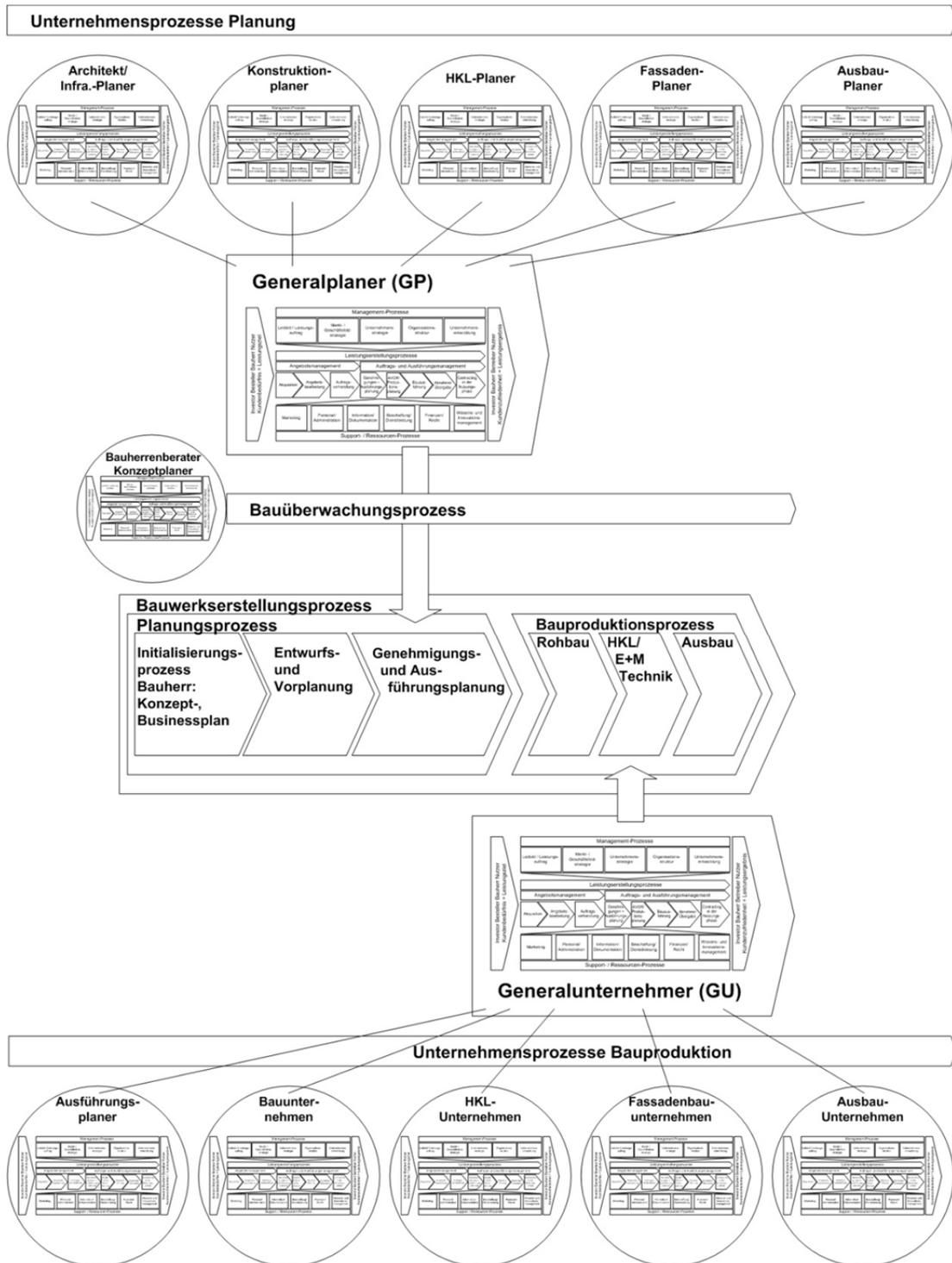


Bild 1-12: Gesamtleistungsträgerabwicklung – Interaktion der Leistungsanbieterprozesse mit den Bauwerkserstellungsprozessen

Bei der **Generalleistungsvergabe** (Bild 1-12) werden die wertschöpfenden Leistungen paketweise an Generalplaner für den Planungsprozess und an Generalunternehmen für den gesamten Bauproduktionsprozess vergeben. Innerhalb des Planungs- bzw. Bauproduktionsprozesses übernimmt der jeweilige Generalleistungsträger innerhalb seiner Unternehmensprozesse die Aufgabenerfüllung sowie die Koordination und Steuerung. Die Gesamtkoordination und Steuerung zwischen den Generalleistungsträgern übernimmt der Bauherr oder dessen Vertreter.

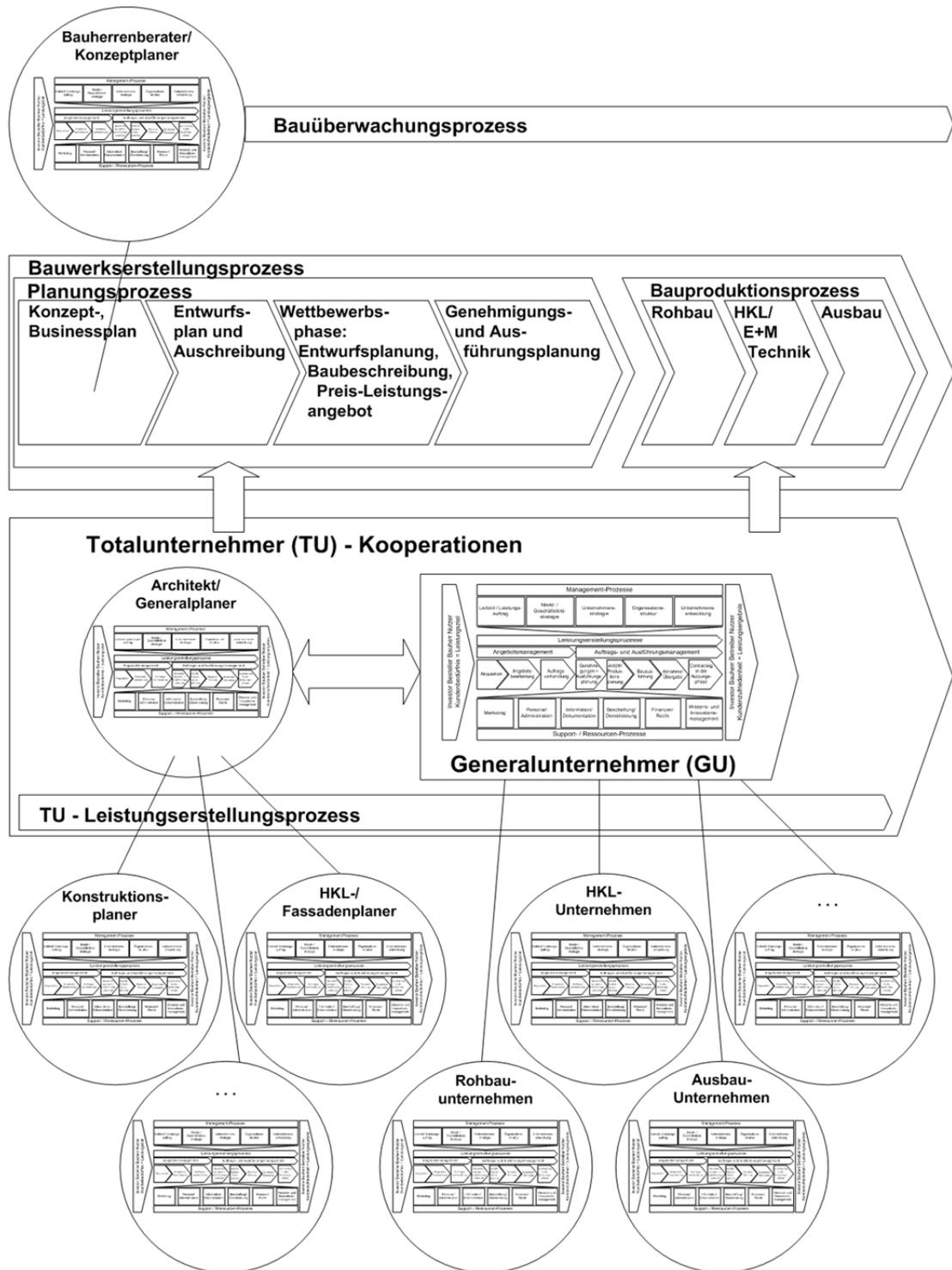


Bild 1-13: Totalleistungsträgerabwicklung – Interaktion der Leistungsanbieterprozesse mit den Bauwerksprozess

Bei der **Totalleistungsvergabe** (Bild 1-13) werden die wertschöpfenden Leistungen durch Totalunternehmer bzw. deren Kooperationspartner und Subunternehmer und deren Leistungserstellungsprozessen unter Verantwortung des Totalunternehmers erbracht. Der Totalunternehmer übernimmt nach der Konzept- und Entwurfsplanung sowie nach seiner Beauftragung die Gesamtprozessverantwortung für den Bauwerksprozess mit allen wertschöpfenden Leistungen, koordinierenden und steuernden Aufgaben.

Der **Bauproduktionsprozess** dient zur Materialisierung der Planung in das Leistungsergebnis und wird wie folgt gegliedert (Bild 1-14):

- Hauptprozesse
- Modulprozesse
- Elementarprozesse
- Tätigkeiten

Die **Hauptprozesse** des Bauproduktionsprozesses beinhalten die Abwicklung der Baugrube, des Rohbaus, die HKL- und E+M-Montage, sowie des inneren und äusseren Ausbaus des Bauwerks und lassen sich weitgehend nach Werkgruppen gliedern.

Die **Modulprozesse** eines Hauptprozesses beinhalten z.B. die bei der Fertigung des Rohbaus aus einer Stahlbetonkonstruktion zu erstellenden Fundamente, Wände, Stützen und Decken etc.

Die **Elementarprozesse** gliedern die Modulprozesse (Bauteilherstellung) z.B. in die Prozesse Schalen, Bewehren und Betonieren.

Die **Tätigkeiten** untergliedern die Elementarprozesse. Die Tätigkeiten Herstellen bzw. Zusammenbau der Schalung, sowie Ein- und Ausschalen gehören zum Elementarprozess Schalen. Die Tätigkeiten Bewehrung biegen, transportieren und verlegen gehören zum Elementarprozess Bewehren.

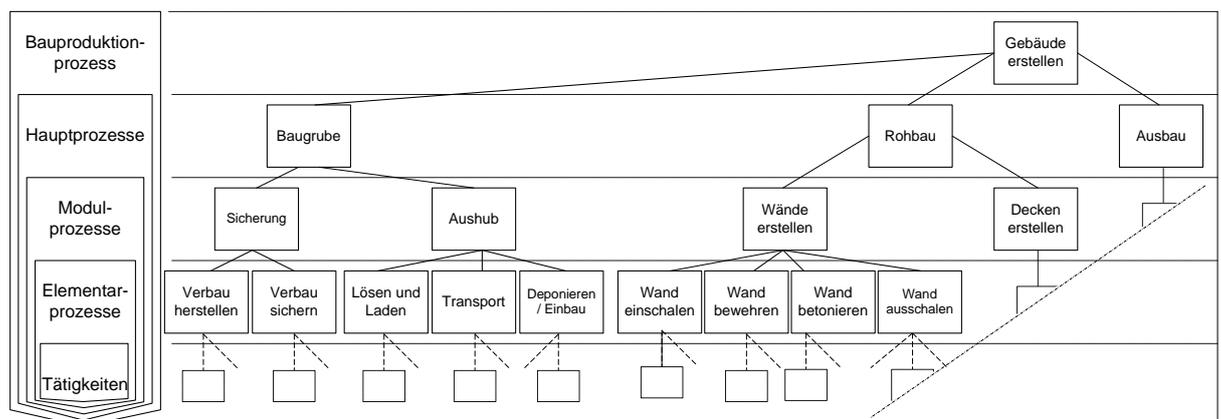


Bild 1-14: Prozesshierarchie in der Bauproduktion

Literaturverzeichnis

- [1] Girmscheid, G.: Wettbewerbsvorteile nutzen – Konzepte für Bauunternehmen. h.e.p. Bauverlag, Bern 2003
- [2] Girmscheid, G.: Projektabwicklung in der Bauwirtschaft – Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. Springer-Verlag, Berlin, 2003
- [3] Girmscheid, G.: Angebots- und Ausführungsmanagement – Leitfaden für Bauunternehmen. Springer-Verlag, Berlin, 2004
- [4] Porter, M.: Wettbewerbsvorteile. Campus Verlag, Frankfurt, 2000
- [5] DIN EN ISO 9000:2000, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, Beuth-Verlag, Berlin, 2000
- [6] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein: SIA Merkblatt 2007, Qualität im Bauwesen – Aufbau und Anwendung von Managementsystemen, Zürich, 2001

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 2: Planung des Bauproduktionsprozesses eines Bauwerks

Inhaltsverzeichnis

2	Planung des Bauproduktionsprozesses eines Bauwerks.....	29
2.1	Bauunternehmensorganisation.....	29
2.2	Bauproduktionstheorie.....	35
2.3	Planung des Bauproduktionsprozesses	38
	Literaturverzeichnis	43

2 Planung des Bauproduktionsprozesses eines Bauwerks

2.1 Bauunternehmensorganisation

Das Ziel der Vorlesung „Bauverfahren des Tief- und Hochbaus“ ist es, den Bauproduktionsprozess der Bauverfahren als wichtige Basiskompetenz eines Bauingenieurs darzulegen. Da der Bauproduktionsprozess in Bauunternehmen geplant und durchgeführt wird, sollen einige grundsätzliche Kenntnisse über die organisatorische Aufbaustruktur von Bauunternehmen dargelegt werden. Da Bauunternehmen eine Schlüsselrolle in der Ausführung für die Herstellung des Tragwerks einnehmen, wollen wir die möglichen Organisationsformen von Bauunternehmen anhand eines Baukonzerns und eines kleinen Bauunternehmens exemplarisch betrachten. Vertiefte Darlegungen erfolgen in der Vorlesung Bauunternehmensmanagement.

Die Prozesse in einem Bauunternehmen spiegeln die Aufgaben der Organisation wieder. In Bild 2-1 sind die Leistungserstellungs-, Support- und Managementprozesse eines Bauunternehmens dargestellt. Um die Aufgaben der Prozesse organisatorisch Stellen d.h. Aufgabenträgern zuzuordnen, dient die Aufbau- und Ablauforganisation des Unternehmens.

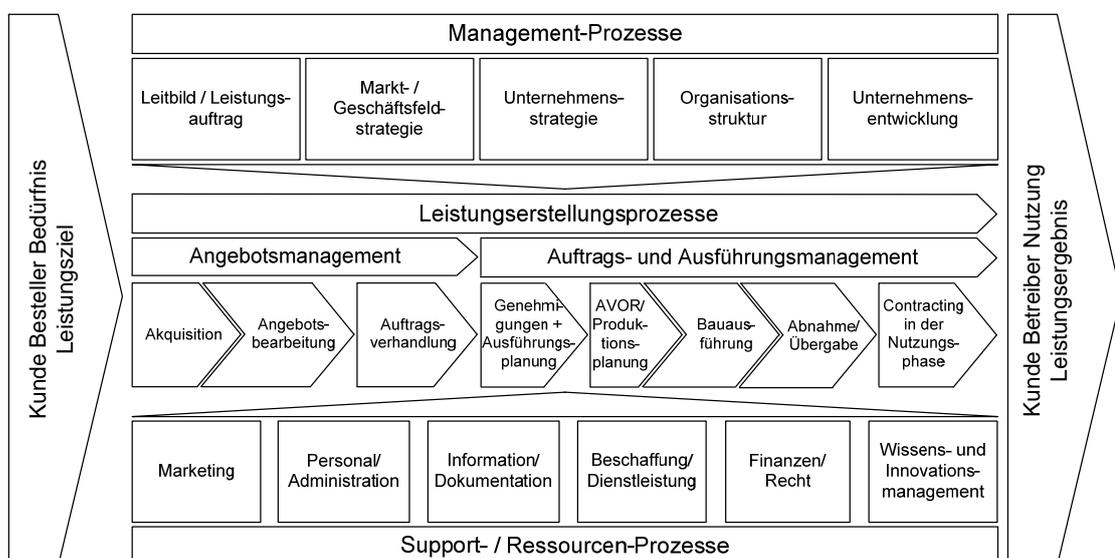


Bild 2-1: Prozesse in Bauunternehmen

Baukonzerne sind meist in Profitcenter und regionale Niederlassungen sowie nach Fachniederlassungen gegliedert. Die **Niederlassungen** werden verantwortlich von einem Niederlassungsleiter geführt. Dieser fertigt monatlich einen Ergebnisbericht an, der dem zuständigen Vorstand vorgelegt werden muss. Der Niederlassungsleiter ist voll verantwortlich für die Beschaffung und Abwicklung der Aufträge sowie für die Ertragslage der Niederlassung. Der Handlungsspielraum ist meist in folgenden vertraglichen Verpflichtungen gegenüber Dritten eingeschränkt:

- Aufträge, deren Wert einen Betrag n überschreiten, bedürfen der Zustimmung des Vorstands.
- Grossinvestitionen bedürfen der Zustimmung des Vorstands.
- Grosskonzerne haben meist firmeninterne Richtlinien hinsichtlich Zuständigkeit und Verantwortlichkeit.

Die Organisationsstrukturen eines Baukonzerns (Bild 2-2) und einer typischen Niederlassung (Bild 2-3) sind in folgenden Bildern dargestellt:

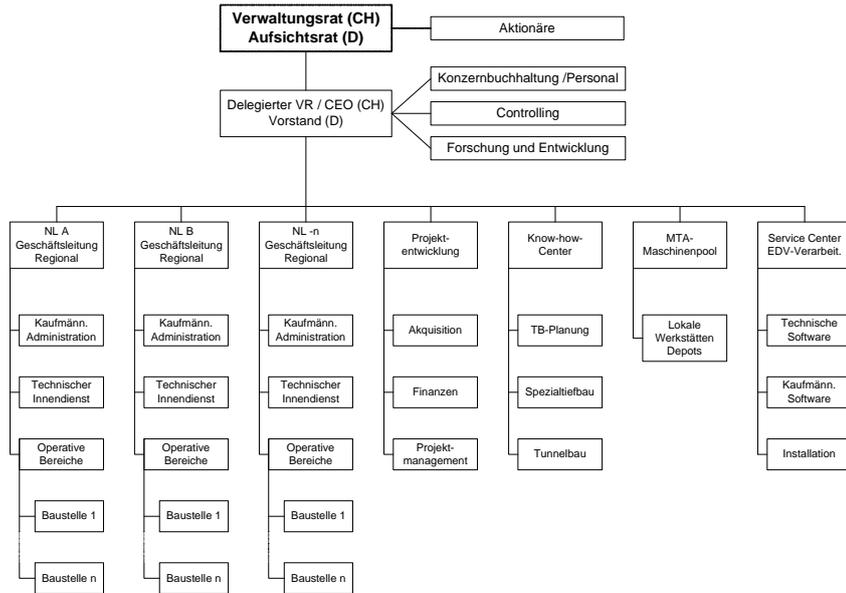


Bild 2-2: Organisationsstruktur eines Baukonzerns

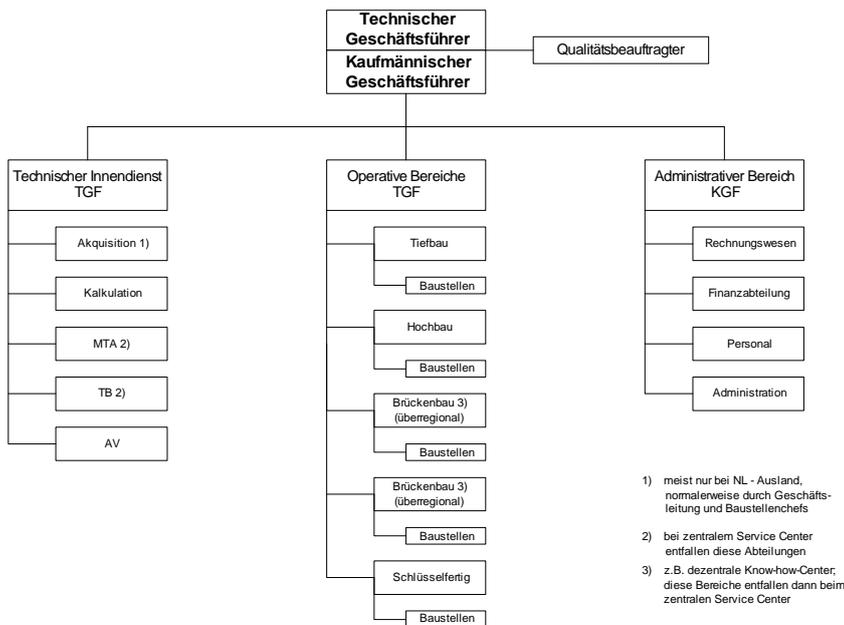


Bild 2-3: Organisationsstruktur einer Niederlassung

Die Bearbeitung einer Offerte bzw. die Abwicklung einer Baustelle erfolgt mittels **Taskforce-Organisation** (Bild 2-4). Aus der Linienorganisation einer Niederlassung sowie aus anderen Bereichen des Konzerns, z.B. aus Profitzentren, Stabsstellen und anderen Niederlassungen, wird temporär eine **interdisziplinäre Angebotsgruppe** oder operative Gruppe für die Ausführung einer konkreten Bauaufgabe zusammengestellt.

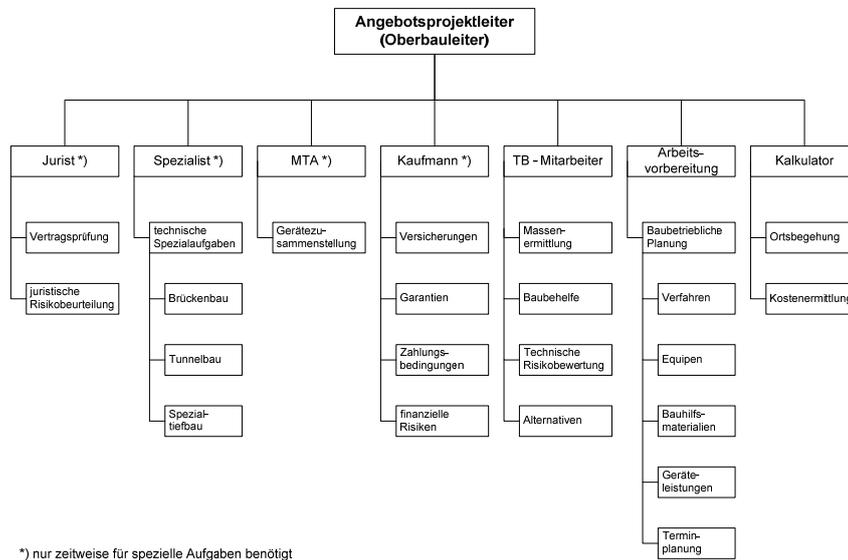


Bild 2-4: Taskforce-Organisation einer Angebotsgruppe

Diese Gruppe setzt sich aus den Spezialisten der Bauführung, Technik (Gestaltung, Konstruktion, Herstellungsplanung), Betriebswirtschaft, des Vertragswesens etc. zusammen. Sie sollte möglichst von dem zukünftigen Baustellenchef bzw. Bereichsleiter, der später das Ergebnis verantworten muss, verantwortlich geleitet werden. Nicht alle Mitglieder einer solchen Taskforce werden permanent benötigt.

Die **temporäre Organisationsform einer Baustelle** wird analog gebildet (Bild 2-5, Bild 2-6 und Bild 2-7). Während der Abwicklung der Baustelle verändert sich die Baustellenorganisation gemäss den Erfordernissen der jeweiligen Abwicklungsphase der Baustelle, z.B.:

- Baustelleneinrichtungsphase
- Baugrubenerstellung und Gründung
- Hochbaukonstruktion (Stahlbetonbau etc.)
- Innenausbau
- Fassade, Aussengestaltung etc.

Diese Phasen sind jedoch ineinander verschachtelt und voneinander abhängig. Es ist absolut wichtig für den wirtschaftlichen Erfolg, die Personalstärke wie auch die Vorkhaltung der Geräte auf der Baustelle auf die notwendige Minimalzeit zu beschränken und die Organisation dynamisch nach Anforderungen in den einzelnen Bauphasen anzupassen.

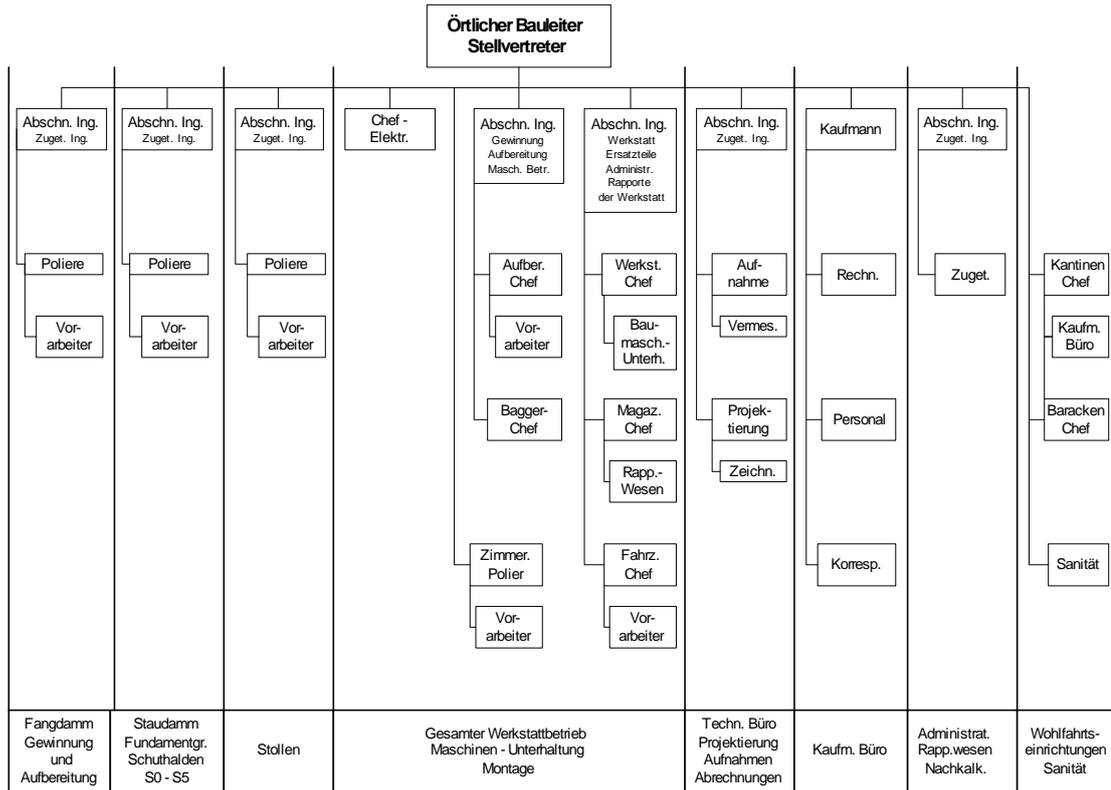


Bild 2-5: Organisation einer Grossbaustelle mit ausschliesslicher Eigenleistung

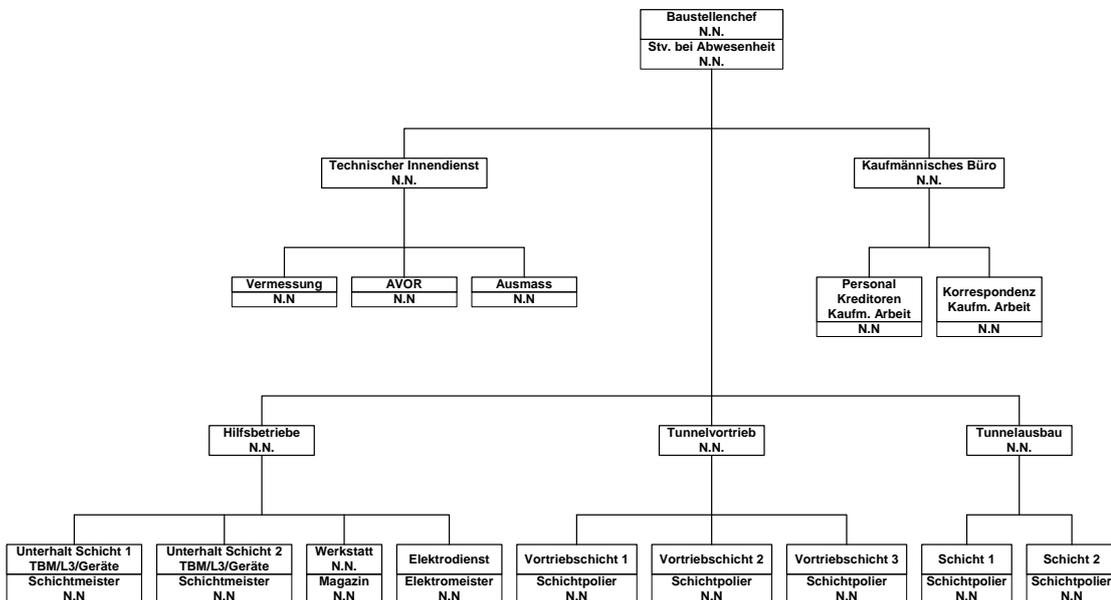


Bild 2-6: Schlanke Baustellenorganisation (Tunnelbau) mit Eigen- und Fremdleistung

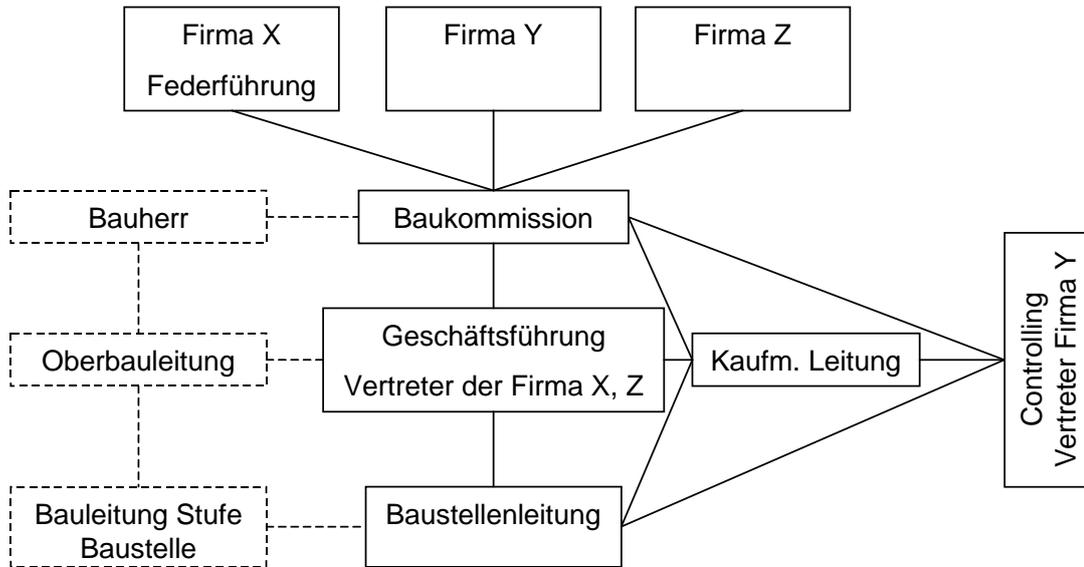


Bild 2-7: ARGE-Organisation nach SIA

Die **Organisation eines kleinen Bauunternehmens** (Bild 2-8) ist dadurch gekennzeichnet, dass nicht jede Aufgabe von einem Spezialisten oder einem Team durchgeführt werden kann. Die verschiedenen Aufgaben, die immer ausgeführt werden müssen, werden in Personalunion erledigt. Das bedeutet, dass der Bauführer meist fast alle Aufgaben abdecken muss. Die Aufgaben in einem kleinen Unternehmen sind jedoch hinsichtlich der technisch-ingenieurmässigen sowie organisatorischen Anforderungen meist nicht sehr komplex. In den meisten Fällen führen rezeptive Methoden zu Lösungen. Die unternehmerische Kreativität ist jedoch in allen Unternehmensformen Voraussetzung für den Erfolg.

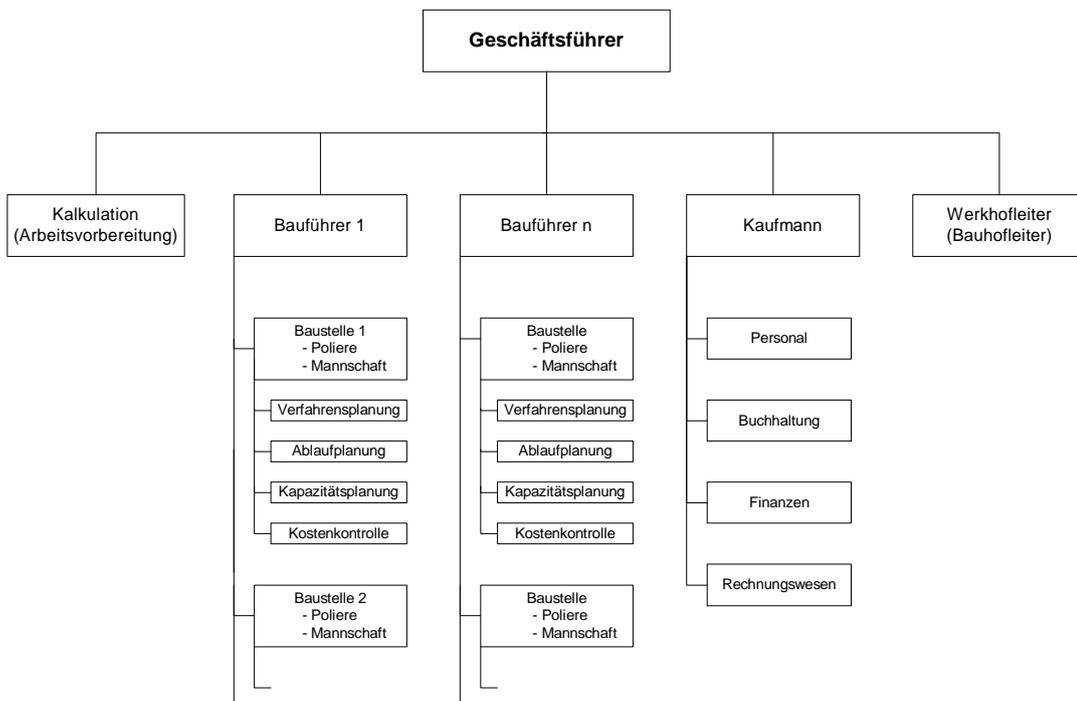


Bild 2-8: Organisationsform eines kleinen Bauunternehmens

Die Organisationsform und der Umfang eines Unternehmens werden durch die Realisierung der am Markt in den einzelnen Projekten erzielbaren und durchsetzbaren allgemeinen Geschäftskosten bestimmt. Organisationsformen unterliegen keinem Naturgesetz, sondern sind von der Kreativität der Unternehmensführung abhängig; sie werden von der Konkurrenz, der Branche und Art der angebotenen Leistungen und der daraus resultierenden Aufgaben mitbestimmt. Die in den Organigrammen aufgezeigten Funktionen zur Aufgabenerfüllung müssen abgedeckt werden; die Frage ist jedoch, wie sie am kostengünstigsten und effizientesten gelöst werden können. Viele Aufgaben, die nicht konkurrenzunterscheidend sind, können extern oft viel kostengünstiger (geringere allgemeine Geschäftskosten) und flexibler durch Nachunternehmer abgewickelt werden.

2.2 Bauproduktionstheorie

Der Theoriebegriff ist nach dem Handlexikon der Wissenschaftstheorie [2] in folgende Stufen gegliedert:

- Theorie allgemein im Gegensatz zur Praxis, zum Handeln, zur Tat:
 - Theorie ist alles, was Wissen ist.
 - Praxis ist alles, was in der Realität umgesetzt wird.
- Theorie als wissenschaftliches Lehrgebäude:
 - Theorie der Produktion
 - Theorie der Bildung
 - Theorie der Wissenschaften

Theorie im Sinn des kritischen Rationalismus:

- Theorie ist eine Bezeichnung für ein System von wissenschaftlichen Aussagen über eine hypothetische gesetzmässige Ordnung als auch über einzelne empirische Befunde eines bestimmten (realen oder postulierten / idealen) Erkenntnis- bzw. Objektbereichs (Der Brockhaus, Bd. 5, S. 266, 1994) [3].

Die Theorie ist das Netz, das wir auswerfen, um "die Welt" einzufangen (Popper, K.: Logik der Forschung, 10. Aufl., 1994) [4].

Theorien werden durch empirische allgemeine Sätze gebildet, die falsifizierbar sind. Diese allgemeinen Sätze sollten die Form von Axiomen bzw. Hypothesen haben:

- a.) widerspruchsfrei sein, damit nicht jede(r) beliebige Aussage / Satz ableitbar ist
- b.) unabhängig voneinander sein
- c.) Sie müssen hinreichend und notwendig sein für das Gebiet und keine überflüssigen Bestandteile besitzen.
- d.) Sie müssen falsifizierbar sein.

Die allgemeinsten Sätze sind Axiome (Geometrie / Arithmetik).

Allgemeine empirische Sätze haben immer den Charakter von Hypothesen. Diese können falsifiziert werden. Sie bilden ein hypothetisch-deduktives System.

Eine Theorie ist falsifizierbar, wenn die Klasse ihrer Falsifikationsmöglichkeiten nicht leer ist.

Eine Theorie ist "bewährt", so lange sie die Falsifizierbarkeitsprüfung besteht. Diese Bewährungsprobe der Theorie besteht darin, dass sie mit den anerkannten Basissätzen vereinbar und überdies eine Teilklasse dieser Basissätze aus der Theorie und den anderen anerkannten Basissätzen ableitbar ist (Popper) [4].

Popper definiert eine Theorie wie folgt [4]:

Eine Theorie T heisst „d-dimensional in Bezug auf das Anwendungsfeld F“ [dann und nur dann], wenn zwischen ihr und dem Feld F die folgende Beziehung besteht: Es gibt eine Zahl d von der Art, dass

- a.) die Theorie mit keinem d -Tupel (n -geordnete Elemente) des Feldes in Widerspruch steht,
- b.) jedes vorgegebene d -Tupel gemeinsam mit der Theorie alle übrigen relativ atomaren Sätze des Feldes eindeutig in zwei unendliche Teilklassen A und B zerlegt, die folgende Eigenschaften haben:
 - (α) Jeder Satz der Klasse A bildet, mit dem vorgegebenen d -Tupel konjugiert, ein „falsifizierendes $d + 1$ -Tupel“, d.h. eine Falsifikationsmöglichkeit der Theorie. [Das heisst, dass das falsifizierende $d + 1$ -Tupel der Theorie widerspricht.]
 - (β) Die Klasse B ist ihrerseits Summe von (mindestens einer und höchstens) endlich vielen unendlichen Teilklassen $[B_i]$ von der Art, dass die Konjunktion von beliebig vielen Sätzen jeder einzelnen unter diesen Klassen $[B_i]$ zu dem vorgegebenen d -Tupel und zu der Theorie gleichzeitig widerspruchsfrei konjugiert werden kann.

Die Theorie bestimmt, welche allgemeinen Sätze (z.B. Hypothesen) "relativ atomar" sind, durch ihr Anwendungsfeld (kleinste widerspruchsfreie, unabhängige Aussage).

In der B & B sind diese Sätze entweder kausal oder phänomenologisch Hypothesen (intendierte Wirkung).

Axiome der Bauproduktionstheorie

Die Theorie bzw. theoretischen Ziele der Bauproduktion zur Erzielung des unternehmerischen Erfolgs setzen sich axiomatisch wie folgt zusammen:

1. Axiom: Wertschöpfung erfolgt in einem technologisch getriebenen Transformationsprozess unter Nutzung von Produktionsfaktoren vom Input von Ideen, Material etc. zum Output von Leistungen und Produkten.
2. Axiom: Wertschöpfung ist die Differenz zwischen Kundenwert und Kosten des Inputs und der Produktion.
3. Axiom: Produktion ist die Transformation des Inputs zum Output.
4. Axiom: Technologie ist das Mittel für die Transformation von Input zum Output und die Wertgenerierung.
5. Axiom: Das ökonomische Minimalprinzip ist leitend für definierten Output.
6. Axiom: Nicht wertschöpfende Aktivitäten und Verluste müssen minimalisiert werden.

Axiome der Bauproduktionsplanung

7. Axiom: Der Produktionsentscheidungsprozess ist zweidimensional.
 - Technologie:
baut auf vorhandenen Technologien und ihrer selektiven Anwendung auf
 - Minimum an Kosten:
ökonomisches Minimalprinzip, um das Produktionssystem aus den technisch möglichen Varianten zu identifizieren

- 8. Axiom: Produktionsprozesssteuerung muss als kybernetischer Regelkreis verstanden werden, bei dem ein Zielwert erreicht werden soll.
- 9. Axiom: Produktion wird durch die P + WBS (process and work break down structure) in einzelne Prozesse und Tätigkeiten gegliedert; darauf aufbauend werden mit den Mitteln des Operation Research der kritische Weg / kritische Ressourcen und mit dem ökonomischen Minimalprinzip die minimale Kosten bestimmt.

2.3 Planung des Bauproduktionsprozesses

Die Planung des Bauproduktionsprozess, auch AVOR (Arbeitsvorbereitung) genannt, ist Teil des Leistungserstellungsprozesses (vgl. Bild 2-1) und gliedert sich in (Bild 2-9):

- die Fertigungsplanung bzw. Bauverfahrenplanung
- die Bereitstellungsplanung
- die Arbeitsablaufplanung
- die Baustelleneinrichtungsplanung

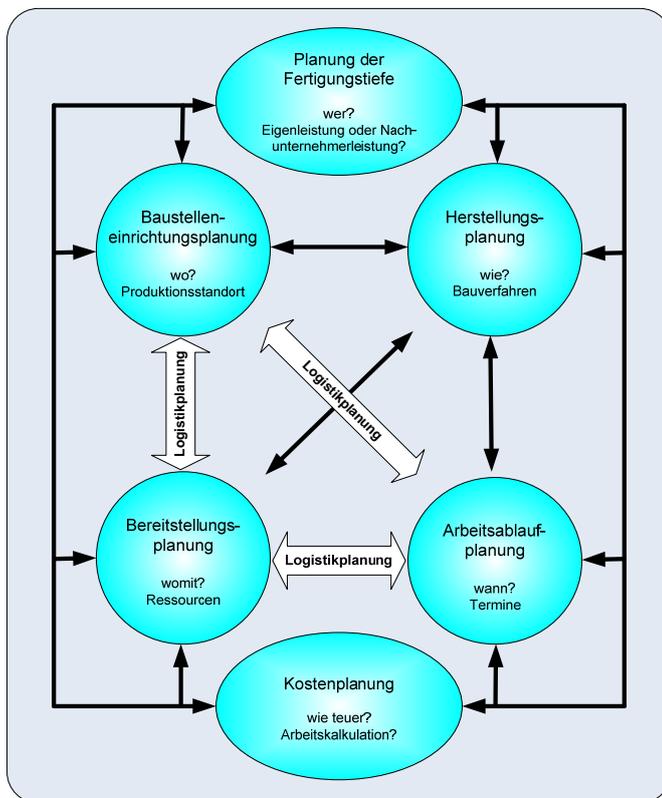


Bild 2-9: Planung des Bauproduktionsprozesses

Bei jedem Projekt stellen sich die grundsätzlichen Fragen nach dem **WWW**:

Was ist zu bauen?

Wo liegt das Bauobjekt?

Wie sind die Randbedingungen?

Betrachten wir ein konkretes Projekt bezüglich der grundsätzlichen Fragen des "was, wo, wie?"

Am Beispiel des Projekts Stauwehr Zürich-Höngg (Bild 2-10) soll aufgezeigt werden, welche Voraussetzungen bei der **baubetrieblichen Planung** und der **Abwicklung des Baustellenproduktionsprozesses** zu berücksichtigen sind.

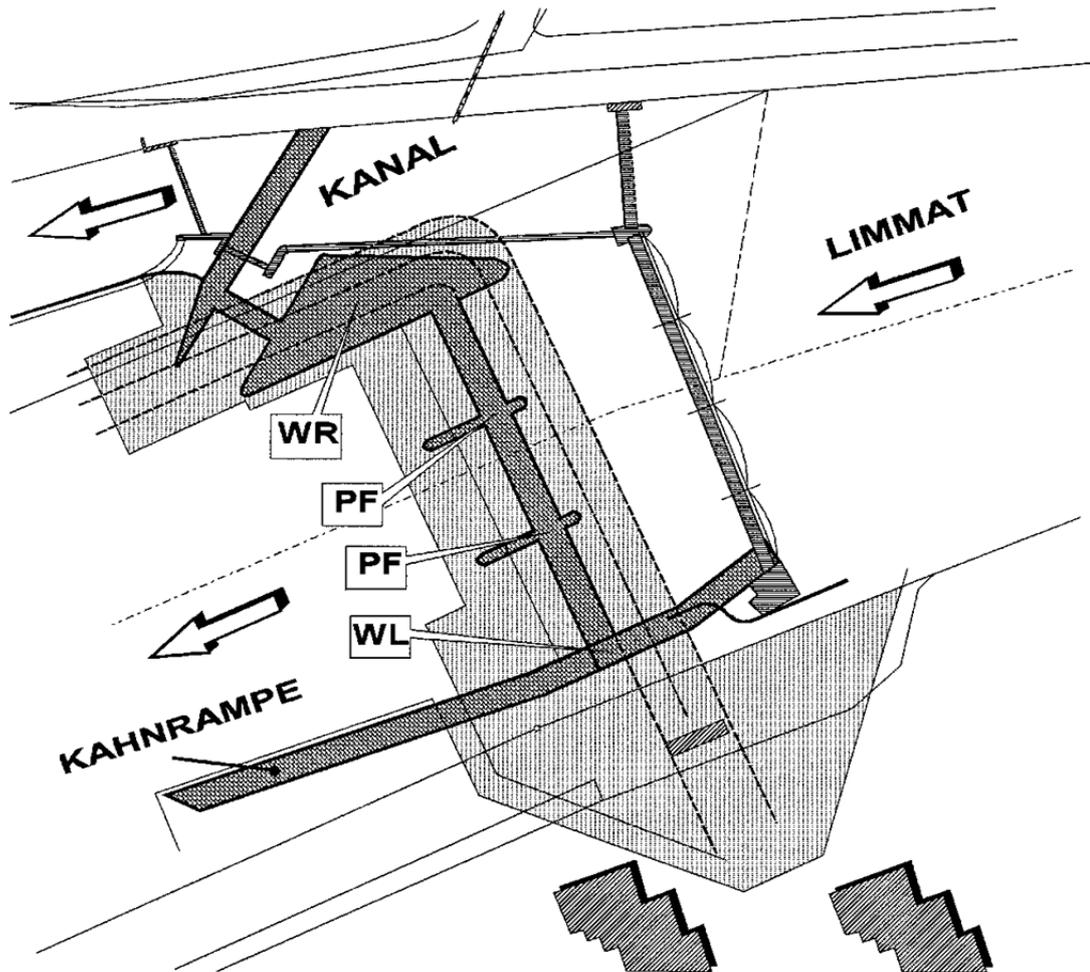


Bild 2-10: Objektübersicht Stauwehr Höngg (Situation)

Projektkurzbeschreibung:

In der Projektbeschreibung werden das Projekt und die einzuhaltenden Randbedingungen beschrieben.

Im Unterwasser eines bestehenden Stauwehrs im Limmatfluss **ist eine neue Wehranlage zu erstellen**. Sie dient zur Stauhaltung der Limmat, zur Erhöhung der Flusswasser-Infiltration des Grundwasserfassungsgebiets Hardhof und zur Energieerzeugung im Kraftwerk "Am Giessen".

Die neue Wehranlage umfasst

- das **linke Wehrwiderlager** mit Kahnrampe und Steuerungshaus mit den Apparaturen für die Wehrbedienung;
- **drei Wehröffnungen** à 19 m samt Tosbecken; **zwei Wehrpfeiler**, die auch als Auflager der Wehrbrücke dienen. In den Wehrfeldern sind automatisch gesteuerte, hydraulische Dachwehre (wie im Platzspitz unterhalb des Landesmuseums) eingebaut. Für Reparaturen und Revisionen sind Notverschlüsse vorgesehen;
- das **rechte Wehrwiderlager**, das als Stromteiler zwischen Limmat und Oberwasserkanal des Kraftwerks ausgebildet ist. Eingebaut sind ein separates **Sektorschütz**, das dazugehörige **Steuerhaus**, der Lagerraum für die Notverschlüsse des Wehrs und ein Fischpass. Eine Brücke über den Oberwasserkanal verbindet das rechte Wehrwiderlager mit dem rechten Ufer der Limmat.

- In das gesamte Bauwerk sind **Abwasserkanäle** des Tiefbauamts integriert.

Das Wehr Hönegg liegt **in einer Wohnzone der Stadt Zürich (WO)**.

Randbedingungen für die Objektherstellung (WIE)

Aus der Art des Bauobjekts und der Lage ergeben sich zahlreiche Randbedingungen, die zwingend beim Bau eingehalten werden müssen und bestimmte Bauabläufe diktiert. Davon seien hier einige angeführt.

a) Geologie:

Genauere Angaben der geologischen Formationen (Limmatschotter und Seebodenablagerungen) findet man im geologischen Querprofil (Bild 2-11). Sie sind für die Bestimmung von Arbeitsabläufen und von Leistungen in der Baudurchführung bestimmend.

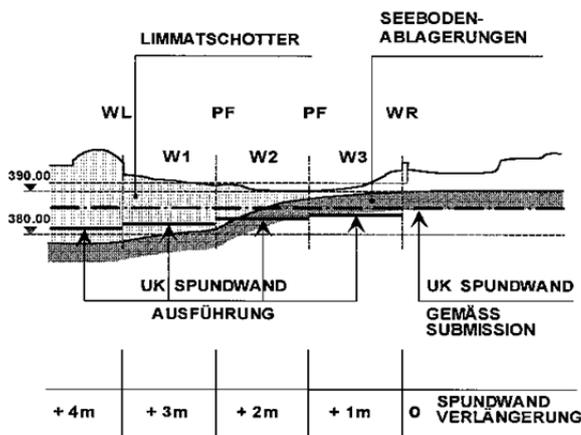


Bild 2-11: Übersicht Geologie (Querschnitt durch die Limmat im Wehrbereich)

b) Hydrologie

Die Gewährleistung einer Limmatabflussmenge von jederzeit $450 \text{ m}^3/\text{s}$ ist einzuhalten. Hinweise bezüglich der Grundwasserzirkulation oberhalb und unterhalb des alten Stauwehrs sowie der Limmatwässer, die je nach Wasserstand die Grundwassersituation beeinflussen können, sind im **Auszug aus den Technischen Bestimmungen (Stauwehr Hönegg) Kapitel Geologie** ersichtlich.

c) Absteckung/Vermessung

Die vermessungstechnischen **Grundlagen, Fixpunkte, Hauptachsen** nach Länge und Höhe werden **bauseits** (d.h. durch den Bauherrn) zur Verfügung gestellt. Für ihre Sicherung und Beibehaltung sowie für die laufende Detailabsteckung ist das Unternehmen verantwortlich.

d) Installationen

Die Installationsplätze stehen im Eigentum des Bauherrn und werden unentgeltlich zur Verfügung gestellt. Es ist gestattet, den Oberwasserkanal zum KW Giessen oder den Häuserkanal mit Bühnen und Behelfsbrücken oder Ähnlichem zu überdecken.

e) Zufahrten/Wege

Zufahrten, Wege, Plätze, Dienstbrücken innerhalb des Baugeländes sind vom Unternehmer anzulegen (auch für allfällige Drittunternehmer). Unterhalt, Reinigung und Schneeräumung sind sicherzustellen. Der Sauberhaltung öffentlicher Strassen im Zusammenhang mit Aushubtransporten ist besondere Beachtung zu schenken.

f) Grünbepflanzungen

Ohne Genehmigung durch die Bauleitung dürfen weder Bäume noch Sträucher entfernt werden.

g) Öffentliche Fussgängerverbindungen

Öffentliche Fussgängerverbindungen sind auf der linken Limmattseite jederzeit aufrechtzuerhalten.

h) Werkleitungen

Werkleitungen sind nach den Vorschriften und Anweisungen der Werke zu sichern oder umzulegen.

i) Wehrbrücken

Es ist ein absenkbares Lehrgerüst vorzusehen.

j) Elektrische Installationen

Die Stromabgabe erfolgt in genügender Menge mit 380/220 Volt Nennspannung ab Standort rechtem Wehrpfeiler des alten Wehrs. Die Elektroinstallationen haben den Vorschriften des SEV oder des EWZ zu genügen.

k) Gewässerschutz

Dem Gewässerschutz ist höchste Beachtung zu schenken (Grundwasserzone). Es gelten dazu alle einschlägigen Vorschriften. WCs sind an der Kanalisation anzuschliessen. Für die Lagerhaltung von Betriebsstoffen (Diesel/Schmieröle) sind Auffangwannen vorzusehen.

l) Lärmschutz

Dem Lärmschutz ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Sämtliche Installationen haben den eidgenössischen Normen für Arbeitsmaschinen zu genügen.

m) Rammarbeiten

Rammarbeiten sind grundsätzlich nur mit Lärmschutz zulässig. Die Rammzeit ist auf 8.00 - 12.00 und 14.00 - 17.00 Uhr beschränkt. Für die Lärmfragen bei Rammarbeiten ist die Lärmbekämpfungsstelle der Stadtpolizei zuständig.

In dieser kurzen Übersicht wurden einige Randbedingungen, die Vertragsbestandteile für dieses Projekt sind, herausgegriffen.

Unter Berücksichtigung dieser Projektrandbedingungen werden dann die Produktionseinrichtungen und Bauverfahrenstechniken für die

- Einrichtung der Baustelle vor Ort (Installationen, Logistik),
- Baugrubenherstellungsmethoden,
- Erdbau- und Aushubmethoden,
- Herstellungsprozesse bei Beton, Stahlbeton und Spannbetontragwerken,

- Kostenermittlung und Kalkulation von Projektkosten geplant.

Zusammenfassung

Diese Vorgaben müssen systematisch bei der **Planung des Bauproduktionsprozesses** mit Auswahl der Bauverfahren und der Logistik berücksichtigt werden. Ferner müssen die Auswirkungen der Projektrandbedingungen auf die Arbeitsabläufe und Zeitfenster bei der Termin- und Ablaufplanung bzw. bei der Zyklusabstimmung berücksichtigt werden. Viele dieser Vorgaben sind kostenbeeinflussend und müssen daher in der Kalkulation berücksichtigt werden.

Eine der wichtigsten Aufgaben bei der Entwicklung und Planung des Bauproduktionsprozesses ist die Auswahl der technisch richtigen und wirtschaftlich optimalen Bauverfahren.

Der Bauproduktionsprozess erfordert die integrative Betrachtung der zeitlich vor- und nachgelagerten sowie parallel laufenden Aktivitäten und der dort angewendeten Bauverfahren.

Literaturverzeichnis

- [1] Girmscheid, G.: Organisationsprozess – Organisation von Bauunternehmen. In: Bauunternehmensmanagement, Skript zur Vorlesung „Bauunternehmensmanagement“ des Instituts für Bauplanung und Baubetrieb an der ETH Zürich, Zürich 2005
- [2] Handlexikon der Wissenschaftstheorie, S. 368. Ehrenwirt, München, 1989
- [3] Der Brockhaus, Bd. 5, S. 266. F.A. Brockhaus AG, Mannheim, 1994
- [4] Popper, K.: Logik der Forschung. 10. Aufl., Mohr Siebeck, Tübingen, 1994

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 3: Bauproduktionsprozess – Auswahlmethodik für Bauverfahren und Bauprozesse

Inhaltsverzeichnis

3	Bauproduktionsprozess – Auswahlmethodik für Bauverfahren und Bauprozesse	51
3.1	Einleitung	51
3.2	Bauverfahrenvergleichsmethode	51
3.3	Zielsetzung bei Verfahrensvergleichen.....	55
3.4	Methodik des Bauverfahrensvergleichs.....	59
3.4.1	Verfahrenseignung	62
3.4.2	Qualitativer Verfahrensvergleich.....	63
3.4.3	Quantitativer Verfahrensvergleich – methodisches Vorgehen.....	65
3.4.4	Wirtschaftlicher Bauverfahrensvergleich – Kostenanalyse	66
3.5	Nutzwertanalyse	79
3.5.1	Konzept	79
3.5.2	Verfahrensvergleich mit Hilfe der beiden vorgestellten Nutzwertanalysen am Praxisbeispiel „Pumpstation Alexandria“	81
3.5.3	Einfache Nutzwertanalyse (E-NWA) – Beispiel Pumpstation Alexandria	84
3.5.4	Differenzierte risikoorientierte Nutzwertanalyse (D-NWA) – Beispiel Pumpstation Alexandria.....	86
3.5.5	Umgang mit möglichen Streubreiten	95
3.5.6	Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA)	95
3.6	Analytic Hierarchy Process (AHP) – Grundlagen	96
3.6.1	Definition des Entscheidungsproblems.....	97
3.6.2	Mathematische Formulierung der AHP-Methode.....	98
3.7	AHP-Beispiel – Pumpstation Alexandria.....	112
3.7.1	Definition des Entscheidungsproblems.....	112
3.7.2	Ermittlung der absoluten Gewichtung der Haupt- und Unterkriterien für das Entscheidungsproblem	113
3.7.3	Bewertung der alternativen Bauverfahren mittels Vergleichsfaktoren für das Entscheidungsproblem	119
3.7.4	Entscheidungsfindung	130
	Literatur.....	133

3 Bauproduktionsprozess – Auswahlmethodik für Bauverfahren und Bauprozesse

3.1 Einleitung

Die Entscheidung für das jeweilige Bauverfahren, Gerät oder Schalungssystem wird von einem Praktiker meist aufgrund seiner Erfahrungen intuitiv ohne besondere Vergleichsanalysen gefällt. Dies führt oft zu sehr guten Ergebnissen, da die Mannschaft und die Führung auf die Handhabung der Geräte, Bau- und Hilfsmaterialien und Abläufe eingespielt ist und fast keine Lernkurve benötigt. Erfahrungen machen jedoch oft betriebsblind und generieren Abwehrhaltungen gegenüber Neuem. Das heutige wirtschaftliche Umfeld in der Bauwirtschaft ist stark durch den Preiswettbewerb und das intendierte oder auch oft unbewusste Streben nach der Kostenführerschaft als „Überlebensstrategie“ geprägt. Dieses Streben nach Kostenführerschaft erfordert aufgrund des „Erfinder-Nachahmer-Prinzips“ einen permanenten und kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP), um zu den Gewinnern am Markt zu gehören. Werden neue Verfahren eingesetzt, sollte eine systematische Analyse der Stärken und Schwächen und der Wettbewerber durchgeführt sowie das zukünftige Marktpotential beachtet werden.

Stehen mehrere Bauverfahren, z. B. Schalungssysteme, zum Erreichen der Ergebnisse zur Verfügung, sollte eine einfache, aber systematische Überprüfung stattfinden, um eine projektspezifische, wirtschaftliche Lösung im Rahmen des ökonomischen Minimalprinzips zu erreichen [6].

3.2 Bauverfahrenvergleichsmethode

Die Realisierung einer Bauaufgabe findet in zwei unterschiedlichen Bearbeitungsstadien statt:

- Planungsprozess/Planungsphase – Gestaltung des Bauwerks
- Bauproduktionsprozess/Ausführungsphase – Herstellung des Bauwerks

Der Planungsprozess beinhaltet den Entwurf und die technische Planung, um die Idee des Bauherrn realisierbar zu machen, und berücksichtigt dessen Vorstellungen hinsichtlich Funktionserfüllung und Ästhetik sowie die örtlichen und räumlichen Gegebenheiten.

Der Bauproduktionsprozess (Herstellungsprozess) dient der Realisierung (Materialisierung) der Planung unter Einsatz baubetrieblicher Mittel mit dem Ziel, die gewünschte Qualität in der vorgegebenen Zeit, mit einem Minimum an Kosten zu erreichen. Zu dieser Aufgabe gehören die Produktionsplanung und die Ausführung des Herstellungsprozesses.

Der Planungs- und der Bauproduktionsprozess sind je nach Bauwerk in unterschiedlichem Mass voneinander abhängig. So steht im Hochbau im Allgemeinen die Gestaltung im Vordergrund, während im Tiefbau oder Brückenbau die Bauwerksgestalt in starkem Mass durch die Möglichkeit der Herstellung beeinflusst wird. Da im Bauwesen im Allgemeinen keine Serien- oder Massenproduktion, sondern eine Einzelfertigung stattfindet, hat die auftragsabhängige, objektgebundene Produktionsplanung der

Baudurchführung für die Wirtschaftlichkeit der Ausführung eine ausschlaggebende Bedeutung. Sie legt fest,

- wie das Objekt ausgeführt werden soll,
- welche Produktionsmittel hierbei einzusetzen sind,
- in welcher Arbeitsfolge der Bauablauf durchgeführt werden soll.

Die Produktionsplanung der Baudurchführung, also des Bauproduktionsprozesses, geschieht durch die Bauverfahrenplanung, Bereitstellungsplanung, Arbeitsablaufplanung und den Baustelleneinrichtungsplan (Bild 3-1). Diese vier Planungsaufgaben können nicht losgelöst voneinander ausgeführt werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen. So setzt die Planung einer Baustelleneinrichtung die Kenntnis der anzuwendenden Fertigungs- bzw. Bauverfahren voraus, da diese für die maschinelle Ausstattung der Baustelle ebenso wie für den zu erwartenden Personaleinsatz massgebend sind. Von der Ausstattung der Baustelle hängt dann aber wieder die Ablaufplanung ab [7].

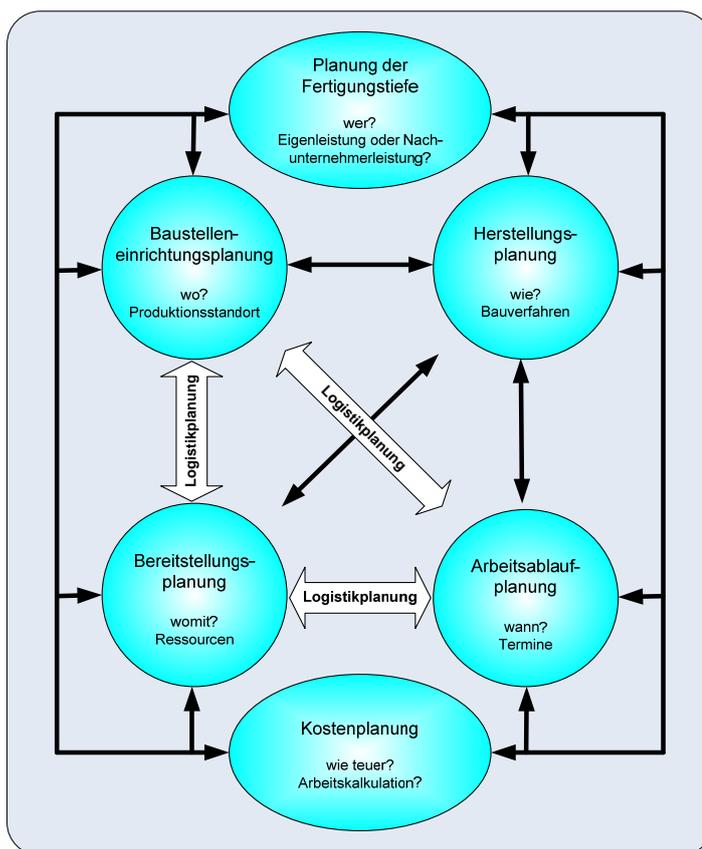


Bild 3-1: Planung des Ausführungsprozesses

Somit steht die Bauverfahrenstechnik an zentraler Stelle bei der Planung des Bauproduktions- bzw. Herstellungsprozesses.

Im Bauwesen wird der Bauproduktionsprozess durch das Bauverfahren, im Bezug auf den Einsatz und die Kombination von Produktionsfaktoren (Menschen, Maschinen,

Geräte, Werkzeuge, Vorrichtungen), zur Be- und Verarbeitung von Baustoffen festgelegt. Im Rahmen des Bauproduktionsprozesses wird der Input durch einen Transformationsprozess in einen Output umgewandelt. Dabei entsteht der Wert, für den der Kunde einen vereinbarten Preis zahlt. Um die Bauaufgabe zu verwirklichen, ist eine Reihe von Teilaufgaben zu erfüllen, die wiederum in einzelne Prozesse und Einzelvorgänge (Elementarprozesse) gegliedert sind.

Baufaufgabe	Bauteilaufgaben		Elementarprozesse	Tätigkeiten
	Bauproduktionsprozess	Hauptprozesse			Modulprozesse
Bau einer Brücke	Baustellen-einrichtung	Baustellen-logistik	Kräne aufbauen	Vorbereiten
		Unterkünfte	Baustrassen bauen	Transportieren
	
		...	Container aufbauen	...
	Unterbau	Gründung	Baugrubenumschliessung	Lösen
		Widerlager	Aushub	Laden
		Pfeiler	...	Transportieren
		Lager	Rückfüllung	...
		Entwässerung	...	Zwischenlagern
		...	Schalen	...
		...	Bewehren	Wiedereinbauen
	Überbau	Hohlkasten	Betonieren	...
		Entwässerung	...	Rüstung aufbauen
		Fahrbahn-belag	Drainage einbauen	...
		E + M	...	Schalung vorbereiten
...		
...		...	Bewehrung verlegen	
			...	
			Ausschalen	

Bild 3-2: Gliederung einer Bauaufgabe in Elementarprozesse

Die Bauaufgabe „Herstellung einer Brücke“ wird als Bauproduktionsprozess betrachtet (Bild 3-2). Dieser Bauproduktionsprozess lässt sich in folgende Hauptprozesse gliedern:

Errichtung einer temporären Baustelleneinrichtung als Vor-Ort-Produktionseinrichtung

Herstellung des permanenten Unter- und Überbaus der Brücke

Zur Erzielung der einzelnen Hauptprozesse sind weitere Modulprozesse erforderlich, so z. B. für die Herstellung der Gründung, der Widerlager und Pfeiler, sowie der erforderlichen Lager und der Entwässerung etc..

Die Zerlegung der Modulprozesse in Elementarprozesse (Bild 3-2) ist Voraussetzung, um geeignete Verfahrenskombinationen aufzustellen, sie miteinander zu vergleichen und das geeignetste Bauverfahren auszuwählen. Grundforderung in der Verfahrenstechnik ist es, unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren, mit möglichst einfachen und robusten Mitteln eine praxismgerechte Lösung zu finden. Hierzu muss festgestellt werden, welche Entscheidungsmöglichkeiten vorhanden sind, mit welchen Auswirkungen bei Auswahl einer dieser Möglichkeiten zu rechnen ist und wie man sich entscheiden soll, wenn bestimmte Kriterien gegeben sind. Hierzu können methodische Entscheidungsvorbereitungen (Operations Research) dienen.

Im Allgemeinen gibt es eine gewisse Bandbreite aus den verschiedenen Ausführungsbedingungen, innerhalb derer ein Bauverfahren geeignet erscheint und optimal ist (Bild 3-3). Diese Bandbreite kann unterschiedlich gross sein, je nachdem ob ein Bauverfahren nur innerhalb recht eng begrenzter äusserer Bedingungen sein Eignungsoptimum besitzt oder ob es weitgehend unempfindlich ist, d.h. auch bei ungünstigeren Bedingungen als erwartet immer noch anwendbar bleibt. So kann das Bauverfahren B die absolut kostengünstigste Lösung darstellen, aber bereits bei geringen Abweichungen der Einflussfaktoren von den angenommenen Werten zu erheblichen Verteuerungen führen, während das Bauverfahren A zwar teurer als das Bauverfahren B, aber bei weitem nicht so anfällig gegen Abweichungen von den Ausgangsbedingungen ist (Bild 3-3). Diese Bedingungen werden bei der Bauverfahrensplanung oft unzureichend berücksichtigt oder verkannt und führen dann zu Fehlentscheidungen.

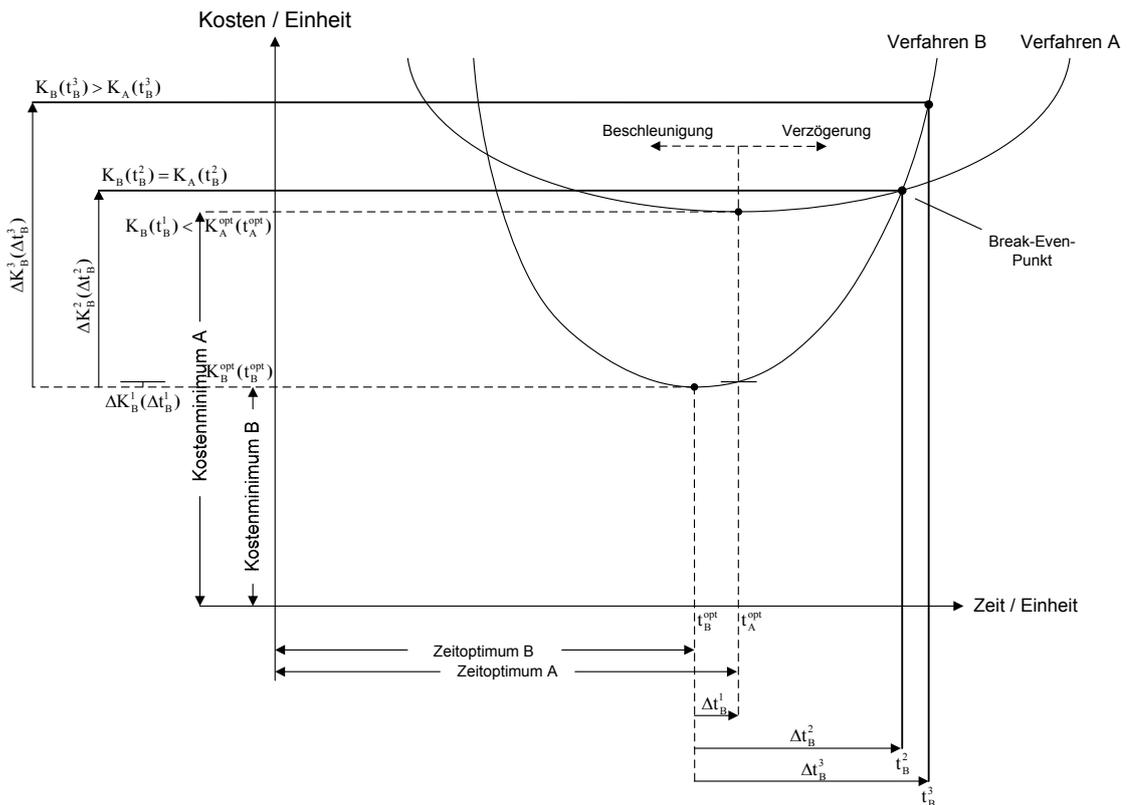


Bild 3-3: Empfindlichkeit von Bauverfahren in Bezug auf Zeit und Kosten

3.3 Zielsetzung bei Verfahrensvergleichen

Der Bauverfahrensvergleich ist ein entscheidungstheoretischer Ansatz. Mittels Bauverfahrensvergleich soll unter Beachtung der projekt- und umweltspezifischen Determinanten das technisch und wirtschaftlich effektivste Bauverfahren unter Integration der interaktiven Prozessabhängigkeiten ausgewählt werden.

Das methodische Vorgehen beim Bauverfahrensvergleich erfordert folgende kybernetische Überlegungen und Schritte (Bild 3-4):

- Zielbestimmungsprozess
- Bauverfahrensvergleichsprozess

Dabei gibt es gemäss Bild 3-5 zwei Varianten. Der Unterschied besteht darin, dass in der einfachsten Variante (Einzelzielsystem) nur ein Ziel mit Auswahlkriterium im Vordergrund steht (z. B. Kosten). Im Multi-Zielsystem werden mehrere Zielkriterien herangezogen, gewichtet und bewertet. Bei beiden Varianten ist es eine Grundbedingung, dass nur Bauverfahren verglichen werden, die alle projektspezifischen, technischen und physikalischen Anforderungen erfüllen.

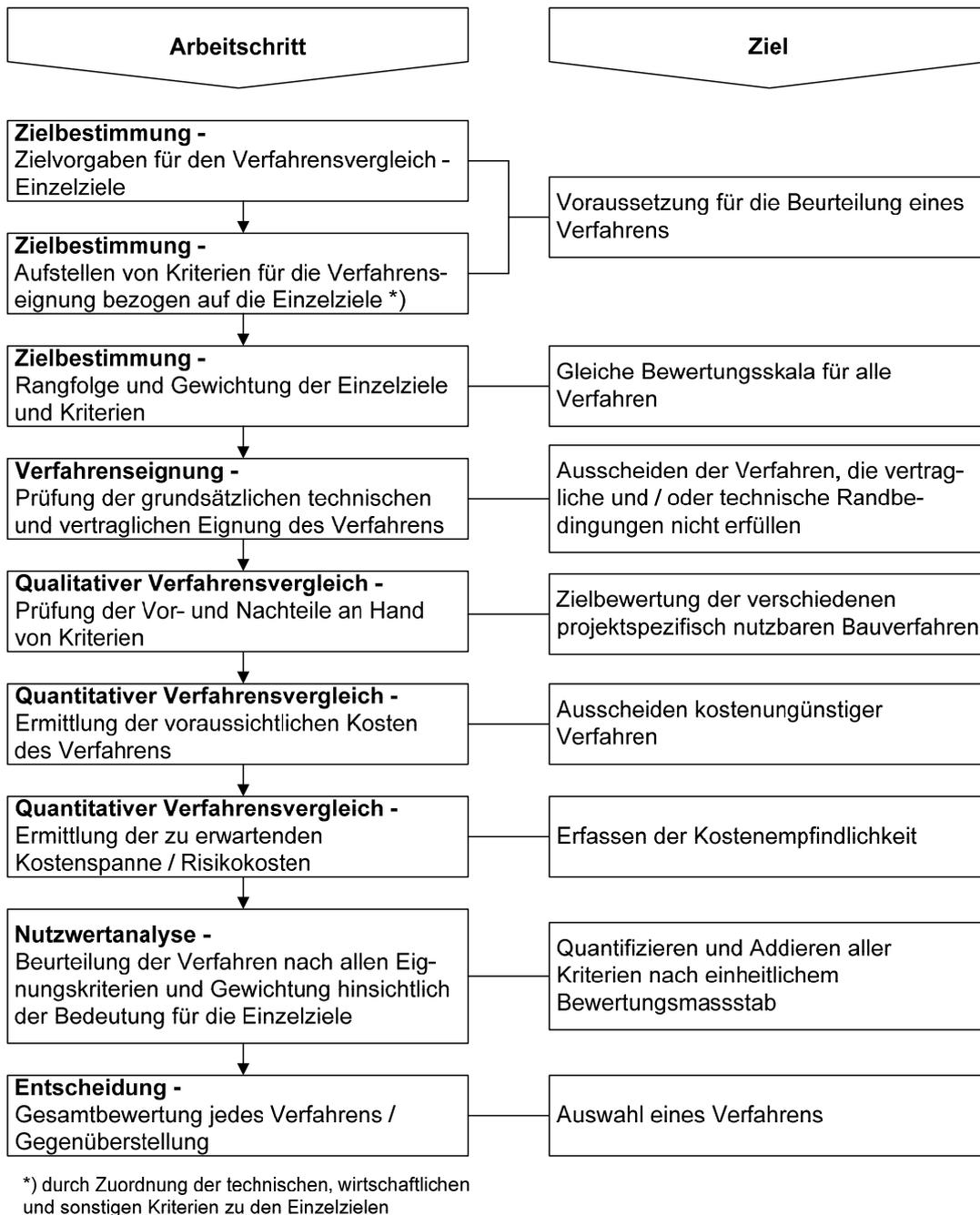


Bild 3-4: Methodisches Vorgehen beim Bauverfahrensvergleich

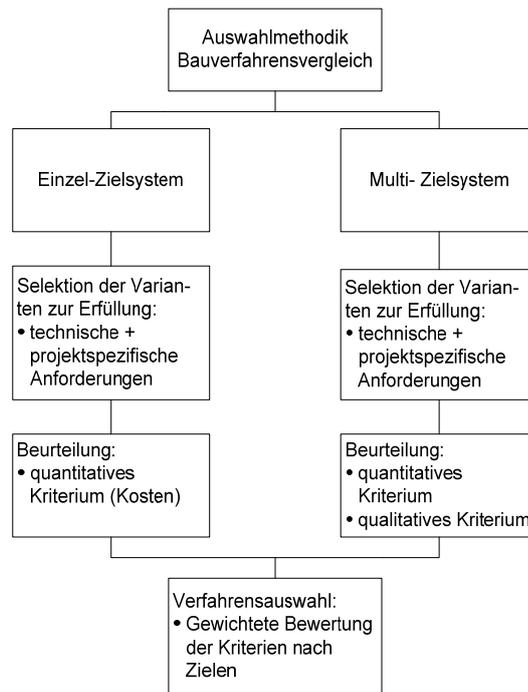


Bild 3-5: Ablauf und Varianten der Bauverfahrensauswahl

Der Zielbestimmungsprozess legt:

- das Hauptziel
- die Einzelziele
- Rangfolge der Ziele
- die Beurteilungskriterien
- Gewichtung der Kriterien

unter Beachtung der projekt- und umweltspezifischen Determinanten (Vertragsvorgaben, natürliche und künstliche Gegebenheiten, etc.) sowie der produktionsprozessbedingten Interaktionen fest. Ferner wird der Bewertungsmaßstab für die Ziele und Kriterien festgelegt (Bild 3-6).

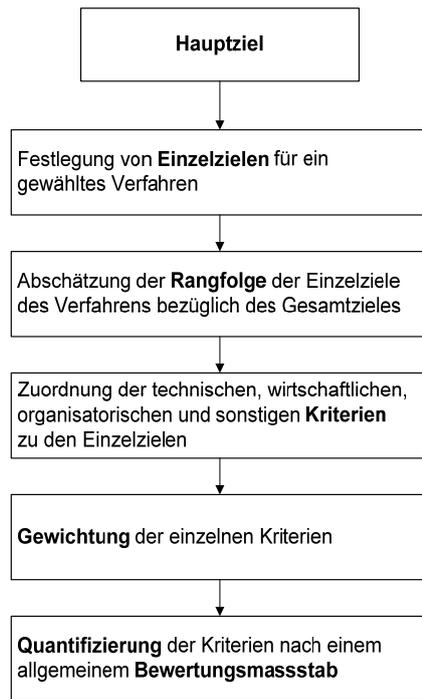


Bild 3-6: Zielbestimmungsprozess - Schritte des qualitativen Verfahrensvergleichs

3.4 Methodik des Bauverfahrensvergleichs

Die Ablaufsystematik eines Bauverfahrensvergleichs für eine Bauproduktion ist in Bild 3-7 dargestellt. Beim Bauverfahrensvergleich zur Erzielung des wirtschaftlichsten Bauproduktionsprozesses wird als Hauptziel das

Ökonomisches Kostenminimalprinzip

angewendet. Denn für ein bestimmtes definiertes Bauprojekt soll nun das wirtschaftlichste Bauproduktionsverfahren bzw. der wirtschaftlichste Bauproduktionsprozess gefunden werden. Danach beginnt man mögliche Bauverfahren für die Bauaufgabe systematisch oder mittels Kreativverfahren, wie Brainstorming, zusammenzustellen. Danach kann man die Bauprozesse in Teilprozesse untergliedern und in unterschiedliche produktionstechnische / verfahrenstechnische Varianten untergliedern (Tabelle 1). Da aber umfangreiche Bedingungen und Anforderungen bezüglich

- Bauaufgabe
- Gesetzen
- Vertrag
- Umwelt
- Unfallschutz

bestehen, muss ein Bauverfahrensvergleich (Bild 3-8) gegliedert werden in die Schritte:

- Verfahrenseignung
- Qualitativer Verfahrensvergleich
- Quantitativer Verfahrensvergleich
- Verfahrensauswahl

Tabelle 1: Bauverfahrenswahlmatrix zur Herstellung eines Rechtecksilos

Elementarprozesse	Möglichkeiten der Fertigung			
	1	2	3	4
Bewehren	örtlich bewehren	vorgefertigte Bewehrung einbauen	teils örtlich, teils vorgefertigt	_____
Schalen	Brett, Bohle, Kantholz (konventionell)	Grosstafelschalung auf Umhängearbeitsbühnen	Kletterschalung	Gleitschalung
Betonieren	mit Kübel	mit Betonpumpe	_____	_____
Materialbereitstellung	Turmdrehkran auf Gleis	Kletterkran am Siloschacht	Mobilkran	_____

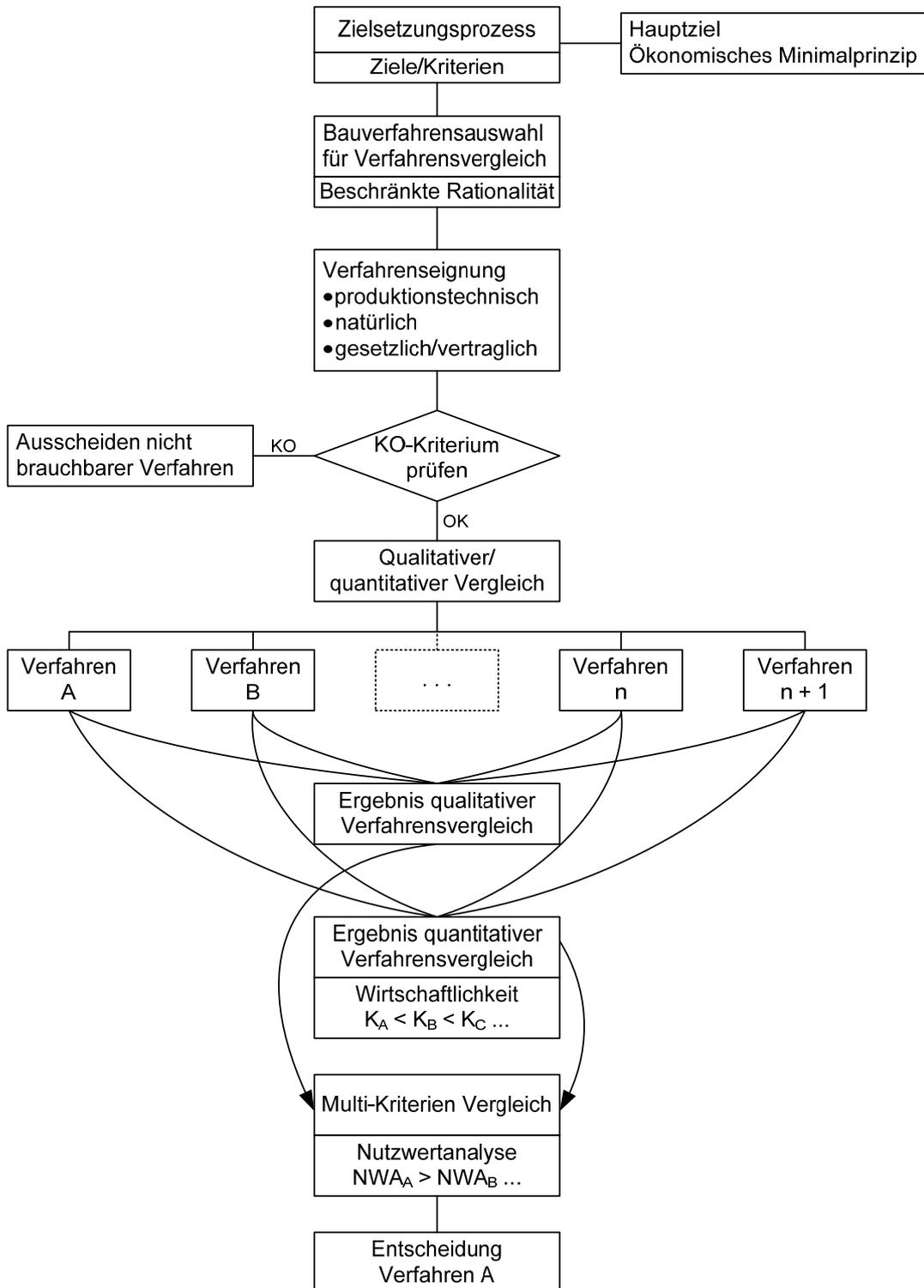


Bild 3-7: Ablaufsystematik des Bauverfahrensvergleichs

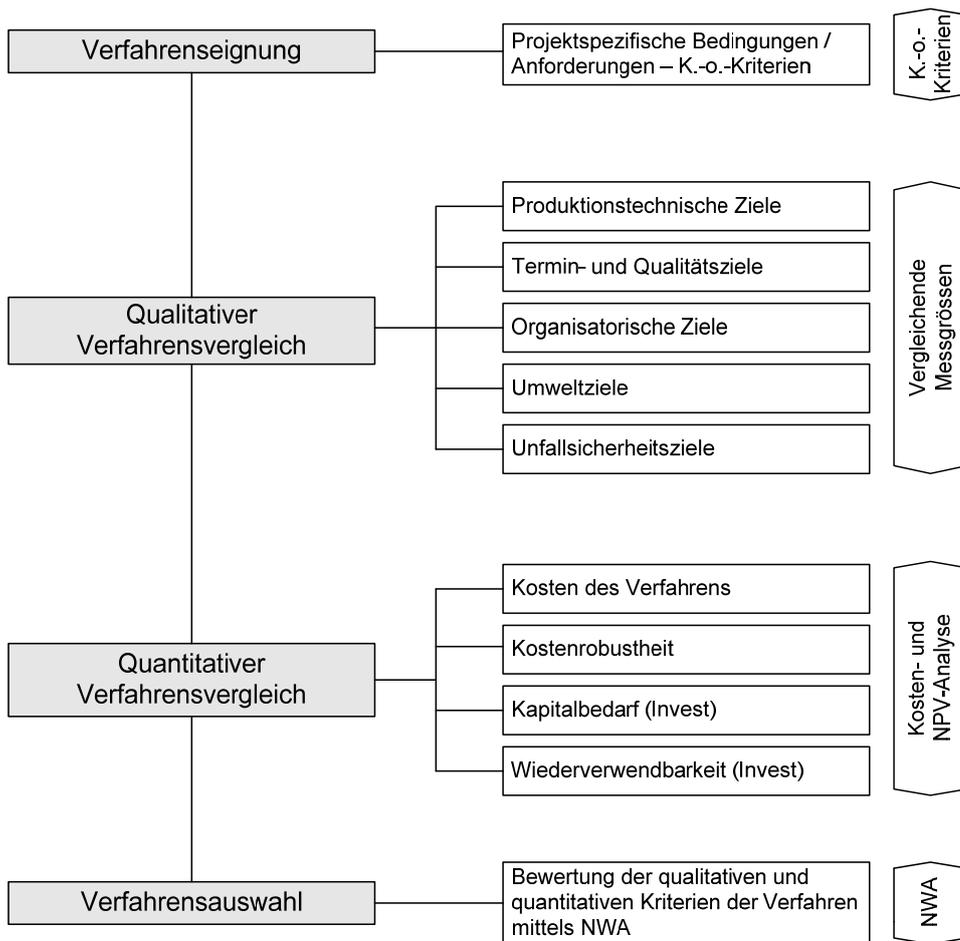


Bild 3-8: Übersicht Bauverfahrenvergleich

3.4.1 Verfahrenseignung

Dazu ist es erforderlich, zuerst die produktionstechnische Verfahrenseignung aufgrund projektspezifischer Bedingungen und Anforderungen zu prüfen hinsichtlich der folgenden K.O.-Kriterien (Bild 3-9):

- Technisch – lässt sich die Bauaufgabe mit dem Bauverfahren technisch lösen (richtiges Verfahren)?
- Natürlich – ist das Bauverfahren geeignet für die hydrologischen, topographischen und meteorologischen Bedingungen?
- Gesetzlich / vertraglich – erfüllt das Bauverfahren die Behördenauflagen, Bauherren- Umwelt- und Unfallschutzanforderungen?

Zudem kann man festlegen, mit welchen Zusatzmassnahmen die Bedingungen erfüllt werden können. Diese Vorentscheidung soll die prinzipiellen Bauverfahren bestimmen, die von ihrer Spezifität oder Allround-Einsatzbarkeit ohne wesentliche Zusatzmassnahmen geeignet sind.

Ziele	Kriterien	Art	K.-o.	ja	nein	Zusatzmassnahmen
Projekt-spezifische Anforderung	Produktionstechnische Eignung für:					
	<ul style="list-style-type: none"> • Bauaufgabe • Bauwerksgeometrie / Bauwerksart • Platzverhältnisse • Geologie / Hydrologie • Topographie • Meteorologie • Behördenauflagen • Umweltauflagen <ul style="list-style-type: none"> → gesetzliche Auflagen <ul style="list-style-type: none"> - Gewässerverschmutzung - Luftverschmutzung - Lärmbelästigung → Beeinträchtigung der Anlieger <ul style="list-style-type: none"> - Gefährdung der vorhandenen Bebauung - Gefährdung des Verkehrs • Bauherrenanforderungen • Unfallschutzanforderungen <ul style="list-style-type: none"> → Gefährdung der Arbeitskräfte → Gefährdung des Bauvorhabens → Gefährdung der Umwelt (Verkehr/Anlieger) → Umfang der Schutzmassnahmen 	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">tech-nisch</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">natür-lich</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">gesetzlich / vertraglich</div> </div>				
	Gesamtbewertung					

Bild 3-9: Bauverfahrenseignung - Selektionsprozess

3.4.2 Qualitativer Verfahrensvergleich

Die extrahierten, möglichen Bauverfahren werden jetzt im Rahmen eines qualitativen und quantitativen Verfahrensvergleichs gegenübergestellt. Zuerst erfolgt eine qualitative Beurteilung (Bild 3-10). Die qualitative Beurteilung vertieft die Beurteilung der Verfahren im Bezug auf kostenwirksame und nicht direkt kostenwirksame Ziele und Kriterien. Dabei wird vertieft untersucht, welche produktionstechnische Anforderungen erfüllt werden müssen bzw. mit dem Bauverfahren erfüllt werden. Unter Beachtung der Termin- und Qualitätsanforderungen ergeben sich daraus die Anforderungen an die Organisation des Projekts in Bezug auf Quantität und Qualität des Personals. Ferner ergeben sich daraus auch die Ziele bzw. der Zielerreichungsgrad, der mit dem jeweiligen Bauverfahren verbunden ist.

Zu den qualitativen Beurteilungskriterien gehören des Weiteren die auch die Umwelt-, Unfallschutz- und sonstigen Ziele.

Qualitativer Verfahrensvergleich				
Ziele	Kriterien	Ja	Nein	Bemerkungen
Produktionstechnische Anforderungen/ Ziele	Bauprozess <ul style="list-style-type: none"> • Leistungsfähigkeit des Verfahrens • Anforderungen an die Transportlogistik • Prozesskettenabstimmung/Leistungsabstimmung • Störungsrobustheit gegenüber internen/externen Einwirkungen Raumbedarf <ul style="list-style-type: none"> • Örtlich geometrische Bedingungen • Ist der Platz zur Vorbereitung vorhanden? • Ist Platz für Zwischenlagerung vorhanden? • Sind alle Hilfsbetriebe unterzubringen? Verfahrensrobustheit/Prozessstabilität <ul style="list-style-type: none"> • Anlaufschwierigkeiten bei Neueinführung • Betriebs-/Störungsrobustheit (Geräteausfall etc.) • Witterungsanfälligkeit (Kälte, Hitze, Regen etc.) • Wartungsaufwand 			
Termin- und Qualitätsanforderungen/ Ziele	Terminanforderungen <ul style="list-style-type: none"> • Können die gesetzlichen Termine eingehalten werden? • Kann man Terminvorteile erzielen (Prämien, Vermeidung der schlechten Jahreszeit)? Qualitätsanforderungen <ul style="list-style-type: none"> • Bringt das Verfahren die geforderte Qualität (Oberflächen, Struktur, Masshaltigkeit etc.)? 			
Organisatorische Anforderungen/ Ziele	Personelle Anforderungen <ul style="list-style-type: none"> • Stehen die Arbeitskräfte im Betrieb zur Verfügung? • Sind qualifizierte Arbeitskräfte auf dem Arbeitsmarkt verfügbar? • Facharbeiter oder Hilfskräfte? AVOR und Baustellenüberwachung <ul style="list-style-type: none"> • Kann die AVOR das Verfahren vorbereiten oder planen? • Wie gross ist der Arbeitsanfall für die AVOR? Störanfälligkeit bei zeitlicher Verzögerung <ul style="list-style-type: none"> • Können die Arbeitskräfte auf einer anderen Baustelle eingesetzt werden? • Reichen die Servicegeräte (Kran, Mischanlage) für eine kontinuierliche Fertigung aus? • Wie gross ist die Abhängigkeit von der Infrastruktur (Verkehr, Wasser, Elektrizität, Entsorgung)? 			
Umweltanforderungen/ Ziele	Umfang der Umweltschutzmassnahmen			
Unfallschutzanforderungen/ Ziele	Umfang der Unfallschutzmassnahmen			
Sonstige Anforderungen/ Ziele	Image Marktbeeinflussung			

Bild 3-10: Ziel und Kriterienkatalog für einen qualitativen Verfahrensvergleich

3.4.3 Quantitativer Verfahrenvergleich – methodisches Vorgehen

Aufbauend auf den qualitativen Überlegungen lassen sich nun die Wirtschaftlichkeitsvergleiche (Bild 3-11) durchführen, die auf der Basis von Kostenvergleichen erfolgen. Dabei wird auch die Kostenrobustheit bei Störungen bzw. unter Einbezug von Risiken untersucht.

Bei Investitionen in Bauproduktionsverfahren sind zudem Überlegungen notwendig bezüglich des Kapitalbedarfs sowie der zukünftigen Auslastung, bzw. inwieweit die Investition in das zukünftige Entwicklungskonzept des Unternehmens passt.

Quantitativer Verfahrenvergleich					
Ziele	Kriterien	Betrag [€]	Ja	Nein	Bemerkungen
Wirtschaftlichkeit	Kosten des Verfahrens <ul style="list-style-type: none"> • Lernkosten • Abschreibung und Verzinsung • Mietkosten • Lohnkosten Kostenrobustheit <ul style="list-style-type: none"> • Ist das Verfahren das kostengünstigste? • Ist das Verfahren kostenrobust bei (zeitlichen) Störungen? • Ist das Verfahren kostenrobust, z.B. bei geotechnischer Variabilität und, wenn ja, in welchen Grenzen? Kapitalbedarf bei Investitionen <ul style="list-style-type: none"> • Ist Kapital für die Anschaffung der Geräte vorhanden? • Erhöhung des Umlaufkapitals Wiederverwendbarkeit bei Investitionen <ul style="list-style-type: none"> • Passt die Investition in die strategische Ausrichtung? • Kann das Gerät später eingesetzt werden? • Ist der Auslastungsgrad in der Zukunft wahrscheinlich? • Ist die Abschreibung in den vorgeschriebenen Nutzungsjahren zu erbringen? 				

Bild 3-11: Quantitativer Verfahrenvergleich

3.4.4 Wirtschaftlicher Bauverfahrenvergleich – Kostenanalyse

Nach Abklärung der projektspezifischen, technischen und organisatorischen Einsatztauglichkeit der Bauverfahren, ist es im nächsten Schritt erforderlich, die sich daraus ergebenden Kosten und deren Bandbreite zu ermitteln, um daraus das im Rahmen des Gesamtprozesses wirtschaftlichste Bauverfahren zu ermitteln.

In der Arbeitsvorbereitung sind Kostenvergleiche verschiedener, oftmals technisch gleichwertiger, Bauverfahren durchzuführen. Dabei sollte eine differenzierte Betrachtung der Haupttätigkeiten erfolgen, die einen direkten und aussagekräftigen Vergleich dieser Haupttätigkeiten liefert. Die für einen Kostenvergleich gewählte Methode sollte weiters eine detaillierte Darstellungsmöglichkeit der fixen und variablen Kostenanteile der Haupttätigkeiten bieten, um Tendenzen der spezifischen Kostenänderungen bei Verschiebung der Massen erkennen zu können. Somit ist es sinnvoll, die für einen kalkulatorischen Vergleich zu betrachtenden Kosten wie folgt zu gliedern:

- fixe Kosten
- variable Kosten

Fixe Kosten

Als fixe Kosten werden jene Kosten bezeichnet, die von der Produktionsmenge unabhängig sind. In den fixen Kosten werden folgende Kostenanteile erfasst:

- Pauschalmieten, Investitionskosten für Geräte
- Kosten für Montagen und Demontage (Lohnkosten und Verbrauchsmaterial)
- Kosten der Baustelleneinrichtung (Kran etc.)

Für jede Teiltätigkeit auf einer Baustelle, wie auch für jedes Bauverfahren, ergibt sich somit eine Summe (fixe Kosten) der jeweils anfallenden fixen Kostenanteile.

Variable Kosten

Als variable Kosten werden Kosten bezeichnet, die von der Produktionsmenge abhängig sind. Hierin werden folgende Kosten erfasst:

- Lohnkosten
- Materialkosten
- Produktionsgeräte und Bauhilfsmaterial

Die genannten Kosten werden in der Kostenrechnung den Lohnkosten bzw. den sonstigen Kosten zugeordnet. Die variablen Kosten können auf eine Teiltätigkeit der Erstellung einer Produktionseinheit (z. B. Geschoss eines Hochhauses) bzw. auf die Summe der Teiltätigkeiten bezogen werden.

3.4.4.1 Formen des Gesamtkostenverlaufs

Der Gesamtkostenverlauf kann in einem Produktionsmengen-Kosten-Diagramm dargestellt werden. Der Anteil der fixen Kosten an den Gesamtkosten wird durch eine horizontal verlaufende Linie abgebildet (Bild 3-12, Bild 3-13, Bild 3-14). Der Verlauf der variablen Kosten über die Produktionsmenge kann verschiedene Formen aufweisen:

- linearer Verlauf (Bild 3-12)
- degressiver Verlauf (Bild 3-13)
- progressiver Verlauf (Bild 3-14)

Linearer Verlauf

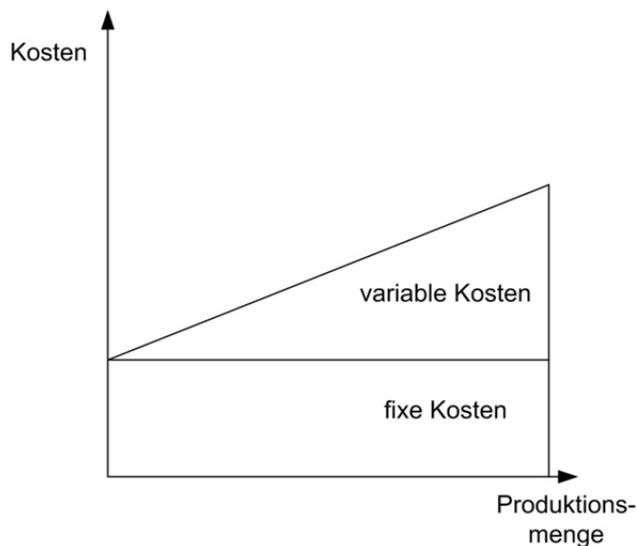


Bild 3-12: Gesamtkosten – linearer Verlauf des variablen Kostenanteils

Der variable Kostenanteil pro Produktionseinheit bleibt konstant.

Degressiver Verlauf

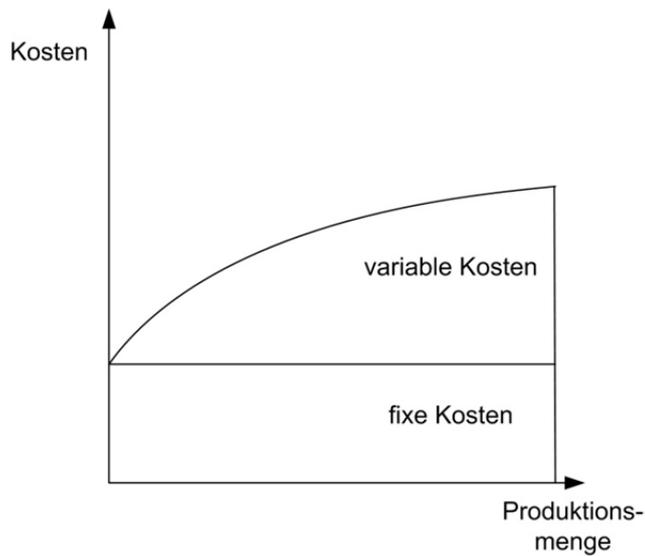


Bild 3-13: Gesamtkosten – degressiver Verlauf des variablen Kostenanteils

Der variable Kostenanteil pro Produktionseinheit verringert sich mit zunehmender Anzahl an Wiederholungen. Dieses Phänomen ist durch einen Lerneffekt bei oftmaliger Wiederholung gleich bleibender Arbeitstakte wie z. B. im Hochhausbau zu begründen.

Progressiver Verlauf

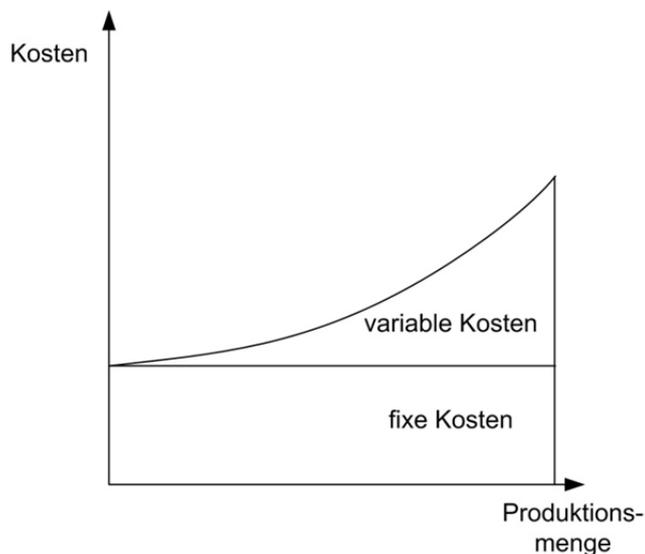


Bild 3-14: Gesamtkosten – progressiver Verlauf des variablen Kostenanteils

Der variable Kostenanteil pro Produktionseinheit nimmt stetig zu.

Das den folgenden Betrachtungen zu Grunde liegende Modell basiert auf einem gleichmässig linearen Anstieg des variablen Kostenanteils (Bild 3-12). Da das Verfahren hier zum Zwecke eines Kostenvergleichs angewendet wird, ist die Wahl eines linearen Verlaufs legitim, da vom Eintreten der in Bild 3-13 und Bild 3-14 gezeigten Effekte bei beiden zu vergleichenden Bauverfahren auszugehen ist. Somit spielt für Vergleichszwecke der Verlauf der Kurve, welche den variablen Kostenanteil darstellt, meist nur eine untergeordnete Rolle. Sollte jedoch der Fall eintreten, dass die zu vergleichenden Bauverfahren in der Entwicklung der variablen Kosten sehr stark voneinander abweichen, so sind die entsprechenden unterschiedlichen Verläufe bei der Ermittlung des „Break-Even-Points“ mathematisch zu berücksichtigen.

Gesamtkostenverlauf – Break-Even-Analyse

Der lineare Gesamtkostenverlauf einer Produktion durch ein Bauverfahren i kann mathematisch dargestellt werden:

$$y_i = k_i \cdot x + d_i$$

mit

$$k_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}$$

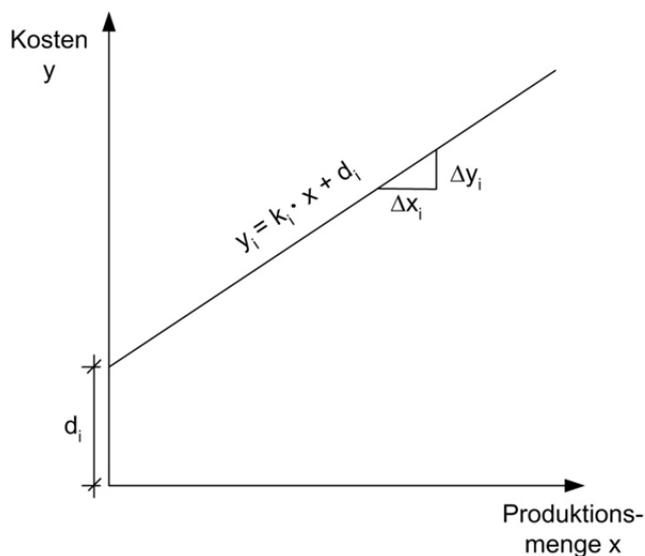


Bild 3-15: Gesamtkosten – mathematische Darstellung

Hierin stellt der Wert d_i den Betrag der fixen Kosten dar. Die Steigung k_i stellt den Betrag Δy_i der variablen Kosten pro Produktionseinheit Δx_i (pro Hub bzw. Geschoss) dar (Bild 3-15).

Für eine Break-Even-Analyse werden Gesamtkostenverläufe verschiedener Bauverfahren i gegenübergestellt. Die Break-Even-Analyse kann grafisch in einem Produktionsmengen-Kosten-Diagrammen dargestellt werden (Bild 3-16).

Für ein Bauverfahren 1 ergibt sich obige Gleichung zu:

$$y_1 = k_1 \cdot x + d_1 \quad \text{mit} \quad k_1 = \frac{\Delta y_1}{\Delta x_1}$$

Für ein Bauverfahren 2 ergibt sich obige Gleichung zu:

$$y_2 = k_2 \cdot x + d_2 \quad \text{mit} \quad k_2 = \frac{\Delta y_2}{\Delta x_2}$$

Der Schnittpunkt der sich ergebenden Geraden S (x_0, y_0) ergibt sich zu:

$$x_0 = \frac{d_2 - d_1}{k_1 - k_2} \quad (1)$$

und

$$y_0 = k_1 \cdot \frac{d_2 - d_1}{k_1 - k_2} + d_1 \quad (2)$$

„ x_0 “ stellt die Produktionsmenge dar, bei der sich die Gesamtkosten des einen Bauverfahrens zu Gunsten des anderen ändern, d.h. für Produktionsmengen kleiner der Menge „ x_0 “ führt das eine Bauverfahren zu geringeren Gesamtkosten, für Produktionsmengen grösser der Menge „ x_0 “ führt das andere zu geringeren Gesamtkosten.

Das Einsparpotential Δy bei einer bestimmten Produktionsmenge $n > x_0$ ergibt sich aus der Differenz der beiden Gleichungen zu:

$$\Delta y = y_1 - y_2 = d_1 - d_2 + (k_1 - k_2) \cdot n \quad (3)$$

Es gilt vier mögliche Lösungen obiger Gleichungen (1), (2) und (3) zu unterscheiden, die durch den gegenseitigen Verlauf der Graphen bestimmt sind.

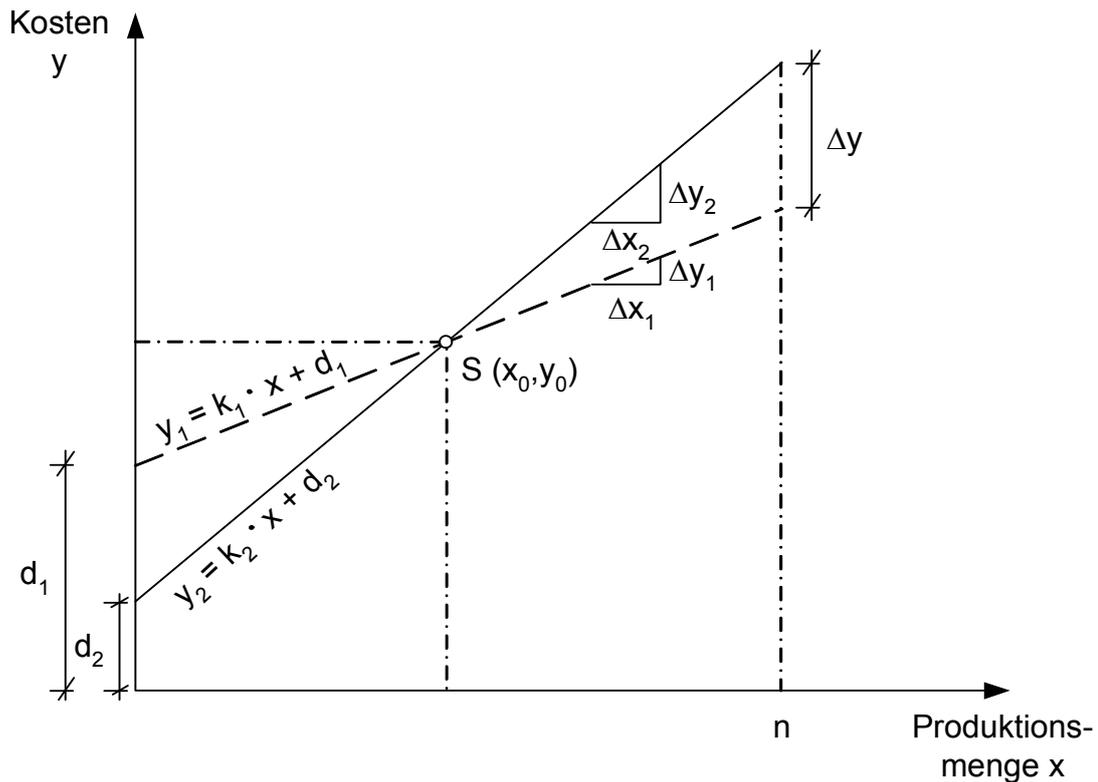


Bild 3-16: Grafische Darstellung der Break-Even-Analyse

Fall 1: $d_1 > d_2$; $k_1 < k_2$

Dieser Fall entspricht dem in Bild 3-16 gezeigten Beispiel. Die fixen Kosten für das Bauverfahren 1 sind höher als für das Bauverfahren 2 ($d_1 > d_2$). Die variablen Kosten pro Produktionseinheit sind für das Bauverfahren 1 geringer als für das Bauverfahren 2 ($k_1 < k_2$). Die beiden Graphen besitzen einen Schnittpunkt im betrachteten Mengenbereich ($0 < x_0 < n$). Ab einer Produktionsmenge grösser x_0 sind die Graphen divergent. Es ergibt sich bei einer Produktionsmenge $n > x_0$ eine Differenz (-) Δy (Einsparpotential des Bauverfahrens 1 gegenüber dem Bauverfahren 2 bei einer Produktionsmenge n).

Fall 2: $d_1 > d_2$; $k_1 > k_2$

In diesem Fall hat das Bauverfahren 1 höhere fixe Kosten ($d_1 > d_2$). Die variablen Kosten pro Produktionseinheit des Bauverfahrens 1 sind grösser (oder gleich) als für das Bauverfahren 2 ($k_1 \geq k_2$). Die Graphen sind für grösser werdende Produktionsmengen divergent. Die Lösung der Gleichung (1) und (3), vergleiche Bild 3-17, ergibt einen theoretischen Schnittpunkt der Graphen im Bereich $x_0 < 0$, d.h. das Bauverfahren 2 ist grundsätzlich bei jeder betrachteten Produktionsmenge „n“ günstiger als das Bauverfahren 1.

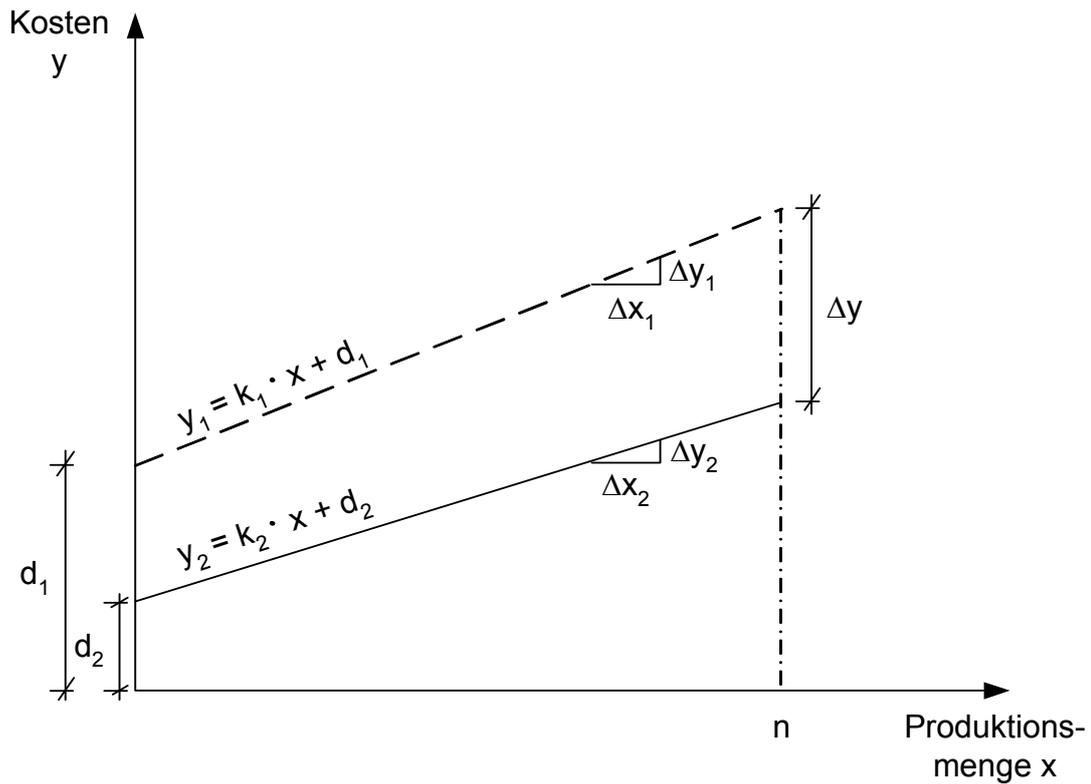


Bild 3-17: Verlauf der Graphen – Fall 2

Fall 3: $d_1 < d_2$; $k_1 < k_2$

Dieser Fall beinhaltet, dass das Bauverfahren 1 geringere fixe Kosten ($d_1 < d_2$) aufweist und die variablen Kosten pro Produktionseinheit des Bauverfahrens 1 geringer (oder gleich) sind als für das Bauverfahren 2 ($k_1 \leq k_2$). Die Lösung der Gleichung (1) und (3), vergleiche Bild 3-18, ergibt einen theoretischen Schnittpunkt der Graphen für $x_0 < 0$, d.h. das Bauverfahren 1 ist grundsätzlich bei jeder betrachteten Produktionsmenge „n“ günstiger als das Bauverfahren 2.

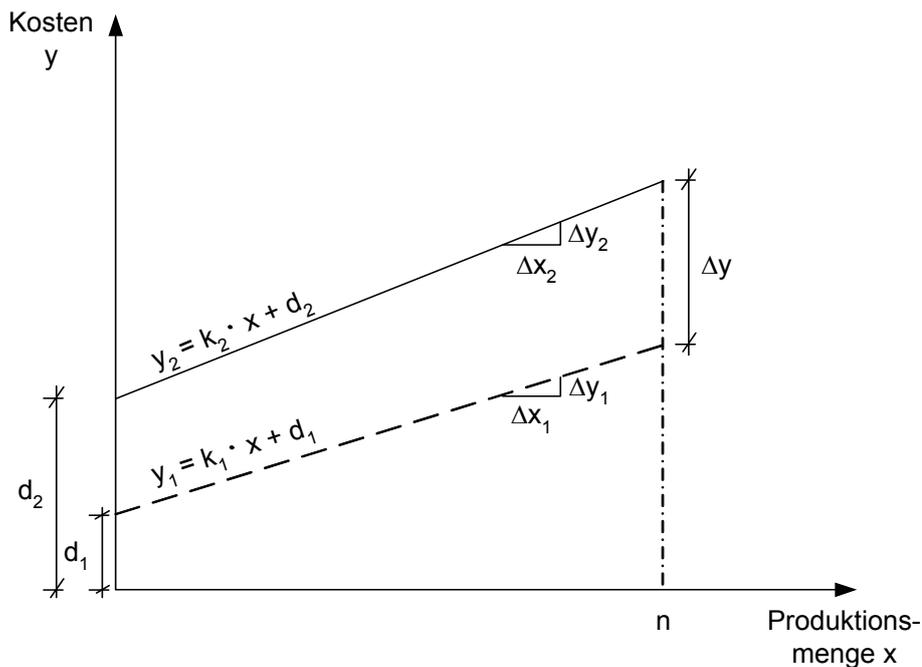


Bild 3-18: Verlauf der Graphen – Fall 3

Fall 4: $d_1 < d_2$; $k_1 > k_2$

Dieser Fall beinhaltet, dass das Bauverfahren 1 geringere fixe Kosten ($d_1 < d_2$) aufweist und die variablen Kosten pro Produktionseinheit des Bauverfahrens 1 jedoch höher sind als für das Bauverfahren 2 ($k_1 > k_2$). Die Lösung der Gleichung (1) und (3), vergleiche Bild 3-19, ergibt einen theoretischen Schnittpunkt der Graphen im betrachteten Mengenbereich ($0 < x_0 < n$) sowie eine Differenz (+) Δy bei einer Produktionsmenge $x_0 < n$ (Bauverfahren 2 ist bei einer Produktionsmenge n günstiger als Bauverfahren 1).

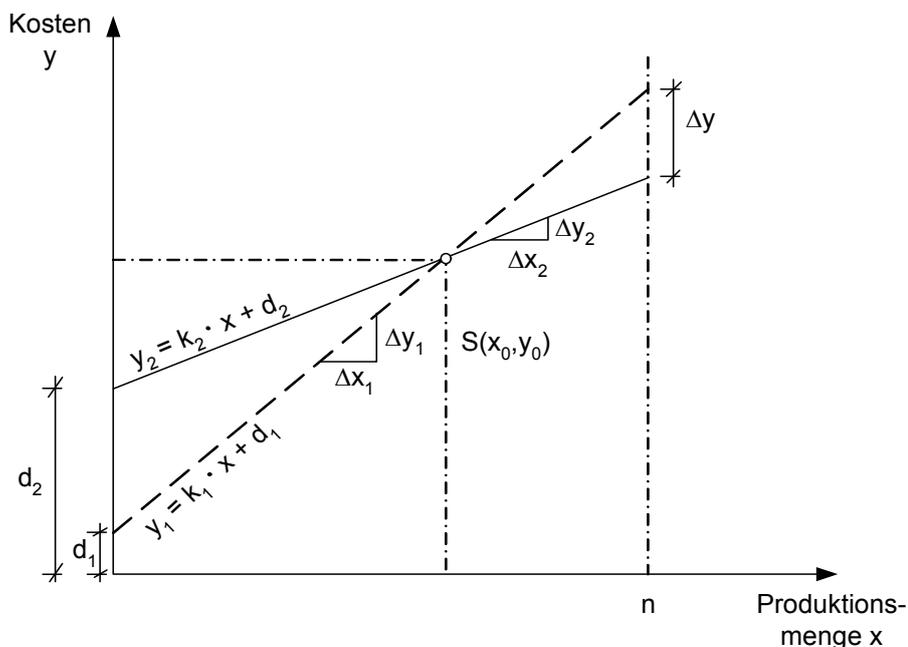


Bild 3-19: Verlauf der Graphen – Fall 4

3.4.4.2 Beispiel: Kostenvergleich von Bauverfahren im Hochbau

Verglichen werden sollte die Herstellung z. B. eines Hochhauskerns in Variante 1 mit einer selbstkletternden Schalungsplattform (SCP) und in Variante 2 mit einem alternativen Schalungssystem (Kletterschalung mit Schachtschalungen). Für einen Kostenvergleich müssen beide Bauverfahren auf deren beeinflussende Kostenfaktoren hin untersucht werden. Die Bauverfahren im hier betrachteten Beispiel, der Herstellung von Regelgeschossen eines Hochhauses, gliedern sich in folgende Haupttätigkeiten:

- Schalarbeiten
- Bewehrungsarbeiten inklusive Einbauteile
- Betonarbeiten

Diese Haupttätigkeiten sind wiederum in Teiltätigkeiten unterteilt. Da die einzelnen Teiltätigkeiten differieren, unterscheiden sich somit auch die Haupttätigkeiten voneinander, was zu unterschiedlichen Kosten für die verglichenen Bauverfahren führt. Für alle drei Haupttätigkeiten gelten die bereits vorgestellten Ansätze. Für einen Kostenvergleich von Bauverfahren müssen lediglich die differierenden Aufwände und die damit verbundenen Kosten gegenübergestellt werden.

Im Folgenden werden kurz die wesentlichen beeinflussenden Faktoren für die drei genannten Haupttätigkeiten vorgestellt. Diese sind nach fixen und variablen Kosten gegliedert. Es wird die Produktionseinheit $\Delta x =$ „Geschoss“ eingeführt. Diese entspricht hier einem Geschoss. Die nachfolgende Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ist entsprechend der projektspezifischen Randbedingungen anzupassen.

Schalarbeiten

Fixe Kosten:

- Kosten für Schalungssysteme (selbstkletternde Schalungsplattform SCP oder Kletterschalung mit Schachtschalungen)
- Baustelleneinrichtung (Lager- und Montageflächen, Kran etc.)
- Kosten für Montage und Demontage der Schalungssysteme
- Variable Kosten:
- Lohnkosten für Schalarbeiten, inklusive Leibungsschalungen und Hub der Schalung etc.
- Kosten für Schalung

Bewehrungsarbeiten

Fixe Kosten:

- Baustelleneinrichtung (Kräne)
- Lagerflächen für Bewehrung

Variable Kosten:

- Bewehrung / Stoffkosten (veränderte Bewehrungsführung etc.)
- Lohnkosten für Bewehrungsarbeiten

Betonarbeiten

Fixe Kosten:

- Baustelleneinrichtung, Betonfördergerät (Betonpumpe / Betonverteiler / Kräne)

Variable Kosten:

- Lohnkosten für Betonarbeiten, inklusive Betonnachbehandlung

3.4.4.3 Kosten der Haupttätigkeiten

Die fixen und variablen Kosten der drei genannten Haupttätigkeiten sind für die zu vergleichenden Bauverfahren zu kalkulieren. Eine differenzierte Betrachtung der Haupttätigkeiten ermöglicht den direkten und aussagefähigen Vergleich der Haupttätigkeiten für verschiedene Bauverfahren. Dies bedeutet eine detaillierte Darstellungsmöglichkeit der fixen und variablen Kostenanteile für jede der Haupttätigkeiten.

Für die Definition der Gleichungen der zu betrachteten Bauverfahren müssen folgende Werte bestimmt werden:

Schalarbeiten

Die fixen Kosten für die Schalarbeiten der Bauverfahren sind in den Werten $d_{SCP,S}$ bzw. $d_{Alt,S}$ zusammengefasst. Die variablen Kosten der Schalarbeiten pro Geschoss (Δx) sind in $\Delta y_{SCP,S} (k_{SCP,S})$ bzw. in $\Delta y_{Alt,S} (k_{Alt,S})$ zusammengefasst.

Bewehrungsarbeiten

Die fixen Kosten für die Bewehrungsarbeiten der Bauverfahren sind in den Werten $d_{SCP,A}$ bzw. $d_{Alt,A}$ zusammengefasst. Die variablen Kosten der Bewehrungsarbeiten pro Geschoss (Δx) sind in $\Delta y_{SCP,A} (k_{SCP,A})$ bzw. in $\Delta y_{Alt,A} (k_{Alt,A})$ zusammengefasst.

Betonarbeiten

Die fixen Kosten für die Betonarbeiten der Bauverfahren sind in den Werten $d_{SCP,Bet}$ bzw. $d_{Alt,Bet}$ zusammengefasst. Die variablen Kosten der Betonarbeiten pro Geschoss (Δx) sind in $\Delta y_{SCP,Bet} (k_{SCP,Bet})$ bzw. in $\Delta y_{Alt,Bet} (k_{Alt,Bet})$ zusammengefasst.

Die Kosten der Haupttätigkeiten können in einem weiteren Schritt summiert werden. Diese Summe bildet den Gesamtkostenverlauf der betrachteten Haupttätigkeiten.

Für das Bauverfahren mit der selbstkletternden Schalungsplattform SCP ergibt sich der Gesamtkostenaufwand zu:

$$y_{SCP,Ges} = d_{SCP,S} + d_{SCP,A} + d_{SCP,Bet} + (k_{SCP,S} + k_{SCP,A} + k_{SCP,Bet}) \cdot x = d_{SCP,Ges} + k_{SCP,Ges} \cdot x$$

$$\text{mit } k_{SCP,Ges} = \frac{\Delta y_{SCP,Ges}}{\Delta x}$$

$y_{SCP,Ges}$	Gesamtkostenaufwand des Bauverfahrens mit der Plattform SCP	[CHF]
$d_{SCP,S}$	fixe Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP für Schalarbeiten	[CHF]
$d_{SCP,A}$	fixe Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP für Bewehrungsarbeiten	[CHF]
$d_{SCP,Bet}$	fixe Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP für Betonarbeiten	[CHF]
$k_{SCP,S}$	variable Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP für Schalarbeiten pro Geschoss	$\left[\frac{CHF}{Geschoss} \right]$
$k_{SCP,A}$	variable Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP für Bewehrungsarbeiten pro Geschoss	$\left[\frac{CHF}{Geschoss} \right]$
$k_{SCP,Bet}$	variable Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP für Betonarbeiten pro Geschoss	$\left[\frac{CHF}{Geschoss} \right]$
$d_{SCP,Ges}$	Summe der fixen Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP	[CHF]
$k_{SCP,Ges}$	Summe der variablen Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP pro Geschoss	$\left[\frac{CHF}{Geschoss} \right]$
x	Anzahl Geschosse	[Geschoss]
$\Delta y_{SCP,Ges}$	Summe der variablen Kosten des Bauverfahrens mit der Plattform SCP für eine Produktionseinheit	[CHF]
Δx	Produktionseinheit	[Geschoss]

Für ein alternatives Bauverfahren (Kletterschalung mit Schachtschalungen) ergibt sich der Gesamtkostenaufwand zu:

$$y_{Alt,Ges} = d_{Alt,S} + d_{Alt,A} + d_{Alt,Bet} + (k_{Alt,S} + k_{Alt,A} + k_{Alt,Bet}) \cdot x = d_{Alt,Ges} + k_{Alt,Ges} \cdot x$$

$$\text{mit } k_{Alt,Ges} = \frac{\Delta y_{Alt,Ges}}{\Delta x}$$

$y_{Alt,Ges}$	Gesamtkostenaufwand des alternativen Bauverfahrens	[CHF]
$d_{Alt,S}$	fixe Kosten des alternativen Bauverfahrens für Schalarbeiten	[CHF]
$d_{Alt,A}$	fixe Kosten des alternativen Bauverfahrens für Bewehrungsarbeiten	[CHF]
$d_{Alt,Bet}$	fixe Kosten des alternativen Bauverfahrens für Betonarbeiten	[CHF]
$k_{Alt,S}$	variable Kosten des alternativen Bauverfahrens für Schalarbeiten pro Geschoss	$\left[\frac{CHF}{Geschoss} \right]$

$k_{Alt,A}$	variable Kosten des alternativen Bauverfahrens für Bewehrungsarbeiten pro Geschoss	$\left[\frac{CHF}{Geschoss} \right]$
$k_{Alt,Bet}$	variable Kosten des alternativen Bauverfahrens für Betonarbeiten pro Geschoss	$\left[\frac{CHF}{Geschoss} \right]$
$d_{Alt,Ges}$	Summe der fixen Kosten des alternativen Bauverfahrens	[CHF]
$k_{Alt,Ges}$	Summe der variablen Kosten des alternativen Bauverfahrens pro Geschoss	$\left[\frac{CHF}{Geschoss} \right]$
x	Anzahl Geschosse	[Geschoss]
$\Delta y_{Alt,Ges}$	Summe der variablen Kosten des alternativen Bauverfahrens für eine Produktionseinheit	[CHF]
Δx	Produktionseinheit	[Geschoss]

Break-Even-Punkt „S“

Der Break-Even-Punkt „S“ der beiden verglichenen Bauverfahren kann rechnerisch ermittelt werden:

$$x_{0,Ges} = \frac{d_{Alt,Ges} - d_{SCP,Ges}}{k_{SCP,Ges} - k_{Alt,Ges}}$$

$x_{0,Ges}$	Anzahl Geschosse bei dem gleiche Gesamtkosten für die betrachteten Bauverfahren erreicht werden	[Geschoss]
-------------	---	------------

$$y_{0,Ges} = k_{SCP,Ges} \cdot \frac{d_{Alt,Ges} - d_{SCP,Ges}}{k_{SCP,Ges} - k_{Alt,Ges}} + d_{SCP,Ges}$$

$y_{0,Ges}$	Gesamtkosten bei Kostengleichheit der betrachteten Bauverfahren	[CHF]
-------------	---	-------

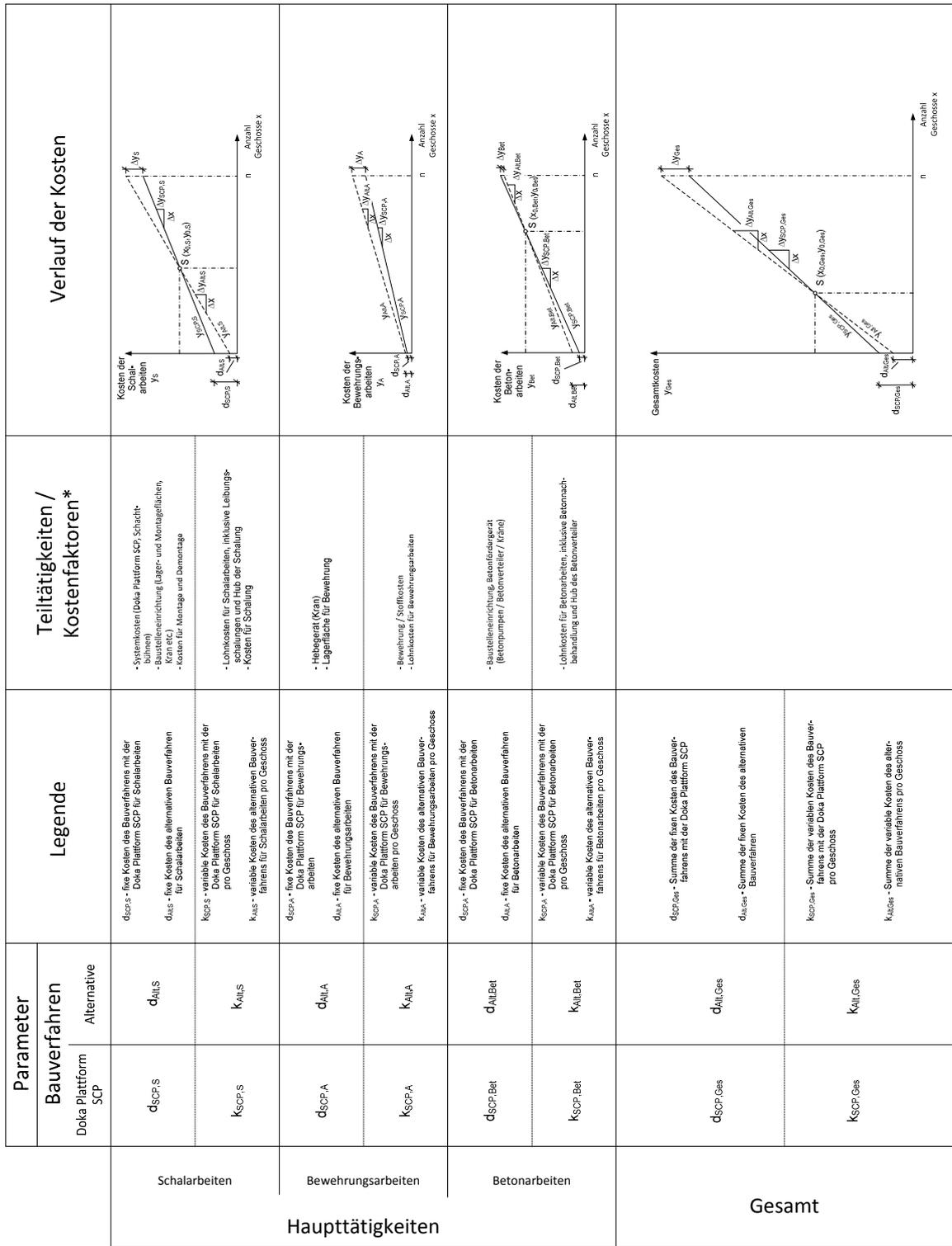
Einsparungspotential Δy_{Ges}

Das Einsparungspotential Δy_{Ges} ergibt sich aus der Differenz der Gesamtkosten der verglichenen Bauverfahren:

$$\Delta y_{Ges} = y_{SCP,Ges} - y_{Alt,Ges} = (d_{SCP,Ges} - d_{Alt,Ges}) + (k_{SCP,Ges} - k_{Alt,Ges}) \cdot x$$

Δy_{Ges}	Einsparungspotential gegenüber alternativem Bauverfahren	[CHF]
x	Anzahl Geschosse	[Geschoss]

Die Kostenvergleichsanalyse ist in Bild 3-20 dargestellt.



*Anzahl Bauverfahren und zeitliche Gegebenheiten sind weitere Teilgrößen und Kostenfaktoren zu beachten

Bild 3-20: Kostenvergleichsanalyse

3.5 Nutzwertanalyse

3.5.1 Konzept

Aufbauend auf der Voranalyse (Bild 3-7) in den Schritten:

- Zielsetzungsprozesse – Teilziel, Kriterien
- BauverfahreAuswahl – technisch mögliche
- Verfahrenseignungsprüfung – K.O.-Kriterien
- Qualitativer Vergleich der Verfahren – Zielerreichungsgrad
- Quantitativer Vergleich der Verfahren – Wirtschaftlichkeits- bzw. Kostenvergleich

erfolgt meist eine Nutzwertanalyse, um die mehrdimensionalen Kriterien aus dem qualitativen und quantitativen Vergleich auf dimensionslose Bewertungsgrößen zu überführen [9]. Durch diese dimensionslosen Bewertungsgrößen lassen sich die mehrdimensionalen Kriterien vereinheitlichen.

- Einfache Nutzwertanalyse (E-NWA) für eine schnelle Entscheidung bei einfachen Bauvorhaben und wenigen Zielvorgaben oder für eine erste schnelle grobe Reihung (vgl. späteres Praxisbeispiel sowie Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4).
- Differenzierte Nutzwertanalyse (D-NWA) für komplexe Bauverfahrensentscheidungen mit einem differenzierten Zielsystem bestehend aus Haupt- und Unterzielen (vgl. späteres Praxisbeispiel sowie Bild 3-23 und Tabelle 5).

Die Vorgehensweise der einfachen Nutzwertanalyse (E-NWA) ist wie folgt:

- Definition von wenigen aber relevanten Hauptzielen HZ^i .
- Gewichtung der Hauptziele G^i
- Bewertung des bauverfahrensspezifischen Zielerwartungswertes ZW_k^i
- Ermittlung des gewichteten Zielerwartungswertes GWZ_k^i je Hauptziel durch Multiplikation des gewichteten Hauptziels mit dem bauverfahrensspezifischen Zielerwartungswert.
- Ermittlung des bauverfahrensspezifischen einfachen Nutzwertes $E-NW_k$ durch Addition der gewichteten Zielerwartungswerte der Hauptziele.

Die Vorgehensweise der differenzierten Nutzwertanalyse (D-NWA) ist wie folgt:

- Definition von projekt-/erfolgsrelevanten Hauptzielen HZ^i
- Definition von Unterzielen UZ_j^i je Hauptziel.
- Bildung von absoluten Gewichtungsfaktoren G^i , welche die Hauptziele untereinander nach Wertigkeit zum Ergebnisziel differenzieren.
- Bildung von relativen Gewichtungsfaktoren G_j^i je Unterziel eines Hauptziels
- Berechnung ihrer absoluten Gewichtung g_j^i aus dem Produkt von der relativen und absoluten Gewichtung der Haupt- und Unterziele.
- Festlegung des projektunabhängigen Zielerreichungsgrad $ZG_{j,k}^i$ für jedes Unterziel des jeweiligen Bauverfahrens.
- Einschätzung des projektspezifischen Zielerreichungswertes $ZW_{j,k}^i$ der die Erfahrungen des Unternehmens mit dem Verfahren bewertet.
- Berechnung der Zielerwartungswerte $WZ_{j,k}^i$ für jedes Unterziel.
- Ermittlung der gewichteten Zielerwartungswerte $GWZ_{j,k}^i$ für jedes Unterziel.
- Ermittlung des bauverfahrensspezifischen Nutzwertes NW_k durch Addition der gewichteten Zielerwartungswerte der Hauptziele.

Die Nutzwertanalyse ist eine systematische, subjektiv geprägte Entscheidungsmethode. Die Subjektivität wird durch die Zielvorgaben des Bauherrn, des Unternehmers und anderer (Gesellschaft, Nachbarn etc.) geprägt und ist somit Basis des intendierten Handelns.

Um ein sicheres intendiertes Ergebnisziel zu erreichen, müssen die Gewichtungsfaktoren der Hauptziele vor der Anwendung auf ihre akkumulative Wirkung für verschiedene Szenarien hin simuliert werden.

3.5.2 Verfahrensvergleich mit Hilfe der beiden vorgestellten Nutzwertanalysen am Praxisbeispiel „Pumpstation Alexandria“

Im Folgenden wird die Durchführung sowohl einer einfachen als auch einer differenzierten risikoorientierten Nutzwertanalyse anhand des Praxisbeispiels „Pumpstation Alexandria“ erläutert.

3.5.2.1 Projektsituation

Die Pumpstation (Bild 3-21) soll in einer Schlitzwandbaugrube mit einem Durchmesser von 50 m im Trockenem unter Wasserhaltung erstellt werden.

Nach Herstellung der Schlitzwände und zu Beginn des Aushubs wird aufgrund von Pumpversuchen erkannt, dass die Durchlässigkeitswerte, die vom Grundbaulabor des Bauherrn ermittelt wurden, um den Faktor 1000 höher sind. Eine Grundwasserabsenkung würde die Siedlungen in ca. 500 m Entfernung aufgrund des sich ergebenden Absetztrichters durch Senkungen erheblich beeinträchtigen und möglicherweise ein nicht abschätzbares Risiko ergeben.

Die verschiedenen Bauverfahrensmethoden zur Verhinderung einer Grundwasserabsenkung unter der Bebauung sind mit ihren wesentlichen Merkmalen in Bild 3-22 dargestellt. Es sind dies:

- Grundwasserentspannung und Schluckbrunnenkombination (1)
- Druckluftsenkkasten (2)
- verankerte Unterwasserbetonplatte (3)
- schwimmender Senkkasten (4)

Die Analyse erfolgt einerseits mit der E-NWA sowie andererseits mit der D-NWA um die Anwendung der Methoden aufzuzeigen.

Mehr Informationen zu diesem Projekt und die Darstellung der Teilprozesse findet der Leser in [1], [2], [3], [4].

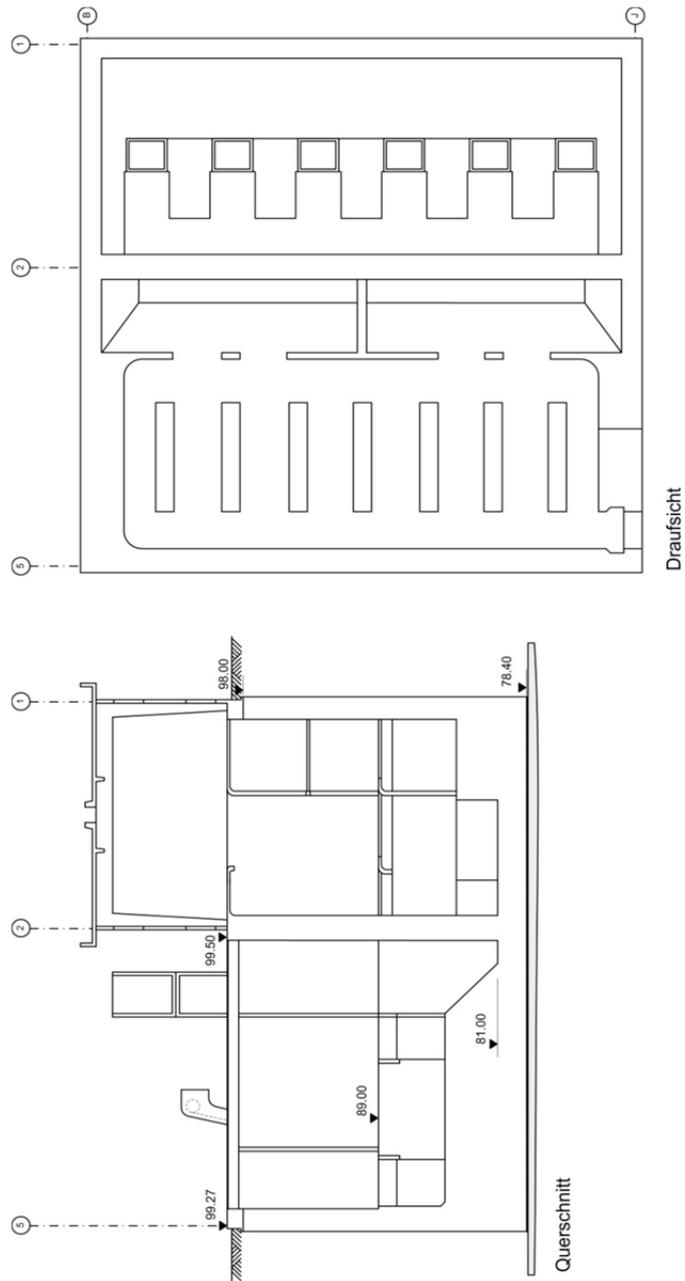


Bild 3-21: Pumpstation Alexandria

Nr.	Bauverfahren	Skizze
1	<p>Grundwasserentspannung</p> <ul style="list-style-type: none"> - trockene Baugrube - keine Änderungen am konstruktiven System der I.P.S. (Influent Pump Station) - Schluckbrunnengalerien innerhalb des Baugebiets 	
2	<p>Druckluftsenkkasten</p> <ul style="list-style-type: none"> - trockene Baugrube - Hängenbleiben im zementierten Sand - Änderungen des konstruktiven Systems - langsamer Baufortschritt - Schlitzwand nicht notwendig 	
3	<p>Unbewehrte, zugverankerte Unterwasserbetonplatte</p> <ul style="list-style-type: none"> - trockene Baugrube - keine Änderung am konstruktiven System der I.P.S. - keine Grundwasserentspannung 	
4	<p>Schwimmend hergestellter Senkkasten</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1. Abschnitt in einem Spundwand-trockendock hergestellt und eingeschwommen - alle anderen Bauabschnitte schwimmend hergestellt - keine Grundwasserabsenkung - geflutete Baugrube - kompletter Neuentwurf 	

Bild 3-22: Alternative Bauverfahrensmethoden – Pumpstation Alexandria

3.5.3 Einfache Nutzwertanalyse (E-NWA) – Beispiel Pumpstation Alexandria

Es wird angenommen, dass sich der Bauherr einen ersten groben Überblick über die Vor- und Nachteile von vier möglichen Bauverfahrensmethoden verschaffen möchte. Dazu führt er eine einfache grobe Nutzwertanalyse (E-NWA) durch. Die globalen Hauptziele sowie deren Gewichtung sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Hauptziele der einfachen Nutzwertanalyse (E-NWA)

Hauptzielgruppen	Hauptziele HZ ⁱ		Stellenwert	Gewichtung G ⁱ [%]
	Kriterien	Forderungen		
Produktionstechnische Ziele	Bauwerksfunktionalität	ursprüngliche Hauptabmessungen + Innenausbauprogramm	Modifikation möglich, führen zu Minderungen	5%
	Bauwerkskonstruktion	- äquivalente Grenztragfähigkeit - Wasserdichtigkeit - Dauerhaftigkeit	obligatorisch, jedoch modifizierbar	5%
	Bauausführung	Verformungsrobustheit	hoch	20%
Gesamtkostenziele	Herstellungskosten	-relative qualitative oder quantitative Herstellungskosten - Innerhalb der Gesamtbauzeit	hoch	40%
	Bauhilfsmassnahmekosten	Nutzung der existierenden Schlitzwand	möglich	10%
Umweltziele	Beeinflussung der Nachbarbebauung	keine Beeinflussung der Wohngebiete durch Grundwasserabsenkung	obligatorisch	20%

Gewichtungsfaktor entspricht relativer Bewertung der Kriterien untereinander

In diesem Beispiel sollen bauverfahrensspezifische Zielerwartungswerte ZW_k^i Anhand einer 0 – 1 - Punkteskala gemäss Tabelle 3 bewertet werden.

Tabelle 3: Bauverfahrensspezifische Zielerwartungswerte ZW_k^i

Nr.	Zielerreichungsgrad	ZW_k^i
1	keine Zielerreichung - mangelhaft	0.0
2	sehr geringer Zielerreichung - ungenügend	0.2
3	geringe Zielerreichung - ausreichend	0.4
4	mittlere Zielerreichung - befriedigend	0.6
5	hoher Zielerreichungsgrad - gut	0.8
6	sehr hoher Zielerreichungsgrad – sehr gut	1.0

Dabei muss beachtet werden, dass das K.O.-Kriterium „umweltbeeinflussend“ bei diesem Projekt nach den Vorgaben des Bauherrn bei einer Grundwasserabsenkung unter der Bebauung eintritt. In dieser Nutzwertanalyse wird dieses Kriterium jedoch nochmals aufgenommen, um die Sensitivität der Verfahren auf dieses wichtige Kriterium zu bewerten, obwohl die ausgewählten Verfahren grundsätzlich geeignet sind, den Grundwasserspiegel unter der benachbarten Bebauung stabil zu halten. Aus der Baumethode ergibt sich jedoch die Sensitivität, um dies zu erreichen.

Die Teilergebnisse der Verfahrensbewertung sowie das Gesamtergebnis der einfachen Nutzwertanalyse sind in Tabelle 4 dargestellt. Es fällt auf, dass die Variante „Grundwasserentspannung“ aufgrund der hohen Umweltbeeinflussung sowie die Variante „Druckluftsenkkasten“ aufgrund der überflüssigen Schlitzwand einen niedrigen Nutzenwert erreichen als die anderen beiden untersuchten Verfahren. Zudem führt die verankerte Unterwasserbetonsohle zur Bauzeitverlängerung mit erheblichem Anstieg der Allgemeynkosten.

Tabelle 4: Matrix der einfachen Nutzwertanalyse (E-NWA) für die untersuchten Bauverfahren des Projektes „Pumpstation Alexandria“.

Nr	Bauverfahren	Hauptziele						Nutzwert des Bauverfahrens
		Produktionstechnik			Gesamtkosten		Umwelt	
		Funktion	Konstruktion	Bauausführung	Nutzen existierende Schlitzwand	Herstellungskosten	Umwelteinfluss	
	Gewichtung	$G^1=5$	$G^2=5$	$G^3=20$	$G^4=10$	$G^5=40$	$ZW_i^j=0 \vee 1$ $G^6=20$	$E = \sum_{i=1}^n NV_i = \sum_{i=1}^n ZW_i^j$
1	Grundwasserentspannung	Keine Änderung	Keine Änderung	Versagen der Pegelregulierung	Benutzt	Keine Änderung	Beeinflussung der Siedlungen Zustand von Gebäuden und Gründungen im Einflussgebiet unbekannt Durchfeuchtung von Gebäuden	64
	ZW_1^j	1	1	0.8	1	0.7	0	
	$GWZ_1^i = G_i \cdot ZW_1^j$	5	5	16	10	28	0	
2	Druckluftsenkkasten	Änderungen	Keine Änderung	Hängenbleiben des Cossions	Nicht nötig	Parallele Baumassnahmen Probleme: - zementierte Schichten (verkeilen) - Risikokosten	Keine Beeinflussung	66
	ZW_2^j	1	0.6	0.5	0	0.7	1	
	GWZ_2^i	5	3	10	0	28	20	
3	Verankerte Unterwasserbetonsohle	Keine Änderung	Keine Änderung	Robust bei kontrollierter Ausführung	Benutzt	Sequentieller Bau verlängert Gesamtprojektzeit	Keine Beeinflussung	76
	ZW_3^j	1	1	0.8	1	0.5	1	
	GWZ_3^i	5	5	16	10	20	20	
4	Schwimmender Senkkasten	Änderung - stat. System - Schwimmstabilität	Keine Änderung	Robust bei kontrollierter Ausführung	Benutzt	Parallele Ausführung	Keine Beeinflussung	94
	ZW_4^j	1	0.6	0.8	1	1	1	
	GWZ_4^i	5	3	16	10	40	20	
	Gesamtbewertung	<p style="text-align: center;"> $ZW_i^j=0$ k.o. Kriterium $ZW_i^j=1$ O.K. Kriterium </p>						

3.5.4 Differenzierte risikoorientierte Nutzwertanalyse (D-NWA) – Beispiel Pumpstation Alexandria

Bei dem einleitend vorgestellten Projektbeispiel soll weiterhin angenommen werden, dass der Bauherr die Variante „Grundwasserentspannung mit Schluckbrunnen“ aufgrund von umwelt- und sicherheitstechnischen Aspekten (K.O.-Kriterium) ablehnt und damit von einem weiteren Verfahrensvergleich ausschliesst. Für die verbleibenden drei Bauverfahren wünscht er sich als Grundlage für seinen definitiven Verfahrensentcheid einen differenzierten risikoorientierten Verfahrensvergleich auf Basis einer differenzierten Nutzwertanalyse (D-NWA).

Im Gegensatz zur einfachen Nutzwertanalyse sollen aber nicht nur Hauptziele sondern auch Unterziele definiert und gewichtet werden. Dem Bauunternehmer stehen somit zur Durchführung des Bauprojektes die folgenden drei verschiedenen Bauverfahren zur Verfügung, welche hinsichtlich Ihres jeweiligen Nutzwertes (max. Zielerreichung) zu reihen sind:

- Druckluftsenkkasten (A)
- verankerte Unterwasserbetonplatte (B)
- schwimmender Senkkasten (C)

Gewichtetes Zielsystem

Um diese verschiedenen Bauverfahrensvarianten differenziert bewerten zu können, muss der Bauunternehmer in einem ersten Schritt ein, projektspezifisches subjektives Zielsystem, bestehend aus Hauptzielen und den dazugehörigen Unterzielen, das die Anforderungen des Bauherrn und Projekts sowie die spezifischen unternehmerischen Effizienzziele abbildet, festlegen. Als Hauptziele eignen sich beispielsweise:

1. Hauptziel – Geringe Gesamtkosten (HZ^1)
2. Hauptziel – Produkttechnische Anforderungen (HZ^2)
3. Hauptziel – Termine und Qualität (HZ^3)
4. Hauptziel – Organisatorische Anforderungen (HZ^4)
5. Hauptziel – Umwelt / Unfallschutz (HZ^5)
6. Hauptziel – Image (HZ^6)

Die Durchführung der risikoorientierten Nutzwertanalyse erfordert vom Bauunternehmer zusätzlich eine projektspezifische Gewichtung dieser Hauptziele, die sich von Projekt zu Projekt unterscheiden können. Auch ist es denkbar, andere Hauptziele zu verfolgen, die jedoch ohne grossen Aufwand in die risikoorientierte Nutzwertanalyse integriert werden können.

Eine projektspezifische Gewichtung kann für die oben genannten Hauptziele folgendermaßen aussehen:

1. Hauptziel - Gewichtung $G^1 = 40\%$
2. Hauptziel - Gewichtung $G^2 = 15\%$
3. Hauptziel - Gewichtung $G^3 = 15\%$
4. Hauptziel - Gewichtung $G^3 = 5\%$
5. Hauptziel - Gewichtung $G^3 = 20\%$
6. Hauptziel - Gewichtung $G^3 = 5\%$

Die Summe dieser absoluten Gewichtungsfaktoren muss 100 % ergeben ($\sum_i G^i = 100\%$).

Für jedes Hauptziel i lassen sich nun verschiedene Unterziele j angeben. Das Hauptziel HZ¹ „Geringe Gesamtkosten und kurze Bauzeit“ ist in diesem Beispiel durch folgende Unterziele ($1 \leq j \leq n^1$) geprägt:

1. Unterziel – geringe Kosten des Verfahrens (UZ₁¹)
2. Unterziel –hohe Kostenrobustheit (UZ₂¹)

Diese sind wiederum im Hinblick auf ihre Bedeutung für das Erreichen des Hauptziels i zu gewichten. Wichtig ist dabei, dass die Summe aller relativen, projektspezifischen Gewichtungsfaktoren der Unterzielkriterien G_j^i eines Hauptziels wiederum 100 % ergibt ($\sum_j G_j^i = 100\%$).

Die absolute Gewichtung eines Unterzielkriteriums g_j^i lässt sich aus dem Produkt von absoluter Gewichtung des Hauptziels G^i und relativer Gewichtung des Unterzielkriteriums G_j^i errechnen.

$$g_j^i = G^i \cdot G_j^i \quad [-]$$

i Index für das Hauptziel

j Index für das Unterziel

g_j^i absolute Gewichtung des Unterziels j des Hauptziels i

G^i absolute Gewichtung des Hauptziels i

G_j^i relative Gewichtung des Unterziels j des Hauptziels i

Die Gewichtung ist für das vorgestellte Beispiel in Tabelle 5 dargestellt.

Risikoorientierte Bewertung

Der nächste Arbeitsschritt beinhaltet die eigentliche risikoorientierte Bewertung der mit den einzelnen Bauverfahren möglichen Zielerwartungswerte. Für die Bewertung sind je Zielkriterium zwei Schätzwerte notwendig:

- Projektunabhängiger Zielerreichungsgrad ($ZG_{j,k}^i$)
- Projektspezifischer Zielerreichungswert ($ZW_{j,k}^i$)

Der projektunabhängige Zielerreichungsgrad $ZG_{j,k}^i$ einer Lösungsvariante beschreibt, in welcher Höhe das genannte Zielkriterium bei dem entsprechenden Bauverfahren k erreicht werden kann. Für die Bestimmung des Zielerreichungsgrades $ZG_{j,k}^i$ stehen die Skalenwerte von 0 bis 5 mit folgenden Interpretationen zur Verfügung:

- 0: Keine Zielerreichung möglich
- 1: Sehr geringer Zielerreichungsgrad
- 2: Geringer Zielerreichungsgrad
- 3: Mittlerer Zielerreichungsgrad
- 4: Hoher Zielerreichungsgrad
- 5: Sehr hoher Zielerreichungsgrad

In der Praxis wird der Zielerreichungsgrad im Allgemeinen - ähnlich wie bei der Ermittlung von Leistungskennwerten - auf Basis von Erfahrungswerten abgeschätzt oder auf der Basis von Verfahrensstudien bestimmt.

Der projektspezifische Zielerreichungswert $ZW_{j,k}^i$ der Lösungsvariante k - zum Teil auch Eintretenswahrscheinlichkeit $EW_{j,k}^i$ genannt - wird situativ abgeschätzt, z.B. mittels Delphi-Methode oder durch eine Einzelexperten-Schätzung, und dient der Anpassung der projektunabhängig für die betrachteten Bauverfahren vorgegeben Zielerreichungsgrade an die spezifischen Projektgegebenheiten. Mit diesem Wert bestimmt das Unternehmen wie gut es das entsprechende Bauverfahren projektspezifisch anwenden kann.

Er kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen und gibt damit für das jeweilige Bauverfahren k an, ob der Zielerreichungsgrad für das Unterziel j des Hauptziels i sicher $ZW_{j,k}^i = 1$ (100%), bzw. nicht $ZW_{j,k}^i = 0$ (0 %) oder nur teilweise erreicht wird. Für die Bestimmung des Zielerreichungsgrades $ZW_{j,k}^i$ stehen folgende Interpretationen zur Verfügung:

- 0.0 (0%): nie
- 0.2 (20 %): fast nie bzw. eher selten
- 0.4 (40 %): manchmal bzw. von Zeit zu Zeit
- 0.6 (60%): häufig
- 0.8 (80%): sehr häufig bzw. fast immer

- 1.0 (100%): sicher

Aus dem Produkt von projektunabhängigem Zielerreichungsgrad $ZG_{j,k}^i$ und projektspezifischem Zielerreichungswert $ZW_{j,k}^i$ ergibt sich der Zielerwartungswert $WZ_{j,k}^i$ für das betrachtete Unterziel. Gewichtet man diesen mit der relativen Gewichtung des Unterziels g_j^i , indem man das Produkt aus beiden Werten bildet, so erhält man den gewichteten Zielerwartungswert $GWZ_{j,k}^i$ des Unterziels.

Die Summe aller gewichteten Zielerwartungswerte einer Projektabwicklungsform ergibt *den projektspezifisch gewichteten Zielerreichungsgrad bzw. Nutzwert NW_k der jeweiligen Bauverfahrensvariante*.

Vergleicht man die Nutzwerte verschiedener Bauverfahren, so ist diejenige mit dem höchsten Wert das optimale Bauverfahren. Der Nutzwert dient somit dem relativen Vergleich mehrerer verschiedener Alternativen.

Das prinzipielle mathematische Vorgehen zur Ermittlung des Nutzwerts gestaltet sich wie in folgt (Bild 3-23):

- Zunächst ist für jedes Unterziel j jedes betrachteten Bauverfahren k das Produkt aus projektunabhängigem Zielerreichungsgrad $ZG_{j,k}^i$ und projektspezifischem Zielerreichungswert $ZW_{j,k}^i$ der jeweiligen Lösungsvariante zu bilden.

$$WZ_{j,k}^i = ZG_{j,k}^i \cdot ZW_{j,k}^i$$

$$k = \{k | k = A \vee k = B \vee k = C \vee k = \dots\}$$

k : Index für die Bauverfahren (in diesem Bsp. A, B und C)

i : Index für das Hauptziel

j : Index für das Unterziel

$WZ_{j,k}^i$: projektspezifischer Zielerwartungswert je Bauverfahren

$ZG_{j,k}^i$: projektunabhängiger Zielerreichungsgrad je Bauverfahren

$ZW_{j,k}^i$: projektspezifischer Zielerreichungswert - oder auch Eintretenswahrscheinlichkeit (EW) - je Bauverfahren im jeweiligen Projekt bzw. unter Beachtung der jeweiligen Projektrandbedingungen.

Die sich ergebenden Zielerwartungswerte $WZ_{j,k}^i$ können anschliessend in Form der Zielerwartungsmatrix ZEM dargestellt werden.

$$ZEM = \begin{pmatrix} WZ_{1,A}^1 & WZ_{1,B}^1 & WZ_{1,C}^1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ WZ_{3,A}^1 & WZ_{3,B}^1 & WZ_{3,C}^1 & \dots \\ WZ_{1,A}^2 & WZ_{1,B}^2 & WZ_{1,C}^2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ WZ_{3,A}^2 & WZ_{3,B}^2 & WZ_{3,C}^2 & \dots \\ WZ_{1,A}^3 & WZ_{1,B}^3 & WZ_{1,C}^3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ WZ_{4,A}^3 & WZ_{4,B}^3 & WZ_{4,C}^3 & \dots \end{pmatrix}$$

- Die gewichteten Zielerwartungswerte $GWZ_{j,k}^i$ ergeben sich durch zeilenweise Skalarmultiplikation der Zielerwartungsmatrix ZEM mit der unterzielspezifischen absoluten Gewichtung g_j^i , die sich aus dem Produkt der absoluten Gewichtung des Hauptziels G^i und relativer Gewichtung des Unterzielkriteriums G_j^i berechnet.

Aus $GWZ_{j,k}^i = g_j^i \cdot WZ_{j,k}^i = G^i \cdot G_j^i \cdot WZ_{j,k}^i = G^i \cdot G_j^i \cdot ZG_{j,k}^i \cdot ZW_{j,k}^i$ folgt die gewichtete Zielerwartungsmatrix GZEM

$$GZEM = \begin{pmatrix} GWZ_{1,A}^1 & GWZ_{1,B}^1 & GWZ_{1,C}^1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ GWZ_{3,A}^1 & GWZ_{3,B}^1 & GWZ_{3,C}^1 & \dots \\ GWZ_{1,A}^2 & GWZ_{1,B}^2 & GWZ_{1,C}^2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ GWZ_{3,A}^2 & GWZ_{3,B}^2 & GWZ_{3,C}^2 & \dots \\ GWZ_{1,A}^3 & GWZ_{1,B}^3 & GWZ_{1,C}^3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ GWZ_{4,A}^3 & GWZ_{4,B}^3 & GWZ_{4,C}^3 & \dots \end{pmatrix}$$

$$k = \{k | k = A \vee k = B \vee k = C \vee k = \dots\}$$

k : Index für die Bauverfahren (in diesem Bsp. A, B und C)

n : Anzahl der untersuchten Bauverfahren

i : Index für das Hauptziel

j : Index für das Unterziel

$GWZ_{j,k}^i$: gewichtete Zielerwartungswert je Bauverfahren

g_j^i : absolute Gewichtung des Unterziels j des Hauptziels i

$ZG_{j,k}^i$: projektunabhängiger Zielerreichungsgrad je Bauverfahren

$ZW_{j,k}^i$: projektspezifischer Zielerreichungswert - oder auch Eintretenswahrscheinlichkeit (EW) - je Bauverfahren im jeweiligen Projekt bzw. unter Beobachtung der jeweiligen Projektrandbedingungen.

- Der Nutzwert NW_k für die einzelnen Bauverfahren k berechnet sich schliesslich durch spaltenweises Aufsummieren der gewichteten Zielerwartungswerte $GWZ_{j,k}^i$

$$NW_k = \sum_{i,j} GWZ_{j,k}^i = \sum_i \sum_j GWZ_{j,k}^i$$

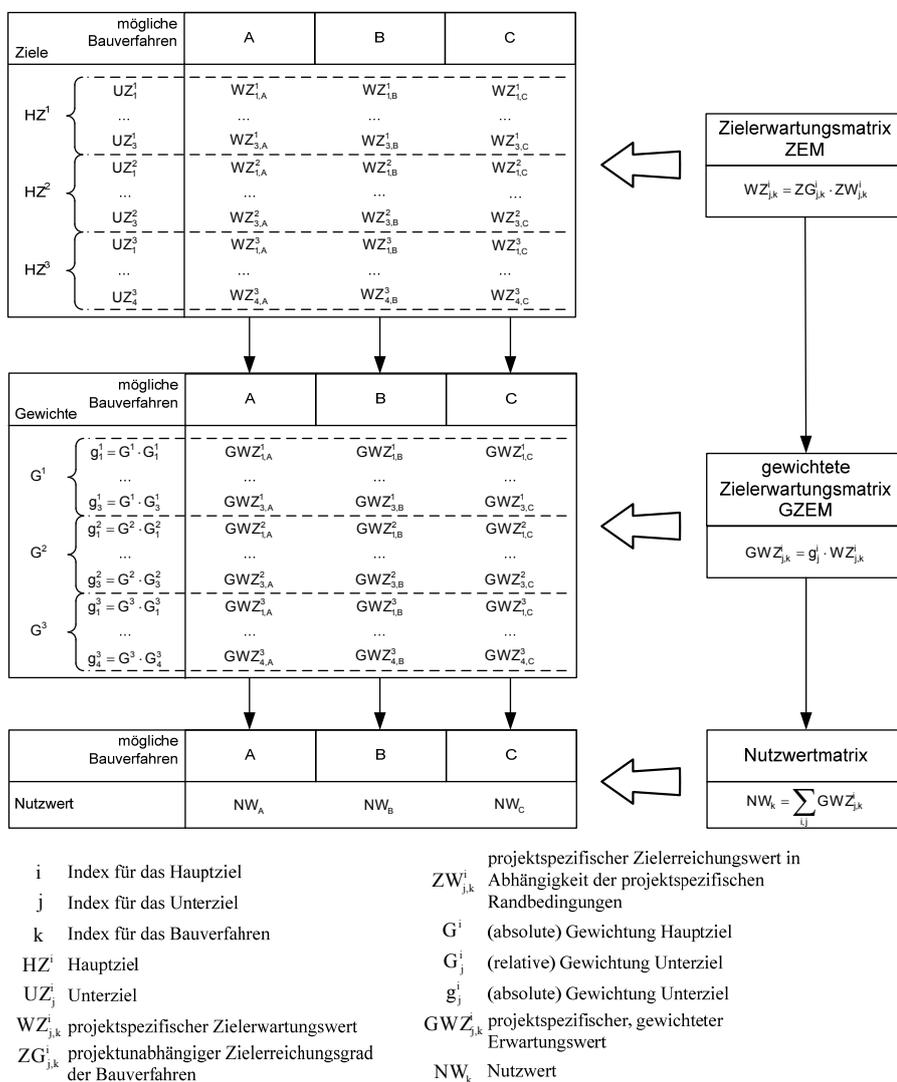


Bild 3-23: Mathematisches Vorgehen zur Ermittlung des Nutzwertes (NW_k)

Die praktische Durchführung einer risikoorientierten Nutzwertanalyse gestaltet sich wie in Tabelle 5 dargestellt, wobei hier sowohl die Zielerwartungswerte $WZ_{j,k}^i$ wie

auch die gewichteten Zielerwartungswerte $GWZ_{j,k}^i$ in einer so genannten Bewertungsmatrix zusammengefasst sind.

Tabelle 5: Bewertungsmatrix der risikoorientierten Nutzwertanalyse

Hauptziel (HZ)	Gewichtung (G) absolut	Unterzielkriterium (UZ)	Gewichtung relativ (G _j)	Gewichtung absolut (g _j)	A - Druckluft Senkkasten			B - Verankerte UW-Sohle			C - Schwimm. Senkk.					
					EW*	ZG*	WZ GWZ	EW*	ZG*	WZ GWZ	EW*	ZG*	WZ GWZ			
					[%]	(ZW)	[%]	(ZW)	[%]	(ZW)	[%]	(ZW)				
Geringe Gesamtkosten	40%	Kosten der Verfahren	70%	28%	90	3.0	2.70	0.76	80	3.0	2.40	0.67	100	4.0	4.00	1.12
			30%	12%	80	2.0	1.60	0.19	60	2.0	1.20	0.14	90	4.0	3.60	0.43
$\Sigma=100\%$																
Produktionstechnische Anforderungen	15%	Bauprozess Leistungsfähigkeit	50%	8%	90	4.0	3.60	0.27	90	3.0	2.70	0.20	90	4.0	3.60	0.27
			30%	5%	80	4.0	3.20	0.14	80	3.0	2.40	0.11	100	4.0	4.00	0.18
			20%	3%	70	3.0	2.10	0.06	80	4.0	3.20	0.10	80	3.0	2.40	0.07
$\Sigma=100\%$																
Termine und Qualität	15%	Terminsicherheit	70%	11%	90	3.0	2.70	0.28	80	3.0	2.40	0.25	100	4.0	4.00	0.42
			30%	5%	80	2.0	1.60	0.07	60	2.0	1.20	0.05	90	4.0	3.60	0.16
$\Sigma=100\%$																
Organisatorische Anforderungen	5%	Personalverfügbarkeit	40%	2%	90	2.0	1.80	0.04	90	3.0	2.70	0.05	90	3.0	2.70	0.05
			40%	2%	80	3.0	2.40	0.05	80	3.0	2.40	0.05	100	5.0	5.00	0.10
			20%	1%	70	3.0	2.10	0.02	80	4.0	3.20	0.03	80	3.0	2.40	0.02
$\Sigma=100\%$																
Umwelt/ Unfallschutz	20%		100%	20%	100	3.0	3.00	0.60	70	4.0	2.80	0.56	100	5.0	5.00	1.00
$\Sigma=100\%$																
Image	5%		100%	5%	70	4.0	2.80	0.14	20	4.0	0.80	0.04	100	2.0	2.00	0.10
$\Sigma=100\%$																
								NW_b = 2.63					NW_c = 2.26			NW_d = 3.93

*) Schätzwerte

EW = Eintretenswahrscheinlichkeit bzw. (ZW) Zielerreichungswert (projektbezogen)

ZG = Zielerreichungsgrad (projektunabhängig)

WZ = Zielerwartungswert

GWZ = Gewichteter Zielerwartungswert

NW = Nutzwert

von 0% (nie) über 20% (eher selten), 40% (manchmal), 60% (häufig), 80% (sehr häufig) bis 100% (immer)

von 0 (keine Zielerreichung) über 2 (geringer Zielerreichungsgrad) bis 5 (sehr hoher Zielerreichungsgrad)

Je höher die Summe aller GWZ für ein Bauverfahren, desto besser erfüllt es die Anforderungen (Zielkriterien) des Bauunternehmens respektive Bauherren.

A = Bauverfahren "Druckluftsenkkasten"

B = Bauverfahren "Verankerte Unterwasserbetonsohle"

C = Bauverfahren "Schwimmender Senkkasten"

Für die Ermittlung der Nutzwerte kommen die folgenden zwei Methoden in Frage:

- Praktikermethode
- Monte Carlo Simulation

Die Praktikermethode geht vom arithmetischen Mittelwert der projektspezifischen Zielerreichungswerte aus, welche an dieser Stelle Anwendung finden soll. Im vorgestellten Beispiel ergeben sich entsprechend Tabelle 5 folgende risikoorientierte Nutzwerte für die Zielerreichungsgrade der verschiedenen Bauverfahren:

- Druckluftsenkkasten (A): $NW_{EW,A} = \sum_{i,j} GWZ_{j,A}^i = 2.63$
- verankerte Unterwassersenkplatte (B): $NW_{EW,B} = \sum_{i,j} GWZ_{j,B}^i = 2.26$
- schwimmender Senkkasten (C): $NW_{EW,C} = \sum_{i,j} GWZ_{j,C}^i = 3.93$

Unter Berücksichtigung der vom Bauherrn vorgegebenen und vom Bauunternehmen projektspezifisch definierten Hauptzielen und Zielkriterien sowie den zugehörigen Gewichtungsfaktoren erzielt die Variante „schwimmender Senkkasten“ (C) gegenüber den anderen beiden untersuchten Bauverfahren den höchsten Nutzwert.

Der Nutzwert – hier treffender als „summarisch gewichteter Nutz-Erwartungswert“ bezeichnet – hängt vom projektunabhängigen Zielerreichungsgrad und dem projektspezifischen Zielerreichungswert der Unterziele eines Bauverfahrens sowie von der Wahl und Gewichtung der Haupt- und Unterziele ab. Es muss daher in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass dieses Ergebnis keinen allgemeinen Trend und auch keine generelle Favorisierung eines Bauverfahrens implizieren soll. Vielmehr basiert das Resultat auf individuellen projektspezifischen Überlegungen, die bei anderen Bauprojekten bzw. Einschätzungen zu ganz unterschiedlichen Resultaten führen können.

Vielmehr geht es dem Autor um die Demonstration des methodischen Vorgehens, um mit Hilfe einer risikoorientierten Nutzwertanalyse eine Entscheidungsgrundlage zur Auswahl der für den Bauherrn am besten geeigneten Bauverfahren zu liefern.

3.5.5 Umgang mit möglichen Streubreiten

Die so durchgeführte Nutzwertanalyse berücksichtigt für jedes Bauverfahren lediglich ein mögliches Szenario für die Ermittlung des Zielerwartungswertes und vernachlässigt damit die Streubreite der Nutzwerte um den Zielerwartungswert. Mit Hilfe der Monte Carlo Simulation, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll, kann nun die Bandbreite der möglichen Nutzwerte über die Simulation der projektspezifischen Zielerreichungswerte eines Bauverfahrens dargestellt werden [5].

Eine in der Praxis häufig verbreitete „einfache“ Sensitivitätsanalyse kann ebenfalls einen hilfreichen Aufschluss über die Schwankungsbreite der Nutzwerte liefern und damit das Ergebnis auf in Bezug auf sinnvolle Veränderungen der Rahmenbedingungen überprüfen. Hierzu werden die Gewichtung der Haupt- und allenfalls der Unterziele variiert und somit zumindest eine geringe Anzahl an Szenarien für die Ermittlung der Zielerwartungswerte betrachtet.

3.5.6 Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA)

Eine Weiterentwicklung der Nutzwertanalyse (NWA), welche vor allem im Bereich von Projektbewertungen und damit der Priorisierung von Infrastrukturinvestitionen der öffentlichen Hand Anwendung findet, stellt die Kosten-Wirksamkeitsanalyse (KWA) dar.

Bei der KWA werden im Gegensatz zur Nutzwertanalyse, bei welcher sowohl monetäre, wie auch nicht-monetäre Größen zu einem Punktwert verdichtet werden, zwei Werte je Variante ermittelt, beispielsweise Kosten je Periode (z.B. Jahr) und Nutzen (z.B. Wirksamkeit einer Verkehrsinfrastrukturmaßnahme). Das Problem, dass direkte Kostengrößen mit den übrigen Größen gegeneinander gewichtet werden, wird damit umgangen.

Durch die Gegenüberstellung von den Kosten (Investitionen) zu den Punktwerten der Gesamtwirksamkeit ergibt sich eine Kennziffer, welche den finanziellen Aufwand je „Wirksamkeitspunkt“ ausdrückt. Durch diese Verflechtung von Nutzwertanalyse und Kosten-Nutzen-Vergleich hat man einen absoluten Nachweis der ökonomischen Effizienz eines Projekts.

An dieser Stelle soll auf dieses Verfahren, welches in der Bauwirtschaft eher eine untergeordnete Rolle spielt, nicht näher eingegangen werden.

3.6 Analytic Hierarchy Process (AHP) – Grundlagen

Die AHP-Methode wurde 1980 vom Mathematiker Thomas Saaty entwickelt [8] und kommt seither in viele praktischen Anwendungen zum Einsatz. Mit Hilfe der AHP-Methode lassen sich komplexe Entscheidungsprobleme z.B. bei der Auswahl von Bauverfahren mathematisch auswerten und zu einer rationalen Entscheidungsfindung führen. Dabei können monetäre, sonstige quantifizierbare Bewertungsgrößen (z.B. Bauzeit) oder auch nicht direkt quantifizierbare abstrakte Bewertungskriterien (z.B. Umweltbelastung, Imagegewinn, etc.) in die Entscheidungsfindung einbezogen werden. Der Analytic Hierarchy Process erfordert grösseren mathematischen Aufwand als die Nutzwertanalyse (NWA), ermöglicht dafür aber den einfachen Vergleich komplexer Strukturen der Entscheidungsfindung. Er stellt daher eine Erweiterung der nicht monetären Verfahren auf komplexe hierarchische Entscheidungsprobleme dar, die mit der Nutzwertanalyse nur ungenügend beurteilt werden können.

Der Unterschied von AHP zur NWA besteht grundsätzlich in der folgenden Bewertungsmethodik:

- NWA gewichtet die Ziele bzw. Hauptkriterien und Unterziele bzw. Unterkriterien in direkten, absoluten Verhältnissen
- AHP gewichtet die Ziele bzw. Hauptkriterien und Unterziele bzw. Unterkriterien in relativen Verhältnissen zueinander, die absoluten Verhältnisse der Ziele bzw. Kriterien werden indirekt mittels mathematischen Methoden gebildet.

Die AHP berücksichtigt die begrenzte menschliche Rationalität zutreffender als die NWA. Die AHP zerlegt die komplexe Gewichtungproblematik bei multidimensionalen Entscheidungsproblemen für den Mensch in überschaubare Vergleichsverhältnisse (z.B. Kosten sind z.B. 7 mal wichtiger als Image, Kosten 2 mal wichtiger als Termine) anstatt sofort eine absolute Reihung vorzugeben. Besonders bei einem umfangreichen Kriterienkatalog ist eine absolute Direkt-Reihung bzw. absolute Gewichtung, wie dies bei der NWA erforderlich ist, für den Menschen kaum möglich. Die AHP-Methode entfaltet daher bei mehr als 3-5 Kriterien ihre Effektivität, da nur eine relative Verhältnisabwägung zwischen den Kriterien stattfindet.

Der Ablauf der AHP gliedert sich in folgende Schritte:

- Definition des Entscheidungsproblems mit
 - Festlegung der qualitativen und quantitativen Ziele bzw. Hauptkriterien und Unterzielen bzw. Unterkriterien sowie KO-Kriterien
 - Entwicklung der Handlungsoptionen bzw. alternativen Bauverfahren für den Vergleich
- Gewichtung der Ziele bzw. Kriterien untereinander (relative Gewichtung) und Berechnung der absoluten Gewichtungen, getrennt nach Haupt- und Unterkriterien.
- Vergleichsbewertung der Handlungsoptionen bzw. alternativen Bauverfahren nach den einzelnen Zielen bzw. Kriterien, beginnend mit der Bildung der Untervergleichsfaktoren der jeweiligen Unterkriterien des jeweiligen Hauptkriteriums und anschliessend der Bildung der Hauptvergleichsfaktoren der Bauverfahren für das jeweilige Hauptkriterium durch Bildung der Summe aus den Produkten der Untervergleichsfaktoren mit den absoluten Untergewichtungsfaktoren des betrachteten Hauptkriteriums.

- Entscheidungsfindung erfolgt aufgrund der Summe der Produkte aus den absoluten Hauptgewichtungsfaktoren der Hauptkriterien mit den absoluten Hauptvergleichsfaktoren der Hauptkriterien für jedes Bauverfahren. Das Bauverfahren mit dem höchsten Bewertungsfaktor hat die höchste Zielkonformität.

3.6.1 Definition des Entscheidungsproblems

Ein Entscheidungsproblem, das mit Hilfe der AHP-Methode bewertet werden soll, muss zunächst strukturiert und hierarchisch gegliedert werden. Zunächst muss der Gegenstand der Untersuchung und das Ziel der Entscheidungsfindung definiert werden. Bei der Auswahl eines Bauverfahrens für eine bestimmte Bauaufgabe ist das Ziel der Untersuchung, das Bauverfahren zu finden, das die vorgegebenen Anforderungen optimal erfüllt. Allgemein können aber beliebige Entscheidungsprobleme bewertet werden, wie z.B. die Beschaffung eines Geräts oder die Auswahl einer Erhaltungsstrategie für ein Bauwerk.

Die Definition des Entscheidungsproblems gliedert sich in zwei Teile (Bild 3-24):

- Zieldefinition und Definition der Entscheidungskriterien
- Definition möglicher Handlungsoptionen bzw. Bauverfahren

Ausgehend von der Zieldefinition, die das übergeordnete Ziel der Entscheidungsfindung definiert, werden die Bewertungskriterien definiert, die für die Beurteilung der Zielerreichung herangezogen werden sollen. Diese Bewertungskriterien bilden unterhalb des Gesamtziels eine hierarchische Struktur und können auf einer oder mehreren Hierarchieebenen in Haupt- und Unterkriterien angeordnet sein.

Die hierarchische Struktur des Entscheidungsproblems setzt sich aus dem Ziel des Entscheidungsproblems, sowie den Bewertungskriterien, mit denen die Zielerreichung beurteilt wird, zusammen (Bild 3-24). Mit der AHP-Methode lassen sich beliebig strukturierte Probleme abbilden, bei denen beliebig viele Kriterien auf beliebigen Ebenen angeordnet sein können.

Ausserdem müssen die möglichen Entscheidungsoptionen bzw. Handlungsoptionen des Entscheidungsproblems, also die zu vergleichenden alternativen Bauverfahren, definiert werden. Diese Alternativen werden dann in der Auswertung des Problems in Bezug zu den verschiedenen Bewertungskriterien bewertet.

Bei den meisten Entscheidungsproblemen spielen die Kosten als ein Hauptkriterium einer Handlungsoption eine wichtige Rolle und werden deshalb in die Entscheidungsfindung einbezogen. Hierfür stehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten zur Verfügung:

- Die Kosten werden separat von der AHP-Methode betrachtet und dann in einem weiteren Schritt der aus der AHP-Methode gewonnenen Gesamtbewertung der jeweiligen Handlungsoption gegenübergestellt. Es wird also eine Art Kosten-Nutzen-Verhältnis der verschiedenen Handlungsoptionen berechnet.
- Die Kosten werden als Teil des Entscheidungsproblems in die AHP-Methode integriert. Dieses Vorgehen wird im Folgenden angewandt, da es den Vorteil hat, dass alle Bewertungskriterien innerhalb der AHP-Methode betrachtet werden und damit keine weiteren Schritte notwendig sind. Bei einer Quotientenbildung aus Kosten und Nutzen gehen sonst die Informationen über die absolute Grösse der einzelnen Anteile verloren.

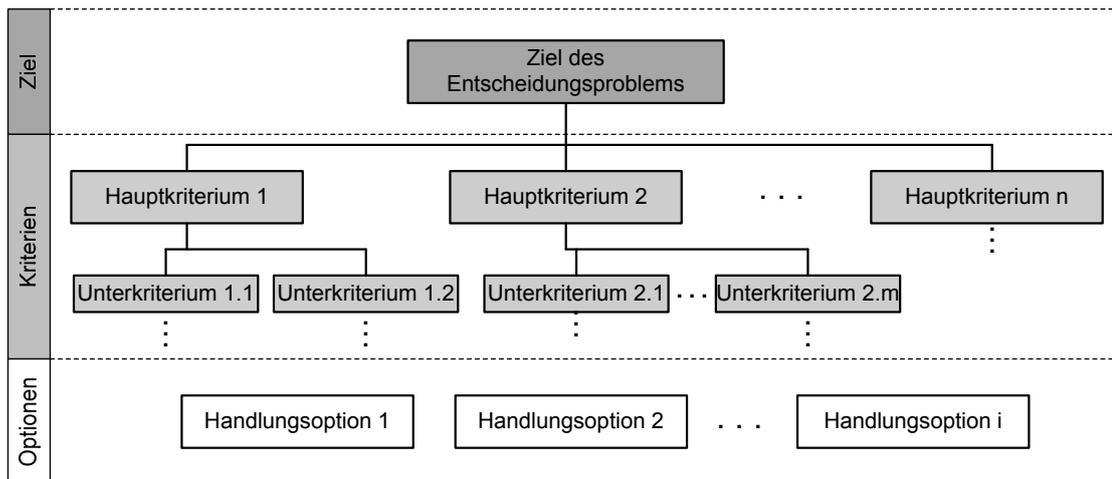


Bild 3-24: Allgemeiner Aufbau der hierarchischen Struktur eines Entscheidungsproblems

3.6.2 Mathematische Formulierung der AHP-Methode

3.6.2.1 Ablauf der AHP-Berechnung

Die Bewertung der Handlungsoptionen bzw. alternativen Bauverfahren bezüglich ihres absoluten Zielerreichungsgrades wird mathematisch in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Bildung der absoluten Gewichtungsfaktoren der Haupt- und Unterkriterien.
Hauptgewichtungsfaktoren:
 - Bildung der relativen Gewichtungsfaktoren durch paarweisen Vergleich der Hauptkriterien durch den Operateur
 - Ermittlung der absoluten Gewichtungsfaktoren mittels mathematischer Eigenwertmethode
 Untergewichtungsfaktoren:
 - Bildung der relativen Gewichtungsfaktoren durch paarweisen Vergleich der Unterkriterien eines Hauptkriteriums durch den Operateur
 - Ermittlung der absoluten Untergewichtungsfaktoren mittels mathematischer Eigenwertmethode für jedes Hauptkriterium
2. Vergleichsbewertung der Handlungsoptionen bzw. alternativen Bauverfahren.
Die Bildung der Vergleichsfaktoren zur Vergleichsbewertung der Handlungsoptionen bzw. alternativen Bauverfahren pro Kriterium erfolgt auch in hierarchischen Stufen.

Untervergleichsfaktoren:

- Bildung der relativen Untervergleichsfaktoren je Unterkriterium unterhalb des jeweiligen Hauptkriteriums für jedes alternative Bauverfahren
- Ermittlung der absoluten Untervergleichsfaktoren der Unterkriterien unterhalb des jeweiligen Hauptkriteriums für jedes Bauverfahren mittels mathematischer Eigenwertmethode

Hauptvergleichsfaktoren:

- Berechnung der Hauptvergleichsfaktoren pro Bauverfahren durch die Summe der Produkte aus den absoluten Untergewichtungsfaktoren des jeweiligen Hauptkriteriums mit den jeweiligen absoluten Untervergleichsfaktoren des jeweiligen Hauptkriteriums pro Bauverfahren
3. Entscheidungsfindung.
Die Entscheidungsfindung wird durch Messung des numerischen Zielerreichungsgrads bestimmt.

Zielerreichungsgrad:

- Berechnung des Zielerreichungsgrads für jede Handlungsoption bzw. jedes alternative Bauverfahren erfolgt aus der Summe der Produkte der absoluten gewichteten Hauptkriterien mit den absoluten Hauptvergleichsfaktoren
- Optimale Handlungsoption bzw. optimales alternatives Bauverfahren ergibt sich aus dem höchsten berechneten Zielerreichungsgrad

3.6.2.2 Bildung der absoluten Gewichtungsfaktoren der Kriterien

Als Grundlage für die Bewertung der verschiedenen Bauverfahrensalternativen müssen die Prioritäten der Bewertungskriterien definiert werden. Es muss also eine Gewichtung der einzelnen Kriterien untereinander vorgenommen werden. Dies geschieht auf allen Ebenen der hierarchischen Struktur. Dabei werden jeweils Kriterien einer Hierarchiestufe, die zu einem übergeordneten Kriterium aggregiert werden, miteinander verglichen. Die so ermittelten Gewichtungsfaktoren geben dann in der Bewertung der verschiedenen Handlungsoptionen an, wie die Vergleichsfaktoren auf den verschiedenen Ebenen gewichtet und auf der nächst höheren Ebene aggregiert werden.

Bildung der relativen Gewichtungsfaktoren der Hauptkriterien durch paarweisen Vergleich der Kriterien

Da die Festlegung sinnvoller und untereinander konsistenter Gewichtungsfaktoren bei einer grösseren Anzahl von Bewertungskriterien meist nicht in einem Schritt möglich ist, erfolgt die Definition der Gewichtungsfaktoren in zwei Schritten. Zunächst werden die verschiedenen Bewertungskriterien paarweise gegenübergestellt und damit die relativen Gewichtungsfaktoren zwischen je zwei Kriterien ermittelt. Auf diese Weise gestaltet sich die Gewichtung sehr viel einfacher, da zunächst immer nur zwei Kriterien K_i und K_j miteinander verglichen werden und ein relativer Gewichtungsfaktor

$g_{ij}^{rel} = 1/g_{ji}^{rel}$ zwischen diesen beiden Kriterien definiert wird. Eine solche Gegenüberstellung erfolgt für alle möglichen Kombinationen der zu bewertenden Kriterien. Die Ableitung der absoluten Gewichtungsfaktoren der Bewertungskriterien erfolgt dann erst in einem weiteren Schritt.

Für die Gewichtung wird eine Skala von eins bis neun gemäss Bild 3-25 verwendet. Wird der $g_{ij}^{rel} = 1$ gewählt, so bedeutet dies eine Gewichtung der beiden Kriterien im Verhältnis 1:1. Es wird also beiden Kriterien i und j dieselbe Bedeutung zugeordnet. Wird dagegen $g_{ij}^{rel} = 9$ gewählt, so werden die beiden Kriterien im Verhältnis 9:1 bewertet, es besteht also eine absolute Präferenz für das Kriterium i gegenüber dem Kriterium j .

Gewichtungsskala	Definition
1	Gleiche Bedeutung / Qualität
3	Schwache Präferenz
5	Bedeutende Präferenz
7	Starke Präferenz
9	Absolute Präferenz

Bild 3-25: Skala zur Gewichtung der Bewertungskriterien bzw. der Handlungsoptionen

Auf diese Weise werden alle möglichen Kombinationen der Bewertungskriterien miteinander verglichen und jeweils ein relativer Gewichtungsfaktor festgelegt. Daraus ergibt sich die in Bild 3-26 dargestellte Matrix der relativen Gewichtungsfaktoren.

$$\text{Kriterium 1} : \text{Kriterium 2} = k_1 : k_2 = g_{12}^{rel}$$

$$\text{Kriterium 1} : \text{Kriterium 3} = k_1 : k_3 = g_{13}^{rel}$$

...

$$\text{Kriterium i} : \text{Kriterium j} = k_i : k_j = g_{ij}^{rel}$$

Bildung der relativen Gewichtungsfaktorenmatrix der Hauptkriterien

Bewertungskriterien	Kriterium 1	Kriterium 2	...
Kriterium 1	g_{11}^{rel}	$g_{12}^{rel} = 1/g_{21}^{rel}$	...
Kriterium 2	$g_{21}^{rel} = 1/g_{12}^{rel}$	g_{22}^{rel}	...
...

Bild 3-26: Matrix \underline{G}^{rel} der relativen Gewichtungsfaktoren aus dem paarweisen Vergleichs aller Bewertungskriterien einer Hierarchiestufe

Für die Matrix \underline{G}^{rel} der relativen Gewichtungsfaktoren gilt:

$$\underline{G}^{rel} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} & HK1 & HK2 & HK3 & \dots & HKn \\ \begin{array}{c} HK1 \\ HK2 \\ HK3 \\ \dots \\ HKn \end{array} & \begin{array}{c} 1 \\ g_{21}^{rel} = \frac{1}{g_{12}^{rel}} \\ g_{31}^{rel} = \frac{1}{g_{13}^{rel}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} g_{12}^{rel} = \frac{1}{g_{21}^{rel}} \\ 1 \\ g_{32}^{rel} = \frac{1}{g_{23}^{rel}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} g_{13}^{rel} = \frac{1}{g_{31}^{rel}} \\ g_{23}^{rel} = \frac{1}{g_{32}^{rel}} \\ 1 \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \end{array} \end{array}$$

Ermittlung der absoluten Gewichtungsfaktoren der Hauptkriterien:

Die zuvor ermittelten relativen Gewichtungsfaktoren geben lediglich den Vergleich einzelner Bewertungskriterien untereinander an, ermöglichen aber noch keine absolute Gewichtung der Bewertungskriterien. Mit Hilfe des Eigenvektors der Matrix \underline{G}^{rel} lassen sich jedoch aus den relativen Gewichtungsfaktoren absolute Gewichtungsfaktoren für die Gesamtbewertung der verschiedenen Kriterien ableiten. Nach Saaty [8] stellt der Eigenvektor zum grössten Eigenwert der Matrix \underline{G}^{rel} der relativen Gewichtungsfaktoren eine gute Näherung für die absoluten Gewichtungsfaktoren dar.

Zur Ermittlung der absoluten Gewichtungsfaktoren der Hauptkriterien aus einer diagonalen Matrix eignet sich die Eigenwertmethode. Die Eigenwertmethode orthogonalisiert die relativen Gewichtungsfaktoren, so dass diese sich in unabhängige Vektoren auflösen. Dadurch erhält man für jeden Eigenwert einen absoluten Gewichtungsvektor mit Gewichtungsfaktoren pro Hauptkriterium. Der grösste reelle Eigenwert bildet damit das Gewichtungsszenario für die Hauptkriterien.

Bildung der Eigenwertmatrixgleichung:

Die Eigenwertaufgabe zur Ermittlung der absoluten Gewichtungsfaktoren gestaltet sich mathematisch so, dass zu einer quadratischen Matrix \underline{G}_{HK}^{rel} ein Vektor \underline{g}^{abs} gesucht wird, der mit \underline{G}_{HK}^{rel} transformiert den Vektor $\underline{y} = \underline{G}_{HK}^{rel} \cdot \underline{g}^{abs}$ ergibt. Dieser Vektor \underline{y} soll zum Ausgangsvektor \underline{g}^{abs} proportional sein $\underline{y} = \lambda \cdot \underline{g}^{abs}$.

Daraus ergibt sich

$$\begin{aligned} \underline{G}_{HK}^{rel} \cdot \underline{g}^{abs} &= \lambda \cdot \underline{g}^{abs} \\ (\underline{G}_{HK}^{rel} - \lambda \cdot \underline{E}) \cdot \underline{g}^{abs} &= 0 \end{aligned}$$

das Eigenwertproblem für die Matrix \underline{G}_{HK}^{rel} .

Ein Eigenvektor \underline{g}^{abs} einer Abbildung f ist in der linearen Algebra ein vom Nullvektor verschiedener Vektor, dessen Richtung durch die Abbildung nicht verändert wird. Ein Eigenvektor wird also nur gestreckt, und man bezeichnet den Streckungsfaktor als Eigenwert λ der Abbildung.

Es gilt also allgemein:

$$f(\underline{x}) = \lambda \cdot \underline{g}^{abs}$$

Im vorliegenden Fall wird die Abbildung f durch die Matrix \underline{G}_{HK}^{rel} gegeben. Für den Eigenvektor gilt dann:

$$\underline{G}_{HK}^{rel} \cdot \underline{g}^{abs} = \lambda \cdot \underline{g}^{abs}$$

Für die Berechnung des Eigenvektors der Matrix \underline{G}_{HK}^{rel} wird die Formel mit Hilfe der Einheitsmatrix \underline{E} wie folgt umgeformt:

$$\left(\underline{G}_{HK}^{rel} - \lambda \cdot \underline{E}\right) \cdot \underline{g}^{abs} = 0$$

Diese Gleichung stellt ein homogenes lineares Gleichungssystem dar. Da $\underline{g}^{abs} \neq 0$ vorausgesetzt wird, ist dieses genau dann lösbar wenn gilt:

$$\det\left(\underline{G}_{HK}^{rel} - \lambda \cdot \underline{E}\right) = 0$$

Die Lösung dieses Gleichungssystems sind die Eigenwerte λ der Matrix \underline{G}_{HK}^{rel} . Für die Berechnung der Determinanten einer Matrix existieren verschiedene Berechnungsverfahren. Für eine 2x2 bzw. 3x3 Matrix lässt sich die Determinante in geschlossener Form darstellen, für grössere Matrizen muss auf Iterationsverfahren zurückgegriffen werden (z.B. Potenzmethode, Inverse Iteration, Jacobi-Verfahren, Jacobi-Davidson-Verfahren). Viele Computertools bieten hierfür vorgefertigte Lösungen an.

Zu jedem Eigenwert lässt sich ein zugehöriger Eigenvektor der Matrix \underline{G}_{HK}^{rel} bestimmen. Die gesuchte Lösung für die absoluten Gewichtungsfaktoren ist der zum grössten Eigenwert λ^{\max} gehörige Eigenvektor \underline{g}^{abs} [8].

Den Eigenvektor \underline{g}^{abs} erhält man durch einsetzen des Eigenwerts λ^{\max} in die oben stehende Formel

$$\left(\underline{G}_{HK}^{rel} - \lambda^{\max} \cdot \underline{E}\right) \cdot \underline{g}^{abs} = 0$$

Dies ergibt ein lineares Gleichungssystem, dessen Lösung der gesuchte Eigenvektor \underline{g}^{abs} ist. In unserem Problem ist der Eigenvektor \underline{g}^{abs} , also der absoluten Gewichtungsfaktoren der Hauptkriterien:

$$\left(\underline{g}^{abs}\right) = \begin{pmatrix} g_1^{abs} \\ g_2^{abs} \\ \dots \end{pmatrix}$$

Der gesuchte Vektor \underline{g}^{abs} entspricht den absoluten Gewichtungsfaktoren der verschiedenen Bewertungskriterien.

Bildung der absoluten Untergewichtungsfaktoren pro Kriterium

Die Bildung der absoluten Untergewichtungsfaktoren pro Bewertungshauptkriterium erfolgt analog zum Verfahren bei der Ermittlung der absoluten Hauptgewichtungsfaktoren für die Hauptkriterien.

Im ersten Schritt wird die relative Bedeutung der Untergewichtungskriterien je Hauptkriterium durch paarweisen Vergleich durch den Operateur bestimmt. Dies wird im Folgenden für die relativen Untergewichtungskriterien der Hauptkriteriums „Produktionstechnische Anforderungen = PA“ gezeigt. Die Unterkriterien des Hauptkriteriums PA sind z.B.:

- UK1 – Leistungsfähigkeit
- UK2 – Raumbedarf
- UK3 – Verfahrensrobustheit
- UK4 – ...
- ...

Relative Untergewichtungsmatrix der Unterkriterien des Hauptkriteriums PA:

$$\underline{G}_{PA}^{rel} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} & UK_1^{PA} & UK_2^{PA} & UK_3^{PA} & \dots UK_n^{PA} \\ \begin{array}{c} 1 \\ g_{PA,21}^{rel} = \frac{1}{g_{PA,12}^{rel}} \\ g_{PA,31}^{rel} = \frac{1}{g_{PA,13}^{rel}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} g_{PA,12}^{rel} = \frac{1}{g_{PA,21}^{rel}} \\ 1 \\ g_{PA,32}^{rel} = \frac{1}{g_{PA,23}^{rel}} \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} g_{PA,13}^{rel} = \frac{1}{g_{PA,31}^{rel}} \\ g_{PA,23}^{rel} = \frac{1}{g_{PA,32}^{rel}} \\ 1 \\ \dots \end{array} & \begin{array}{c} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \end{array} \end{array} \begin{array}{l} UK_1^{PA} \\ UK_2^{PA} \\ UK_3^{PA} \\ \dots \\ UK_n^{PA} \end{array}$$

Die Bestimmung der absoluten Untergewichtungsfaktoren für jedes Unterkriterium UK_i des Hauptkriteriums PA erfolgt mittels Eigenwertmethode:

$$(\underline{G}_{PA}^{rel} - \lambda^{max} \cdot \underline{E}) \cdot \underline{g}_{PA}^{abs} = 0$$

$$(\underline{g}_{PA}^{abs}) = \begin{pmatrix} g_{PA,1}^{abs} \\ g_{PA,2}^{abs} \\ \dots \end{pmatrix} \begin{array}{l} UK_1^{PA} \\ UK_2^{PA} \\ \dots \end{array}$$

Analog erfolgt die Bestimmung der absoluten Untergewichtungsfaktoren für das Hauptkriterium i:

$$\underline{G}_i^{rel} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} UK_1^i & UK_2^i & UK_3^i & \dots UK_n^i \end{array} \\ \left[\begin{array}{cccc} 1 & g_{i,12}^{rel} = \frac{1}{g_{i,21}^{rel}} & g_{i,13}^{rel} = \frac{1}{g_{i,31}^{rel}} & \dots \\ g_{i,21}^{rel} = \frac{1}{g_{i,12}^{rel}} & 1 & g_{i,23}^{rel} = \frac{1}{g_{i,32}^{rel}} & \dots \\ g_{i,31}^{rel} = \frac{1}{g_{i,13}^{rel}} & g_{i,32}^{rel} = \frac{1}{g_{i,23}^{rel}} & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{array} \right] \begin{array}{c} UK_1^i \\ UK_2^i \\ UK_3^i \\ \dots \\ UK_n^i \end{array} \end{array}$$

$$\left(\underline{G}_i^{rel} - \lambda^{\max} \cdot \underline{E} \right) \cdot \underline{g}_i^{abs} = 0$$

$$\left(\underline{g}_i^{abs} \right) = \begin{pmatrix} g_{i,1}^{abs} \\ g_{i,2}^{abs} \\ \dots \end{pmatrix} \begin{array}{c} UK_1^i \\ UK_2^i \\ \dots \end{array}$$

Die absoluten Untergewichtungsfaktoren je Hauptkriterium können wiederum in einer absoluten Untergewichtungsmatrix zusammengefasst werden:

$$\underline{G}_{UK}^{abs} = \left[\underline{g}_1^{abs} ; \underline{g}_2^{abs} ; \dots ; \underline{g}_i^{abs} ; \dots ; \underline{g}_n^{abs} \right]$$

$$\underline{G}_{UK}^{abs} = \left[\begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} g_{1,1}^{abs} \\ g_{1,2}^{abs} \\ g_{1,3}^{abs} \\ \dots \end{array} \right] ; \left[\begin{array}{c} g_{2,1}^{abs} \\ g_{2,2}^{abs} \\ g_{2,3}^{abs} \\ \dots \end{array} \right] ; \left[\begin{array}{c} g_{i,1}^{abs} \\ g_{i,2}^{abs} \\ g_{i,3}^{abs} \\ \dots \end{array} \right] ; \dots ; \left[\begin{array}{c} g_{n,1}^{abs} \\ g_{n,2}^{abs} \\ g_{n,3}^{abs} \\ \dots \end{array} \right] \end{array} \right] \begin{array}{c} UK_1^i \\ UK_2^i \\ UK_3^i \\ \dots \end{array}$$

3.6.2.3 Vergleichsbewertung der Handlungsoptionen bzw. alternativen Bauverfahren

Nachdem im ersten Schritt die verschiedenen Bewertungskriterien untereinander gewichtet wurden, werden im nächsten Schritt die verschiedenen Handlungsoptionen bzw. alternativen Bauverfahren auf der Ebene der Hauptkriterien gegenübergestellt. Die Bewertung erfolgt jeweils in Bezug auf die Bewertungskriterien.

Wenn die hierarchische Struktur der Bewertungskriterien mehr als eine Ebene umfasst, so erfolgt die Bewertung der Handlungsoptionen zuerst auf der untersten Ebene der Hierarchie. Die Bewertung für die übergeordneten Hauptbewertungskriterien wird entsprechend der zuvor festgelegten Untergewichtungsfaktoren aus den untergeordneten Unterbewertungskriterien bestimmt.

Je nach Art des Bewertungskriteriums und in Abhängigkeit der vorhandenen Datenbasis kann die Bewertung auf zwei Arten erfolgen:

- Variante 1 - Mathematische Ableitung der absoluten Vergleichsfaktoren aus vorhandenem Datenmaterial
- Variante 2 - Bestimmung der relativen Vergleichsfaktoren aus einer paarweisen Gegenüberstellung der Handlungsoptionen analog zum Vorgehen bei der Gewichtung der Bewertungskriterien.

Der erste Fall ist z.B. meist beim Bewertungskriterium „Kosten“ gegeben. Wenn eine Kalkulation der zu erwartenden Kosten der verschiedenen Handlungsoptionen vorliegt, so lassen sich aus dem Verhältnis der Kosten bei den verschiedenen Optionen direkt die absoluten Vergleichsfaktoren ableiten

Der zweite Fall ist dann gegeben, wenn keine Datengrundlage zu einem Bewertungskriterium vorhanden ist oder dieses sich grundsätzlich nicht für eine mathematische Beurteilung eignet. Beispiele können z.B. Umweltbeeinträchtigungen oder ähnliches sein. In diesem Fall können mit dem bereits beschriebenen Vorgehen des paarweisen Vergleichs der verschiedenen Optionen auch derartige „weiche“ Bewertungskriterien in die Bewertung einbezogen werden. Aus den im paarweisen Vergleich gewonnenen relativen Vergleichsfaktoren können dann wiederum mittels der im vorherigen Kapitel beschriebenen mathematischen Methode die absoluten Vergleichsfaktoren ermittelt werden.

Variante 1 – Bildung von Vergleichsfaktoren aus vorhandenem Datenmaterial auf Haupt- oder Unterkriteriumsebene

Sind z.B. auf der Unterkriteriumsebene j für alle alternativen Bauverfahren Daten, z.B. die absoluten Kosten vorhanden, so werden die absoluten Untervergleichsfaktoren für das Hauptkriterium HK_i für jedes Bauverfahren k wie folgt gebildet:

$$\left(\underline{v}_{HK_i, j}^{abs} \right) = \begin{pmatrix} v_{HK_i, j, 1}^{abs} \\ \dots \\ v_{HK_i, j, k}^{abs} \\ \dots \\ v_{HK_i, j, n}^{abs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{K_{HK_i, j, 1}} \cdot \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{K_{HK_i, j, k}} \right) \\ \dots \\ \frac{1}{K_{HK_i, j, k}} \cdot \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{K_{HK_i, j, k}} \right) \\ \dots \\ \frac{1}{K_{HK_i, j, n}} \cdot \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{K_{HK_i, j, k}} \right) \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{Bauverfahren 1} \\ \dots \\ \text{Bauverfahren k} \\ \dots \\ \text{Bauverfahren n} \end{matrix}$$

Mit: i = Hauptkriterium

j = Unterkriterium

k = Bauverfahren

Variante 2 – Bildung von Vergleichsfaktoren aufgrund subjektiven paarweisen Vergleichs mit Untervergleichskriterien

Sind z.B. keine Daten vorhanden, so müssen, wie bereits bei der relativen Gewichtung der Bewertungskriterien gezeigt wurde, auch für die Unterkriterien durch paarweisen Vergleich der Bauverfahren relative Untervergleichsfaktoren gebildet werden.

Relative Untervergleichsfaktoren

Diese werden z.B. für das Unterkriterium UK_j des Hauptkriteriums HK_i wie folgt gebildet:

	<i>Bauverf. 1</i>	<i>Bauverf. 2</i>	<i>Bauverf. 3</i>	<i>...Bauverf. n</i>	
$V_{ij}^{rel} =$	1	$v_{ij,12}^{rel} = \frac{1}{g_{ij,21}^{rel}}$	$v_{ij,13}^{rel} = \frac{1}{v_{ij,31}^{rel}}$	...	<i>Bauverf. 1</i>
	$v_{ij,21}^{rel} = \frac{1}{v_{ij,12}^{rel}}$	1	$v_{ij,23}^{rel} = \frac{1}{v_{ij,32}^{rel}}$	...	<i>Bauverf. 2</i>
	$v_{ij,31}^{rel} = \frac{1}{v_{ij,13}^{rel}}$	$v_{ij,32}^{rel} = \frac{1}{v_{ij,23}^{rel}}$	1	...	<i>Bauverf. 3</i>
	...	...	...	...	... <i>Bauverf. n</i>

Absolute Untervergleichsfaktoren

Die absoluten Untervergleichsfaktoren erhält man wieder mittels Eigenwertmethode, da die Untervergleichsmatrix diagonal ist. Die Eigenwertmethode orthogonalisiert die relativen Untervergleichsfaktoren. Diese ergeben pro Eigenwert unabhängige, absolute Vektoren der Untervergleichsfaktoren unter einem Hauptkriterium.

$$\left(\underline{V}_{ij}^{abs} - \lambda^{\max} \cdot \underline{E} \right) \cdot \underline{v}_{ij}^{abs} \Big|_n = 0$$

Mit: i = Hauptkriterium (l)

j = Unterkriterium (m)

n = Anzahl der alternativen Bauverfahren

Die absoluten Untervergleichsfaktoren des Unterkriteriums j unter dem Hauptkriterium i pro Bauverfahren ergeben sich aus dem grössten Eigenwert:

$$\underline{v}_{ij}^{abs} \Big|_n = \begin{pmatrix} v_{ij,1}^{abs} \\ \dots \\ v_{ij,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{ij,n}^{abs} \end{pmatrix} \begin{matrix} \textit{Bauverf. 1} \\ \dots \\ \textit{Bauverf. k} \\ \dots \\ \textit{Bauverf. n} \end{matrix}$$

Matrix aller absoluten Untervergleichsfaktoren j für jedes alternative Bauverfahren k für das Hauptkriterium i :

$$\underline{V}_i^{abs} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} UK1 & UK2 & \dots & UKj & \dots & UKm \\ \hline v_{i,1,1}^{abs} & v_{i,2,1}^{abs} & \dots & v_{i,j,1}^{abs} & \dots & v_{i,m,1}^{abs} \\ \hline v_{i,1,2}^{abs} & v_{i,2,2}^{abs} & \dots & v_{i,j,2}^{abs} & \dots & v_{i,m,2}^{abs} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline v_{i,1,k}^{abs} & v_{i,2,k}^{abs} & \dots & v_{i,j,k}^{abs} & \dots & v_{i,m,k}^{abs} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline v_{i,1,n}^{abs} & v_{i,2,n}^{abs} & \dots & v_{i,j,n}^{abs} & \dots & v_{i,m,n}^{abs} \end{array} \\ \begin{array}{l} \text{Bauverf. 1} \\ \text{Bauverf. 2} \\ \dots \\ \text{Bauverf. k} \\ \dots \\ \text{Bauverf. n} \end{array} \end{array}$$

$$\underline{V}_i^{abs} = \left[\begin{array}{cccccc} v_{i,1}^{abs} & v_{i,2}^{abs} & \dots & v_{i,j}^{abs} & \dots & v_{i,m}^{abs} \end{array} \right]$$

Berechnung der absoluten Hauptvergleichsfaktoren:

Berechnung des absoluten Hauptvergleichsvektors mit den Hauptvergleichsfaktoren i eines jeden alternativen Bauverfahrens k .

Den Vektor der absoluten Hauptvergleichsfaktoren für das Hauptkriterium HK_i erhält man aus dem Produkt der absoluten Untervergleichsfaktoren $v_{ij,k}^{abs}$ multipliziert mit den absoluten Untergewichtungsfaktoren g_{ij}^{abs} des Unterkriteriums UK_j für jedes alternative Bauverfahren k .

$$\underline{v}_i^{abs} = g_{i,1}^{abs} \cdot v_{i,1}^{abs} + g_{i,2}^{abs} \cdot v_{i,2}^{abs} + \dots + g_{i,j}^{abs} \cdot v_{i,j}^{abs} + \dots + g_{i,m}^{abs} \cdot v_{i,m}^{abs} \Big|_n$$

$$\underline{v}_i^{abs} \Big|_n = \left[\begin{array}{c} g_{i,1}^{abs} \begin{pmatrix} v_{i,1,1}^{abs} \\ v_{i,1,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,1,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,1,n}^{abs} \end{pmatrix} + g_{i,2}^{abs} \begin{pmatrix} v_{i,2,1}^{abs} \\ v_{i,2,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,2,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,2,n}^{abs} \end{pmatrix} + \dots + g_{i,j}^{abs} \begin{pmatrix} v_{i,j,1}^{abs} \\ v_{i,j,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,j,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,j,n}^{abs} \end{pmatrix} + \dots + g_{i,m}^{abs} \begin{pmatrix} v_{i,m,1}^{abs} \\ v_{i,m,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,m,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,m,n}^{abs} \end{pmatrix} \end{array} \right]$$

$$\underline{v}_i^{abs} \Big|_n = \begin{bmatrix} v_{i,1,1}^{abs} & v_{i,2,1}^{abs} & \dots & v_{i,m,1}^{abs} \\ v_{i,1,2}^{abs} & v_{i,2,2}^{abs} & \dots & v_{i,m,2}^{abs} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{i,1,k}^{abs} & v_{i,2,k}^{abs} & \dots & v_{i,m,k}^{abs} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{i,1,n}^{abs} & v_{i,2,n}^{abs} & \dots & v_{i,m,n}^{abs} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} g_{i,1}^{abs} \\ g_{i,2}^{abs} \\ \dots \\ g_{i,j}^{abs} \\ \dots \\ g_{i,m}^{abs} \end{bmatrix}$$

$$\underline{v}_i^{abs} = \underline{V}_i^{abs} \cdot \underline{g}_i^{abs} \Big|_n$$

$$\underline{v}_i^{abs} = \begin{bmatrix} v_{i,1}^{abs} \\ v_{i,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{i,n}^{abs} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Bauverf. 1} \\ \text{Bauverf. 2} \\ \dots \\ \text{Bauverf. k} \\ \dots \\ \text{Bauverf. n} \end{matrix}$$

Damit erhält man die absoluten Hauptvergleichsfaktorenmatrix aus den Vektoren der einzelnen Hauptvergleichsvektoren je Hauptkriterium wie folgt:

$$\underline{V}^{abs} = \begin{bmatrix} \underline{v}_1^{abs} & \underline{v}_2^{abs} & \dots & \underline{v}_i^{abs} & \dots & \underline{v}_l^{abs} \end{bmatrix}$$

	HK1	HK2	...	HKi	...	HKl	
$\underline{V}^{abs} =$	$v_{1,1}^{abs}$	$v_{2,1}^{abs}$	...	$v_{i,1}^{abs}$	...	$v_{l,1}^{abs}$	Bauverf. 1
	$v_{1,2}^{abs}$	$v_{2,2}^{abs}$	...	$v_{i,2}^{abs}$	...	$v_{l,2}^{abs}$	Bauverf. 2

	$v_{1,k}^{abs}$	$v_{2,k}^{abs}$	...	$v_{i,k}^{abs}$	...	$v_{l,k}^{abs}$	Bauverf. k

	$v_{1,n}^{abs}$	$v_{2,n}^{abs}$	...	$v_{i,n}^{abs}$	...	$v_{l,n}^{abs}$	Bauverf. n

3.6.2.4 Entscheidungsfindung

Die Entscheidungsfindung erfolgt durch Berechnung eines Bewertungsfaktors der den Zielerreichungsgrad eines jeden alternativen Bauverfahren bewertet. Dieser Bewertungsfaktor eines jeden alternativen Bauverfahrens ermitteln man aus der Summe der Produkte der absoluten Vergleichsfaktoren $v_{i,k}^{abs}$ der Hauptkriterien $1 \leq i \leq l$ mit den absoluten Gewichtungsfaktoren g_i^{abs} pro Hauptkriterium des jeweiligen Bauverfahrens $1 \leq k \leq n$.

$$b_k = g_1^{abs} \cdot v_{1,k}^{abs} + g_2^{abs} \cdot v_{2,k}^{abs} + \dots + g_i^{abs} \cdot v_{i,k}^{abs} + \dots + g_l^{abs} \cdot v_{l,k}^{abs}$$

Bewertungsvektor für alle alternativen Bauverfahren k:

$$\underline{b}^{ges} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_k \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} HK1 & HK2 & \dots & HKi & \dots & HKl \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} v_{1,1}^{abs} & v_{2,1}^{abs} & \dots & v_{i,1}^{abs} & \dots & v_{l,1}^{abs} \\ v_{1,2}^{abs} & v_{2,2}^{abs} & \dots & v_{i,2}^{abs} & \dots & v_{l,2}^{abs} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{1,k}^{abs} & v_{2,k}^{abs} & \dots & v_{i,k}^{abs} & \dots & v_{l,k}^{abs} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{1,n}^{abs} & v_{2,n}^{abs} & \dots & v_{i,n}^{abs} & \dots & v_{l,n}^{abs} \end{bmatrix} & \cdot & \begin{bmatrix} g_1^{abs} \\ g_1^{abs} \\ \dots \\ g_i^{abs} \\ \dots \\ g_l^{abs} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\underline{b}^{ges} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_k \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1^{abs}; & v_2^{abs}; & \dots; & v_j^{abs}; & \dots; & v_l^{abs} \end{bmatrix}_n \cdot \begin{bmatrix} g_1^{abs} \\ g_1^{abs} \\ \dots \\ g_i^{abs} \\ \dots \\ g_l^{abs} \end{bmatrix}$$

$$\underline{b}^{ges} = g_1^{abs} \cdot v_1^{abs} + g_2^{abs} \cdot v_2^{abs} + \dots + g_i^{abs} \cdot v_i^{abs} + \dots + g_l^{abs} \cdot v_l^{abs}$$

Für das Bauverfahren k kann man den Bewertungsfaktor auch als Summenformel wie folgt berechnen:

$$b_k = \sum_{i=1}^l v_{i,k}^{abs} \cdot g_i^{abs}$$

$$b_k = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m v_{ij,k}^{abs} \cdot g_{ij}^{abs} \cdot g_i^{abs}$$

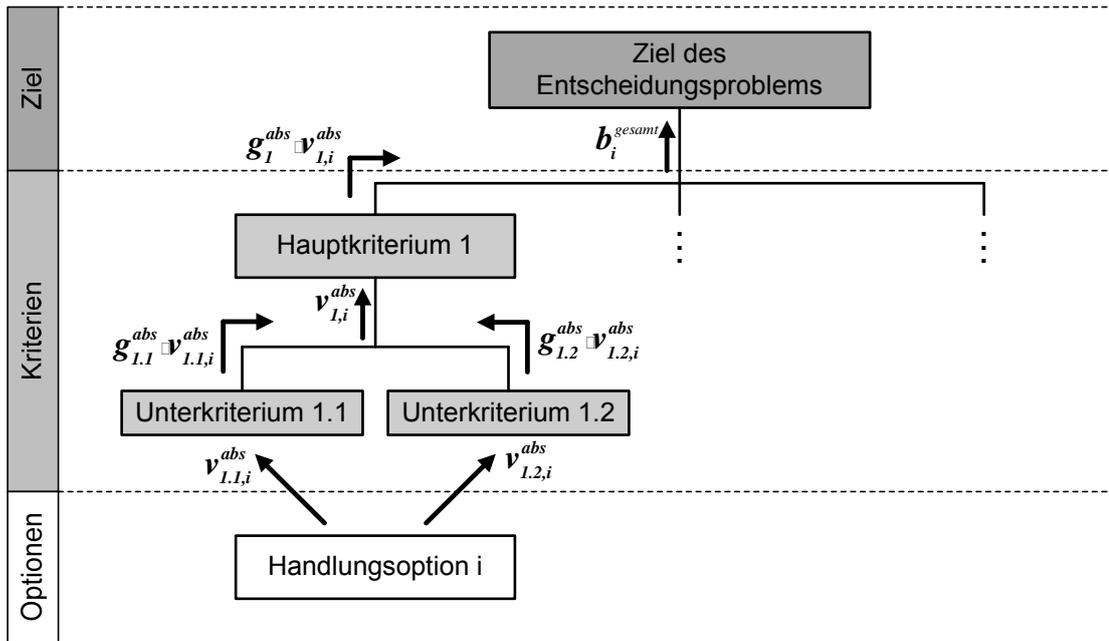


Bild 3-27: Ableitung der Gesamtbewertung einer Handlungsoption durch Aggregation der Bewertungsergebnisse über die verschiedenen Hierarchiestufen

Führt man den Bewertungsvektor zurück auf die Untervergleichsvektoren so erhält man (Bild 3-27):

$$\underline{b}^{ges} = g_1^{abs} \cdot \left[g_{11}^{abs} \cdot \begin{bmatrix} v_{1,1,1}^{abs} \\ v_{1,1,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{1,1,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{1,1,n}^{abs} \end{bmatrix} + \dots + g_{1,m}^{abs} \cdot \begin{bmatrix} v_{1,m,1}^{abs} \\ v_{1,m,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{1,m,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{1,m,n}^{abs} \end{bmatrix} \right] + g_2^{abs} \cdot \left[g_{2,1}^{abs} \cdot \begin{bmatrix} v_{2,1,1}^{abs} \\ v_{2,1,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{2,1,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{2,1,n}^{abs} \end{bmatrix} + \dots + g_{2,m}^{abs} \cdot \begin{bmatrix} v_{2,m,1}^{abs} \\ v_{2,m,2}^{abs} \\ \dots \\ v_{2,m,k}^{abs} \\ \dots \\ v_{2,m,n}^{abs} \end{bmatrix} \right] + \dots$$

$$\underline{b}^{ges} = \left[\begin{array}{c} \underbrace{\underline{v}_1^{abs} \text{ von HK1}}_{\begin{array}{c} v_{1,1,1}^{abs} \quad v_{1,2,1}^{abs} \\ v_{1,1,2}^{abs} \quad v_{1,2,2}^{abs} \\ v_{1,1,3}^{abs} \quad v_{1,2,3}^{abs} \\ \dots \\ \dots \end{array}} + g_{1,2}^{abs} \cdot \begin{array}{c} v_{1,2,1}^{abs} \\ v_{1,2,2}^{abs} \\ v_{1,2,3}^{abs} \\ \dots \\ \dots \end{array} + \dots ; \underbrace{\underline{v}_2^{abs} \text{ von HK2}}_{\begin{array}{c} v_{2,1,1}^{abs} \quad v_{2,m,1}^{abs} \\ v_{2,1,2}^{abs} \quad v_{2,2,2}^{abs} \\ v_{2,1,3}^{abs} \quad v_{2,2,3}^{abs} \\ \dots \\ \dots \end{array}} + g_{2,2}^{abs} \cdot \begin{array}{c} v_{2,2,1}^{abs} \\ v_{2,2,2}^{abs} \\ v_{2,2,3}^{abs} \\ \dots \\ \dots \end{array} + \dots \text{Verf 1} \\ \text{Verf 2} \\ \text{Verf 3} \\ \dots \\ \dots \end{array} \right] \cdot \begin{array}{c} g_1^{abs} \\ g_2^{abs} \\ g_3^{abs} \\ \dots \\ \dots \end{array}$$

$$\underline{b}^{ges} = \left[\begin{array}{c} \underbrace{\underline{v}_1^{abs} \text{ von HK1}}_{\begin{array}{c} UK1 \quad UK2 \quad \dots \quad UG1 \\ v_{1,1,1}^{abs} \quad v_{1,2,1}^{abs} \quad \dots \quad g_{1,1}^{abs} \\ v_{1,1,2}^{abs} \quad v_{1,2,2}^{abs} \quad \dots \quad g_{1,2}^{abs} \\ v_{1,1,3}^{abs} \quad v_{1,2,3}^{abs} \quad \dots \quad g_{1,3}^{abs} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \end{array}} ; \underbrace{\underline{v}_2^{abs} \text{ von HK2}}_{\begin{array}{c} UK1 \quad UK2 \quad \dots \quad UG1 \\ v_{2,1,1}^{abs} \quad v_{2,m,1}^{abs} \quad \dots \quad g_{2,1}^{abs} \\ v_{2,1,2}^{abs} \quad v_{2,2,2}^{abs} \quad \dots \quad g_{2,2}^{abs} \\ v_{2,1,3}^{abs} \quad v_{2,2,3}^{abs} \quad \dots \quad g_{2,3}^{abs} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \end{array}} + \dots \text{Verf 1} \\ \text{Verf 2} \\ \text{Verf 3} \\ \dots \\ \dots \end{array} \right] \cdot \begin{array}{c} g_1^{abs} \\ g_2^{abs} \\ g_3^{abs} \\ \dots \\ \dots \end{array}$$

$$\underline{b}^{ges} = \left[\underline{v}_1^{abs} \cdot \underline{g}_1^{abs} ; \underline{v}_2^{abs} \cdot \underline{g}_2^{abs} ; \dots ; \underline{v}_n^{abs} \cdot \underline{g}_n^{abs} \right] \cdot \underline{g}_{HK}^{abs}$$

$$\underline{b}^{ges} = \left[\underline{v}_1^{abs} \quad ; \underline{v}_2^{abs} \quad ; \dots ; \underline{v}_n^{abs} \right] \cdot \underline{g}_{HK}^{abs}$$

Damit erhält man die Bewertung der Zielerreichung pro alternativem Bauverfahren.

Das optimale Bauverfahren ist das Verfahren mit dem maximalen Wert der Gesamtbewertung, d.h. es gilt:

$$b^{gesamt,opt} = \left\{ b^{gesamt,opt} \mid b^{gesamt,opt} = \max \left(b_k \Big|_{k=1}^n \right) \text{ aus } \underline{b}^{ges} \right\}$$

3.7 AHP-Beispiel – Pumpstation Alexandria

Im Folgenden wird die AHP-Methode auf das bereits in Kapitel 3.5.3 mit der Nutzwertanalyse untersuchte Beispiel der Pumpstation Alexandria angewendet.

Analog zur Nutzwertanalyse sollen die drei zur Auswahl stehenden Bauverfahren

- Druckluftsenkkasten
- verankerte Unterwasserbetonplatte
- schwimmender Senkkasten

gegenübergestellt und bezüglich der Zielerreichung in dem aus Hauptkriterien und Unterkriterien aufgebauten Bewertungssystem bewertet werden.

3.7.1 Definition des Entscheidungsproblems

Das Ziel der Entscheidungsfindung ist die Auswahl des für die Errichtung der Pumpstation unter den gegebenen Randbedingungen optimalen Bauverfahrens. In Kapitel 3.5.3 wurde im Rahmen einer Nutzwertanalyse bereits ein Bewertungssystem mit Haupt- und Unterkriterien zur Bewertung der alternativen Bauverfahren entwickelt. Auf dieses Bewertungssystem wird auch bei der AHP-Methode zurückgegriffen. Allerdings werden aufgrund des hohen mathematischen Aufwands und der sich daraus ergebenden umfangreichen Dokumentation des Beispiels hier einige Einschränkungen im Bewertungssystem vorgenommen. Es werden nur die wichtigsten Bewertungskriterien übernommen. Eine Erweiterung auf alle Bewertungskriterien wäre problemlos möglich, würde jedoch den Rahmen dieses Skriptes sprengen.

Folgende Entscheidungskriterien, die sich in Hauptkriterien und Unterkriterien gliedern, werden einbezogen:

- Geringe Gesamtkosten
 - Kosten der Verfahren
 - Kostenrobustheit
- Produktionstechnische Anforderungen
 - Bauprozess Leistungsfähigkeit
 - Raumbedarf
 - Verfahrensrobustheit
- Termine und Qualität
 - Terminalsicherheit
 - Qualitätsverbesserung
- Image

Die gewählten Bewertungskriterien stehen auf verschiedenen Hierarchieebenen (Bild 3-28). Die Unterkriterien werden für die Bewertung jeweils mit entsprechenden Gewichtungsfaktoren zu den Hauptkriterien aufsummiert.

Als Handlungsoptionen stehen die drei oben genannten Bauverfahren zur Auswahl.

Mit Hilfe der AHP-Methode soll aus den drei Bauverfahren das unter Berücksichtigung der Bewertungskriterien optimale Bauverfahren gefunden werden.

Aus den oben beschriebenen Vorgaben ergibt sich die in Bild 3-28 dargestellte hierarchische Struktur des Entscheidungsproblems.

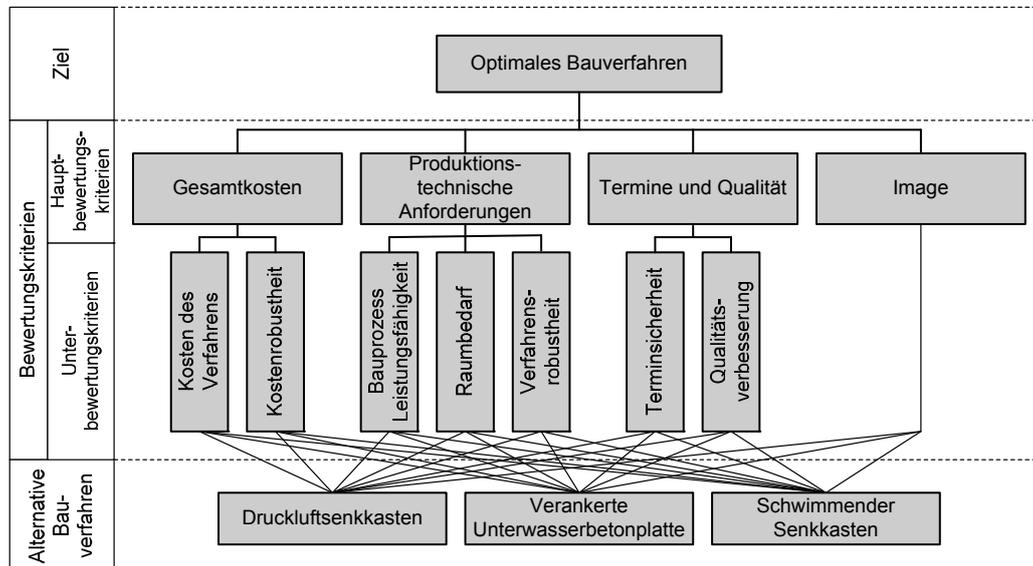


Bild 3-28: Hierarchische Struktur des Entscheidungsproblems im Beispiel

3.7.2 Ermittlung der absoluten Gewichtung der Haupt- und Unterkriterien für das Entscheidungsproblem

Zunächst wird die Gewichtung der Hauptbewertungskriterien untereinander ermittelt. Dazu werden zunächst alle möglichen Kombinationen der Hauptbewertungskriterien paarweise gegenübergestellt und relative Hauptgewichtungsfaktoren festgelegt. Dies wird zunächst unter den Hauptkriterien (HK) durchgeführt, im nächsten Schritt werden die Unterkriterien pro Hauptkriterium einander gegenübergestellt.

3.7.2.1 Absolute Gewichtung der Hauptkriterien

Die relative Gewichtung der Haupt- sowie Unterkriterien bei der AHP-Methode erfolgt charakteristisch durch Vergleich der relativen Gewichtung der jeweiligen Hauptkriterien untereinander sowie separat die jeweiligen Unterkriterien unter einem Hauptkriterium.

Bild 3-29 und Bild 3-30 zeigen die Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Hauptbewertungskriterien. In Bild 3-29 ist die paarweise Gegenüberstellung der einzelnen Bewertungskriterien und die sich daraus ergebenden relativen Hauptgewichtungsfaktoren g_{jk}^{rel} dargestellt. Aus diesen einzelnen Gegenüberstellungen ergibt sich dann die in Bild 3-30 dargestellte Matrix $\underline{G}_{HK}^{rel} = \left(\underline{g}_{jk}^{rel} \right)_{HK}$ der relativen Hauptgewichtungsfaktoren.

Gesamtkosten (GK) : Produktionstechn. Anforderungen (PA)	= 2 : 1	→ $g_{GKPA}^{rel} = 2$
Gesamtkosten (GK) : Termine u. Qualität (TQ)	= 2 : 1	→ $g_{GKTQ}^{rel} = 2$
Gesamtkosten (GK) : Image (IG)	= 9 : 1	→ $g_{GKIG}^{rel} = 9$
Produktionstechn. Anforderungen (PA) : Termine u. Qualität (TQ)	= 1 : 1	→ $g_{PATQ}^{rel} = 1$
Produktionstechn. Anforderungen (PA) : Image (IG)	= 4 : 1	→ $g_{PAIG}^{rel} = 4$
Termine u. Qualität (TQ) : Image (IG)	= 4 : 1	→ $g_{TQIG}^{rel} = 3$

Bild 3-29: Relative Hauptgewichtungsfaktoren g_{jk}^{rel} aus dem paarweisen Vergleich der einzelnen Hauptbewertungskriterien $K_{j/k}$

Kriterien	Gesamtkosten	Produktionstechn. Anforderungen	Termine u. Qualität	Image
Gesamtkosten	1	2	2	9
Produktionstechn. Anforderungen	1 / 2	1	1	4
Termine u. Qualität	1 / 2	1	1	4
Image	1 / 9	1 / 4	1 / 4	1

Bild 3-30: Hauptkriterien-Gewichtungsmatrix \underline{G}_{HK}^{rel} der relativen Hauptgewichtungsfaktoren g_{jk}^{rel} zwischen je zwei Hauptbewertungskriterien j und k

Die Berechnung der absoluten Hauptgewichtungsfaktoren der Hauptkriterien aus den relativen Hauptgewichtungsfaktoren g_{jk}^{rel} der Matrix \underline{G}_{HK}^{rel} erfolgt durch Lösung der Eigenwertgleichung:

$$(\underline{G}_{HK}^{rel} - \lambda \underline{E}) \underline{x}_{HK} = 0$$

Die absoluten Hauptgewichtungsfaktoren der Hauptkriterien (HK) ergeben sich aus dem Eigenvektor mit dem grössten Eigenwert der Matrix der relativen Hauptgewichtungsfaktoren \underline{G}_{HK}^{rel} .

Die Eigenwerte der Matrix \underline{G}_{HK}^{rel} der relativen Hauptgewichtungsfaktoren der Hauptbewertungskriterien ergeben sich zu:

$$\lambda_{HK} = \begin{pmatrix} 4.0017 \\ 0 \\ -0.0009 + 0.0833i \\ -0.0009 - 0.0833i \end{pmatrix}$$

Der gesuchte Eigenwert ist der grösste reelle Wert des Vektors λ_{HK} , d.h. $\lambda_{HK} = 4.0017$.

Der Eigenvektor der Hauptbewertungskriterien zu diesem reellen Eigenwert ergibt sich zu:

$$\underline{x}_{HK} = \begin{pmatrix} 0.8206 \\ 0.3982 \\ 0.3982 \\ 0.0967 \end{pmatrix}$$

Normiert man diesen Eigenvektor, so erhält man die absoluten Hauptgewichtungsfaktoren $g_{HK,j}^{abs}$ der Hauptbewertungskriterien. Die Normierung erfolgt so, dass die Summe der einzelnen Vektorkomponenten gleich eins ist (Summe der Gewichtungen gleich 100%).

$$\underline{g}_{HK}^{abs} = \begin{pmatrix} \frac{0.8206}{0.8206 + 0.3982 + 0.3982 + 0.0967} \\ \frac{0.3982}{0.8206 + 0.3982 + 0.3982 + 0.0967} \\ \frac{0.3982}{0.8206 + 0.3982 + 0.3982 + 0.0967} \\ \frac{0.0967}{0.8206 + 0.3982 + 0.3982 + 0.0967} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.48 \\ 0.23 \\ 0.23 \\ 0.06 \end{pmatrix}$$

Es ergeben sich also die in Bild 3-31 dargestellten absoluten Hauptgewichtungsfaktoren der verschiedenen Hauptbewertungskriterien.

$\underline{g}_{HK}^{abs} =$	Gesamtkosten	$g_{GK}^{abs} = 0.48$	→	48 %
	Produktionstechn. Anforderungen	$g_{PA}^{abs} = 0.23$	→	23 %
	Termine u. Qualität	$g_{TQ}^{abs} = 0.23$	→	23 %
	Image	$g_{IG}^{abs} = 0.06$	→	6 %

Bild 3-31: Absolute Hauptgewichtungsfaktoren der Hauptbewertungskriterien (HK)

3.7.2.2 Absolute Gewichtung der Unterbewertungskriterien

Die Hauptbewertungskriterien setzen sich teilweise aus mehreren Unterbewertungskriterien zusammen. Für diese Unterbewertungskriterien müssen die Untergewichtungsfaktoren bestimmt werden. Es werden pro Hauptbewertungskriterium die verschiedenen Unterbewertungskriterien gegenübergestellt und untereinander gewichtet.

Unterbewertungskriterien zum Hauptbewertungskriterium „Gesamtkosten“

Das Hauptbewertungskriterium „Gesamtkosten“ (GK) setzt sich zusammen aus den Unterbewertungskriterien

- Kosten des Verfahrens (K) und

- Kostenrobustheit (Kr).

In diesem Fall müssen nur zwei Unterbewertungskriterien miteinander verglichen werden, d.h. die Gegenüberstellung der beiden Kriterien ergibt direkt die absoluten Untergewichtungsfaktoren (Bild 3-32 und Bild 3-33).

Kosten des Verfahrens (K) : Kostenrobustheit (Kr)	= 2 : 1	→ $g_{GK.KKr}^{rel} = 2$
---	---------	--------------------------

Bild 3-32: Relative Untergewichtungsfaktoren der Unterbewertungskriterien zum Hauptbewertungskriterium Gesamtkosten

Aus der Gegenüberstellung der beiden Unterbewertungskriterien ergibt sich der Vektor der absoluten Untergewichtungsfaktoren der Unterbewertungskriterien zum Hauptbewertungskriterium Gesamtkosten:

$$\underline{g}_{GK}^{abs} = \begin{pmatrix} g_{GK.K}^{abs} \\ g_{GK.Kr}^{abs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.67 \\ 0.33 \end{pmatrix}$$

Kosten des Verfahrens	$g_{GK.K}^{abs} = 0.67$	→	67 %
Kostenrobustheit	$g_{GK.Kr}^{abs} = 0.33$	→	33 %

Bild 3-33: Absolute Untergewichtungsfaktoren der Unterbewertungskriterien zum Hauptkriterium „Gesamtkosten“

Unterbewertungskriterien zum Hauptbewertungskriterium „Produktionstechnische Anforderungen“

Das Hauptbewertungskriterium „Produktionstechnische Anforderungen“ (PA) setzt sich zusammen aus den Unterbewertungskriterien

- Bauprozess Leistungsfähigkeit (B),
- Raumbedarf (R) und
- Verfahrensrobustheit (V).

Zwischen diesen drei Kriterien werden die Gewichtungen analog zum Vorgehen bei den Hauptbewertungskriterien durch paarweisen Vergleich ermittelt.

Bild 3-34 zeigt den paarweisen Vergleich der Unterbewertungskriterien und die sich daraus ergebenden relativen Untergewichtungsfaktoren. Daraus ergibt sich die in Bild 3-35 dargestellte Matrix der relativen Untergewichtungsfaktoren.

Bauprozess Leistungsfähigkeit (B) : Raumbedarf (R)	= 2 : 1	→	$g_{PA.BR}^{rel} = 2$
Bauprozess Leistungsfähigkeit (B) : Verfahrensrobustheit (V)	= 3 : 1	→	$g_{PA.BV}^{rel} = 3$
Raumbedarf (R) : Verfahrensrobustheit (V)	= 1 : 1	→	$g_{PA.RV}^{rel} = 1$

Bild 3-34: Relative Untergewichtungsfaktoren der Unterbewertungskriterien zum Hauptkriterium „Produktionstechnische Anforderungen“

Kriterien	Bauprozess Leistungsfähigkeit	Raumbedarf	Verfahrensrobustheit
Bauprozess Leistungsfähigkeit	1	2	3
Raumbedarf	1 / 2	1	1
Verfahrensrobustheit	1 / 3	1	1

Bild 3-35: Unterkriterien-Gewichtungsmatrix \underline{G}_{PA}^{rel} der relativen Untergewichtungsfaktoren $g_{PA,mn}^{rel}$ zum Hauptkriterium „Produktionstechnische Anforderungen“ zwischen je zwei Unterbewertungskriterien m und n

Die Lösung der Eigenwertmatrixgleichung $(\underline{G}_{HK}^{rel} - \lambda \underline{E}) \underline{x}_{HK} = 0$ ergibt die Eigenwerte:

$$\underline{\lambda}_{PA} = \begin{pmatrix} 3.0183 \\ -0.0091 + 0.2348 \cdot i \\ -0.0091 - 0.2348 \cdot i \end{pmatrix}$$

Der gesuchte Eigenwert ist der grösste reelle Wert des Vektors $\underline{\lambda}_{PA}$, d.h. $\lambda_{PA} = 4.0183$.

Der Eigenvektor zu diesem reellen Eigenwert ergibt sich zu:

$$\underline{x}_{PA} = \begin{pmatrix} 0.8650 \\ 0.3778 \\ 0.3301 \end{pmatrix}$$

Normiert man diesen Eigenvektor, so erhält man die absoluten Untergewichtungsfaktoren $g_{PA,m}^{abs}$ der Unterbewertungskriterien m zum Hauptbewertungskriterium „Produktionstechnische Anforderungen“.

$$\underline{g}_{PA}^{abs} = \begin{pmatrix} g_{PA,B}^{abs} \\ g_{PA,R}^{abs} \\ g_{PA,V}^{abs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{0.8650}{0.8650 + 0.3778 + 0.3301} \\ \frac{0.3778}{0.8650 + 0.3778 + 0.3301} \\ \frac{0.3301}{0.8650 + 0.3778 + 0.3301} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.55 \\ 0.24 \\ 0.21 \end{pmatrix}$$

Es ergeben sich also die in Bild 3-36 dargestellten absoluten Untergewichtungsfaktoren der verschiedenen Bewertungskriterien.

Bauprozess Leistungsfähigkeit	$g_{PA,B}^{abs} = 0.55$	→	55 %
Raumbedarf	$g_{PA,R}^{abs} = 0.24$	→	24 %
Verfahrensrobustheit	$g_{PA,V}^{abs} = 0.21$	→	21 %

Bild 3-36: Absolute Untergewichtungsfaktoren der Unterbewertungskriterien zum Hauptkriterium „Produktionstechnische Anforderungen“

Unterbewertungskriterien zum Hauptbewertungskriterium „Termine und Qualität“

Das Hauptbewertungskriterium „Termine und Qualität“ (TQ) setzt sich zusammen aus den Unterbewertungskriterien

- Terminalsicherheit (T) und
- Qualitätsverbesserung (Q).

Auch hier müssen nur zwei Unterbewertungskriterien miteinander verglichen werden, d.h. die Gegenüberstellung der beiden Kriterien ergibt direkt die absoluten Untergewichtungsfaktoren (Bild 3-37 und Bild 3-38).

Terminalsicherheit (T) : Qualitätsverbesserung (Q)	= 2 : 1	→ $g_{TQ,TQ}^{rel} = 2$
--	---------	-------------------------

Bild 3-37: Relative Untergewichtungsfaktoren der Unterbewertungskriterien zum Hauptkriterium „Termine und Qualität“

Aus der Gegenüberstellung der beiden Unterbewertungskriterien ergibt sich der Vektor der absoluten Untergewichtungsfaktoren der Unterbewertungskriterien zum Hauptbewertungskriterium „Termine und Qualität“:

$$\underline{g}_{TQ}^{abs} = \begin{pmatrix} g_{TQ,T}^{abs} \\ g_{TQ,Q}^{abs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.67 \\ 0.33 \end{pmatrix}$$

Terminalsicherheit	$g_{TQ,T}^{abs} = 0.67$	→	67 %
Qualitätsverbesserung	$g_{TQ,Q}^{abs} = 0.33$	→	33 %

Bild 3-38: Absolute Untergewichtungsfaktoren der Unterbewertungskriterien zum Hauptkriterium „Termine und Qualität“

3.7.2.3 Zusammenstellung der Haupt- und Untergewichtungsfaktoren

In Bild 3-39 ist die Struktur der Haupt- und Untergewichtungsfaktoren dargestellt.

Gesamtkosten	$g_{GK}^{abs} = 0.48$
Kosten des Verfahrens	$g_{GK.K}^{abs} = 0.67$
Kostenrobustheit	$g_{GK.Kr}^{abs} = 0.33$
Produktionstechn. Anforderungen	$g_{PA}^{abs} = 0.23$
Bauprozess Leistungsfähigkeit	$g_{PA.B}^{abs} = 0.55$
Raumbedarf	$g_{PA.R}^{abs} = 0.24$
Verfahrensrobustheit	$g_{PA.V}^{abs} = 0.21$
Termine u. Qualität	$g_{TQ}^{abs} = 0.23$
Terminsicherheit	$g_{TQ.T}^{abs} = 0.67$
Qualitätsverbesserung	$g_{TQ.Q}^{abs} = 0.33$
Image	$g_{IG}^{abs} = 0.06$

Bild 3-39: Übersicht über die Haupt- und Unterbewertungskriterien und die jeweiligen Haupt- und Untergewichtungsfaktoren

Die Bewertung der verschiedenen Handlungsalternativen, d.h. der verschiedenen Bauverfahren, erfolgt jeweils auf der untersten Ebene der Hierarchie. Die alternativen Bauverfahren werden also auf der Ebene der Unterbewertungskriterien (soweit vorhanden) gegenübergestellt. Die so gewonnenen Untervergleichsfaktoren fließen entsprechend der Untergewichtungsfaktoren in die Hauptbewertungskriterien ein. Sind einem Hauptbewertungskriterium keine Unterbewertungskriterien untergeordnet, so erfolgt die Bewertung direkt auf der Ebene des Hauptbewertungskriteriums.

3.7.3 Bewertung der alternativen Bauverfahren mittels Vergleichsfaktoren für das Entscheidungsproblem

Nach der Bildung der absoluten Gewichtungsfaktoren g_i^{abs} und g_{ij}^{abs} für die Haupt- und Unterkriterien, werden die absoluten Untervergleichsfaktoren $v_{ij,k}^{abs}$ sowie absoluten Hauptvergleichsfaktoren $v_{i,k}^{abs}$ für das Hauptkriterium i für die für die beteiligten Bauverfahren k gebildet.

Als erster Schritt der Entscheidungsfindung werden die zur Auswahl stehenden Bauverfahren im Hinblick auf die Bewertungskriterien bewertet. Die absoluten Vergleichsfaktoren können je nach Bewertungskriterium direkt aus vorhandenem Datenmaterial abgeleitet werden oder sie müssen durch paarweisen Vergleich der einzelnen Optionen ermittelt werden.

Im Folgenden werden die alternativen Bauverfahren mit den jeweiligen Kriterien untereinander betrachtet. Dazu werden die normierten Vergleichsfaktoren für die jeweiligen Kriterien gebildet. Dies erfolgt zunächst auf der Ebene der Unterbewertungskriterien. Die dort gewonnenen Untervergleichsfaktoren werden dann zu den Hauptvergleichsfaktoren auf der Ebene der Hauptbewertungskriterien gewichtet aufsummiert.

3.7.3.1 Vergleichsfaktoren der Bauverfahren - Hauptbewertungskriterium „Gesamtkosten“

Das Hauptbewertungskriterium Gesamtkosten setzt sich wie folgt aus den Unterbewertungskriterien und den zugeordneten absoluten Untergewichtungsfaktoren zusammen. Die Untergewichtungsfaktoren des HK „Gesamtkosten“ sind:

- Kosten des Verfahrens ($g_{GK.K}^{abs} = 67\%$) und
- Kostenrobustheit ($g_{GK.Kr}^{abs} = 33\%$).

Im Folgenden werden die verschiedenen Handlungsalternativen (Bauverfahren) in Bezug auf die beiden Unterbewertungskriterien gegenübergestellt.

Ermittlung der Untervergleichsfaktoren für das Unterkriterium „Kosten des Verfahrens“

Die Kosten der alternativen Bauverfahren werden untereinander verglichen.

Für die Bewertung der Kosten kann direkt das Verhältnis der für die verschiedenen Bauverfahren kalkulierten Kosten gebildet werden. Da direkt auch global vergleichbare Größen vorhanden sind, kann in diesem Fall auch die relative Betrachtung in Form des paarweisen Vergleichs entfallen. Für die Bestimmung globaler Bewertungen bezüglich des Bewertungskriteriums Kosten müssen lediglich das Verhältnis der kalkulierten Kosten bestimmt und normiert werden. Zu beachten ist allerdings, dass aufgrund der Tatsache, dass geringe Kosten in der Bewertung zu einem hohen Wert führen müssen und umgekehrt, mit den Kehrwerten der Kosten der Bauverfahren gerechnet werden muss. Auch die Normierung erfolgt dann mit den Kehrwerten. Auf diese Weise wird erreicht, dass das Bauverfahren mit den geringsten Kosten die höchste und damit beste Bewertung erhält, das teuerste Bauverfahren wird dagegen am niedrigsten bewertet.

Bild 3-40 zeigt die im Beispiel zu erwartenden Kosten bei den verschiedenen Bauverfahren.

Druckluftsenkkasten (1):	1'350'000 CHF
Verankerte Unterwasserbetonplatte (2):	1'350'000 CHF
Schwimmender Senkkasten (3):	1'100'000 CHF

Bild 3-40: Kalkulierte Kosten der zur Auswahl stehenden Bauverfahren

Daraus ergibt sich der folgende Vektor der Untervergleichsfaktoren (Kostenvergleichsvektor) im Bezug auf die Kosten der drei zur Auswahl stehenden Bauverfahren:

$$v_{GK.K}^{abs} = \begin{pmatrix} \frac{1}{1'350'000} / \left(\frac{1}{1'350'000} + \frac{1}{1'350'000} + \frac{1}{1'100'000} \right) \\ \frac{1}{1'350'000} / \left(\frac{1}{1'350'000} + \frac{1}{1'350'000} + \frac{1}{1'100'000} \right) \\ \frac{1}{1'100'000} / \left(\frac{1}{1'350'000} + \frac{1}{1'350'000} + \frac{1}{1'100'000} \right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.31 \\ 0.31 \\ 0.38 \end{pmatrix}$$

Es ergeben sich also folgende absolute Untervergleichsfaktoren in Bezug auf die Kosten:

Druckluftsenkkasten: $v_{GK.K,1}^{abs} = 0.31$

Verankerte Unterwasserbetonplatte: $v_{GK.K,2}^{abs} = 0.31$

Schwimmender Senkkasten: $v_{GK.K,3}^{abs} = 0.38$

Ermittlung der Untervergleichsfaktoren für das Unterkriterium „Kostenrobustheit“

Die Kostenrobustheit lässt sich rechnerisch z.B. mit einer Sensitivitätsanalyse untersuchen. Dabei werden verschiedene Abweichungsszenarien vom Planungsfall durchgespielt und die Änderung der Kosten bei den verschiedenen Verfahren bestimmt.

Da die möglichen Abweichungsszenarien vom Planungsfall für eine derart umfangreiche Baumassnahme relativ schwer vorherzusagen sind und sich ausserdem für die verschiedenen Bauverfahren unterscheiden, wird in diesem Beispiel auf eine genaue Analyse in Form einer Sensitivitätsanalyse verzichtet. Stattdessen wird ein Vergleich der verschiedenen Verfahren auf der Grundlage von Erfahrungswerten und Experteneinschätzungen durchgeführt. Hierfür werden die verschiedenen Bauverfahren paarweise gegenübergestellt und bezüglich ihrer Kostenrobustheit bewertet. Für die Bewertung wird die Skala von 1 bis 9 gemäss Bild 3-25 herangezogen.

Bild 3-41 zeigt die paarweise Gegenüberstellung der drei Bauverfahren in Bezug auf die Kostenrobustheit und die sich daraus ergebenden relativen Untervergleichsfaktoren.

Druckluftsenkkasten (1) : Unterwasserbetonplatte (2) <i>Gleiche Kostenrobustheit</i>	= 1 : 1	→ $v_{GK.Kr,12}^{rel} = 1$
Druckluftsenkkasten (1) : Schwim. Senkkasten (3) <i>Höhere Kostenrobustheit beim schwim. Senkkasten</i>	= 1 : 3	→ $v_{GK.Kr,13}^{rel} = 1/3$
Unterwasserbetonplatte (2) : Schwim. Senkkasten (3) <i>Höhere Kostenrobustheit beim schwim. Senkkasten</i>	= 1 : 3	→ $v_{GK.Kr,23}^{rel} = 1/3$

Bild 3-41: Paarweiser Vergleich der möglichen Bauverfahren in Bezug auf die Kostenrobustheit

Aus dem paarweisen Vergleich der Bauverfahren folgt die in Bild 3-42 dargestellte Matrix $\underline{V}_{GK.Kr}^{rel}$ der relativen Untervergleichsfaktoren $v_{GK.Kr,ij}^{rel}$.

	Druckluftsenkkasten	Unterwasserbetonplatte	Schwimmender Senkkasten
Druckluftsenkkasten	1	1	1 / 3
Unterwasserbetonplatte	1	1	1 / 3
Schwimmender Senkkasten	3	3	1

Bild 3-42: Kostenrobustheits-Vergleichsmatrix $\underline{V}_{GK.Kr}^{rel}$ der relativen Untervergleichsfaktoren $v_{GK.Kr,ij}^{rel}$ zwischen je zwei Handlungsalternativen i und j

Die Berechnung der absoluten Untervergleichsfaktoren $v_{GK.Kr,ij}^{abs}$ aus den relativen Vergleichsfaktoren $v_{GK.Kr,ij}^{rel}$ in der Matrix $\underline{V}_{GK.Kr}^{rel}$ erfolgt analog zum Vorgehen bei der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren der verschiedenen Bewertungskriterien mittels der Eigenwertgleichung:

$$\left(\underline{V}_{GK.Kr}^{rel} - \lambda \underline{E}\right) \underline{v}_{GK.Kr}^{abs} = 0$$

Es ergeben sich nach Auflösung der Eigenwertmatrixgleichung die folgenden Eigenwerte:

$$\underline{\lambda}_{GK.Kr} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Der gesuchte Eigenwert ist der grösste Wert des Vektors $\underline{\lambda}_{GK.Kr}$, d.h. $\lambda_{GK.Kr} = 3.0$.

Der Eigenvektor zu diesem Eigenwert ergibt sich zu:

$$\underline{x}_{GK.Kr} = \begin{pmatrix} 0.3015 \\ 0.3015 \\ 0.9045 \end{pmatrix}$$

Normiert man diesen Eigenvektor so, dass die Summe der Eigenwerte gleich eins ist, so erhält man die absoluten Untervergleichsfaktoren $v_{GK.Kr,i}^{abs}$ des Unterbewertungskriteriums Kostenrobustheit.

$$\underline{v}_{GK.Kr}^{abs} = \begin{pmatrix} 0.2 \\ 0.2 \\ 0.6 \end{pmatrix}$$

Es ergeben sich folgende absolute Untervergleichsfaktoren in Bezug auf die Kostenrobustheit der drei zur Auswahl stehenden Bauverfahren:

Druckluftsenkkasten: $v_{GK.Kr}^{abs} = 0.2$

$$\text{Verankerte Unterwasserbetonplatte:} \quad v_{GK.Kr}^{abs} = 0.2$$

$$\text{Schwimmender Senkkasten:} \quad v_{GK.Kr}^{abs} = 0.6$$

Berechnung der absoluten Hauptvergleichsfaktoren zum Hauptbewertungskriterium „Gesamtkosten“:

Aus den absoluten Untervergleichsfaktoren für Kosten $v_{GK.K}^{abs}$ und Kostenrobustheit $v_{GK.Kr}^{abs}$ der beiden Unterbewertungskriterien Kosten und Kostenrobustheit werden zusammen mit den zuvor ermittelten absoluten Untergewichtungsfaktoren für Kosten $g_{GK.K}^{abs}$ und Kostenrobustheit $g_{GK.Kr}^{abs}$, die absoluten Hauptvergleichsfaktoren des Hauptbewertungskriteriums „Gesamtkosten“ wie folgt berechnet:

$$\underline{v}_{GK}^{abs} = g_{GK.K}^{abs} \cdot v_{GK.K}^{abs} + g_{GK.Kr}^{abs} \cdot v_{GK.Kr}^{abs}$$

$$\underline{v}_{GK}^{abs} = 0.67 \cdot \begin{pmatrix} 0.31 \\ 0.31 \\ 0.38 \end{pmatrix} + 0.33 \cdot \begin{pmatrix} 0.2 \\ 0.2 \\ 0.6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.27 \\ 0.27 \\ 0.46 \end{pmatrix}$$

Somit ergeben sich die absoluten „Gesamtkosten-Vergleichsfaktoren“ je Bauverfahren wie folgt:

$$\text{Druckluftsenkkasten:} \quad \underline{v}_{GK}^{abs,DS} = 0.27$$

$$\text{Verankerte Unterwasserbetonplatte:} \quad \underline{v}_{GK}^{abs,VU} = 0.27$$

$$\text{Schwimmender Senkkasten:} \quad \underline{v}_{GK}^{abs,SS} = 0.46$$

3.7.3.2 Vergleichsfaktoren der Bauverfahren - Hauptbewertungskriterium „Produktionstechnische Anforderungen“

Das Hauptbewertungskriterium „Produktionstechnische Anforderungen“ (PA) setzt sich wie folgt aus den Unterbewertungskriterien und zugeordneten absoluten Unterbewertungsfaktoren zusammen. Die Untergewichtungsfaktoren des HK „Produktionstechnische Anforderungen“ sind:

- Bauprozess Leistungsfähigkeit ($g_{PA.B}^{abs} = 55\%$)
- Raumbedarf ($g_{PA.R}^{abs} = 24\%$)
- Verfahrensrobustheit ($g_{PA.V}^{abs} = 21\%$).

Die Ermittlung der relativen und absoluten Untervergleichsfaktoren zu den einzelnen Unterbewertungskriterien erfolgt analog zum Vorgehen beim Hauptkriterium Gesamtkosten. Im Folgenden werden zu den einzelnen Unterbewertungskriterien lediglich die Matrizen der relativen Untervergleichsfaktoren, die sich aus dem paarweisen Vergleich der Bauverfahren ergeben, sowie die sich daraus ergebenden Vektoren der absoluten Untervergleichsfaktoren dargestellt.

Ermittlung der Untervergleichsfaktoren für das Unterbewertungskriterium „Bauprozess Leistungsfähigkeit“

Die drei zur Auswahl stehenden Bauverfahren werden jeweils paarweise im Bezug auf die Leistungsfähigkeit des Bauprozesses verglichen. Daraus ergibt sich die Matrix der relativen Untervergleichsfaktoren in Bezug auf die Leistungsfähigkeit (Bild 3-43).

	Druckluftsenkkasten	Unterwasserbetonplatte	Schwimmender Senkkasten
Druckluftsenkkasten	1	1.5	1
Unterwasserbetonplatte	1 / 1.5	1	1 / 1.5
Schwimmender Senkkasten	1	1.5	1

Bild 3-43: Leistungsfähigkeits-Vergleichsmatrix $V_{PA,B}^{rel}$ der relativen Untervergleichsfaktoren $v_{PA,B,ij}^{rel}$ zwischen je zwei Handlungsalternativen i und j

Die Eigenwertmatrixgleichung für den Untervergleichsfaktor „Bauprozess Leistungsfähigkeit“ lautet:

$$\left(V_{PA,B}^{rel} - \lambda E \right) v_{PA,B}^{abs} = 0$$

Aus der Auflösung der Eigenwertmatrixgleichung der Untervergleichsfaktoren „Bauprozess Leistungsfähigkeit“ mit der Matrix $V_{PA,B}^{rel}$ ergibt sich der Vektor der absoluten, normierten Untervergleichsfaktoren in Bezug auf das Unterbewertungskriterium „Bauprozess Leistungsfähigkeit“ zu:

$$v_{PA,B}^{abs} = \begin{pmatrix} 0.37 \\ 0.26 \\ 0.37 \end{pmatrix}$$

Ermittlung der Untervergleichsfaktoren für das Unterbewertungskriterium „Raumbedarf“

Die drei zur Auswahl stehenden Bauverfahren werden jeweils paarweise im Bezug auf den Raumbedarf verglichen. Daraus ergibt sich die Matrix der relativen Untervergleichsfaktoren in Bezug auf den Raumbedarf (Bild 3-44).

	Druckluftsenkkasten	Unterwasserbetonplatte	Schwimmender Senkkasten
Druckluftsenkkasten	1	1.5	1
Unterwasserbetonplatte	1 / 1.5	1	1 / 1.5
Schwimmender Senkkasten	1	1.5	1

Bild 3-44: Raumbedarf-Vergleichsmatrix $V_{PA,R}^{rel}$ der relativen Untervergleichsfaktoren $v_{PA,R,ij}^{rel}$ zwischen je zwei Handlungsalternativen i und j

Die Eigenwertmatrixgleichung für die Untervergleichsfaktoren „Raumbedarf“ lautet:

$$\left(\underline{V}_{PA,R}^{rel} - \lambda \underline{E}\right) \underline{v}_{PA,R}^{abs} = 0$$

Aus der Auflösung der Eigenwertmatrixgleichung der Untervergleichsfaktoren „Raumbedarf“ mit der Matrix $\underline{V}_{PA,R}^{rel}$ ergibt sich der Vektor der absoluten, normierten Untervergleichsfaktoren in Bezug auf das Unterbewertungskriterium „Raumbedarf“ zu:

$$\underline{v}_{PA,R}^{abs} = \begin{pmatrix} 0.37 \\ 0.26 \\ 0.37 \end{pmatrix}$$

Ermittlung der Untervergleichsfaktoren für das Unterbewertungskriterium „Verfahrensrobustheit“

Die drei zur Auswahl stehenden Bauverfahren werden jeweils paarweise im Bezug auf die Verfahrensrobustheit verglichen. Daraus ergibt sich die Matrix der relativen Untervergleichsfaktoren in Bezug auf die Verfahrensrobustheit (Bild 3-45).

	Druckluftsenkkasten	Unterwasserbetonplatte	Schwimmender Senkkasten
Druckluftsenkkasten	1	1 / 1.25	1
Unterwasserbetonplatte	1.25	1	1.25
Schwimmender Senkkasten	1	1 / 1.25	1

Bild 3-45: Verfahrensrobustheits-Vergleichsmatrix $\underline{V}_{PA,V}^{rel}$ der relativen Untervergleichsfaktoren $v_{PA,V,ij}^{rel}$ zwischen je zwei Handlungsalternativen i und j

Die Eigenwertmatrixgleichung für die Untervergleichsfaktoren „Verfahrensrobustheit“ lautet:

$$\left(\underline{V}_{PA,V}^{rel} - \lambda \underline{E}\right) \underline{v}_{PA,V}^{abs} = 0$$

Aus der Auflösung der Eigenwertmatrixgleichung der Untervergleichsfaktoren „Verfahrensrobustheit“ mit der Matrix $\underline{V}_{PA,V}^{rel}$ ergibt sich der Vektor der absoluten, normierten Untervergleichsfaktoren in Bezug auf das Unterbewertungskriterium „Verfahrensrobustheit“ zu:

$$\underline{v}_{PA,V}^{abs} = \begin{pmatrix} 0.31 \\ 0.38 \\ 0.31 \end{pmatrix}$$

Berechnung der absoluten Hauptvergleichsfaktoren zum Hauptbewertungskriterium „Produktionstechnische Anforderungen“:

Aus den absoluten Untervergleichsfaktoren für „Bauprozess Leistungsfähigkeit“ $v_{PA,B}^{abs}$, „Raumbedarf“ $v_{PA,R}^{abs}$ und „Verfahrensrobustheit“ $v_{PA,V}^{abs}$ der drei Unterbewertungskriterien werden zusammen mit den zuvor ermittelten Untergewichtungsfaktoren $g_{PA,i}^{abs}$ für die drei Untervergleichskriterien die absoluten Hauptvergleichsfaktoren des Hauptbewertungskriteriums „Produktionstechnische Anforderungen“ wie folgt berechnet:

$$v_{PA}^{abs} = g_{PA,B}^{abs} \cdot v_{PA,B}^{abs} + g_{PA,R}^{abs} \cdot v_{PA,R}^{abs} + g_{PA,V}^{abs} \cdot v_{PA,V}^{abs}$$

$$v_{PA}^{abs} = 0.55 \cdot \begin{pmatrix} 0.37 \\ 0.26 \\ 0.37 \end{pmatrix} + 0.24 \cdot \begin{pmatrix} 0.37 \\ 0.24 \\ 0.37 \end{pmatrix} + 0.21 \cdot \begin{pmatrix} 0.31 \\ 0.38 \\ 0.31 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.36 \\ 0.28 \\ 0.36 \end{pmatrix}$$

Somit ergeben sich die absoluten „Produktionstechnische Anforderungen-Vergleichsfaktoren“ je Bauverfahren wie folgt:

Druckluftsenkkasten: $v_{PA}^{abs,DS} = 0.36$

Verankerte Unterwasserbetonplatte: $v_{PA}^{abs,VU} = 0.28$

Schwimmender Senkkasten: $v_{PA}^{abs,SS} = 0.36$

3.7.3.3 Vergleichsfaktoren der Bauverfahren - Hauptbewertungskriterium „Termine und Qualität“

Das Hauptbewertungskriterium „Termine und Qualität“ (TQ) setzt sich wie folgt aus den Unterbewertungskriterien und den zugeordneten absoluten Unterbewertungsfaktoren zusammen. Die Untergewichtungsfaktoren des HK „Termine und Qualität“ sind:

- Terminalsicherheit ($g_{TQ,T}^{abs} = 67\%$)
- Qualitätsverbesserung ($g_{TQ,Q}^{abs} = 33\%$)

Auch hier erfolgt die Bestimmung der Untervergleichsfaktoren zu den Unterbewertungskriterien analog zum Beispiel der Gesamtkosten. Für die Terminalsicherheit, wie auch die Qualitätsverbesserung stehen keine Daten zu Verfügung, aus denen eine Bewertung abgeleitet werden könnte. Die Bewertung muss also auf der Basis eines paarweisen Vergleichs mit jeweiligen Expertenschätzungen erfolgen.

Ermittlung der Untervergleichsfaktoren für das Unterbewertungskriterium „Terminalsicherheit“

Die drei zur Auswahl stehenden Bauverfahren werden jeweils paarweise im Bezug auf die Terminalsicherheit verglichen. Daraus ergibt sich die Matrix der relativen Untervergleichsfaktoren in Bezug auf die Terminalsicherheit (Bild 3-46).

	Druckluftsenkkasten	Unterwasser- betonplatte	Schwimmender Senkkasten
Druckluftsenkkasten	1	1	1 / 1.5
Unterwasser- betonplatte	1	1	1 / 1.5
Schwimmender Senkkasten	1.5	1.5	1

Bild 3-46: Terminalsicherheits-Vergleichsmatrix $V_{TQ,T}^{rel}$ der relativen Untervergleichsfaktoren $v_{TQ,T,ij}^{rel}$ zwischen je zwei Handlungsalternativen i und j

Die Eigenwertmatrixgleichung für die Untervergleichsfaktoren „Terminalsicherheit“ lautet:

$$(V_{TQ,T}^{rel} - \lambda E) v_{TQ,T}^{abs} = 0$$

Aus der Auflösung der Eigenwertmatrixgleichung der Untervergleichsfaktoren „Terminalsicherheit“ mit der Matrix $V_{TQ,T}^{rel}$ ergibt sich der Vektor der absoluten, normierten Untervergleichsfaktoren in Bezug auf das Unterbewertungskriterium „Terminalsicherheit“ zu:

$$v_{TQ,T}^{abs} = \begin{pmatrix} 0.29 \\ 0.29 \\ 0.42 \end{pmatrix}$$

Ermittlung der Untervergleichsfaktoren für das Unterbewertungskriterium „Qualitätsverbesserung“

Die drei zur Auswahl stehenden Bauverfahren werden jeweils paarweise im Bezug auf die Qualitätsverbesserung verglichen. Daraus ergibt sich die Matrix der relativen Untervergleichsfaktoren in Bezug auf die Qualitätsverbesserung (Bild 3-47).

	Druckluftsenkkasten	Unterwasser- betonplatte	Schwimmender Senkkasten
Druckluftsenkkasten	1	1.5	1 / 3
Unterwasser- betonplatte	1 / 1.5	1	1 / 4
Schwimmender Senkkasten	3	4	1

Bild 3-47: Qualitätsverbesserungs-Vergleichsmatrix $V_{TQ,Q}^{rel}$ der relativen Untervergleichsfaktoren $v_{TQ,Q,ij}^{rel}$ zwischen je zwei Handlungsalternativen i und j

Die Eigenwertmatrixgleichung für die Untervergleichsfaktoren „Qualitätsverbesserung“ lautet:

$$(V_{TQ,Q}^{rel} - \lambda E) v_{TQ,Q}^{abs} = 0$$

Aus der Auflösung der Eigenwertmatrixgleichung der Untervergleichsfaktoren „Qualitätsverbesserung“ mit der Matrix $V_{TQ,Q}^{rel}$ ergibt sich der Vektor der absoluten, normierten Untervergleichsfaktoren in Bezug auf das Unterbewertungskriterium „Qualitätsverbesserung“ zu:

$$\underline{v}_{TQ,Q}^{abs} = \begin{pmatrix} 0.22 \\ 0.15 \\ 0.63 \end{pmatrix}$$

Berechnung der absoluten Hauptvergleichsfaktoren zum Hauptbewertungskriterium „Termine und Qualität“:

Aus den absoluten Untervergleichsfaktoren für „Terminsicherheit“ $\underline{v}_{TQ,T}^{abs}$ und „Qualitätsverbesserung“ $\underline{v}_{TQ,Q}^{abs}$ der beiden Unterbewertungskriterien werden zusammen mit den zuvor ermittelten absoluten Untergewichtungsfaktoren für „Terminsicherheit“ $g_{TQ,T}^{abs}$ und „Qualitätsverbesserung“ $g_{TQ,Q}^{abs}$ die absoluten Hauptvergleichsfaktoren des Hauptbewertungskriteriums „Termine und Qualität“ wie folgt berechnet:

$$\underline{v}_{TQ}^{abs} = g_{TQ,T}^{abs} \cdot \underline{v}_{TQ,T}^{abs} + g_{TQ,Q}^{abs} \cdot \underline{v}_{TQ,Q}^{abs}$$

$$\underline{v}_{TQ}^{abs} = 0.67 \cdot \begin{pmatrix} 0.29 \\ 0.29 \\ 0.42 \end{pmatrix} + 0.33 \cdot \begin{pmatrix} 0.22 \\ 0.15 \\ 0.63 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.27 \\ 0.24 \\ 0.49 \end{pmatrix}$$

Somit ergeben sich die absoluten „Termine und Qualität-Vergleichsfaktoren“ je Bauverfahren wie folgt:

Druckluftsenkkasten: $\underline{v}_{TQ}^{abs,DS} = 0.27$

Verankerte Unterwasserbetonplatte: $\underline{v}_{TQ}^{abs,VU} = 0.24$

Schwimmender Senkkasten: $\underline{v}_{TQ}^{abs,SS} = 0.49$

3.7.3.4 Vergleichsfaktoren der Bauverfahren - Hauptbewertungskriterium „Image“

Der Imagegewinn (IG), der sich für das Bauunternehmen aus der Durchführung eines mehr oder weniger komplexen Bauverfahrens ergibt, ist nicht direkt messbar und kann daher nur abgeschätzt werden. Auch hier werden die verschiedenen Bauverfahren paarweise miteinander verglichen und damit eine einfachere und objektivere Bewertung ermöglicht. Da dem Hauptbewertungskriterium Image keine Unterbewertungskriterien zugeordnet sind, erhält man direkt die globalen Hauptvergleichsfaktoren für das Hauptbewertungskriterium.

Bild 3-48 zeigt die paarweise Gegenüberstellung der drei Bauverfahren in Bezug auf den Imagegewinn und die sich daraus ergebenden relativen Hauptvergleichsfaktoren.

Druckluftsenkkasten (1) : Unterwasserbetonplatte (2) <i>Etwas höherer Imagegewinn beim Druckluftsenkkasten</i>	= 2 : 1	→	$v_{IG,12}^{rel} = 2$
Druckluftsenkkasten (1) : Schwim. Senkkasten (3) <i>Deutlich höherer Imagegewinn beim Druckluftsenkkasten</i>	= 5 : 1	→	$v_{IG,13}^{rel} = 5$
Unterwasserbetonplatte (2) : Schwim. Senkkasten (3) <i>Höherer Imagegewinn bei der Unterwasserbetonplatte</i>	= 4 : 1	→	$v_{IG,23}^{rel} = 4$

Bild 3-48: Paarweiser Vergleich der möglichen Bauverfahren in Bezug auf den Imagegewinn

Aus dem paarweisen Vergleich der Bauverfahren folgt die in Bild 3-49 dargestellte Matrix V_{IG}^{rel} der relativen Hauptvergleichsfaktoren $v_{IG,ij}^{rel}$.

	Druckluftsenkkasten	Unterwasserbetonplatte	Schwimmender Senkkasten
Druckluftsenkkasten	1	2	1 / 5
Unterwasserbetonplatte	1 / 2	1	1 / 4
Schwimmender Senkkasten	5	4	1

Bild 3-49: Image-Vergleichsmatrix V_{IG}^{rel} der relativen Hauptvergleichsfaktoren $v_{IG,ij}^{rel}$ zwischen je zwei Handlungsalternativen i und j

Die Eigenwertmatrixgleichung für die Hauptvergleichsfaktoren „Image“ lautet:

$$\left(V_{IG}^{rel} - \lambda \underline{E} \right) \underline{v}_{IG}^{abs} = 0$$

Aus der Auflösung der Eigenwertmatrixgleichung der Hauptvergleichsfaktoren „Image“ mit der Matrix V_{IG}^{rel} ergeben sich die folgenden Eigenwerte:

$$\underline{\lambda}_{IG} = \begin{pmatrix} 3.0940 \\ -0.0470 + 0.5373 \cdot i \\ -0.0470 - 0.5373 \cdot i \end{pmatrix}$$

Der gesuchte Eigenwert ist der grösste Wert des Vektors $\underline{\lambda}_{IG}$, d.h. $\lambda_{IG} = 3.0940$.

Der Eigenvektor zu diesem Eigenwert ergibt sich zu:

$$\underline{x}_{IG} = \begin{pmatrix} 0.2579 \\ 0.1750 \\ 0.9502 \end{pmatrix}$$

Normiert man diesen Eigenvektor, so erhält man die absoluten Hauptvergleichsfaktoren $v_{IG,i}^{abs}$ des Bewertungskriteriums Image.

$$v_{IG}^{abs} = \begin{pmatrix} \frac{0.2579}{0.2579 + 0.1750 + 0.9502} \\ \frac{0.1750}{0.2579 + 0.1750 + 0.9502} \\ \frac{0.9502}{0.2579 + 0.1750 + 0.9502} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.13 \\ 0.68 \end{pmatrix}$$

Somit ergeben sich die absoluten „Image-Vergleichsfaktoren“ je Bauverfahren wie folgt:

Druckluftsenkkasten: $v_{IG}^{abs,DS} = 0.19$

Verankerte Unterwasserbetonplatte: $v_{IG}^{abs,VU} = 0.13$

Schwimmender Senkkasten: $v_{IG}^{abs,SS} = 0.68$

3.7.3.5 Matrix der absoluten Hauptvergleichsfaktoren

Die Matrix der absoluten Hauptvergleichsfaktoren der Hauptbewertungskriterien kann nun wie folgt zusammengefasst werden (Bild 3-50):

$$\underline{V}^{abs} = [v_{GK}^{abs}; v_{PA}^{abs}; v_{TQ}^{abs}; v_{IG}^{abs}]$$

$$\underline{V}^{abs} = \begin{bmatrix} v_{GK}^{abs,DS} & v_{PA}^{abs,DS} & v_{TQ}^{abs,DS} & v_{IG}^{abs,DS} \\ v_{GK}^{abs,VU} & v_{PA}^{abs,VU} & v_{TQ}^{abs,VU} & v_{IG}^{abs,VU} \\ v_{GK}^{abs,SS} & v_{PA}^{abs,SS} & v_{TQ}^{abs,SS} & v_{IG}^{abs,SS} \end{bmatrix}$$

Hauptvergleichsfaktoren Bauverfahren	Gesamtkosten	Produktions- technische Anforderungen	Termine und Qualität	Image
Druckluftsenkkasten	0.27	0.36	0.27	0.19
Verankerte Unterwasser- betonplatte	0.27	0.28	0.24	0.13
Schwimmender Senkkasten	0.46	0.36	0.49	0.68

Bild 3-50: Matrix der Hauptvergleichsfaktoren der Hauptbewertungskriterien

3.7.4 Entscheidungsfindung

Mit den absoluten Hauptgewichtungsfaktoren der verschiedenen Hauptbewertungskriterien und den absoluten Hauptvergleichsfaktoren der möglichen Bauverfahren sind alle Grundlagen für die Entscheidungsfindung vorhanden. Im letzten Schritt der Entscheidungsfindung werden jetzt die absoluten Hauptvergleichsfaktoren mithilfe der absoluten Hauptgewichtungsfaktoren zu einer Gesamtbewertung des Zielerreichungs-

grads zusammengeführt. Damit ergibt sich für jede Handlungsoption, d.h. die verschiedenen Bauverfahren, eine Gesamtbewertung, die die Erreichung des Gesamtziels „optimale Bauverfahren“ der Entscheidungsfindung bewertet.

Matrix der absoluten Hauptvergleichsfaktoren der Hauptbewertungskriterien je Bauverfahren:

$$\underline{V}^{abs} = [v_{GK}^{abs}, v_{PA}^{abs}, v_{TQ}^{abs}, v_{IG}^{abs}]$$

$$\underline{V}^{abs} = \begin{bmatrix} v_{GK}^{abs,DS} & v_{PA}^{abs,DS} & v_{TQ}^{abs,DS} & v_{IG}^{abs,DS} \\ v_{GK}^{abs,VU} & v_{PA}^{abs,VU} & v_{TQ}^{abs,VU} & v_{IG}^{abs,VU} \\ v_{GK}^{abs,SS} & v_{PA}^{abs,SS} & v_{TQ}^{abs,SS} & v_{IG}^{abs,SS} \end{bmatrix}$$

Vektor der absoluten Hauptgewichtungsfaktoren der Hauptbewertungskriterien:

$$\underline{g}_{HK}^{abs} = \begin{bmatrix} g_{GK}^{abs} \\ g_{PA}^{abs} \\ g_{TQ}^{abs} \\ g_{IG}^{abs} \end{bmatrix}$$

Vektor der Gesamtbewertung pro Bauverfahren:

$$(\underline{b}^{gesamt}) = \underline{V}^{abs} \cdot \underline{g}_{HK}^{abs}$$

Als Summengleichung ausgedrückt kann die Gesamtbewertungen des Bauverfahrens i aus der Summe des Produkts der Hauptvergleichsfaktoren $v_{j,i}^{abs}$ mit den Hauptgewichtungsfaktoren g_j^{abs} je Hauptbewertungskriterium i ermittelt werden:

$$b_k^{gesamt} = \sum_{j=1}^4 v_i^{abs,k} \cdot g_{HK,i}^{abs}$$

mit $\{k | k = \text{Druckluftsenkkasten} \vee k = \text{Verankerte Unterwasserbetonplatte} \vee k = \text{Schwimmender Senkkasten} \wedge i | i = \text{Gesamtkosten} \vee i = \text{Produktionstechnische Anforderungen} \vee i = \text{Termine \& Qualität} \vee i = \text{Image}\}$

Für die Variante mit Druckluftsenkkasten ergibt sich:

$$b_{DS}^{gesamt} = g_{GK}^{abs} \cdot v_{GK,1}^{abs} + g_{PA}^{abs} \cdot v_{PA,1}^{abs} + g_{TQ}^{abs} \cdot v_{TQ,1}^{abs} + g_{IG}^{abs} \cdot v_{IG,1}^{abs}$$

$$= 0.48 \cdot 0.27 + 0.23 \cdot 0.36 + 0.23 \cdot 0.27 + 0.06 \cdot 0.19$$

$$= 0.29$$

Für die Variante mit verankerter Unterwasserbetonplatte ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 b_{VU}^{gesamt} &= g_{GK}^{abs} \cdot v_{GK,2}^{abs} + g_{PA}^{abs} \cdot v_{PA,2}^{abs} + g_{TQ}^{abs} \cdot v_{TQ,2}^{abs} + g_{IG}^{abs} \cdot v_{IG,2}^{abs} \\
 &= 0.48 \cdot 0.27 + 0.23 \cdot 0.28 + 0.23 \cdot 0.24 + 0.06 \cdot 0.13 \\
 &= 0.26
 \end{aligned}$$

Für die Variante mit schwimmendem Senkkasten ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 b_{SS}^{gesamt} &= g_{GK}^{abs} \cdot v_{GK,3}^{abs} + g_{PA}^{abs} \cdot v_{PA,3}^{abs} + g_{TQ}^{abs} \cdot v_{TQ,3}^{abs} + g_{IG}^{abs} \cdot v_{IG,3}^{abs} \\
 &= 0.48 \cdot 0.46 + 0.23 \cdot 0.36 + 0.23 \cdot 0.49 + 0.06 \cdot 0.68 \\
 &= 0.45
 \end{aligned}$$

Das optimale Bauverfahren ergibt sich aus den Bedingungen:

$$\begin{aligned}
 b_{opt}^{gesamt} &= \text{Max} \left\{ b_i^{gesamt} \Big|_{i=1}^n \right\} \\
 b_{opt}^{gesamt} &= \left\{ b_{opt}^{gesamt} \mid b_{opt}^{gesamt} = \text{Max} \left\{ b_i^{gesamt} \Big|_{i=1}^n \right\} \right\} \\
 b_{opt}^{gesamt} &= b_{SS}^{gesamt} = 0.45
 \end{aligned}$$

Das optimale Bauverfahren mit dem höchsten Zielerreichungsgrad ist demnach die Variante „Schwimmendem Senkkasten“ mit der höchsten Gesamtbewertung b_i^{gesamt} . Daraus folgt, dass dieses Bauverfahren die Bewertungskriterien am besten erfüllt und die optimale Wahl darstellt.

Literatur

- [1] Girmscheid , G.: Schwimmend hergestellte Pumpstation – Entwurfsauswahl und Entwurfsplanung. In: Bautechnik 68 (1991), H. 4, S118-128, 1991.
- [2] Girmscheid , G.: Schwimmend hergestellte Pumpstation – Einschwimmen des Basispontons. In: Bautechnik 68 (1991), H. 5, S147-153, 1991.
- [3] Girmscheid , G.: Schwimmend hergestellte Pumpstation – Bauausführung. In: Bautechnik 68 (1991), H. 7, S217-225, 1991.
- [4] Girmscheid , G.: Niederdruck-Fundationsbett-Unterwasserinjektion unter einem Bauwerk. In: Bautechnik 68 (1991), H. 10, S354-357, 1991.
- [5] Girmscheid , G.: Projektabwicklung in der Bauwirtschaft – Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. Springer-Verlag, Berlin, 2003.
- [6] Girmscheid , G.: Angebots- und Ausführungsmanagement – Leitfaden für Bauunternehmer. Springer-Verlag, Berlin, 2005.
- [7] Girmscheid , G.: Baubetrieb I – Bauverfahren des Tief- und Hochbaus, Vorlesungsunterlagen. Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich, Zürich, 2006.
- [8] Saaty, T. L.: The analytic hierarchy process planning, priority setting, resource allocation. New York a.o.: McGraw-Hill, 1980.
- [9] Zangemeister, C.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1993.

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 4: Bauproduktionsprozess - Vorbereitung und Logistik einer Baustelle

Inhaltsverzeichnis

4	Bauproduktionsprozess – Vorbereitung und Logistik einer Baustelle	141
4.1	Arbeitsvorbereitung.....	141
4.2	Bauproduktionsprozessplanung	148
4.2.1	Einleitung.....	148
4.2.2	Bauproduktionsprozess – Prinzipien und Ablauf	151
4.2.3	Bauproduktionsprozessplanung – Schritte	152
4.2.4	Bauprozesssteuerung.....	154
4.2.5	Vorgehensweise bei der Bauproduktionsprozessplanung	155
4.2.6	Fazit.....	163
4.3	Einrichtung einer Baustelle	164
4.3.1	Allgemeines	164
4.3.2	Planungsumfang für die Baustelleneinrichtung	165
4.3.3	Planung der Versorgungseinrichtungen	172
4.3.4	Planung der Baustellenbauten	182
4.3.5	Planung der Lager- und Bearbeitungsanlagen	189
4.3.6	Planung der Sicherung von Baustellen im Verkehrsraum	192
4.3.7	Planung der Transportgeräte auf der Baustelle	193
4.3.8	Flächenbedarf für die Baustelleneinrichtung	211
4.3.9	Baustelleneinrichtungsplan.....	211
4.4	Energieumsetzung auf der Baustelle.....	219
4.4.1	Elektrische Energie.....	219
4.4.2	Ermittlung des elektrischen Leistungsbedarfs	220
4.4.3	Verbrennungsmotoren.....	223
4.4.4	Ermittlung des Druckluftbedarfs.....	224
4.4.5	Hydraulik	224
4.4.6	Dampfenergie	227
4.5	Logistikplanung der Bauabwicklung	228
4.6	Nachhaltigkeit während der Baurealisierung	237
4.6.1	Definition Nachhaltigkeit	237
4.6.2	Instrumente für einen nachhaltigen Bauprozess	245
4.6.3	Beispiele	246
	Literaturverzeichnis	256

4 Bauproduktionsprozess – Vorbereitung und Logistik einer Baustelle

4.1 Arbeitsvorbereitung

Der Bauproduktionsprozess stellt einen komplexen, interdisziplinären Ablauf von sequentiellen und parallelen Teilprozessen dar. Die Teilprozesse sind wiederum von verschiedenen Beteiligten abhängig. So ist die einfache Herstellung eines Fundamentes abhängig:

- vom Planer – Bereitstellung der genehmigten Ausführungspläne
- vom Bauunternehmer – Bereitstellung von Schalung, Personal und Kleingeräten
- von den Lieferanten – Anlieferung der Bewehrung durch den Eisenbieger und des Fertigbetons durch den Fertigbetonunternehmer

Weiterhin ist dieser Teilprozess von vor- und nachlaufenden Arbeitsprozessen wie Herstellung des Aushubs mit Baggern und Abtransport des Materials in eine Deponie usw. abhängig. Die **Teilprozesse müssen** zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen **nahtlos miteinander verbunden werden**. Die eingesetzten **Ressourcen müssen optimal eingesetzt werden**, die Kriterien sind:

- keine Warte- oder Fehlzeiten für das eingesetzte Personal
- keine Warte- oder Stillstandszeiten für Geräte
- just in time delivery (möglichst kein Zwischenlagern mit mehrmaligem Umsetzen von Materialien)

Um diese interdisziplinär abhängige Produktion wirtschaftlich effizient zu gestalten, ist eine **Arbeitsvorbereitung** Grundvoraussetzung für den reibungslosen Erfolg einer Baustelle.

Erst durch das Planen der Bauproduktion lernt man das Projekt kennen. Dadurch kann man die angemessenen Bauprozesse und -methoden festlegen, Personalbedarf, Maschinen, Hilfs- und Baumaterialien zeit- und mengenmässig optimal bestellen und den **Arbeitsablauf termin- und kostenorientiert** durchführen. Erst durch die Kenntnis des Stunden-Durchführungs-Solls lassen sich die Kosten ermitteln und das Controlling durchführen. Die Erstellung der notwendigen Arbeitsablaufplanung bewirkt folgende Vorteile:

- Die Bauaufgabe wird für die Bauleiter und Poliere, Schachtmeister etc. transparent und sie kennen das Projekt und den wöchentlichen bzw. monatlichen Leistungsumfang.
- Rechtzeitige Dispositionen in Bezug auf Personal- und Gerätebereitstellung sowie Subunternehmer- und Lieferantenbeauftragung
- Abschlags- und Abschlussrechnungen können mit allen wirtschaftlichen Vorteilen zeitnah erstellt werden.

Der Prozess der Arbeitsvorbereitung nach Auftragseingang ist in Bild 4-1 dargestellt.

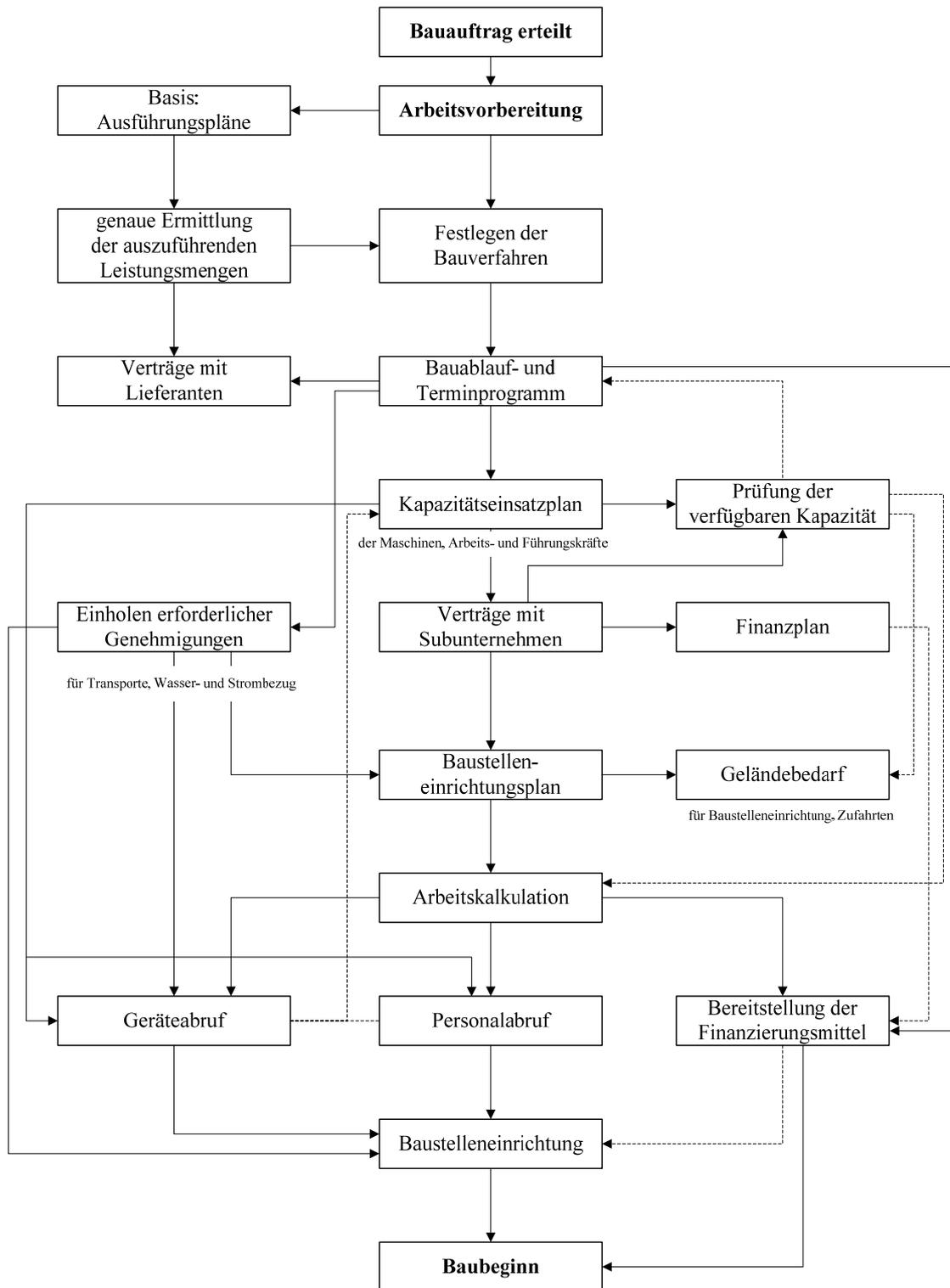


Bild 4-1: Ablauf der Arbeitsvorbereitung (AVOR)

Zur **Durchführung der Arbeitsvorbereitung** werden folgende Aufgaben verteilt:

- Arbeitsablaufplanung durch die verantwortlichen Bau (Prozess)-Leiter
- Steuerung der Prozesse nach dem Arbeitsablaufplan durch die Baustellenverantwortlichen, z.B. Poliere, Schachtmeister

Mit Arbeitsplanung können häufig bis zu 20 % der Prozesskosten und -zeiten eingespart werden. Dadurch kann man die Selbstkosten senken und erhebliche Wettbewerbsvorteile erzielen. Weitere Erfolge ergeben sich durch Ausschaltung von Leerlauf und Störungen. Ferner wird die Motivation der Mitarbeiter gesteigert, indem sie sich auf die Leistungserbringung konzentrieren können, anstatt permanentes „trouble shooting“ zu betreiben.

Zur Durchführung der Arbeitsvorbereitung sind die vertraglichen Unterlagen, die Kalkulation und die Baustellenbegehung unumgänglich (Bild 4-2).

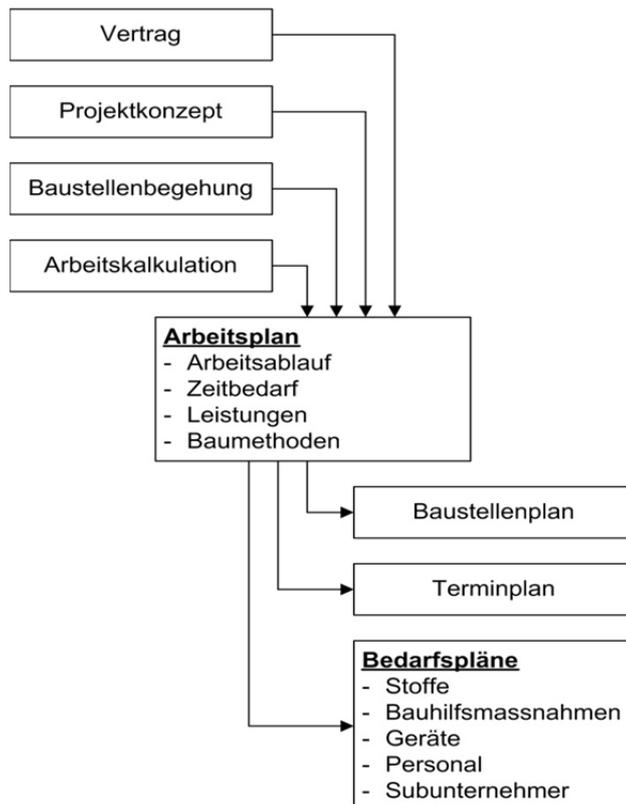


Bild 4-2: Arbeitsvorbereitungsprozess

Die **Arbeitsvorbereitung** muss in **zwei Phasen** gegliedert werden:

- Angebotsphase
- Auftragsphase

Die Aufgaben in diesen Phasen können wie folgt beschrieben werden:

Angebotsphase:

- Prüfung der Ausschreibungsunterlagen
- Begehung des Projektgebietes
- Entwicklung eines Bauproduktionskonzeptes (Bauverfahren, Leistungen, Ressourcen)
- Vorgaben für die Kalkulation in Bezug auf Leistungen und Ressourcen zur Kostenermittlung

Auftragsphase:

- Erstellen einer Auftragsdatenblatt-Übersicht durch den Projektleiter mit Schätzung des ungefähren Gesamtpreises, Informationen über Bauherrn und Bauleitung, speziellen Vertragsbedingungen, Zahlungsplan und –bedingungen, Auswertung der Vorbemerkungen, Lohnleitklausel, Fertigstellungstermin u.a.
- Prüfung der Vertragsunterlagen, Baugrundgutachten, Pläne, Abrechnungsmodalitäten, Versicherungen, Garantien, Haftung etc.
- Durchführung der Baustellenbegehung und Beurteilung des Projektgebiets (Vermerke zu Rodung, anzumietenden Flächen, topografischen und sonstigen Lageverhältnissen für die Baustelleneinrichtung, zu schützendem Baumbestand etc., Anschlussmöglichkeiten für Ver- und Entsorgung, Besonderheiten u.ä.)

Auf der vorstehenden Grundlage sind in der Auftragsphase die folgenden Stufen der Arbeitsplanung durchzuführen (Bild 4-3):

- Bauablaufplanung: beschreibende Festlegung der Bauverfahren mit den Prozessfolgen und der Prozessdurchführung mit Leistungsvorgaben, Terminen, Material- und Hilfsmittelbereitstellung, Personal-, Maschinen- und Subunternehmereinsätzen
- Terminplan: Planung und grafische Darstellung der Zeitabläufe der Aktivitäten unter Berücksichtigung der beschriebenen Prozessfolgen und Leistungsvorgaben
- Bedarfsplan: arbeitsgangspezifische Aufstellungen aus dem Ablaufplan für die Disposition von Stoffen, Mitarbeitern, Subunternehmern und Maschinen
- Sonderpläne: Schalungen, Stahl- und Holzkonstruktionen, Rutschen u.ä.
- Baustelleneinrichtungsplan: Lageplan mit Baustelleneinrichtung, Kran, Baucontainern, Lagerplätzen, Wegen etc.
- Vorbereitung der Arbeitskalkulation und des Controllings

Die Aufgaben der AVOR sollten wie folgt verteilt werden:

- Baustellenchef: Arbeitsplanung der AVOR mit Vorgabe von Leistungen, Kostenlimiten und Ressourcen
- Baustellenführer oder Polier: Arbeitssteuerung durch Veranlassen und Überwachen der Arbeitsaktivitäten auf der Baustelle auf der Basis der AVOR-Planung

Für die zielorientierte Durchführung dieser Arbeitsteilung müssen Baustellenchef und Bauführer im Vorfeld das Projekt gemeinsam studieren und alle Vorgaben auf die praktische Umsetzung überprüfen. Die Identifikation der planenden AVOR-Mitarbeiter und der ausführenden Baustellenführer mit den selektierten Bauverfahren und vorgegebenen Leistungen sowie Inventar und Mannschaftsstärken muss sichergestellt werden, um die Vorgaben einzuhalten.

Nach der Auswahl der Bauverfahren, die bereits bei der Kalkulation zur Erstellung des Angebotspreises weitestgehend festgelegt wurden, wird nach Auftragserteilung die baubetriebliche Arbeitsvorbereitung durchgeführt.

Die verschiedenen Massnahmen- und Aufgabengruppen zur Durchführung der Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung auf der Baustelle sind in Bild 4-3 dargestellt.

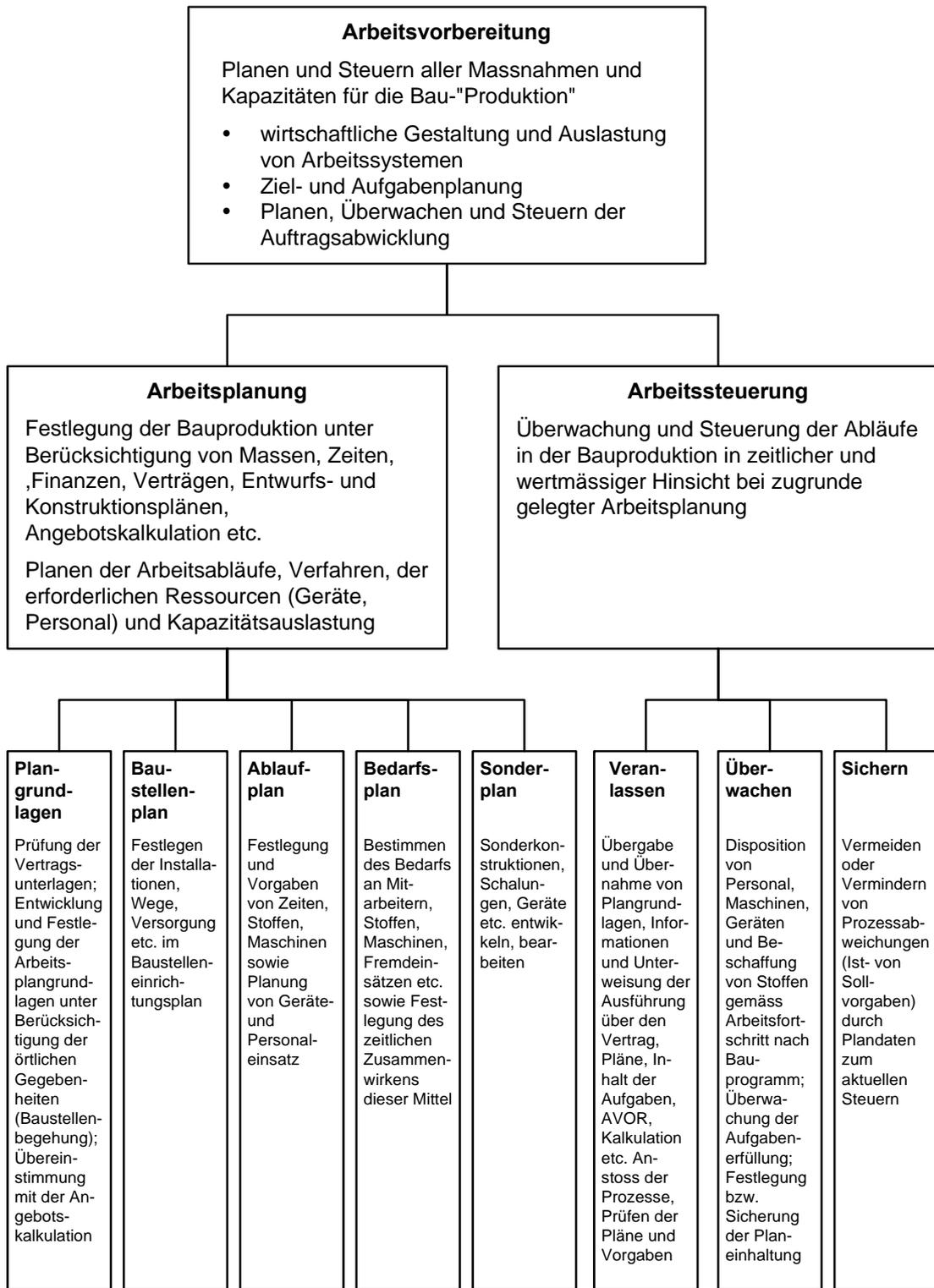


Bild 4-3: Aufgabenstellung der AVOR einer Baustelle

Im Nachfolgenden sind die einzelnen Massnahmen die während der Arbeitsvorbereitung durchzuführen sind als Checkliste aufgeführt:

1. **Termin- und Ablaufplanung**
2. **Arbeitskräftebedarf**
 - Belegschaftsstand
 - Anzahl der Arbeitskräfte: Maximum, Minimum, Durchschnitt
 - Organigramm
3. **Sollbauleistung / Cash flow**
 - Herstellkosten
 - Bauleistung
 - Zahlungsplan
 - Vorfinanzierung
4. **Baustelleneinrichtungsplan**
 - Übersichtsplan
 - Zufahrten
 - Technische Installation
 - Wohnlager, Büro, Kantine
 - Verkehrsbeschränkungen
 - Versorgungsanschlüsse, Infrastruktur
 - Verkehrsphasenpläne
5. **Geräteliste**
 - Detailliste für Partneranfragen
 - Vorschlag für Geräteinvestitionen
6. **Arbeitskalkulation**
 - Einzelkosten der Teilleistungen der Leistungspositionen
 - Gemeinkostenverteilung
 - EDV-Aufbereitung
 - Kostenschlüssel, Zuordnung zu Kostenarten der KV
7. **Spezifische Baustellenkennwerte**
 - Wesentliche Leistungsansätze
 - Spezielle Aufwandswerte
 - Materialkosten
8. **BAS-Schlüssel** (zur Erfassung der Stunden und des Materialverbrauchs)
9. **Formularwesen**
 - Leistungsermittlung
 - Belegschaftsstand gewerbliche Mitarbeiter / Angestellte
 - Stundennachweis / Tag
 - Feld-Aufnahmeblätter
 - Aufmassblätter
 - Massensummenblätter
 - Materialein- und -ausgang
 - Planlisten
 - Monatsbericht mit Termin- und Kostenkontrolle sowie Auftragsentwicklung
 - Nachtragsforderungen
 - Vortriebsdiagramm
 - Betonierdiagramm

Tagesbericht Baustelle
Tagesbericht Bauherr
Stundenlohnbericht
Stundenkarten

10. **Betriebsplan** (Bergamt)
11. **Einreichpläne für Installationen**
12. **Taktpläne**
13. **Bauleitungsbericht**
14. **Materialauszug**
 - Massenauszug
 - Preisfragen
 - Preisspiegel
15. **Nachunternehmer**
 - Anfragen
 - Preisspiegel
16. **Betriebsanmeldungen**
 - Tiefbaugenossenschaft
 - Arbeitsamt
 - Finanzamt
 - Allgemeine Ortskrankenkasse
 - Zusatzversorgungskasse
 - Statistisches Landesamt
 - Unbedenklichkeitsbescheid
 - Arbeitsinspektorat
 - BII-Baustelle
17. **Versicherungen**
 - Haftpflicht- und Bauwerksversicherung
 - Maschinenbruch
 - Bank / Hermes

Die Arbeitsvorbereitung schafft schon mit der Stufe Arbeitsplanung über die Checklisten zwangsläufig den Kontakt mit den beteiligten Auftraggebervertretern und durchführenden Polieren, Subunternehmern etc. Durch die frühzeitige Planung der Prozesse nach Arbeitsfortschritt werden im Vorfeld schon weitgehend die Probleme, die sonst während der Bauzeit auftreten und Störungen verursachen können, erkannt und beseitigt. Es bilden sich Teams schon im Vorfeld der Durchführungsprozesse, weil alle Beteiligten im Grunde daran interessiert sein dürften, den Bauablauf zu optimieren. Durch die Arbeitsplanung werden die Ablaufprozesse im Vorfeld also versachlicht. Die Teams Arbeitsplaner/Bauleiter und Arbeitssteuerer/Polier etc. ergeben sich zwangsläufig, so wie sich die weiteren Fachteams bei der Durchführung in Quality-Circles einbinden können. Erhebliche Leistungssteigerungen sind das Ergebnis von derartig dezentralem Verantwortungsbewusstsein und Vertrauen.

4.2 Bauproduktionsprozessplanung

4.2.1 Einleitung

Die Realisierung einer Bauaufgabe findet in zwei unterschiedlichen Bearbeitungsstadien statt:

- Planungsprozess/Planungsphase – Gestaltung des Bauwerks
- Bauproduktionsprozess/Ausführungsphase – Herstellung des Bauwerks

Der Planungsprozess beinhaltet den Entwurf und die technische Planung, um die Idee des Bauherrn realisierbar zu machen, und berücksichtigt dessen Vorstellungen hinsichtlich Funktionserfüllung und Ästhetik sowie die örtlichen und räumlichen Gegebenheiten.

Der Bauproduktionsprozess (Herstellungsprozess) dient der Realisierung (Materialisierung) der Planung unter Einsatz baubetrieblicher Mittel mit dem Ziel, die gewünschte Qualität in der vorgegebenen Zeit mit einem Minimum an Kosten zu erreichen. Zu dieser Aufgabe gehören die Produktionsplanung und die Ausführung des Herstellungsprozesses.

Der Planungs- und der Bauproduktionsprozess sind je nach Bauwerk in unterschiedlichem Mass voneinander abhängig. So steht im Hochbau im Allgemeinen die Gestaltung im Vordergrund, während im Tiefbau oder Brückenbau die Bauwerksgestalt in starkem Mass durch die Möglichkeit der Herstellung beeinflusst wird. Da im Bauwesen im Allgemeinen keine Serien- oder Massenproduktion, sondern eine Einzelfertigung stattfindet, hat die auftragsabhängige, objektgebundene Produktionsplanung der Baudurchführung für die Wirtschaftlichkeit der Ausführung eine ausschlaggebende Bedeutung. Sie legt fest,

- wie das Objekt ausgeführt werden soll,
- welche Produktionsmittel hierbei einzusetzen sind,
- in welcher Arbeitsfolge der Bauablauf durchgeführt werden soll.

Die Produktionsplanung der Baudurchführung, also des Bauproduktionsprozesses, geschieht durch die Bauverfahrenplanung, Bereitstellungsplanung, Arbeitsablaufplanung und den Baustelleneinrichtungsplan (Bild 2-9). Diese vier Planungsaufgaben können nicht losgelöst voneinander ausgeführt werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen. So setzt die Planung einer Baustelleneinrichtung die Kenntnis der anzuwendenden Fertigungs- bzw. Bauverfahren voraus, da diese für die maschinelle Ausstattung der Baustelle ebenso wie für den zu erwartenden Personaleinsatz massgebend sind. Von der Ausstattung der Baustelle hängt dann aber wieder die Ablaufplanung ab [Girmscheid 2006].

Somit steht die Bauverfahrenstechnik an zentraler Stelle bei der Planung des Bauproduktions- bzw. Herstellungsprozesses.

Im Bauwesen wird der Bauproduktionsprozess durch das Bauverfahren, in Bezug auf den Einsatz und die Kombination von Produktionsfaktoren (Menschen, Maschinen, Geräte, Werkzeuge, Vorrichtungen), zur Be- und Verarbeitung von Baustoffen festgelegt. Im Rahmen des Bauproduktionsprozesses wird der Input durch einen Transformationsprozess in einen Output umgewandelt. Dabei entsteht der Wert, für den der Kunde einen vereinbarten Preis zahlt. Um die Bauaufgabe zu verwirklichen, ist eine

Reihe von Teilaufgaben zu erfüllen, die wiederum in einzelne Prozesse und Einzelvorgänge (Elementarprozesse) gegliedert sind.

Die Bauproduktionsplanung findet jeweils in drei Stadien des Bauprozesses statt (Bild 4-4). Bei grösseren Projekten muss der Unternehmer bereits in der Angebotsphase eine Produktionsvorplanung für das ausgeschriebene Projekt machen. Diese Angebots-Produktionsplanung dient zur Bestimmung der kalkulatorischen Vorgaben für den Ressourcenverbrauch (Geräteliste / Teamgrösse / Gesamtlohnstunden / Gerätestunden / Vorhaltezeiten etc.).

Falls der Auftrag aufgrund eines Angebots gewonnen werden konnte, wird die Bauproduktionsplanung top-down, mit Basisbauproduktionsprozess- und Ressourcenplan, zur Erzielung des Kostenminimums unter Berücksichtigung der Unsicherheiten / Risiken (Bild 4-4) optimiert und die Umsetzung auf der Baustelle durch eine bottom-up Arbeitsplanung in Wochen- und Tagesplanung organisiert und optimiert.

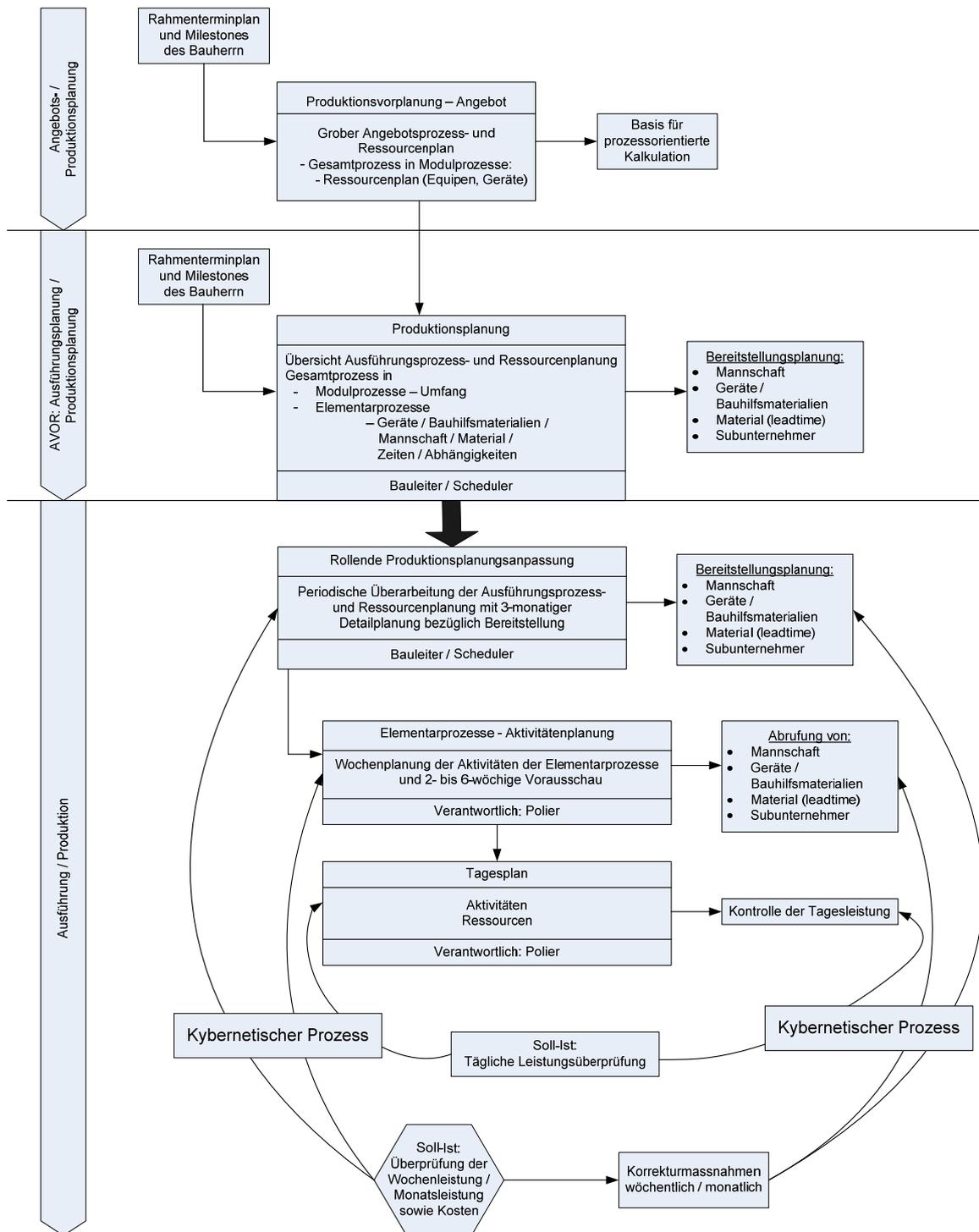


Bild 4-4: Kybernetischer Produktionsplanungsprozess

Während der Ausführung muss die Produktionsplanung in Bauphasen, Bauetappen in Wochen – und Tagesabläufen in einem Fließprozess auf der Baustelle vom dortigen Team umgesetzt werden und an Störungen und eingetretene Unsicherheiten angepasst werden. Dabei handelt es sich um die Organisation der Arbeitsplanung durch Wochenplanung (Detailplanung) und tägliche Vorgaben auf der Basis des monatlich aktualisierten Basisausführungsprozess- und Ressourcenplans (top-down).

Die Wochenpläne werden von den ausführenden Bauführern mit den Polieren gemacht und mit den zuständigen Baustellenchefs abgestimmt (bottom-up). Sie umfassen min-

destens zwei bis vier Wochen im Voraus die Planung der Arbeitsabläufe mit Logistik-, Beschaffungs- und Bereitstellungsplanung von Geräten und Material.

Der Soll-Basisausführungsprozessplan (BAPP) wird jeden Monat mit dem Ist-Bauprogramm verglichen um Abweichungen zu identifizieren und die Wirkung der Verbesserungsmassnahmen zu bewerten und um Leistungsdefizite und Abweichungen vom Zielplan aufzufangen. Der BAPP sollte auf drei Monate im Voraus detailliert werden. Dabei muss der Bezug immer zum Soll-Basisausführungsprozessplan hergestellt werden. Dadurch werden auch die möglichen Beeinflussungen der vertraglich vereinbarten Meilensteine sowie des Endfertigstellungstermins deutlich. Somit können Unternehmer und Bauherr frühzeitig Massnahmen planen um wieder die Zieltermine zu erreichen. Die dazu erforderlichen Beschleunigungsmassnahmen muss der Vertragspartner einleiten und kostenmässig tragen, der die Verzögerung verursacht hat. Das Soll- bzw. Ist-Bauprogramm wird auf drei Monate im Voraus bezüglich der Abrufplanung für Geräte, Mannschaften, Material und Subunternehmer detailliert. Auf diesen Vorgaben werden dann die Wochen- und Tagesbauprogramme entwickelt.

Die vernebelnde Unsitte vieler Projektmanager jeden Monat ein neues Soll-Programm zu erstellen ist einer der grössten Fehler der ordentlichen Projektsteuerung. Denn am Schluss weiss niemand mehr, wann die Basis-Soll-Termine sein sollten und in wie weit bereits Abweichungen eingetreten sind. Dies wird oft bewusst von Projektsteuereern und Bauleitern gemacht, um die Projektentgleisung zu vertuschen.

4.2.2 Bauproduktionsprozess – Prinzipien und Ablauf

Die Bauproduktion ist aufgrund der zu erstellenden Bauglieder sowie der verschiedenen Herstellmethoden / -verfahren je Bauglied hochgradig variabel. Auch wenn das Bauwerk bereits durch die Bauwerksplanung vorgegeben ist und das Hauptziel

• **minimale Bauproduktionskosten**

festliegt, ist es nicht einfach, das ökonomische Minimalprinzip zu erreichen. Zudem kennt man in der Regel nur eine begrenzte Anzahl von Bauverfahren. Somit wird es sich auch bei Anwendung analytischer Simulationstools um eine Entscheidung auf begrenzter Rationalität handeln (Weber) [18]. Diese Feststellung ist keine Entwertung eines systematischen, zielorientierten Vorgehens, sondern eine Grundtatsache des menschlichen Handelns in sozialen und technischen Systemen.

Zur Erzielung eines rationalen Entscheidungsprozesses für die Produktionsmethode ist eine systematische, analytisch-generische Bauproduktionsplanung, die gemäss Bild 4-5 strukturiert ist, durchzuführen. Diese wird im Folgenden erläutert.

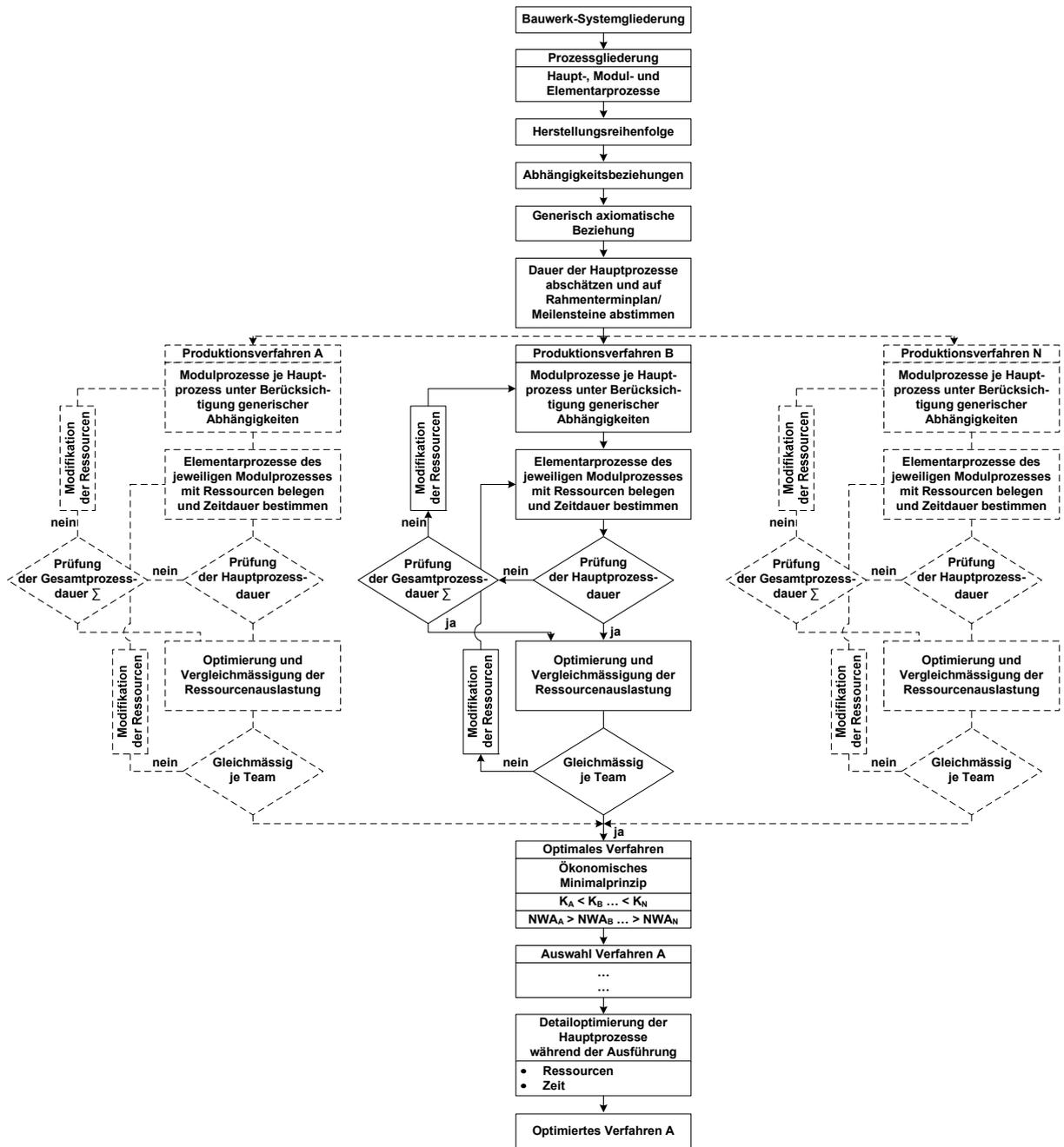


Bild 4-5: Systemische Bauproduktionsplanung

4.2.3 Bauproduktionsprozessplanung – Schritte

Das analytische, generische "top down"-Vorgehen zur Gestaltung bzw. Planung von Bauprozessen zur Entwicklung des Basisbauproduktionsprozesses und Ressourcenplans liegt in der Abfolge folgender Analysen (Bild 4-5):

1. Fragmentierung des Gebäudes in Module, Elementklassen und Bauelemente
2. Identifikation von Bauproduktionsverfahren für die Bauelemente
3. Abstimmung der Bauproduktionsverfahren der einzelnen Bauelemente auf Elementklassen (z.B. alle vertikalen Bauelemente eines Gebäudestockwerks bzw. horizontalen Bauelemente)

4. Bestimmung der generischen Herstellungsreihenfolge aus konstruktiven, statischen und fertigungstechnischen Anforderungen
5. Vorgabe von zeitlichen Meilensteinen für Gewerkegruppen, die in Hauptprozessen hergestellt werden, aufgrund der vorgegebenen Gesamtproduktionsdauer (Rahmenplan des Bauherrn / Investors)
6. Zerlegung der Hauptprozesse einer Gewerkegruppe in
 - logische Modulprozesse nach Bauelementen zur Bestimmung der Herstellungsreihenfolge aus konstruktiven, statischen und fertigungstechnischen Gesichtspunkten
 - Auswahl und Zuordnung der Bauverfahren zu den einzelnen Bauteilen und Bauabschnitten
 - Logisch-generische Zuordnung der Elementarprozesse zur Herstellung der Bauelemente, zu den einzelnen Bauteilen und Bauabschnitten für die jeweiligen Bauverfahren z.B. im Zyklus Schalen, Berechnen, Betonieren, Abhärten
7. Bestimmung bzw. Festlegung der Leistungskennwerte (hour performance factor) für Geräte und der Aufwandswerte (work performance factors) für die Arbeitsteams gemäss der gewählten Bauverfahren
8. Ermittlung der Anzahl der Teams und Geräteketten zur Erzielung der Meilensteine/Zwischentermine und des Endtermins aufgrund der bauverfahrensspezifischen Leistungs- bzw. Aufwandswerte
9. Bestimmung der Ressourcen und Zeitdauer der Elementarprozesse aufgrund der ermittelten Teamgruppen und Teamzusammensetzung bzw. Gerätegruppensammensetzung
10. Erstellung von Risikoübersichten und Identifizieren von Unsicherheiten sowie Abschätzung der Auswirkungen infolge der gewählten Bauverfahren und Leistungs- bzw. Aufwandsannahmen
11. Überprüfung der Hauptprozessdauer unter Berücksichtigung der Herstellungsreihenfolge und der Dauer der Elementarprozesse und Unsicherheiten (probabilistische Puffer) sowie Anpassungen von Ressourcen, falls die Hauptprozessdauer aller Hauptprozesse die Vorgabe der Gesamtbauproduktionszeit überschreitet oder wichtige Meilensteine überschritten werden
12. Iterative wirtschaftliche Optimierung der Bauproduktion nach dem
 - **ökonomischen Minimalprinzip**
 - a. durch Vergleich verschiedener Produktionsvarianten zur Bestimmung des robusten, optimalen Bauproduktionsverfahrens
 - b. durch Detailoptimierung des selektierten optimalen Bauproduktionsverfahrens
13. Für das optimale Bauproduktionsverfahren je Hauptprozess unter Berücksichtigung der Interaktionen der Hauptprozesse des Soll-Bauproduktionsprozessplans werden nun
 - Terminprogramm - zeitliche Vorgaben der Elementarprozesse
 - Ressourcenplan - materielle Vorgaben der Ressourcen (Mannschaft, Geräte, Hilfsmittel, Betriebsstoffe) in Bezug auf Quantität und Qualität
 - Logistikplan – zeitliche und räumliche Zuordnung der Ressourcen in Quantität und Qualität
 - Logistikinfrastuktur – Entwicklung der Baustelleneinrichtung mit Büro- und Sozialeinrichtungen sowie logistischer Infrastruktur, definierten Lagerplätzen sowie Baustellentranporteinrichtungen

4.2.4 Bauprozesssteuerung

Während der Bauproduktion muss in einem kybernetischen, kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) "bottom up" durch Soll-Arbeitswochen- und Tagespläne der Produktionsprozess detailliert organisiert werden. Dies wird wie folgt erreicht:

- Aufbauend auf dem Soll-Bauproduktionsprozessplan und Ressourcenplan sowie Leistungsvorgaben müssen die Monats-, Wochen- und Tagesarbeitspläne von den Ausführenden (Operativen) erstellt werden.
- Die Soll-Monatsarbeitspläne mit den Elementarprozessen, Ressourcenallokationen und Leistungsvorgaben dienen als Basis für die Soll-Wochenarbeitspläne des jeweiligen Teams. Hier werden den aktuell geplanten Tätigkeiten je Tag Personen, Geräte, Bauhilfsmaterialien zugeordnet.
- Die Soll-Wochenarbeitspläne werden wöchentlich fortlaufend mit einem zweiwöchigen Vorlauf bezüglich der Tätigkeiten detailliert, die aufgrund der Soll-Leistungsvorgaben bzw. realen Leistungen mit Stunden hinterlegt werden. Zudem müssen die Teams, die den Wochenarbeitsplänen zugeordnet sind, ihre Aktivitäten koordinieren, um nicht wertschöpfende Aktivitäten zu eliminieren.
- Die Soll-Monatsarbeitspläne werden aufgrund des "bottom up"-Prozesses monatlich überprüft und zur Kontrolle der Zielerreichung durch Ist-Monatspläne fortgeschrieben. Bei Abweichungen werden Korrekturmaßnahmen bzw. Risikoverhinderungs-/ -reduzierungsmaßnahmen eingeleitet, um die Meilensteine und die vorgegebene Gesamtdauer sowie Kostenziel einzuhalten.
- Die Monatsarbeitspläne haben eine Vorausschau und sind Grundlage für die Bereitstellungsplanung und den koordinierten Abruf von Materialien, Spezialisten, Subunternehmern, Material, Geräten und Bauhilfsmaterial.
- In den Wochenarbeitsplänen werden die Detailtermine für kollaborative Nachfolgeteams und Arbeiten bestimmt. Ferner erfolgt die Abstimmung mit parallel arbeitenden Teams bezüglich gemeinsamer Nutzung der allgemeinen Baustelleneinrichtung, räumliche und zeitliche Abstimmung von Aktivitäten und Tätigkeiten. Ferner werden die Abrufung von Ressourcen im Wochenarbeitsplan bottom up zum übergeordneten Disponieren von Bestellungen, Subunternehmern, Geräten und Personaleinsatz zeitlich genau festgelegt, um Verlustzeiten, z.B. durch Warten, zu eliminieren.

Der Bauproduktionsprozess wird durch die Zielvorgaben des "top down" Soll-Bauproduktionsplans kybernetisch gestaltet durch

- "bottom up"-Elementarprozesse und Tätigkeiten und deren Zielerreichungsgrad sowie Vorschläge von Massnahmen zur Zielerreichung durch KVP
- "top down"-Überprüfung der Auswirkung der Wochenzielerreichung auf die Vorgaben des Soll-Gesamtbauprozesses und des erzielten Ist-Bauprogramms bzw. der Rückkopplung auf die "bottom up"-Vorschläge bezüglich Wirkung auf die Gesamtzielerreichung. Ziel ist es, die Teamverantwortung für die Zielerreichung sicherzustellen.

4.2.5 Vorgehensweise bei der Bauproduktionsprozessplanung

Zur systematisch-generischen Gliederung des Bauproduktionsprozesses in Modul- und Elementarprozesse sowie Aktivitäten ist folgende Systematik notwendig:

1. **Systemgliederung** – Gliederung des Gesamtsystems (Endprodukt Gebäude) in (Bild 4-6):

- Teilsysteme - Geschosse, Räume, Fassade
- Module / Bauelemente - Decken, Wände, Fassadenelemente, Fussboden, Fenster, Türen, Putz/Anstrich
- Eigenschaften - physikalische, technische, architektonische Eigenschaften

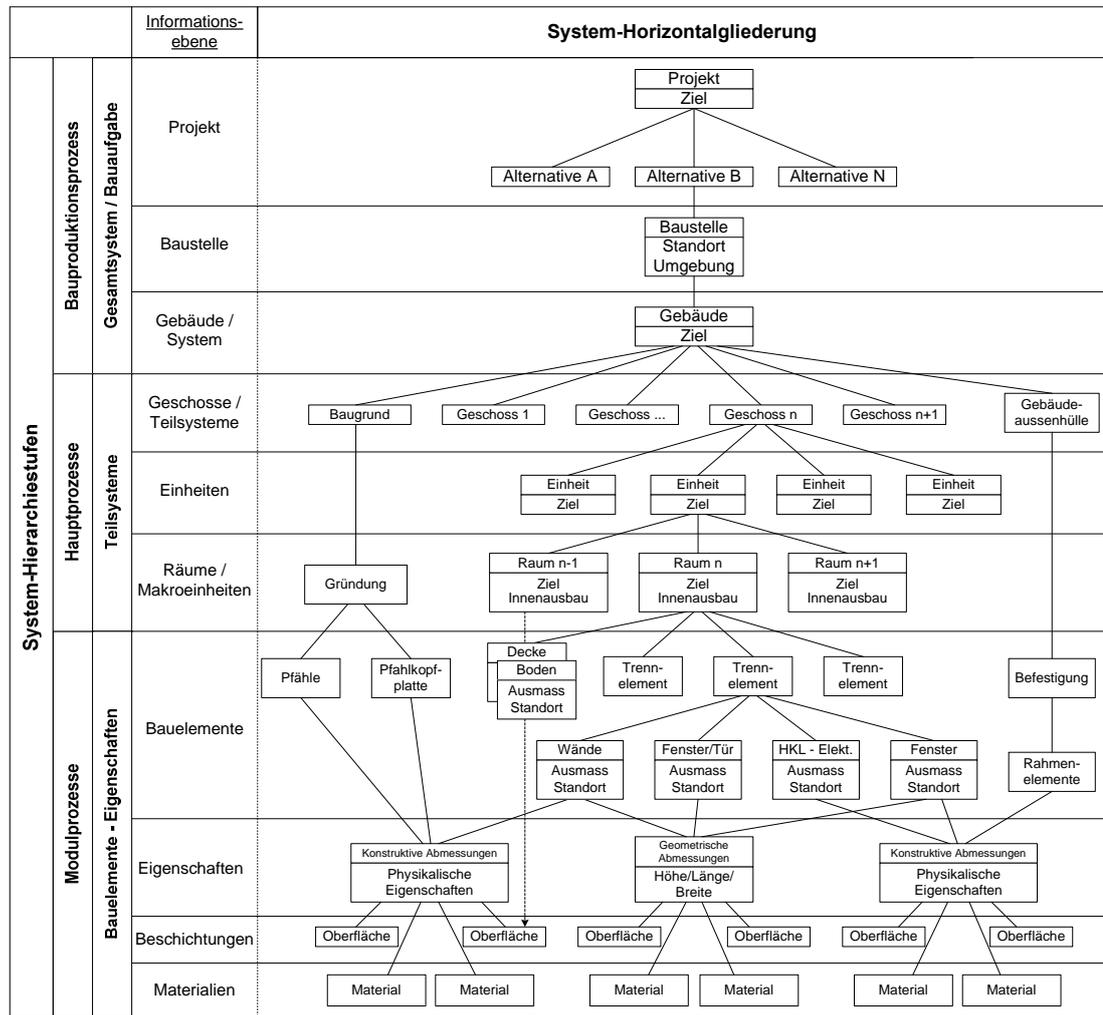


Bild 4-6: Systemgliederung einer Bauaufgabe

2. **Prozessgliederung** – Gliederung des Bauproduktionsprozesses (der Bauaufgabe) in Modul- und Elementarprozesse sowie Tätigkeiten / Aktivitäten (Bild 4-6 und Bild 4-7) zur Herstellung der einzelnen Bauelemente

Baufgabe	Bauteilaufgaben		Elementarprozesse	Tätigkeiten
	Bauproduktionsprozess	Hauptprozesse			Modulprozesse
Bau einer Brücke	Baustellen-einrichtung	Baustellen-logistik	Kräne aufbauen	Vorbereiten
		Unterkünfte	Baustrassen bauen	Transportieren
	
		...	Container aufbauen	...
	Unterbau	Gründung	Baugrubenumschliessung	Lösen
			Aushub	Laden
		Widerlager	...	Transportieren
			Rückfüllung	...
		Pfeiler	...	Zwischenlagern
			Schalen	...
		Lager	Bewehren	Wiedereinbauen
			Betonieren	...
		Entwässerung	...	...
		Drainage einbauen	...	...
	Überbau	Hohlkasten	Schalen	...
		Bewehren	Rüstung aufbauen	
Entwässerung		Betonieren	...	
Fahrbahn-belag		...	Schalung vorbereiten	
		Drainage einbauen	...	
E + M		...	Bewehrung verlegen	
	
	...	...	Ausschalen	

Bild 4-7: Prozessgliederung einer Bauaufgabe

Als Beispiel für die Prozessgliederung dient die Bauaufgabe "Herstellung einer Brücke". Die Herstellung der Brücke wird als Bauproduktionsprozess betrachtet (Bild 4-7). Dieser Bauproduktionsprozess lässt sich in folgende Hauptprozesse gliedern:

- Errichtung einer temporären Baustelleneinrichtung als Vor-Ort-Produktionseinrichtung
- Herstellung des permanenten Unter- und Überbaus der Brücke

Zur Erzielung der einzelnen Hauptprozesse sind weitere Modulprozesse für die einzelnen Bauelemente erforderlich, so z.B. für die Herstellung der Gründung, der Widerlager und Pfeiler sowie der erforderlichen Lager und der Entwässerung etc.

Die Zerlegung der Modulprozesse in Elementarprozesse (Bild 4-8) ist Voraussetzung, um geeignete Verfahrenskombinationen aufzustellen, sie miteinander zu vergleichen und das geeignetste Bauverfahren auszuwählen. Grundforderung in der Verfahrenstechnik ist es, unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren, mit möglichst einfachen und robusten Mitteln eine praxisgerechte Lösung zu finden. Hierzu muss festgestellt werden, welche Entscheidungsvarianten vorhanden sind, mit welchen Auswirkungen bei Auswahl einer dieser Möglichkeiten zu rechnen ist und wie man sich entscheiden soll, wenn bestimmte Kriterien gegeben sind. Hierzu können methodische Entscheidungsvorbereitungen (Operations Research) dienen.

Elementarprozesse	Möglichkeiten der Fertigung			
	1	2	3	4
Bewehren	örtlich bewehren	vorgefertigte Bewehrung einbauen	teils örtlich, teils vorgefertigt	_____
Schalen	Brett, Bohle, Kantholz (konventionell)	Grosstafelschalung auf Umhängearbeitsbühnen	Kletterschalung	Gleitschalung
Betonieren	mit Kübel	mit Betonpumpe	_____	_____
Transportlogistik	Turmdrehkran auf Gleis	Kletterkran am Siloschacht	Mobilkran	_____

Bild 4-8: Varianten der Herstellung

3. **Herstellungsreihenfolge** – Gliederung der Herstellungsreihenfolge der Bauelemente/ Bauteile in physikalisch bedingte und lagenbedingte generische Folgeebenen (Bild 4-6)

- Tragkonstruktion von unten nach oben
- Ausbau lagenweise, sequenziell von der Konstruktions- zur Oberflächenebene
- Befestigungselemente vor Elementmontage
- konstruktive, stabilitätsbedingte Reihenfolge

4. **Abhängigkeitsbeziehung** der Modul- und Elementarprozesse sowie Tätigkeiten in (Bild 4-6 und Bild 4-8)

- upstream - Vorgänger- bzw. Überordnungsabhängigkeit
- downstream - Nachfolger- bzw. Unterordnungsabhängigkeit
- lateral - Nachbarabhängigkeit auf gleicher Hierarchiestufe

müssen aus konstruktiven, statischen und fertigungstechnischen Gründen aufgedeckt und zusammengeführt werden (Bild 4-9).

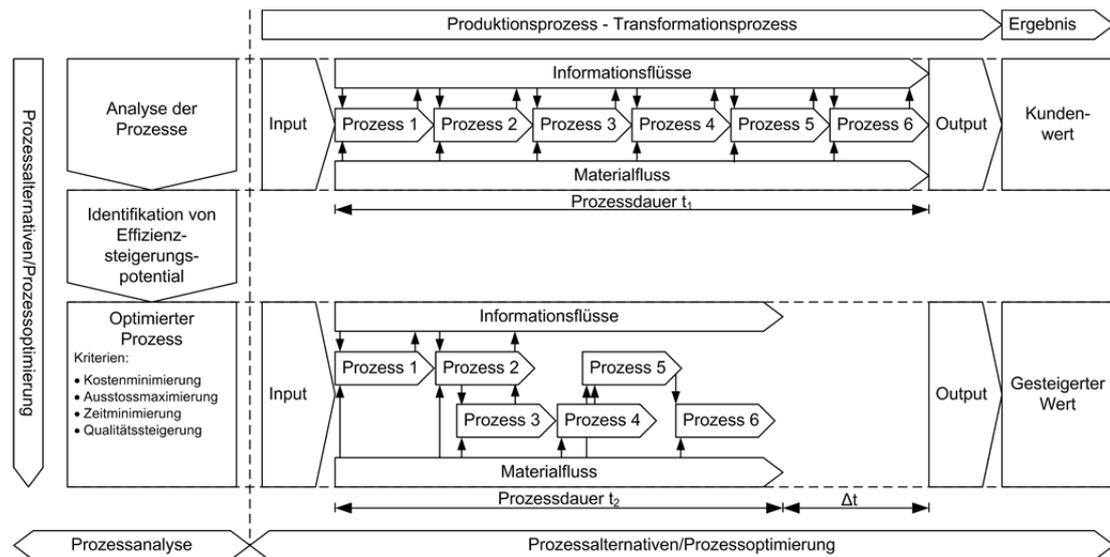


Bild 4-9: Produktionsprozessanalyse und -optimierung

Für die Erstellung der Produktionsprozessabhängigkeiten auf Modul- und Elementarprozessebene sowie auf Tätigkeitsebene werden die generischen Dimensionen

- Systemgliederung - top down
- Prozessgliederung - inhaltlich
- Herstellungsreihenfolge - konstruktiv

in ihre zeitlichen Abhängigkeitsbeziehungen gebracht (Bild 4-10 und Bild 4-11).

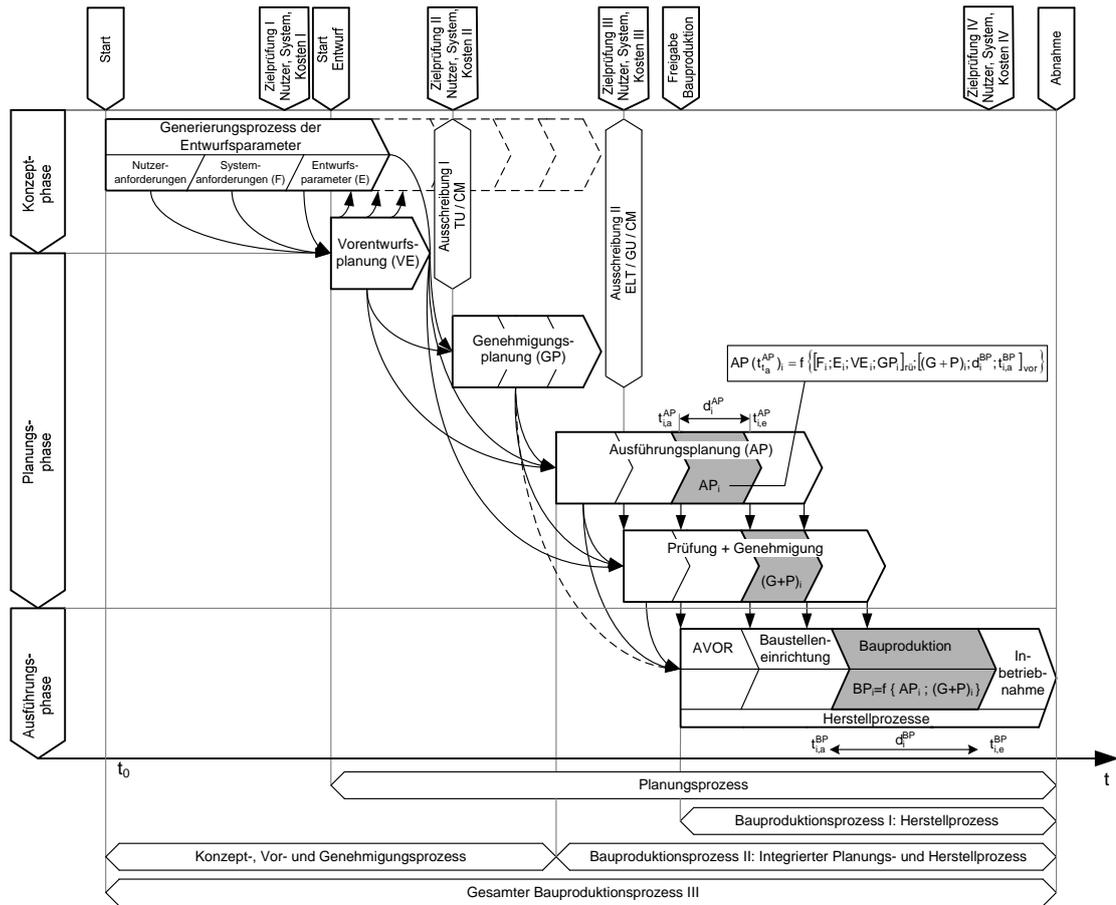


Bild 4-10: Generische axiomatische Beziehungen der Planung - zeitlich zum Bauprozess, inhaltlich und zeitlich zu Systemanforderungen, Entwurfsparametern, Vor- und Genehmigungsplanung

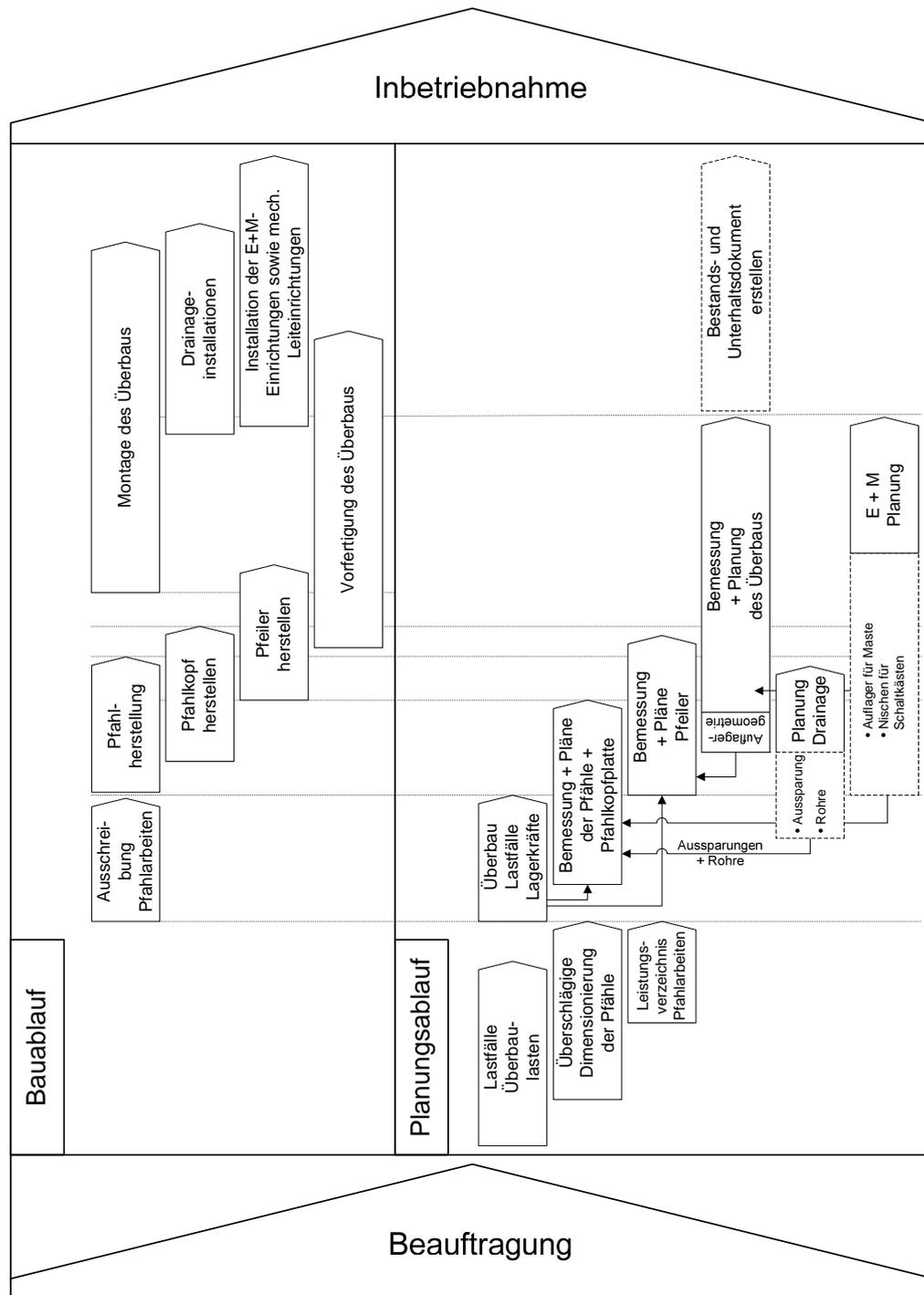


Bild 4-11: Fast-Track-Brückenbau – Optimierter Produktionsprozess für Ortbetonpfeiler und vorgefertigter Überbau

5. **Generische axiomatische Beziehung** zwischen Produktionsprozess bzw. Modul- und Elementarprozessen sowie Tätigkeiten zu (Bild 4-10)

- Nutzer- und Systemanforderungen
- Entwurfparameter
- Planungsprozess
- Prüfungs- und Genehmigungsprozess

muss hergestellt werden.

6. **Hauptprozessdauer abschätzen** – Dazu ist es erforderlich, in einem iterativen "bottom up"-Ansatz die Dauer der Hauptprozesse auf der Basis von Geschossflächen bzw. Bauvolumen bzw. Stockwerken zu schätzen. Daraus ergeben sich vorläufige Meilensteine für die Hauptprozesse, die in die Vorgabe der Gesamtproduktionsdauer (Rahmenplan) eingepasst werden müssen.
7. **Hauptprozessdauer iterieren** – Innerhalb der Hauptprozesse kann gemäss der generischen zeitlichen Abhängigkeitsbeziehungen mit der Planung der Modulprozesse begonnen werden. Dazu werden für jeden Modulprozess eines Bauteils die Elementarprozesse mit Ressourcen belegt und die zeitliche Dauer der Elementarprozesse festgelegt. Die zeitliche Dauer aller Modulprozesse eines Hauptprozesses muss unter Berücksichtigung der sequenziellen und parallelen Abhängigkeiten innerhalb der Hauptprozessmeilensteine erledigt werden können. Ist dies nicht der Fall, so werden im ersten kybernetischen Iterationsprozess die Ressourcen und Reihenfolge der Elementarprozesse sowie Modulprozesse unter Berücksichtigung der generischen Abhängigkeitsbeziehungen sukzessive iterativ angepasst, bis die Hauptprozesszeitspanne eingehalten ist. Dies erfolgt für jeden Hauptprozess (Bild 4-9).
8. **Vergleichmässigung der Ressourcen** – Innerhalb der Hauptprozesse wird nun die Auslastung der Ressourcen bezüglich Gleichmässigkeit untersucht. Bei ungleichmässiger Auslastung der Teams (slack time) werden die entsprechenden abhängigen Elementarprozesse hinsichtlich Vergleichmässigung der Ressourcen (Teams / Geräte / Bauhilfsmaterial) verändert. Dabei muss man zwei Fälle unterscheiden:
 - Die Hauptprozessdauer verkürzt sich: keine weiteren Massnahmen in Arbeitsplanungsstufe 3 notwendig
 - Die Hauptprozessdauer verlängert sich:
 1. Es muss geprüft werden, ob durch Vergleichmässigung anderer Hauptprozesse Zeiteinsparungen möglich sind, um die vertragliche Gesamtproduktionszeit einzuhalten.
 2. Wenn auch die Gesamtproduktionszeit überschritten wird, muss geprüft werden, ob eine Ressourcenerhöhung in einem oder mehreren Hauptprozessen bei Beibehaltung der Vergleichmässigung zur Einhaltung der Gesamtproduktionszeit führt.
9. **Kostenanalyse** – Da das zu erzielende Ergebnis (Bauwerk) der Bauproduktion in der Produktionsphase durch Ausschreibung, Vertrag und Genehmigungs- sowie Ausführungsplanung vorgegeben ist, gilt es, hier das
 - **ökonomische Minimalprinzip**
 - zu ermitteln. Dies kann in zwei Schritten erfolgen:
 - a. Auswahl des bzw. der kostenminimalen Bauproduktionsverfahren aus alternativen Varianten (Bild 4-11).

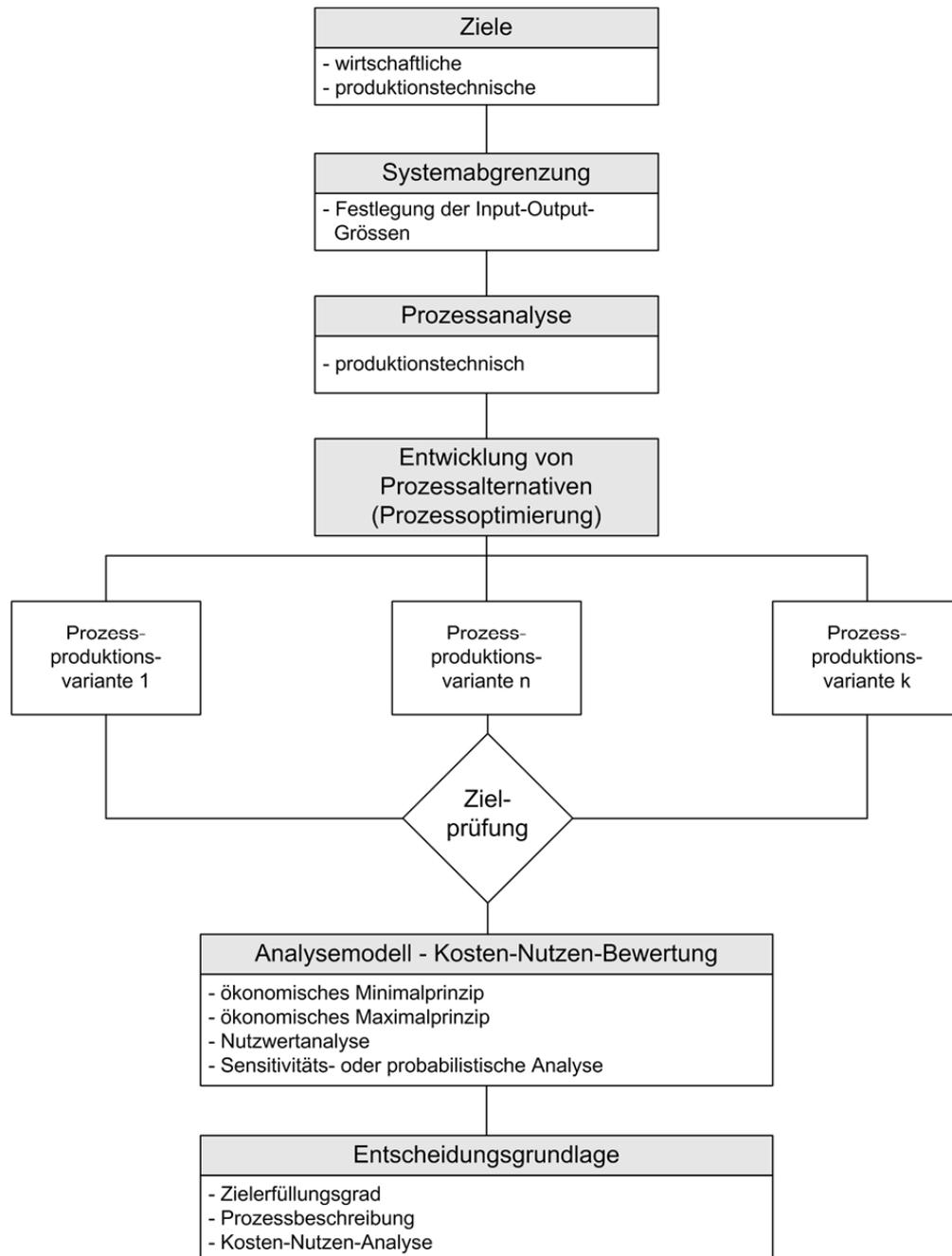


Bild 4-12: Auswahlsystematik für Produktionsprozesse

Sensitivitätsanalyse

Im Allgemeinen gibt es eine gewisse Bandbreite aus den verschiedenen Ausführungsbedingungen, innerhalb derer ein Bauverfahren geeignet erscheint und optimal ist (Bild 4-13). Diese Bandbreite kann unterschiedlich gross sein, je nachdem ob ein Bauverfahren nur innerhalb recht eng begrenzter äusserer Bedingungen sein Eignungsoptimum besitzt oder ob es weitgehend unempfindlich ist, d.h. auch bei Störungen und ungünstigeren Bedingungen als erwartet immer noch im Kostenrahmen und somit anwendbar bleibt. So kann das Bauverfahren B die absolut kostengünstigste Lösung darstellen, aber bereits bei geringen Abweichungen der Einflussfaktoren von den angenommenen Werten zu erheblichen Verteuerungen führen, während das Bauverfahren A zwar teurer als das Bauverfah-

ren B, aber bei weitem nicht so anfällig gegen Abweichungen von den Ausgangsbedingungen ist (Bild 4-13). Diese Bedingungen werden bei der Bauverfahrensplanung oft unzureichend berücksichtigt oder verkannt und führen dann zu Fehlentscheidungen.

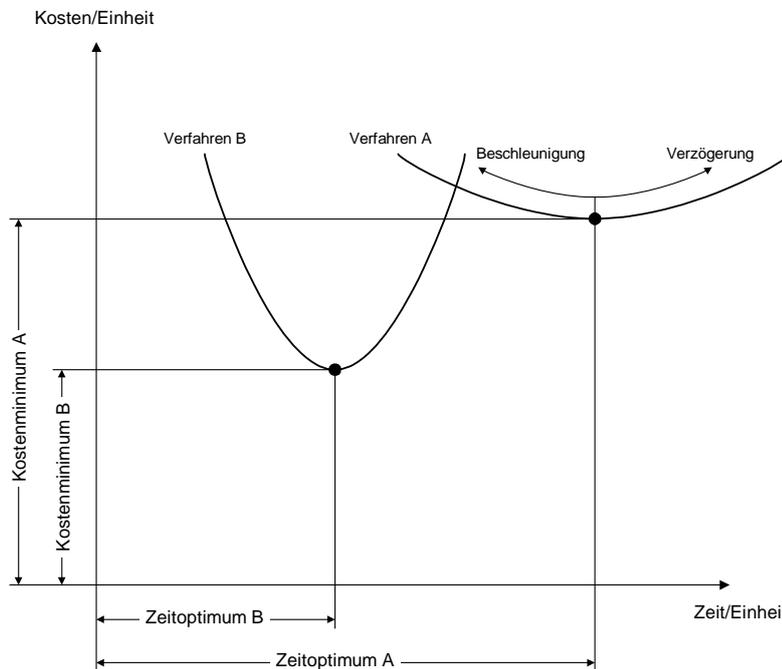


Bild 4-13: Empfindlichkeit von Bauverfahren in Bezug auf Zeit und Kosten

- b. Minimierung der Kosten des kostenminimalen Verfahrens durch Variation der Gesamtdauer bzw. Teildauer der Hauptprozesse durch Optimierung der Ressourcen in Bezug auf Reduzierung der
- Fixkosten der Produktion durch geringere Vorhaldedauer der Baustelleneinrichtung und des Managements
 - variablen Kosten durch leistungsfähige Geräte etc.

Das Ergebnis führt dann zum optimalen Prozess nach dem Kostenminimum (Bild 4-5). Während der Planung des Bauproduktionsprozesses sind zudem für jeden Modul- und Elementarprozess die Entscheidungen make-or-buy-or-cooperate zu fällen, d.h. ob man eigene oder fremde Produktionsressourcen einsetzt.

4.2.6 Fazit

Die Axiome der Bauproduktionstheorie gelten als wissenschaftlicher Gestaltungsrahmen für die technologische, wirtschaftliche Prozessgestaltung der Bauproduktion. Aus der theoretischen axiomatischen Zielbestimmung der Bauproduktion lassen sich denklogisch-deduktive Prozesse und Modelle für die Bauproduktion entwickeln.

Aufbauend auf diesen Gestaltungsrahmen wurde der theoretische Prozess der interaktiven, komplexen projektspezifischen Bauproduktionsprozessplanung entworfen.

Basiert auf dem axiomatischen Theoriegebäude der Bauproduktion lassen sich theoriegeleitet weitere Prozessmodelle zur Effizienzsteigerung und Innovation der projektspezifischen Bauproduktion entwickeln.

4.3 Einrichtung einer Baustelle

4.3.1 Allgemeines

Die **Besonderheit der Bauproduktion** - im Gegensatz zur **stationär** produzierenden **Industrie** - ist, dass am jeweiligen Entstehungsort des neuen Bauwerks die gesamte Produktionsinfrastruktur zur Errichtung des Gebäudes jedes Mal neu aufgebaut werden muss (**mobile Industrie**). Daher ist es notwendig, für jedes Bauwerk eine individuelle Baustelleneinrichtung zu planen und zu errichten. Die **Baustelleneinrichtung** wird für jedes Bauwerk **abgestimmt** auf:

- Grösse der Baumassnahme
- Art der Baumassnahme (Industriebauten, Hochhaus, Brückenbau, Tunnelbau etc.)
- vorhandene öffentliche Infrastruktur (Stadt, Gebirge, Ausland etc.)
- Erbringung der Leistung durch Subunternehmer oder eigene Mannschaft
- Baustoffversorgungsmöglichkeiten
- Bauzeit etc.

Für die Erhebung der relevanten Daten zur Baustellenvorbereitung kann man die folgende Checkliste für die Baustelleninstallationen benutzen.

Baugelände

Lage:	Grenzen / Anlieger / Strasse
Verhältnisse über Terrain:	Freileitungen / Terrainneigung usw.
Bodenverhältnisse:	Geologische Verhältnisse / Bodenarten / Lagerung / Grundwasser (höchster und tiefster Stand / Strömung) usw.
Unterirdische Leitungen:	Elektrische Kabel (Telefon) / Gas / Wasser / Abwasser etc.
Hydrologische Verhältnisse:	Wasserstände / Flussgeschwindigkeit / Wassertemperatur / zeitlicher Verlauf Hoch- und Niedrigwasserstand
Klimatische Verhältnisse:	Temperaturverlauf Sommer / Winter / Frostperiode / Niederschlagsmengen etc.

Transportverhältnisse

Öffentlicher Verkehr:	Nächste Bahnstation / Umschlagsmöglichkeit (Rampe/Kran); Seilbahntransporte
Zufahrtsstrassen:	Befahrbarkeit / Breite / Durchfahrtshöhe öffentlicher Strassen / Tragkraft von Brücken / notwendige Behelfsmassnahmen Länge / Breite / Ausbaustandard von Baustrassen (zwischen öffentlichen Strassen und Baugelände)
Wasserzufahrt:	Umschlagsmöglichkeit Land / Wasser; Art der Befahrbarkeit / Schutzmöglichkeit bei Flüssen etc.

Versorgung der Baustelle

Stromversorgung:	Nächste Anschlussmöglichkeit / Hoch- oder Niederspannung / Kapazität des Anschlusses (KVA) Länge und Art der Zuleitung / notwendige Trafos
Wasserversorgung:	Möglicher Wasseranschluss mit Ø und Kapazität des vorhandenen Netzes / Druckverhältnisse / separate eigene Wasserversorgung ab öffentlichem Gewässer / evtl. zusätzlich notwendige Einrichtungen, Pumpen, Druckerhöhungsanlage, Reservoir etc.
Abwasser:	Anschlussmöglichkeit an vorhandenes Netz Leitungslänge / Kapazität / eigene Abwasseranlage (Fäkalientank / Kläranlage etc.)

Installations- und Lagerflächen

Verfügbare Flächen / je nach Bedarf ergänzend notwendige Flächen (mieten).

Erforderliche Massnahmen wie Roden, Planieren, Boden stabilisieren, Gründen etc.

4.3.2 Planungsumfang für die Baustelleneinrichtung

Die Planung und Dimensionierung der Baustelleneinrichtung umfasst:

1. **Versorgungseinrichtungen**
 - Verkehrerschliessung
 - Wasser, Abwasser
 - Elektroversorgung
 - Heizung
 - Druckluft
2. **Betriebs- und Infrastrukturgebäude**
 - Büros
 - Werkstätten
 - mobile Container
 - Unterkünfte

3. **Baustoff- und Bauhilfsstoffproduktionsanlagen**

Betonmischanlage
Eisenbiegeplatz
Schalungsvorbereitung
Lagerflächen

4. **Baugeräteausrüstung**

Transportgeräte auf der Baustelle
bauverfahrensspezifische Arbeitsgeräte, je nach Baustelle angepasst

Die **Dimensionierung** der Betriebseinrichtungen sollte u.a. folgende **Aspekte** berücksichtigen:

1. **Versorgungseinrichtungen:**

⇒ Brauchwasserversorgung

- Ort der Einspeisung
- vorhandener Druck
- notwendige Lieferleistung
- Bedarfsrechnung
- Rohrleitungsdurchmesser
- Pumpengrößen
- Behältergrößen
- Leitungen bis in Baubereich für Schlauchanschlüsse
- Wasserleitungsführungskonzept
- PVC- oder Pipelinerohre
- Berechnung der Druckerhöhungen
- Rohrleitungssystem oder Tankwagen

⇒ Trinkwasserversorgung

- Checkpunkte zum Teil analog Brauchwasserversorgung
- Berücksichtigung von Unterkünften, Werkstätten, Kantine, Büros

⇒ Abwasser

- Anfallende Wassermenge aus Baugrube, Werkstattwasser
- Fäkalien
- Entsorgung
- Öl- und Wasserabscheider
- Klärbecken
- Neutralisationsanlage
- Kanalanschluss

- Regenerierung für Brauchwasser
- Schlammsaugwagen
- Drainagen
- Rohrdurchmesser
- Pumpengrößen

⇒ Elektrotechnische Planung

- System, Stromverteilerpläne
- Wirtschaftlichkeit
- Überprüfung der Stromlieferverträge
- Kabelberechnung
- Trafoauswahl

⇒ Beleuchtung

- Aussenbeleuchtung
- Treppenturmbeleuchtung
- mobile Halogenmaste für Nacharbeiten

⇒ Pressluftversorgung

- Konzept, Reserven
- Schrauben- bzw. Kolbenkompressoren
- mobile Einheiten mit Diesel-Motor
- Betriebsstellen
- Berechnung Rohrleitung
- Kühlsysteme
- Nutzung Abluftwärme

2. Betriebs- und Infrastrukturgebäude:

⇒ Werkstätten

- Magazine
- Platzbedarf
- Hebezeuge
- autarke oder halbautarke Werkstattausrüstung
- Beheizung
- Geräteabstellplatz

- Waschplatz mit Entsorgung
- Ersatzteillager

⇒ Bürocontainer / -gebäude

- Konzept des Büros
- Kopierer
- EDV
- Telefonanlage / Telefax

⇒ Container

- Poliercontainer
- Werkstattcontainer
- Kleinwerkzeugcontainer / UT-Boxen
- Elektrocontainer
- WC, Duschen
- Trockenraum
- Sanitätscontainer
- Küche
- Kantine (Aufenthalt)
- Wohnlager oder Fremdeinmietung
- Heizungssystem
- Materiallagercontainer (empfindlich / teuer)

3. Baustoffproduktionsanlagen:

⇒ Ortbetonmisanlage

- Eigen- oder Fremdbeton
- Wirtschaftlichkeit
- System der Anlage
- Spitzen- und Durchschnittsleistung der Anlage
- Reserven
- Beheizung
- Kies-/Sandlager
- Steinmehllager
- Zementsilos
- Ortbetontransport

⇒ Sonstiges

- Kiesaufbereitung
- Injektionsanlagen
- Fertigteilproduktion
- Eisenbiegeeinrichtung

4. Baugeräteausrüstung der Baustelle:

⇒ Leistungsgeräte

- Bagger, Radlader etc.
- Rammgeräte, Ankergeräte
- Kräne
- Zeitstudien
- Ersatzteile
- Verschleissteile
- Service
- Kleingeräte (Bohrhämmer, Abbauhämmer)
- Hebebühne für Montagen, Vermessung, Spritzbeton
- Antriebsmotoren
- Ketten
- Felsreifen
- Schaufeln etc.

⇒ Transportkonzept

- Zeitstudien
- Dumpergrösse
- Diesel-kW
- Anzahl der Fahrzeuge
- Fahrzeuggeometrie
- Transportkapazität
- Steigungen, Allrad
- Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
- Verhältnisse auf Kippe
- Fahrlader
- Service (Werkstattgrösse)

- Arbeitsablauf
- Zwischendeponie
- Abstimmung auf Ladegeräte
- Gerätebeschaffung
- Abschmierwagen

⇒ Fuhrpark

- LKW - Versorgung und Entsorgung
- Spritzbeton, Fahrmischer etc.
- Personal
- Werkstatt
- Reifenwechsel
- Schmierstoffe
- Tankwagen
- Gerätetransport
- Hebezeuge
- Tieflader für Trafos / Kompressoren
- Tieflader für Baumaterial

⇒ Spritzbeton

- Eigenherstellung, Fremdbeton
- Trocken-, Nassspritzen
- Beheizung
- Deponierung des Rückpralls
- Standort
- Transport
- Kostenvergleich Fertigspritzgut
- Einblasen
- Transportmischer in Abhängigkeit vom Dosiersystem
- mobiler Spritzarm
- Beschleunigerdosierung (pulverförmig/flüssig)
- Eignungsprüfungen

⇒ Schalungen und Rüstung

- Festlegung der technischen Anforderungen

- Auswahl
- Abnahmen
- Wand, Decke, Stützen, Gewölbe
- Blocklängen

⇒ Betoniergerät

- Betoneinbringung
- Betonierverteilung, Mastverteiler
- Pumpenauswahl
- Rüttlersysteme
- Stromversorgung
- Kabeltrommel
- Gerüste
- Laboreinrichtung

⇒ Betoniervorgang

- Isolierung
- evtl. Bewehrung
- Beton einbringen
- Nachbehandlung
- "Kosmetik" bei Betonierfehlern

⇒ Deponiegelände

- Art und Ort der Deponie
- Steigungen
- Wegezustand

⇒ Vermessung (unter Berücksichtigung von Fremdbüros)

- Vermessungskonzept
- Vermessungsgerät
- Überprofilmessung
- geotechnische Messungen
- EDV-Ausrüstung, Software
- Lasersysteme
- Lärmpegelmessung

4.3.3 Planung der Versorgungseinrichtungen

4.3.3.1 Verkehrserschliessung

Bei der Verkehrserschliessung der Baustelle muss **unterschieden** werden zwischen dem vorhandenen **öffentlichen Strassennetz**, **Baustrassen** zum Anschluss des Baugeländes an das öffentliche Strassennetz und **Baustrassen innerhalb des Baugeländes**.

Das **öffentliche Strassennetz** ist vorgegeben und nicht abänderbar, es kann also lediglich im Rahmen der Arbeitsvorbereitung bei der Überlegung eine Rolle spielen, ob z.B. der Antransport grossformatiger Fertigteile oder eine **zuverlässige Versorgung** mit Transportbeton zu jeder **Tageszeit** möglich ist. Dies kann zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Planung der Baustelleneinrichtung führen.

Beim Anschluss an das öffentliche Strassennetz ist zu berücksichtigen, dass eine möglichst **reibungslose Ein- und Ausfahrt** in das Strassennetz gewährleistet ist. Das bedeutet, dass Baustellenfahrzeuge nach Möglichkeit nicht eine Hauptstrasse überqueren oder als Linksabbieger in sie einfahren bzw. von ihr abbiegen sollen.

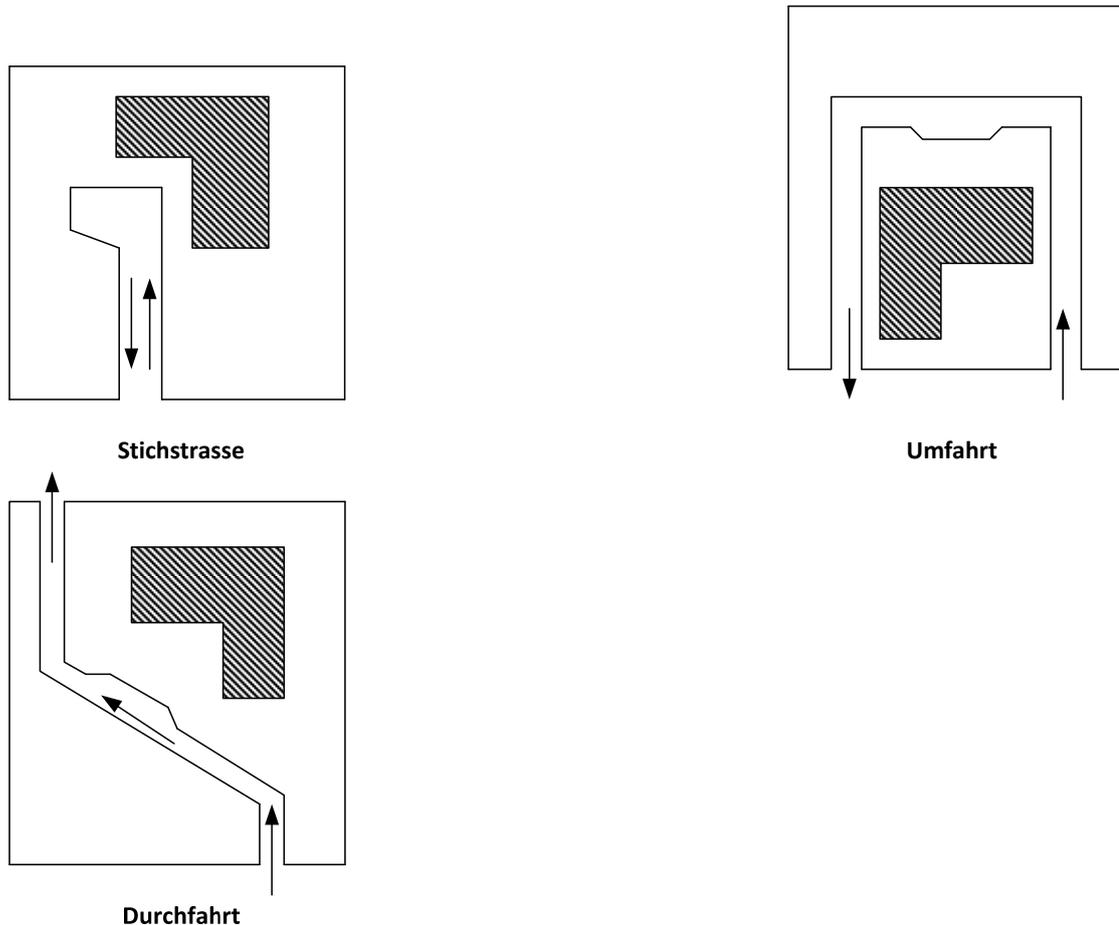


Bild 4-14: Grundformen der Baustrassen

Die Baustrasse kann angelegt werden als (Bild 4-14):

- **Stichstrasse**

Ist eine Um- oder Durchfahrt zu **aufwendig** oder aus **räumlichen Gründen** nicht

möglich, so wird eine Stichstrasse gewählt. **Nachteilig** ist die erforderliche **Wendemöglichkeit**, besonders bei **Lastwagen mit Hängern**, für die ein Wendekreis mit einem Durchmesser von mindestens 20 - 24 m erforderlich ist.

- **Umfahrt**

Eine Umfahrt oder **Ringstrasse** mit einer aufgeweiteten Anbindung (Ein- und Ausfahrt) an eine an das Baugelände angrenzende öffentliche Strasse ist die **verkehrstechnisch beste Lösung**. Sie erlaubt **Einbahnstrassenverkehr** auf dem Baugelände und vermindert damit die gegenseitige Behinderung der Transportfahrzeuge und die Unfallgefahr.

- **Durchfahrt**

Ist das Baugelände von zwei Seiten von öffentlichen Strassen begrenzt, kann eine Durchfahrt angelegt werden. Sie erlaubt ebenfalls **Einbahnstrassenverkehr** und hat eine geringere Länge als die Umfahrt. Nachteilig ist die zweifache Anbindung an das öffentliche Strassennetz.

Linienführung von Baustrassen

Die Linienführung von Baustrassen sollte so gewählt werden, dass möglichst folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Heranführen der LKW-Transporte möglichst nahe an ihren Bestimmungsort
- Erreichen des Schwenkbereichs von Kränen und Hebezeug zum problemlosen Abladen von Geräten und Baustoffen
- Einhalten eines gewissen Abstands zum Bauwerk, um Lager- und Bearbeitungsflächen zwischen Bauwerk und Baustrasse freizuhalten
- ausreichende Sicherheitsabstände von Maschinen, Gerüsten, Unterkünften und Baugruben

Längsprofil von Baustrassen

Als Strassenlängsneigung können für Lastkraftwagen angesetzt werden:

- bei normalen Verhältnissen 5-10 %
- bei extremen Geländebedingungen (z.B. Hochgebirge, Baugrubenrampen) bis zu 15 %
- auf kurzen Rampen bis über 40 %

Querschnittgestaltung von Baustrassen

Für mittlere Baustellen sind im Allgemeinen einspurige Baustrassen ausreichend, wenn an Entladestellen - bei grosser Länge auch an Zwischenpunkten - Ausweichmöglichkeiten geschaffen werden. Die erforderliche Breite liegt zwischen etwa 3.50 m und 4.25 m. Die Ausweichstellen müssen auf mindestens eine Fahrzeuglänge einschliesslich Hänger ausgelegt sein.

Bei grösseren Baustellen mit starkem Zulieferverkehr können zweispurige Baustrassen erforderlich werden; in diesem Fall beträgt die notwendige Breite 5.50 bis 6.00 m. Für Leistungstransporte auf der Baustelle sollten Profile wie in Bild 4-15 dargestellt gewählt werden. Nur auf diese Weise können, trotz baustellenbedingter Unebenheiten der Strasse, relativ hohe Geschwindigkeiten in beiden Richtungen realisiert werden.

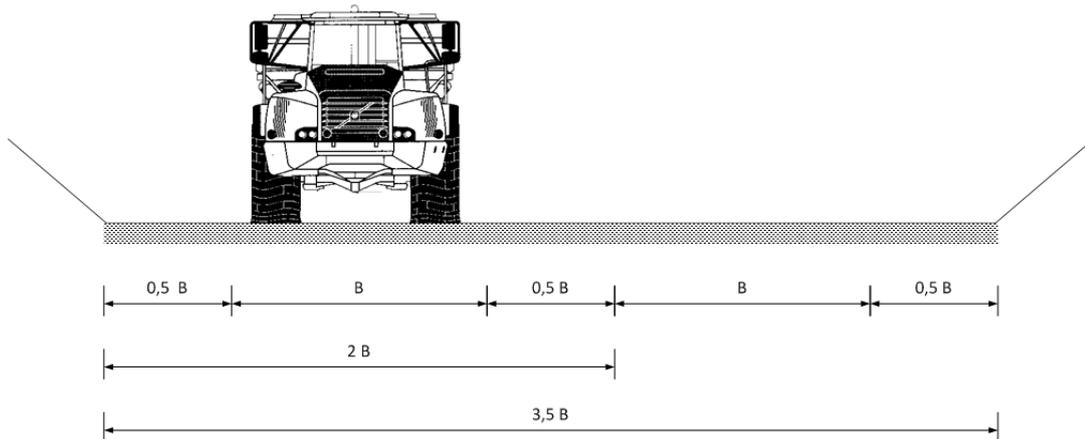


Bild 4-15: Breite von Baustrassen

Strassenaufbau

Der Aufbau der Baustrasse wird der Verkehrsbelastung und der vorgesehenen Nutzungsdauer angepasst. Im Allgemeinen wird man sich mit einer Schotterauffüllung von 15 bis 20 cm Stärke begnügen, die nach Abschluss der Bauarbeiten mit geringeren Mitteln entfernt werden kann und eine Weiterverwendung des gereinigten Schottermaterials ermöglicht.

Bei lang gezogenen Baustrassen oder wenn grosse Verkehrsflächen erforderlich sind, insbesondere im Erdbau, wird vielfach eine Bodenverbesserung durch Bodenstabilisierung durchgeführt, um die „innere Reibung“ bzw. die Kohäsion zu erhöhen und die Böden wasserunempfindlich zu machen. Hierbei wird die oberste Bodenschicht (15 bis 20 cm) mit Kalk oder Zement vermischt und damit so weit verbessert, dass der anstehende Boden nach der Verdichtung auch schweren Verkehrsbelastungen über längere Zeit standhalten kann.

Für sehr kurzfristige Verkehrsbelastung bzw. für die Überfahrt einzelner schwerer Geräte über weiche Böden verwendet man vorgefertigte Elemente aus Stahl, Holz oder Beton. Hierbei kommen insbesondere so genannte Baggermatratzen zum Einsatz. Sie bestehen aus Stahlrahmen (U-Profilen) und sind mit Weich- oder Hartholzbalken ausgelegt, mit Abmessungen von 3.00 bis 5.00 m Länge und 0.80 bis 1.20 m Breite. Sie werden mit einem Kran oder Bagger verlegt und ergeben eine verbesserte Lastverteilung, die ein Befahren auch wenig tragfähiger Böden ermöglicht.

Betonstrassen oder bituminöse Strassendecken sind wegen der hohen Kosten für Herstellung und späteren Abbruch für Baustrassen wenig geeignet.

4.3.3.2 Wasserversorgung

Der Wasserbedarf auf der Baustelle besteht je nach Qualitätsanforderungen aus Trinkwasser und Brauchwasser. Das Brauchwasser dient der Eigenherstellung von Beton und Mörtel und der Nachbehandlung von Beton, der Behandlung der Schalung vor dem Betonieren und dem Waschen und Reinigen von Geräten, Bauteilen und Baustoffen.

Ist eine Versorgung aus dem öffentlichen Netz gegeben, so werden meistens alle Qualitätsanforderungen erfüllt. Es ist lediglich wichtig, den Bedarf überschlägig zu ermitteln, um eine ausreichende Versorgung bei ausreichenden Druckverhältnissen sicher-

zustellen. Bei erheblichem Wasserbedarf oder bei nicht ausreichender Versorgung durch das Netz erweist sich eine Eigenversorgung aus einem offenen Gewässer oder aus einem Grundwasservorkommen durch Abteufen eigener Brunnen als zweckmässig.

Zur Dimensionierung der Versorgungsquelle, der Versorgungsleitung und eventueller Zusatzeinrichtungen, Pumpanlagen oder Vorratsbehälter ist eine Wasserbedarfsermittlung erforderlich (Bild 4-16).

GESAMTWASSERBEDARF PRO TAG (BEISPIEL)

Annahmen

- **Max. Belegschaft 70 Mann**
(auf der Baustelle untergebracht und gepflegt)
- **Grösste Betonierleistung 140 m³/Tag**
- **Längere provisorische Zuleitung für Wasser**
(Verlustzuschlag 10 %)
- **9 Arbeitsstunden pro Tag**

Gesamtwasserbedarf

70 Mann x 0.06 m ³ /Mann und Tag	4.2 m ³ /Tag
140 m x 0.15 m ³ /m ³ Beton	21 m ³ /Tag
Gerätereinigung / Betonnach-	
behandlung 20 % v. 25.2	5.0 m ³ /Tag
Gesamtwasserbetrag	30.2 m ³ /Tag
<u>Verlustzuschlag 10 % v. 30.2</u>	<u>3.0 m³/Tag</u>
Total	<u>33.2 m³/Tag</u>
Durchschnittl. stündl. Bedarf: 33.2/9 =	3.68 m ³ /Std.
Max. stündl. Bedarf: 1.5 x 3.68 m ³ /Std. =	<u>5.52 m³/Std.</u>
bzw. =	<u>1.53 Lit./Sek.</u>

Bild 4-16: Gesamtwasserbedarf einer Baustelle

Trink- und Brauchwasserbedarf je beschäftigter Person:

- bei Tagesunterkünften ca. 20 - 40 Liter je Mann und Tag
- bei Wohn- und Schlafunterkünften ca. 70 - 100 Liter je Mann und Tag (dies kann bis zu 150 l/Tag und Mann steigen)

Beton- und Mörtelanmachwasserbedarf:

- Beton 100-200 Liter/m³
- Mörtel 200-250 Liter/m³
- Kiesaufbereitung waschen 1000-3000 Liter/m³

Sonstiger Brauchwasserbedarf:

Für Nachbehandlung von Beton, Feuchthalten der Schalung, Reinigung von Geräten und Fahrzeugen kann überschlägig auf den zuvor ermittelten Wasserbedarf ein Zuschlag von 20 - 25 % gerechnet werden.

Berücksichtigung von Wasserverlusten

Der errechnete Gesamtwasserbedarf wird um etwa 10 - 20 % vergrössert.

Für die **Dimensionierung der Leitungen** kann der maximale stündliche Bedarf mit dem 1.5fachen des durchschnittlichen stündlichen Bedarfs angesetzt werden.

Für die Dimensionierung der **Wasserversorgung** eines Mixers ist die Forderung der Richtlinien für Betonmischer massgebend, die besagt, dass die Wasserabmessvorrichtung in der Lage sein muss, eine Wassermenge von einem Fünftel des Nenninhalts des Mixers innerhalb von maximal 20 Sekunden gleichmässig zuzugeben. Bei einem 500-Liter-Mischer und 200 Liter je m^3 Beton bedeutet dies eine erforderliche Leistung von 5 Litern pro Sekunde oder 18 m^3 in der Stunde. Um eine zu grosse Auslegung der Zuleitung für den Spitzenbedarf zu vermeiden, empfiehlt sich die Anordnung eines Zwischenspeichers vor der Mischanlage.

Einen **besonderen Brauchwasserbedarf** haben Wasch-, Sieb- oder Trennanlagen für Zuschlagstoffe auf einer Baustelle. So ist für eine Kiesaufbereitung (Waschen) ein Bedarf von 1 bis 3 m^3 Wasser je m^3 Kies anzusetzen.

4.3.3.3 Abwasserversorgung

Baustellenbetriebe haben sich strikt an das in der Schweiz gültige Gewässerschutzgesetz und die dazu erlassenen Vorschriften zu halten. In Gebieten, wo Kanalisationen und Kläranlagen bestehen, sind die Abwässer an das bestehende Netz anzuschliessen; in Gebieten ausserhalb, z.B. bei Hochgebirgsbaustellen, sind Massnahmen zu ergreifen, um den Gewässerschutz zu gewährleisten. Das hat in den letzten 20 Jahren dazu geführt, dass bei solchen Baustellen vollbiologische Kleinkläranlagen eingesetzt werden. Die heute üblichen Kompaktanlagen (z.B. Metoxy) lassen sich auf Lastwagen wie Baustellencontainer transportieren, sind schnell versetzt und wieder demontiert.

Bei Waschplätzen von Baustellen sind analog den Werkhöfen **Ölabscheider** vorzusehen.

Nachgeschaltet zu den Betonieranlagen sind für die Betonwaschwässer Neutralisationsanlagen (mit pH-Messung) vorzusehen, bevor die Wässer der Vorflut zugeleitet werden. Das Gleiche gilt für Bergwässer, die intensiv mit dem Spritzbetonrückprall in Verbindung gekommen sind.

4.3.3.4 Stromversorgung

Auf der Baustelle wird elektrische Energie in der Form von Kraft- und Lichtstrom hauptsächlich für den Antrieb von Geräten und Maschinen (Bild 4-17), Beleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung sowie Heizung benötigt. Wegen der grossen Gefahren bei unsachgemäss geplanten oder ausgeführten elektrischen Installationen ist es zwingende Vorschrift, dass Einrichtung, Änderung oder Instandhaltung elektrischer Anlagen nur von Elektrofachleuten vorgenommen werden dürfen.

Baumaschinen		Anschlusswerte kW
Krane Lastmoment	10-18	15-19
	20-48	20-48
	50-68	49-64
	20-88	66-83
	90-140	85-110
Aufzüge Tragkraft MN	10	15
	20	30
Betonieranlage Freifallmischer	250 l	4.0
	500 l	5.5
	750 l	10.0
Betonieranlage Zwangsmischer	250 l	11.5
	500 l	22.0
	750 l	25.0
Betonpumpen m ³ /Std.	12	30.0
	25	45.0
	50	50.0
Förderbänder m	6	1.5
	10	1.8
	15	2.5
Kompressoren m ³ /Min.	3.5	30
	7.5	58
	12.0	95
	17.0	140

Bild 4-17: Anschlusswerte von Baumaschinen nach [2]

Die Elemente der elektrischen Einrichtung einer Baustelle sind:

Transformator: wenn auf der Baustelle sowohl Hoch- als auch Niederspannung benötigt wird, z.B. bei Wasserhaltungsanlagen, Mischanlagen oder Feldfabriken.

Baustromverteiler (Bild 4-18): als Anschlussschrank oder Verteilerschrank. Der Anschlussschrank enthält Zählertafel, Hauptsicherungen, Fehlerstromschutzschalter und Anschlussklemmen für die beweglichen Verbindungsleitungen zu den Verteilerschränken. Der Verteilerschrank enthält Sicherungen, Fehlerstromschutzschalter, Anschlussklemmen für die beweglichen Verbindungsleitungen und Steckdosen zum Anschluss einzelner Geräte.

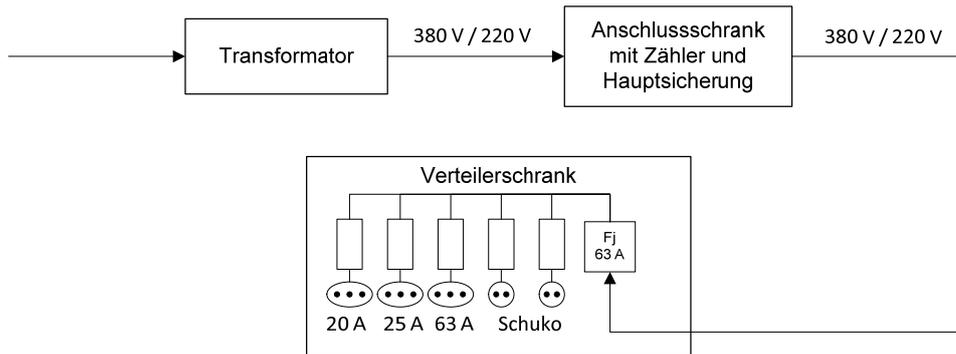


Bild 4-18: Schema eines Elektroanschlusses

Leitungen: als Gummischlauchleitungen für oberirdische Überbrückungen kurzer Strecken; als Kabel, die üblicherweise unterirdisch verlegt werden; als Freileitungen, die über Masten geführt werden.

Drehstromerzeuger: erforderlich, wenn entweder aus Standortgründen ein Netzanschluss nicht möglich oder nicht ausreichend ist und eine Eigenversorgung mit Generator- und Dieselmotor installiert werden muss, oder aber als Notstromversorgung, wenn bei Ausfall des öffentlichen Versorgungsnetzes Schäden am Bauwerk oder eine Gefährdung des Personals eintreten können. Eine solche Notstromversorgung ist üblich bei Grundwasserabsenkungsanlagen, bei Schildvortrieb unter Druckluft und bei Sicherheitsbeleuchtungen.

Stromlieferungsverträge für Baustellen sind für die Energieversorgungsunternehmen kurzfristige Verträge, da ihre Laufzeit stets unter 5 Jahren, meist sogar erheblich darunter liegt. Weiter werden Geräte und Maschinen auf Baustellen normalerweise mit grösseren ablaufbedingten Unterbrechungen betrieben, so dass sich ein sehr ungünstiges Verhältnis zwischen installierter Leistung und tatsächlich abgenommener elektrischer Arbeit ergibt.

4.3.3.5 Beleuchtung

Eine Baustellenbeleuchtung ist in zweifacher Hinsicht erforderlich, einmal zur Beleuchtung des Arbeitsplatzes und zum anderen als Absperrungs- und Sicherheitsbeleuchtung.

Die Arbeitsplatzbeleuchtung wird sowohl punktförmig im Einsatzbereich einzelner Arbeitskolonnen oder aber grossflächig zur Ausleuchtung etwa des Schwenkbereichs eines Krans, von Lagerflächen oder der gesamten Baustelle erfolgen. Je nach Arbeitsintensität wird auch der Grad der Ausleuchtung unterschiedlich sein.

Die Absperrungs- und Sicherheitsbeleuchtung bezieht sich einmal auf die Sicherung von Baugruben, Einrichtungsflächen, einzelnen Geräten im Bereich öffentlicher Verkehrswege oder grösseren Baustrassen, zum anderen auf Verkehrsregelungen an Engstellen durch Verkehrszeichen oder Lichtsignalanlagen.

4.3.3.6 Einrichtungen zur Nachrichtenübermittlung

Neben der selbstverständlichen Ausrüstung einer Baustelle mit Telefon, Fax, Internetanschluss oder Funktelefon wird insbesondere bei weiter auseinander gezogenen Baustellen häufig Sprechfunk eingesetzt, so zur Übermittlung von Anweisungen innerhalb der Baustelle über grössere Entfernungen (z.B. für Einweisung des Kranführers oder von Versorgungsfahrzeugen).

Grössere Baustellen setzen ein Faxgerät und Internet als Kommunikations- und Datenaustauschmittel zwischen Baustelle und Zentrale oder Lieferanten ein. Dies dient nicht nur der schnellen Nachrichtenübermittlung, sondern hat auch gegenüber dem Telefongespräch den vertragsrechtlichen Vorteil der Schriftform.

4.3.3.7 Druckluftversorgung

Die Drucklufttechnologie ist trotz des schlechteren Wirkungsgrads, wegen der Verfügbarkeit, der universellen Anwendung und der einfachen Handhabung wirtschaftlich. Es wird nur eine Luftzufuhrleitung benötigt. Sicherheitsmassnahmen sind zu beachten; zudem sind Schalldämpfer bzw. Gehörschützer erforderlich.

Die Druckluft wird durch Kompressoren erzeugt, die durch Elektromotoren oder Verbrennungsmotoren angetrieben werden. Es gibt verschiedene Kompressorsysteme. Die gebräuchlichsten im Bauwesen sind:

- **Kolbenkompressoren** mit selbsttätigen Ventilen sind sehr verbreitet und zuverlässig (Bild 4-19)
- **Schraubekompressoren**, die sich durch kontinuierliche und stossfreie Druckluftherzeugung sowie geringe Geräusentwicklung auszeichnen

Jedem Kompressor sind ein Luftkühler und ein Wasserabscheider zugeordnet, um Kondensationswasser vor dem Arbeitsgerät aufzufangen und vor dem Einfrieren zu schützen. Werden mehrere Kompressoren zu einer Kompressorenstation zusammengefasst, ist es vorteilhaft, jedes Gerät durch einen separaten Schieber an das Gesamtsystem anzuschliessen, um im Reparaturfall nur das betreffende Gerät abkoppeln zu können.

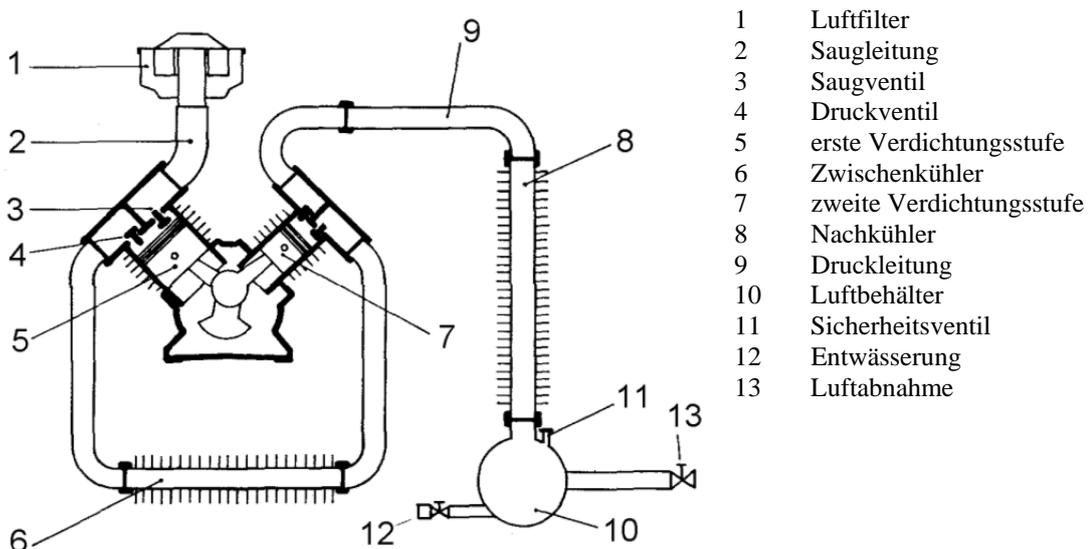


Bild 4-19: System eines zweistufigen Kolbenkompressors [4]

Hinter dem Kompressor ist ein Vorratskessel als Puffer (Windkessel) erforderlich, um Druckschwankungen am **Druckluftwerkzeug** abzumindern und die Anzahl der Ein- bzw. Ausschaltvorgänge des Kompressors zu reduzieren. Mit Druckluft werden vor allem **Bohrmaschinen mit pneumatischen Bohrstützen, Pickhämmer und Winden** angetrieben. Druckluftwerkzeuge sind nahezu wartungsfrei, langlebig, unempfindlich gegen Nässe, robust und relativ leicht. Die Geräuschentwicklung wird durch wirkungsvolle Schalldämpfung gemindert, was allerdings einen Leistungsverlust zur Folge hat.

Auf jeder Baustelle kommen Druckluftgeräte zum Einsatz. Dies sind:

- Bauhämmer / Bohrhämmer
- Druckluftvibratoren (wenig gebraucht)
- Ramm- und Ziehhämmer
- Spritzbetongeräte / Rotormaschine

Je nach Grösse der Baustelle erfolgt die Druckluftversorgung über:

- fahrbare Einzelkompressoren (Elektro und Diesel)
- Druckluftversorgungsnetz (stationärer Kompressor / Windkessel / Leitungsnetz)

Fahrbare Einzelkompressoren

Einsatz auf Kleinbaustellen und temporär auch auf grösseren Baustellen zur Spitzenabdeckung (Kompressorengrösse 3-20 m³/min.).

Druckluftversorgungsnetz

Das Druckluftversorgungsnetz kann schematisch, wie in Bild 4-20 dargestellt, aufgebaut werden.

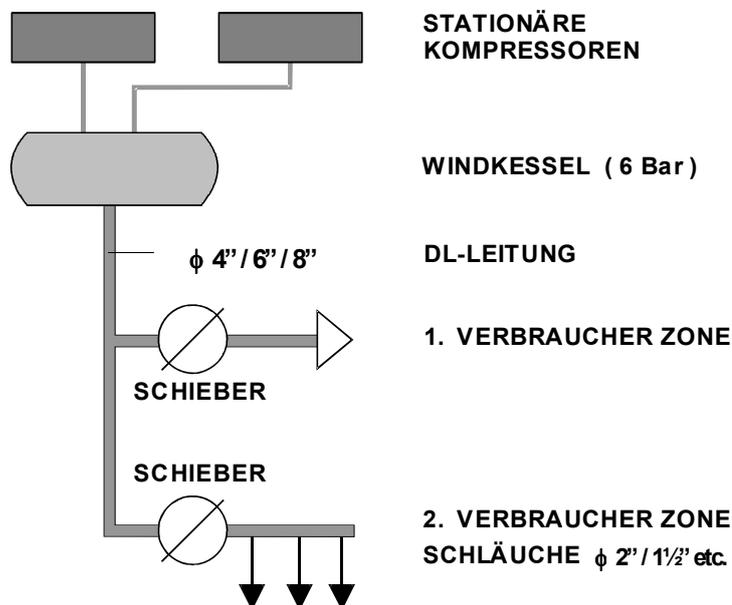


Bild 4-20: Druckluftnetz, schematisch: Kompressorenstation mit Windkessel und ein bis mehreren Kompressoren

Druckluftleitungsnetz mit Schiebern / Abzweigen in den gebräuchlichen \varnothing 4“ / 6“ / 8“ / (evtl. 10“ / 12“). Die Feinverteilung erfolgt dann mit Druckluftschläuchen 2“ / 1“ / 3/4“, direkter Anschluss an die Verbraucherstelle. Der Leitungsdruck beträgt **6 bar**.

Werkzeug, Gerät	Luftverbrauch [cbm/min]	Zugehöriger Betriebsdruck [bar]
<i>Aufbruch-, Abbau- und Spatenhämmer</i> 5-10 kg Gewicht 11-20 kg Gewicht 21-40 kg Gewicht	 0.6-1.2 0.8-1.2 1.2-1.8	 5 5 5
<i>Drehschlagbohrmaschinen</i> 80-110 kg Gewicht ca. 150 kg Gewicht	 8-10 11-12	 5 5
<i>Schleifmaschinen</i> 100-125 mm Schleifscheibendurchmesser 130-200 mm Schleifscheibendurchmesser	 1.0-1.4 1.4-1.8	 6 6
<i>Betonspritzgeräte (30-40 m Förderweite)</i> 3-4 cbm/h Leistung mit E-Motor mit Druckluftmotor 10-14 cbm/h Leistung mit E-Motor mit Druckluftmotor	 5-8 10-16 9-13 20-24	 5-6 5-6 5-6 5-6
<i>Fels- und Betonbrechhämmer (Baggeranbaugeräte)</i> ca. 200 kg Gewicht ca. 400 kg Gewicht ca. 600 kg Gewicht	 ca. 5 ca. 7 ca. 10	 6 6 6
<i>Druckluftmotoren je kW (PS)</i> ca. 7.4 kW (PS) ca. 3.7 kW (PS)	 0.75-1.0 0.5-0.75	 6 6

Bild 4-21: Richtwerte für den Luftverbrauch nach [2]

Richtwerte für den Druckluftbedarf einiger gängiger Geräte können der Tabelle in Bild 4-21 entnommen werden. Die Versorgung erfolgt meist durch einen fahrbaren Kompressor mit Elektro- oder Dieselmotorantrieb. Bei grösseren, zusammenhängenden Bauobjekten mit einem hohen Druckluftbedarf, wie z.B. im Tunnel oder Stollenbau, wird man eine stationäre Kompressoranlage einsetzen, die die einzelnen Verbrauchsstellen über ein Rohrleitungsnetz mit Druckluft versorgt.

4.3.4 Planung der Baustellenbauten

4.3.4.1 Allgemeines

Zur Sicherstellung von stationären Arbeitsräumen und aufgrund der Notwendigkeit, Menschen und Materialien gegen Witterungseinflüsse zu schützen, sind eine Reihe von Hilfsgebäuden für die Dauer der Bauzeit innerhalb der Baustelleneinrichtung vorzuhalten, z.B. Baracken, Bauwagen oder Container.

Baracken ermöglichen grössere Raumeinheiten. Nachteilig ist, dass erhöhte Transportkosten und zusätzliche Kosten für Laden und Abladen sowie Auf- und Abbau entstehen. Dementsprechend wird man bei längeren Ausführungszeiten Baracken vorsehen, bei kurzfristigen Bauzeiten bzw. zur Abdeckung eines kurzfristigen Spitzenbedarfs auf einer Grossbaustelle dagegen Bauwagen oder Container.

Wegen des einfachen Transports, der einfachen Montage und Demontage, der Wiederverwendbarkeit und der hohen Zusammenbauflexibilität verwendet man heute nur noch **Container**. In den Bildern Bild 4-23, Bild 4-30 und Bild 4-33 sind solche Grösseneinheiten aus Containern dargestellt.

Neben den wirtschaftlichen Überlegungen wird die Entscheidung natürlich auch davon bestimmt, was dem Unternehmen bei Übernahme des Auftrags gerade an eigenen Einrichtungengegenständen zur Verfügung steht.

Man unterscheidet grundsätzlich:

1. Büros
2. Werkstätten
3. Magazine
4. Unterkünfte für Menschen für Arbeitspausen, Freizeit und Übernachtung

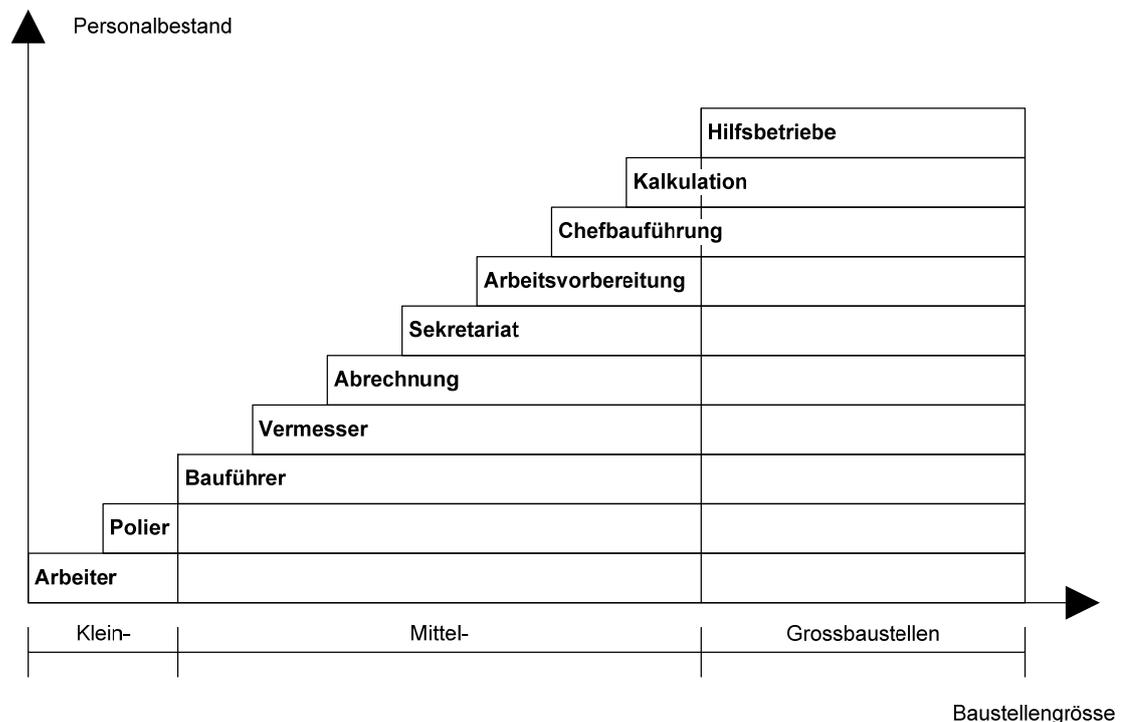


Bild 4-22: Baustellenpersonal in Abhängigkeit von der Baustellengröße

4.3.4.2 Büros, Werkstätten, Magazine

Auf grösseren Baustellen sind, neben den Büroräumen für die Bauleitung des ausführenden Unternehmens, oft Räume für das kaufmännische Personal und ein Konstruktionsbüro erforderlich. Eine Abschätzung der benötigten Bürofläche ist nach der Zahl der Angestellten möglich, wobei ein Platzbedarf von ca. 10 m³ pro Person angenommen werden kann. Die notwendige Bürofläche ergibt sich in Abhängigkeit der Projektgrösse und des dazu notwendigen Personals auf der Baustelle (Bild 4-22).

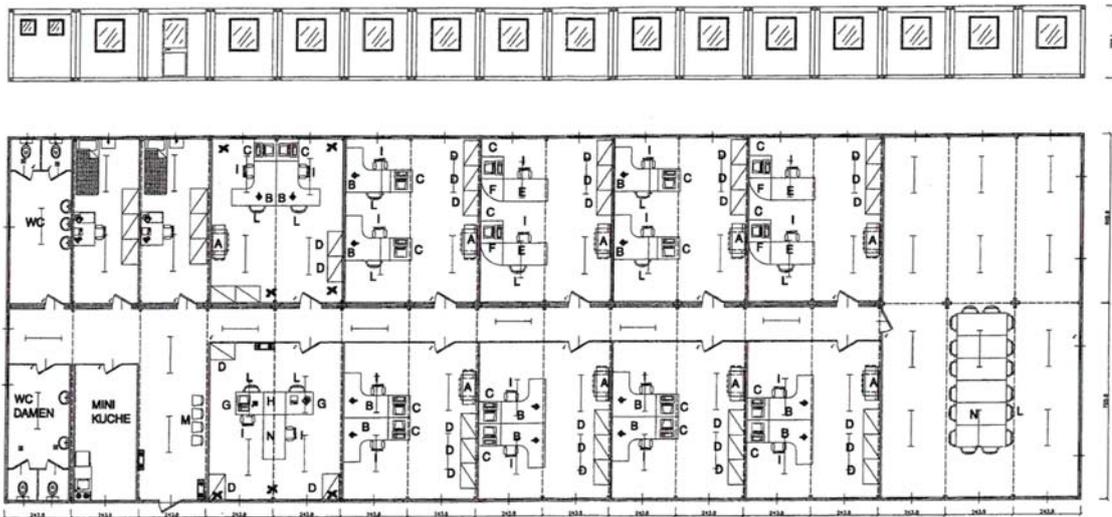
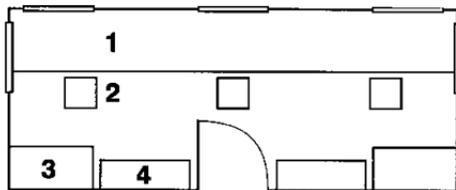
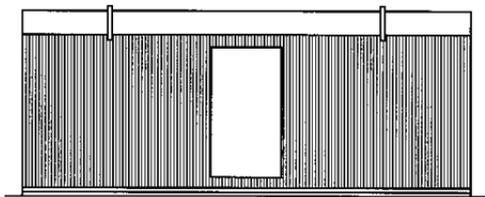


Bild 4-23: Baubüro einer Grossbaustelle: Lötschberg-Basistunnel, Zwischenangriff Mitholz, 1999



- 1 SCHREIBPULT
- 2 STÜHLE
- 3 DOPPELKASTEN
- 4 GESTELL MIT 4 TABLAREN
BELEUCHTUNG UND ELEKTR. HEIZUNG

MASSE (L x B x H): 6,4 x 2,5 x 2,5 m
7,3 x 3,0 x 2,5 m

Bild 4-24: Bürocontainer einer mittelgrossen Baustelle [3]

Heute kann man Container zu Büromodulen zusammenfassen und somit ein Büro für eine Grossbaustelle errichten (Bild 4-23). Bürocontainer können auch platz sparend mehrstöckig (zwei bis drei Container übereinander) aufgestellt werden.

Container können schnell und flexibel errichtet werden, sind jedoch nur in Normbreiten erhältlich.

Bei kleineren Baustellen verwendet man meist Bürocontainer (Bild 4-24) oder ein- und zweiachsige Baustellenwagen (Bild 4-25).

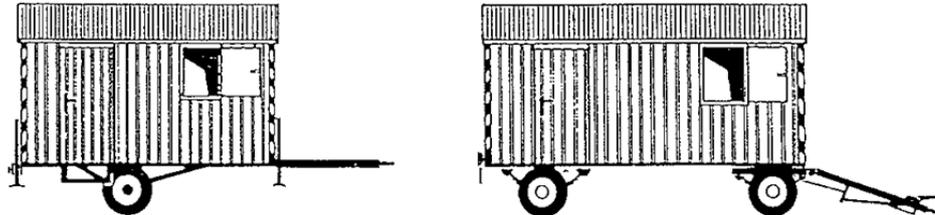


Bild 4-25: Baustellenwagen

4.3.4.3 Baustellenwerkstatt

Eine Werkstatt sollte mindestens einen Stand für Fahrzeuge und sonstige Baugeräte (Betonbaugeräte, Strassenbaugeräte) haben, darüber hinaus Räume für Werkstattpersonal und die Lagerung von Ersatzteilen und Schmierstoffen. Unmittelbar neben der Werkstatt sind im Freien Abstellplätze vorzusehen, die befestigt sein sollten und auf denen die Reparatur von Baumaschinen oder grösseren Konstruktionsteilen möglich ist (Bild 4-26). Grössere Baustellenwerkstätten werden meist in leicht montierbaren Stahlblechhallen untergebracht (Bild 4-27).

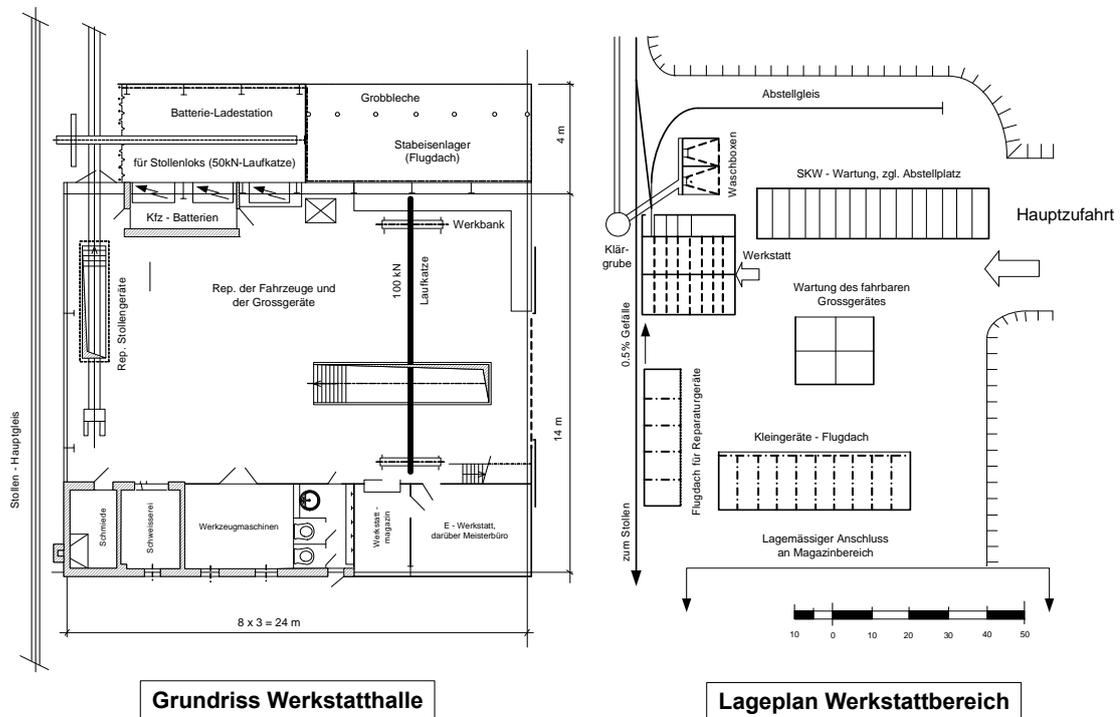


Bild 4-26: Hauptwerkstatt einer Grossbaustelle [3]

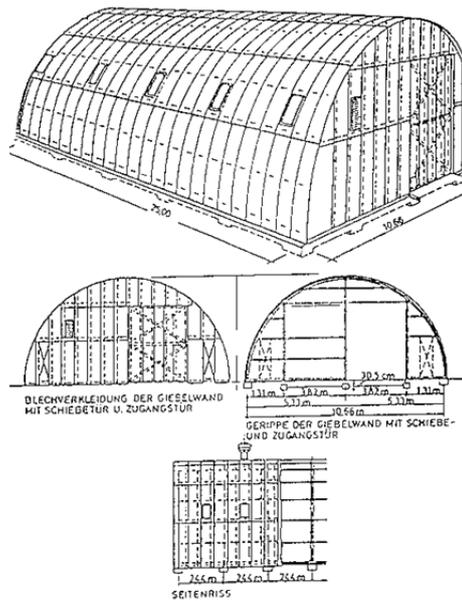


Bild 4-27: Magazin- und Werkstattfertigbaracke [3]

4.3.4.4 Magazin

Magazine dienen zur Lagerung von Kleingeräten und Werkzeugen, von Bauhilfs- und Nebenstoffen wie Nägeln, Bindedraht und Kleineisenteilen usw. sowie von Arbeitsschutzkleidung und Vermessungsgeräten. Zur Vermeidung von Verlustzeiten bei der notwendigen Versorgung sollten die Magazine nahe bei den Einsatzschwerpunkten auf der Baustelle liegen. Die Ausgabe in einem Magazin muss entweder durch einen eigens hierfür eingesetzten Magaziner oder aber durch den Polier kontrolliert werden; in diesem Fall muss das Magazin in unmittelbarer Nähe des Poliercontainers angeordnet werden. Gegebenenfalls müssen ein Baustoffmagazin, z.B. für Zement oder Spannstahlzubehör, und ein Treibstoffmagazin mit besonderen Anforderungen an Sicherheitsbestimmungen vorgehalten werden. Auf Tunnelbaustellen mit Sprengvortrieb muss ein Sprengstoffmagazin eingerichtet werden. Für Sprengstoffmagazine sind besondere Sicherheitsbedingungen einzuhalten (Bild 4-28).

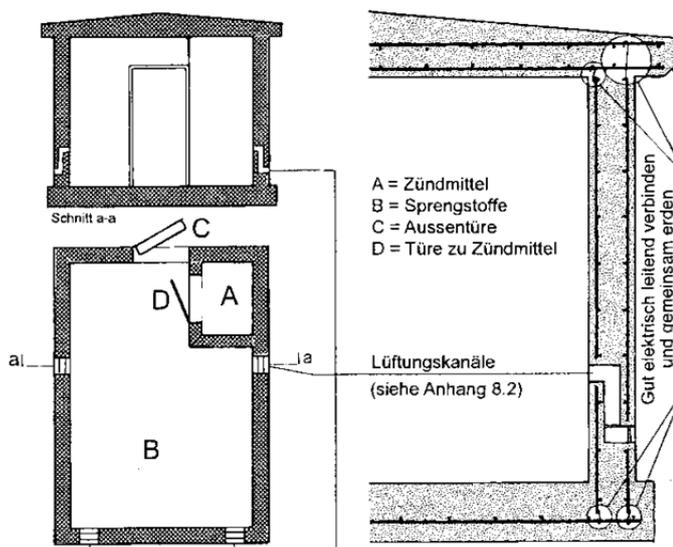


Bild 4-28: Sprengstoffmagazin [4]

4.3.4.5 Unterkünfte

Die Anforderungen an Unterkünfte sind meist durch Gesetze geregelt zur Sicherstellung der Arbeits- und Wohnhygiene. Unterkünfte sollen aus **Sicherheitsgründen** nicht in unmittelbarer Nähe von Gerüsten, Baukränen und Aufzügen aufgestellt werden.

4.3.4.6 Tagesunterkünfte

Tagesunterkünfte dienen als Aufenthaltsmöglichkeit für die Arbeiter während der Arbeitspausen und bei schlechtem Wetter. Die Bodenfläche soll mindestens $0,75 \text{ m}^2$ je Arbeiter betragen (Bild 4-29).

Die Unterbringung der Poliere erfolgt meist im Poliercontainer in unmittelbarer Nähe ihrer Tätigkeit auf der Baustelle, um eine dauerhafte Überwachung der Arbeiten zu erleichtern.

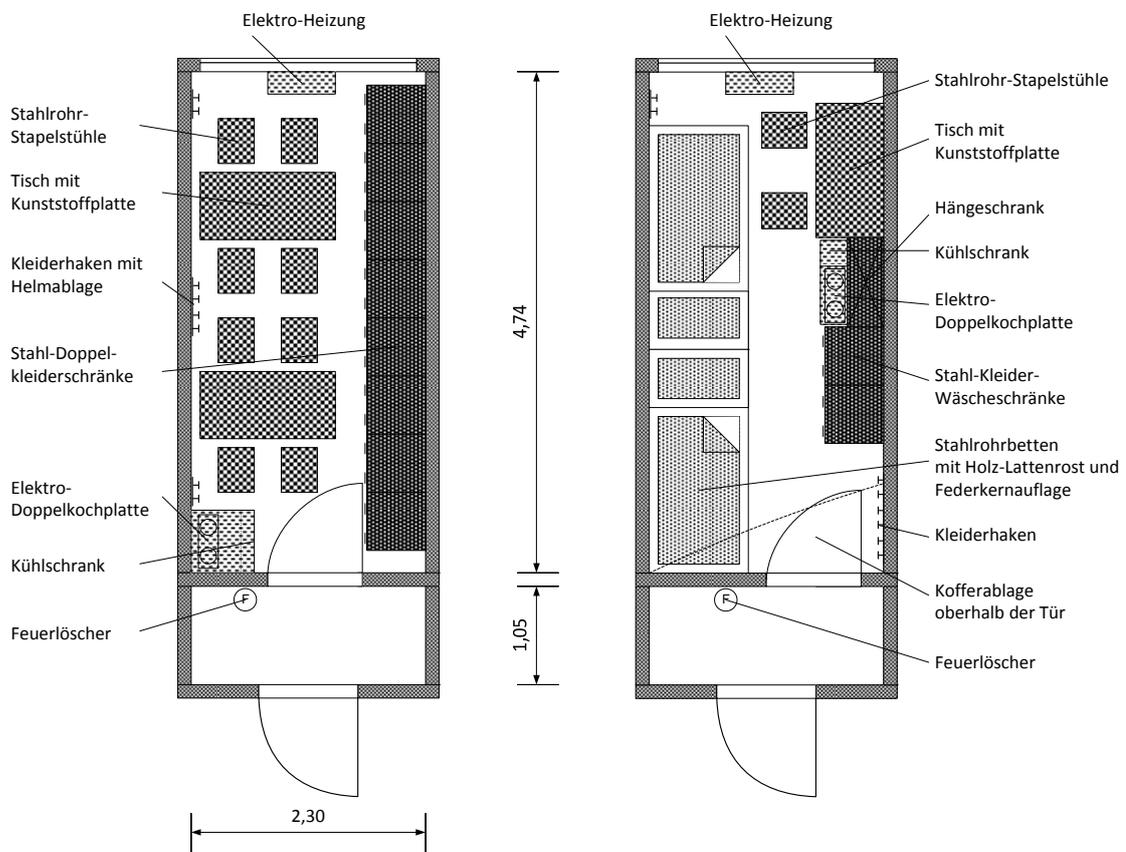


Bild 4-29: Links: Tagesunterkunft; rechts: Schlafunterkunft [3]

4.3.4.7 Wohn- und Schlafräume in Baubaracken

Die Räume müssen eine mittlere Höhe von mindestens 2,30 m haben. Wände, Dächer und Fußböden müssen wetterdicht sein. Pro Arbeiter ist in den Schlafräumen ein Luftraum von mindestens 10 m^3 und in den Aufenthaltsräumen für die Freizeit eine Bodenfläche von mindestens 1 m^2 vorzusehen, des Weiteren Fensterflächen von mindestens $\frac{1}{10}$ der Fussbodenfläche, höchstens 6 Betten pro Raum, getrennte Schlafräume je Schicht. Eine Mindesteinrichtung der Räume ist erforderlich. Trinkwasser muss vorhanden sein (Bild 4-30).

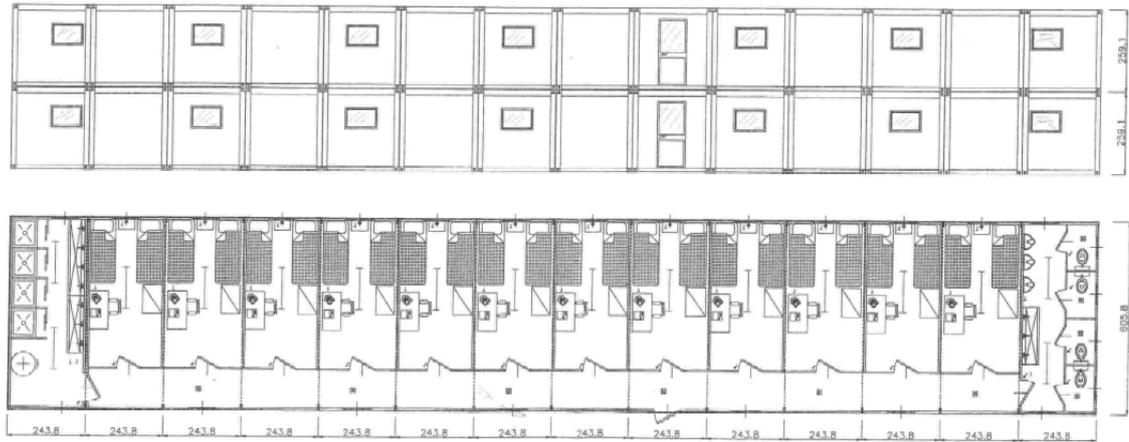


Bild 4-30: Unterkünfte einer Grossbaustelle: Lötschberg-Basistunnel, Zwischenangriff Mitholz, 1999

4.3.4.8 WC- und Duscheinrichtungen

Vor Baubeginn müssen Aborte errichtet werden (Bild 4-31). Ausserdem sind Waschstellen bzw. Duschen erforderlich (Bild 4-32).



Bild 4-31: WC-Kabine [6]

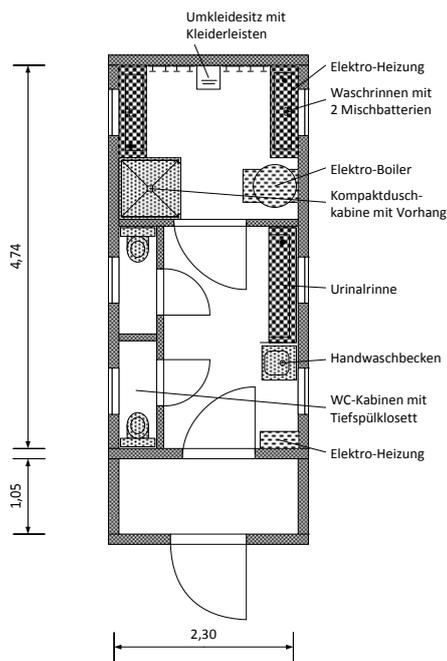


Bild 4-32: Sanitärcontainer

4.3.4.9 Sanitätscontainer

Grossbaustellen, besonders in abgelegenen Gebieten, benötigen eine Erste-Hilfe-Einrichtung für die Sofortversorgung nach Unfällen. Bei Baustellen mit mehr als 50 Mitarbeitern ist ein Sanitätsraum erforderlich.

4.3.4.10 Baustellenkantine

Grossbaustellen, besonders in abgelegenen Gebieten, benötigen eine Kantine, um die Mitarbeiter rationell und schnell mit Essen und Erfrischungen zu versorgen (Bild 4-33).

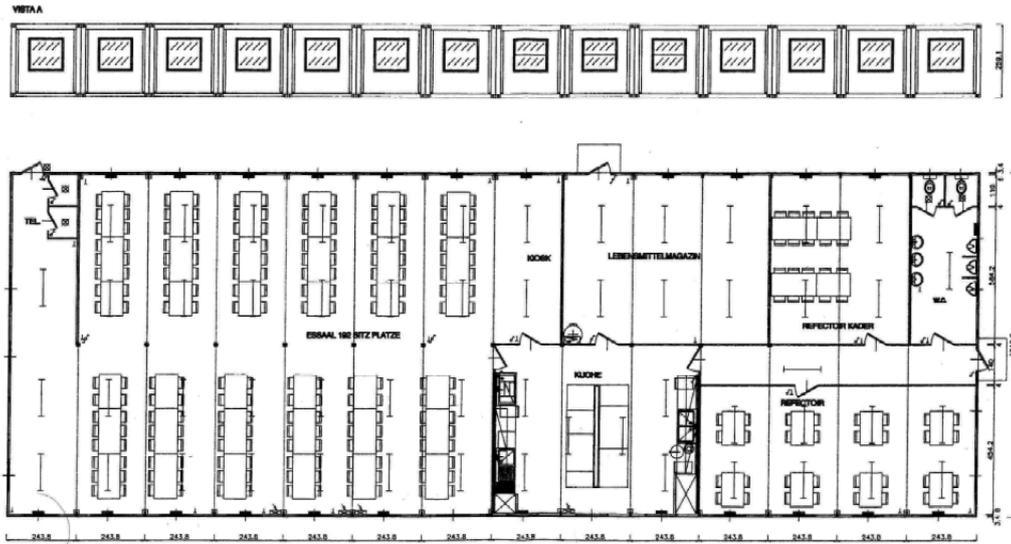


Bild 4-33: Kantine und Küche einer Grossbaustelle: Lötshberg-Basistunnel, Zwischenangriff Mit-holz, 1999

Meist werden Kantine, Küche und Speisesaal in einem Wirtschaftsgebäude zusammengefasst. Die Kantine wird fast immer an einen externen Wirt (Subunternehmer) in Pacht vergeben.

4.3.4.11 Dimensionierung von Sozialeinrichtungen der Baustelle

Für die überschlägige Dimensionierung können folgende Angaben genutzt werden:

- Unterkunft 6 m²/Arbeiter
- Kantine (mit Küchenanteil und Magazin für Lebensmittel) 2 - 2.5 m²/Arbeiter
- Tagesaufenthaltsraum 1 m²/Arbeiter
- Sanitäranlagen, Waschräume 0.2 m²/Arbeiter bzw.
1 Waschplatz je 5 Arbeiter
- WC ca. 3 m²/WC bzw. 1 WC je 15 Arbeiter

4.3.5 Planung der Lager- und Bearbeitungsanlagen

4.3.5.1 Allgemeines

Zur Herstellung und Errichtung des Bauwerks werden Roh- und Halbfertigprodukte zur Baustelle geliefert, dazu gehören folgende Gruppen:

- Baustoffe
- Bauhilfsstoffe
- Einbauteile

Diese müssen zum Einbau bzw. Weiterverarbeiten meist kurzfristig zwischengelagert werden. Daher sind für diese Materialien Lagerflächen wie auch Einrichtungen zur Weiterverarbeitung bereitzuhalten. Zu diesen Einrichtungen zählen z.B.:

- Betonmischanlagen
- Baustahlbiegeplatz

4.3.5.2 Lager

Lagerflächen können für folgende Baustoffe, Bauhilfsstoffe und Einbauteile erforderlich sein:

- Mauersteine
- gebogener Stahl
- Baustahlmatten
- Stahleinbauteile
- Stahlträger und Verbauhölzer
- Rohre
- Fertigteile (s.a. Bild 4-34)
- Kies, Sand
- Zement
- andere

Lagerflächen sollten eine Zufahrt haben, im Schwenkbereich eines Krans liegen und nach Möglichkeit nahe bei der Verwendungsstelle angeordnet sein. Die Lagerung der Materialien muss so erfolgen, dass sie gegen Verschmutzung gesichert sind (z.B. Lagerung von Bewehrungsstahl auf Kanthölzern oder in Boxen) und dass sie vom Kran leicht aufgenommen werden können.

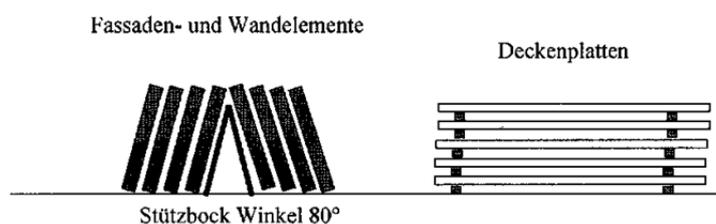


Bild 4-34: Lagerung von Fertigteilen [7]

Zudem sollten die Materialien mit Strichcodes versehen werden und per Aufnahmegerät bezüglich Menge und Lagerort erfasst werden. Diese Daten werden im Baustellencomputer täglich erfasst, damit eine genaue Übersicht über den Materialbestand nach der täglichen Entnahme besteht. Damit wird sichergestellt:

- Materiallagerort wird ohne Zeitverlust identifiziert (kein suchen)
- Materialverbrauchsgeschwindigkeit wird erfasst
- Restmaterialmenge kann frühzeitig abgerufen werden

4.3.5.3 Zimmermannsplatz

Aus wirtschaftlichen Gründen wird man die Schalelemente in einer zentralen Werkstatt fertigen bzw. zusammenbauen und in Teilen oder komplett auf die Baustelle transportieren. Hierdurch besteht die Möglichkeit eines witterungsunabhängigen Zusammenbaus der Schalung für die projektspezifischen Anforderungen mit speziell für diese Arbeiten eingearbeiteten Kolonnen. Da im Strassentransport die zulässigen Abmessungen durch eine Breite von 2.50 m und eine Höhe von 3.50 bis 4.00 m begrenzt sind und darüber hinaus der Umbau von Schalungsteilen oder die örtliche Anpassung an die Gegebenheiten auf der Baustelle erforderlich sind, wird man bei grossen Baustellen auf einen Zimmermannsplatz auf der Baustelle oft nicht verzichten können (Bild 4-35).

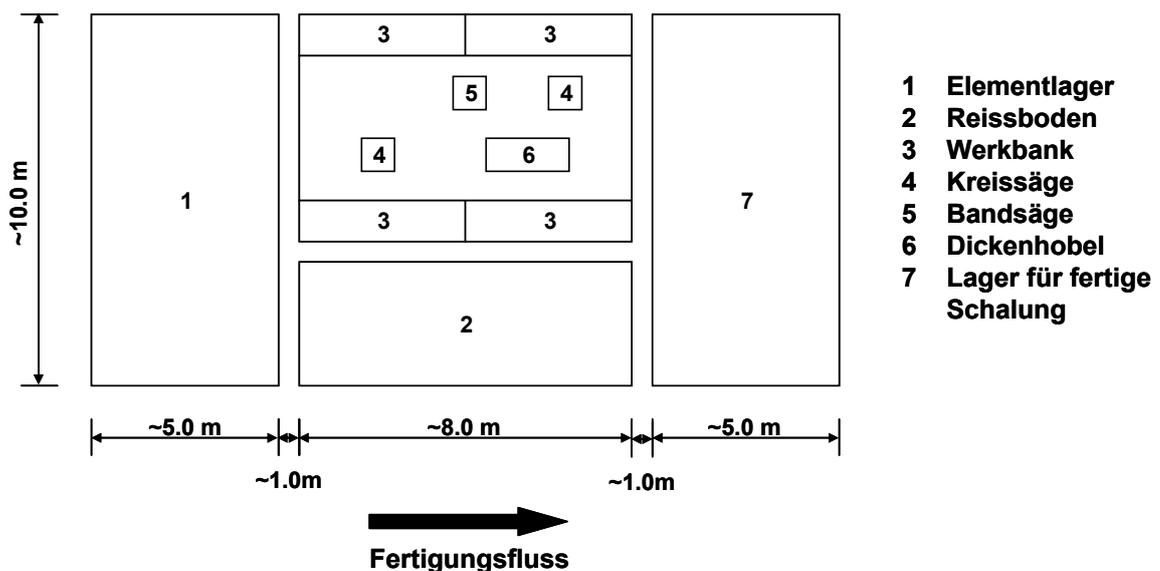


Bild 4-35: Zimmermannsplatz einer Grossbaustelle

Die Bearbeitungsfläche besteht aus einem Reissboden zum Anzeichnen und Zusammenbau der Schalungs- und Rüstungsteile und einem daneben liegenden maschinellen Arbeitsbereich, der je nach Umfang der Arbeiten mit Kreissäge, Werkbank, Bandsäge und Dickenhobel ausgerüstet sein sollte. Dieser Bereich ist gegen Witterungseinflüsse zu sichern. Die Bearbeitungsflächen werden durch einen Dielenbelag auf Lagerhölzern mit darunter liegenden Fundamenten gegen aufsteigende Feuchtigkeit und Verschmutzung geschützt.

Heute verwendet man meist Systemschalungen der Firmen Peri, Doka usw., die zum Teil die gesamte projektspezifische Schalung an die Bauunternehmen vermieten.

4.3.5.4 Betonstahlbearbeitungsflächen

Üblicherweise wird der Betonstahl heute in zentralen stationären Betrieben geschnitten und gebogen und auf die Baustelle zum Einbau geliefert. Die stationäre Vorfertigung der Bewehrung ist meist wesentlich schneller und damit wirtschaftlicher, da diese heute weitgehend mit Schneid- und Biegeautomaten erfolgt.

Der Betonstahl wird heute nur noch auf abgelegenen Baustellen vor Ort bearbeitet. Dies erfordert folgende Einrichtungen (Bild 4-36 bis Bild 4-38):

- Stahllager in Boxen, getrennt nach Durchmesser
- Schere, stationär oder verfahrbar
- Lagerfläche für geschnittenen Stahl und Abfall
- Biegemaschine mit Biegetischen
- Lagerfläche für gebogenen Stahl
- evtl. Flechtplatz zur Herstellung von Bewehrungskörben

Je nach Abmessung des zur Verfügung stehenden Geländes kommt eine Längs- oder Querentwicklung in Frage, wobei auf den Fertigungsfluss zu achten ist.

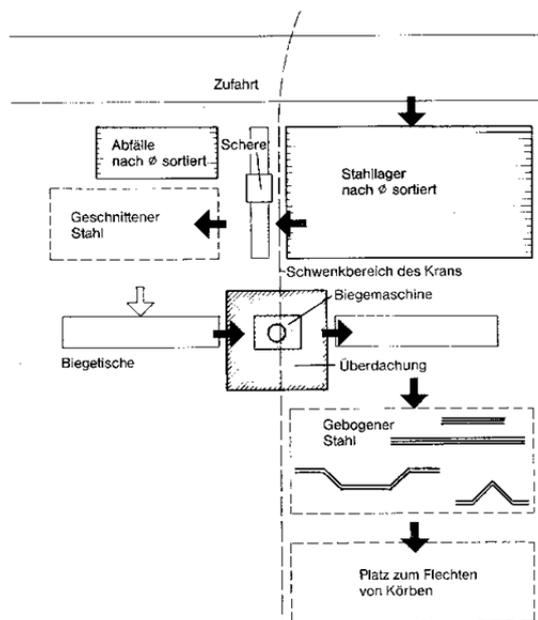


Bild 4-36: Biegeplatz [7]

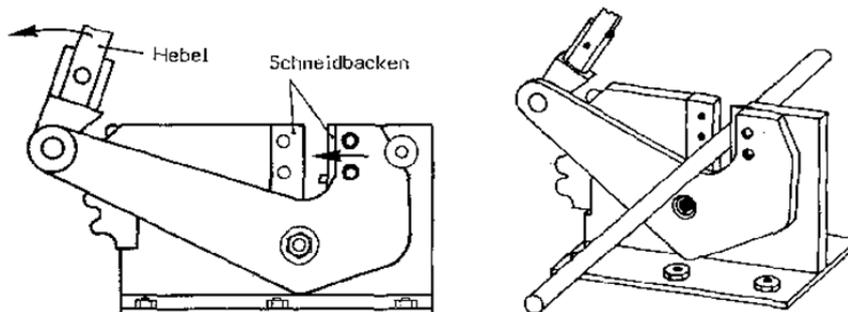


Bild 4-37: Betonstahl Schneidemaschine [8]

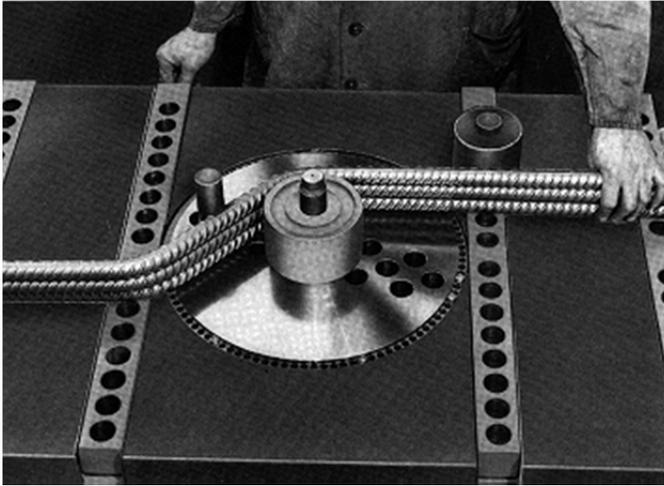


Bild 4-38: Bügelbiegemaschine [9]

Die Anordnung der gesamten Anlage ist entsprechend dem Fertigungsfluss zum Bauwerk hin auszurichten; das Stahlager und die Lagerflächen für den gebogenen Stahl müssen im Schwenkbereich des Krans liegen. Zur Vereinfachung des Abladens sollte das Stahlager möglichst direkt mit dem LKW angefahren werden können.

4.3.5.5 Spannstahtbearbeitungsflächen

Bei Brückenbaustellen werden die Spannglieder aus Litzen oder Drähten üblicherweise örtlich hergestellt. Hierbei wird der auf Coils angelieferte Spannstaht von einer Haspel abgewickelt und auf einer so genannten Einschubbahn in ein Hüllrohr eingeschoben. Sind alle Drähte bzw. Litzen eingeschoben und abgelängt, werden die Ankerteile montiert.

Für die Bearbeitung des Spannstahts sind erforderlich:

- eine überdachte Bühne für die Haspel und das Einschubgerät,
- eine Einschubbahn in der Länge der gewünschten Spannglieder,
- eine überdachte Arbeitsbühne am Ende der Einschubbahn, die gleichzeitig als Zwischenlager für die Ankerteile dienen kann,
- ein überdachtes Lager für die Spannstahtringe.

Die Herstellfläche wird meist in Verlängerung z.B. der Brückenachse hinter einem Widerlager, bei langen Brücken auch auf der Brücke selbst, angeordnet.

4.3.5.6 Beton-Mischanlage

Die Beton-Mischanlage wird bei der Betonherstellung behandelt.

4.3.6 Planung der Sicherung von Baustellen im Verkehrsraum

Baustellen im Strassenraum müssen besonders gesichert werden. Hierzu sind die Auflagen der kantonalen Polizei- und Verkehrsbehörde zu beachten.

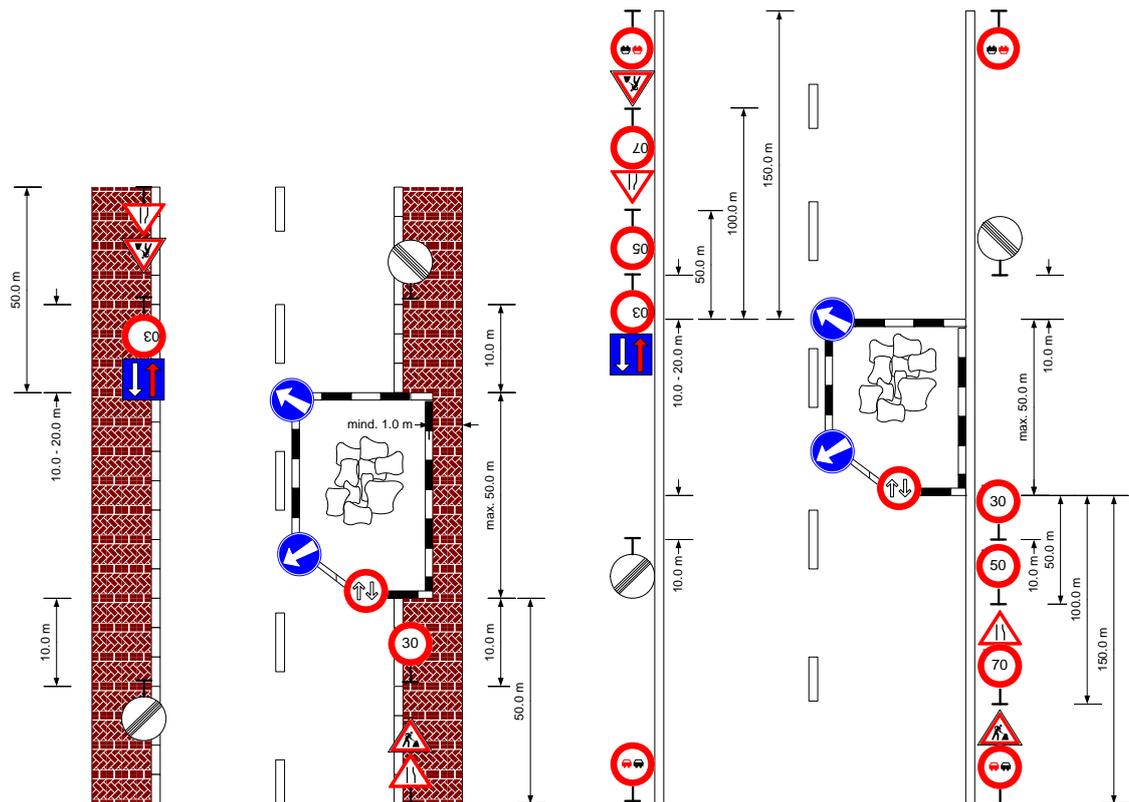


Bild 4-39: Sicherung von Baustellen im Verkehrsraum: links: Ortschaften; rechts: Freilandstrassen nach [10]

4.3.7 Planung der Transportgeräte auf der Baustelle

4.3.7.1 Allgemeines

Zum Transport von Aushub und Baumaterial benötigt man effiziente, den Umständen angepasste, leistungsfähige Transporteinrichtungen.

Als Transportgeräte verwendet man:

- Lastwagen / Dumper / Spezialfahrzeuge
- Lastkähne
- Förderbänder
- Betonpumpen
- gleisgebundene Beförderungsmittel (Rollbahnen)
- Elevatoren
- Kräne und Hebezeug

Diese Transporteinrichtungen werden meist wie folgt eingesetzt:

Lastwagen / Dumper dienen als gleislose Fahrzeuge zum Transport diverser Materialien wie Aushub / Beton / Kies / Sand etc.

Förderbänder in verschiedenen Längen transportieren Aushub / Betonzuschlagstoffe / Beton, d.h. loses Material.

Allenfalls können auch mehrere Bänder hintereinander geschaltet werden. Förderbänder haben respektable Leistungen bei relativ geringen Kosten.

Lastkähne (Schuten) kommen meist bei Wasserbauarbeiten zum Einsatz, wo grosse Mengen an gebaggertem Material verschoben werden müssen.

Betonpumpen zum Fördern des Frischbetons von der Anlieferstelle zum Einbauort.

Gleisgebundene Beförderungsmittel werden heute nur im Tunnel- und Stollenbau zum Transport von Aushub und Beton eingesetzt.

Elevatoren und Förderschnecken werden vorwiegend bei Betonanlagen (Zement- und Kieszufuhr) zum vertikalen oder schrägen Fördern eingesetzt.

4.3.7.2 Hebezeuge

Zur vertikalen Lastbewegung verwendet man:

- einfache Seilzüge (Flaschenzug)
- Baumaterialaufzüge für kleine Baustellen
- Bauaufzüge für Personal bei grösseren Höhenunterschieden
- hydraulische Pressen zum Heben extrem schwerer Lasten
- Schrauben- oder Bockwinden insbesondere für den Gerüstbau
- Hebebühnen (Kombination von Arbeitsebene und Hebefunktion)

4.3.7.3 Kranarten

Krane sind Haupttransportgeräte im Hochbau für horizontale und vertikale Lastbewegungen. Sie werden nach mehreren Gesichtspunkten klassifiziert, z.B. nach dem Konzept des Unterwagens, des Auslegers, der Beweglichkeit, der Aufbaumöglichkeit (Bild 4-40). Die Kombinationsmöglichkeit der verschiedenen Bausysteme führt zu einer hohen Zahl von Kranarten (Bild 4-41) mit spezifischen Einsatzmöglichkeiten.

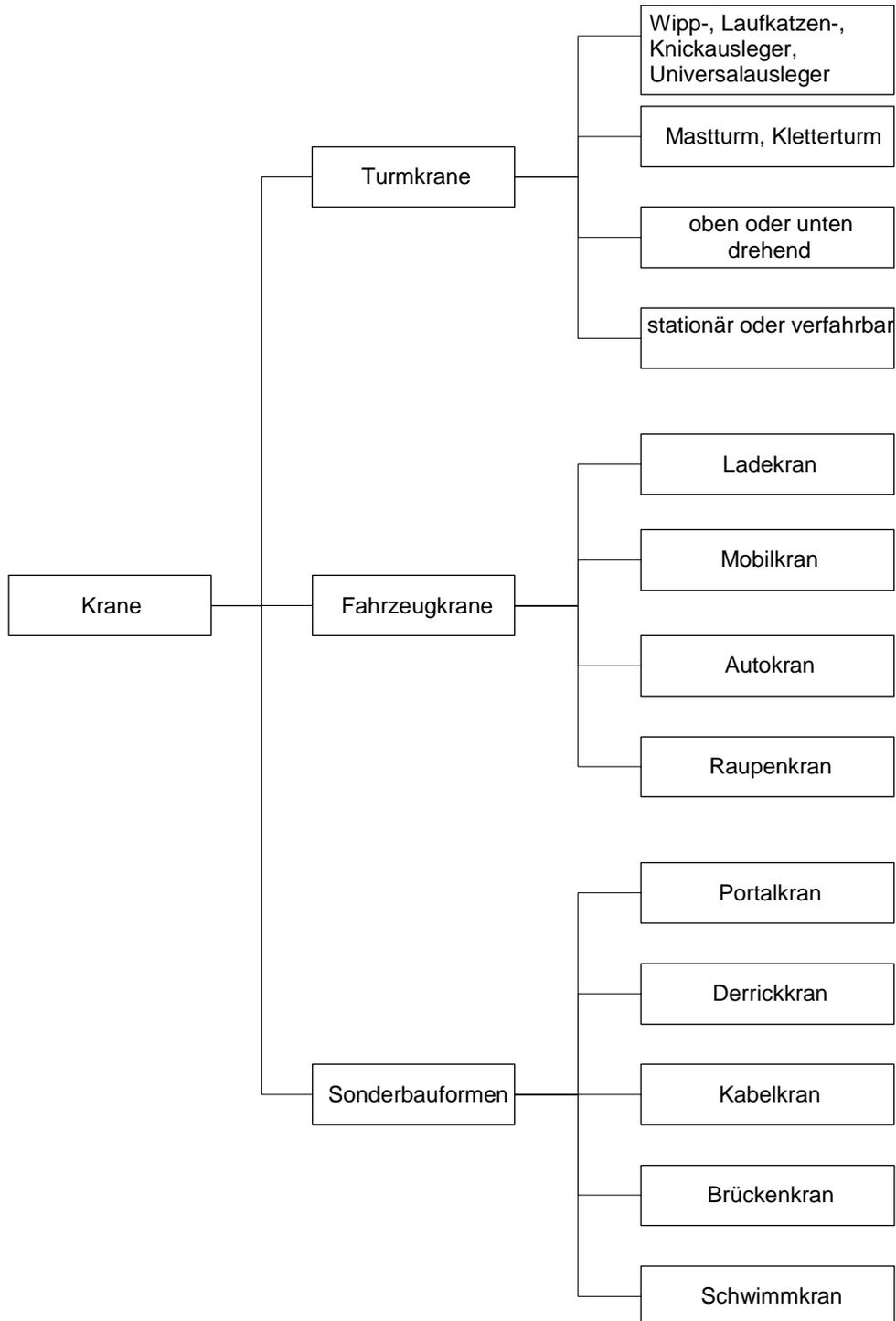


Bild 4-40: Kransysteme

Kranart	stationär	Kranbahn	Einsatzschwerpunkte
Turmdrehkran mit Laufkatzenausleger	x	x	Hoch- und Tiefbau
Turmdrehkran mit Wippausleger	x	x	vorwiegend Hochbau
Kletterkran	x		hohe Bauwerke
Derrickkran	x		Schwersteinsätze
Kabelkran schwenkbar	x		Brückenbau
Kabelkran		x	Staumauerbau
Portalkrane	x	x	Werkhöfe, Vorfabrikation, Pressvortrieb
Mobilkrane	auf Pneus		universeller Einsatz

Bild 4-41: Kranarten und Einsatzschwerpunkte

4.3.7.4 Beschreibung und Einsatz der Kranarten

Die Kransysteme werden in die folgenden Hauptgruppen gegliedert:

- Turmdrehkrane
- Fahrzeugkrane
- Sonderbauformen

4.3.7.4.1 Turmdrehkrane

Der **Turmdrehkran** ist das am häufigsten eingesetzte Hubgerät im Hochbau. Er besteht aus einem Unterwagen (fahrbarer Kran) bzw. Fundament (ortsfester Kran) und einem Mast mit angesetztem Ausleger, über den die Lasten durch das Lastseil vertikal bewegt werden. Durch eine Schwenkmöglichkeit des Auslegers um die Mastachse, das Verfahren der Laufkatze am Ausleger und durch Verfahren des gesamten Krans wird eine horizontale Beweglichkeit ermöglicht. Die Schwenkbewegung des Kranauslegers kann zusammen mit einer Drehbewegung des Kranturms oder - bei feststehendem Turm - durch einen oben angebrachten Drehkranz mit entsprechender Motoreinrichtung erfolgen.

Hier sind zwei Systeme zu unterscheiden:

- Das System mit **beweglicher Kransäule** hat den Vorteil, dass Drehkranz, Ballast und Motorwinde beim Aufbau nicht um die Höhe des Kranturms angehoben werden müssen. Hierdurch ist der Kran einfach aufzubauen sowie an- und abzutransportieren.
- Das System mit **feststehender Säule** hat den Ballast und den Drehkranz in Höhe des Auslegers. Der Turm wird weniger durch Biege- und Drillmomente und der Drehkranz durch Kippmomente belastet. Gegenüber einem Kran mit beweglicher Kransäule können grössere Hubhöhen erreicht werden.

Bei den Auslegern von Turmdrehkränen unterscheidet man den **Knickausleger**, den **Waagebalkenausleger** und den **Nadelausleger** (Bild 4-42).

- Der Nadelausleger wird nur mit einer Normalkraftkomponente beansprucht.
- Der Waagebalkenausleger ist an der höchsten Spitze der Kransäule befestigt. Er wird durch Normalkraft und Momente beansprucht.
- Der Knickausleger ermöglicht eine schnelle und einfache Hubvergrößerung durch Abknicken des Auslegers auch unter Last.

Beim **Nadelausleger**, auch als Wippausleger bezeichnet, sind die Neigung und die Höhe des Auslegerpunkts durch ein spezielles Auslegerseil veränderlich, was horizontale und vertikale Lastbewegungen ermöglicht. Er hat eine gute Beweglichkeit in Baulücken und eine einfache Seilführung. Nachteilig ist, dass die Last nicht bis zum Turm herangeführt werden kann. Beim Nadelausleger hängt die Last an einem vertikalen Seil, das um die Nadelspitze geführt wird. Zur Positionierung der Last muss der Nadelausleger im Gesamten bewegt werden. Bei gleicher Turmhöhe kann der Nadelausleger gegenüber dem Waagenbalkenausleger grössere Höhen erreichen.

Waagenbalken- und Knickausleger werden auch als **Laufkatzenausleger** bezeichnet. Die Last wird horizontal entlang des Auslegers mit Hilfe einer auf dem Ausleger angehängten Laufkatze bewegt. Vorteile dieses Krantyps sind, dass sehr exakte horizontale und vertikale Lastbewegungen möglich sind und dass eine nicht drehbare Kransäule beim ortsfesten Kran gegen das Bauwerk ausgesteift werden kann, wodurch grössere Lasten und Höhen möglich sind (Silobauten etc.). Des Weiteren kann die Last unmittelbar bis an den Turm herangeführt werden.

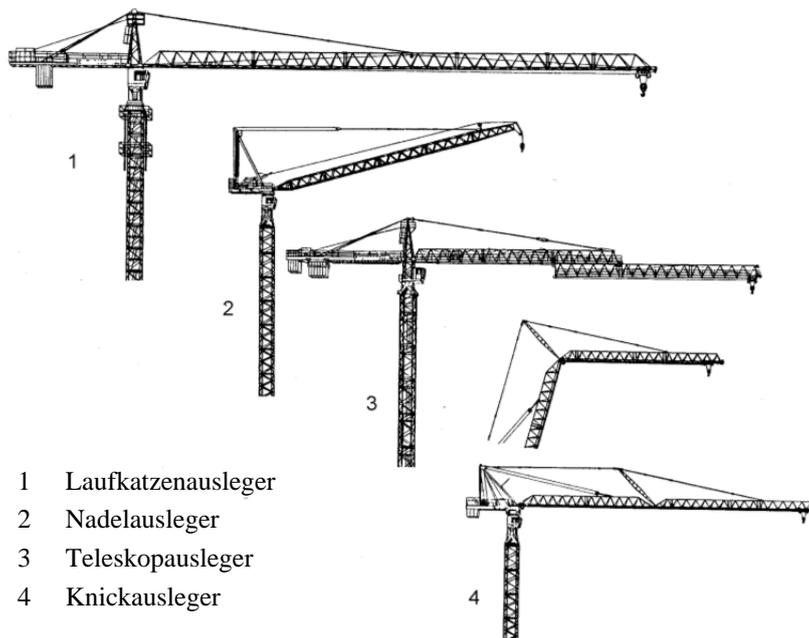
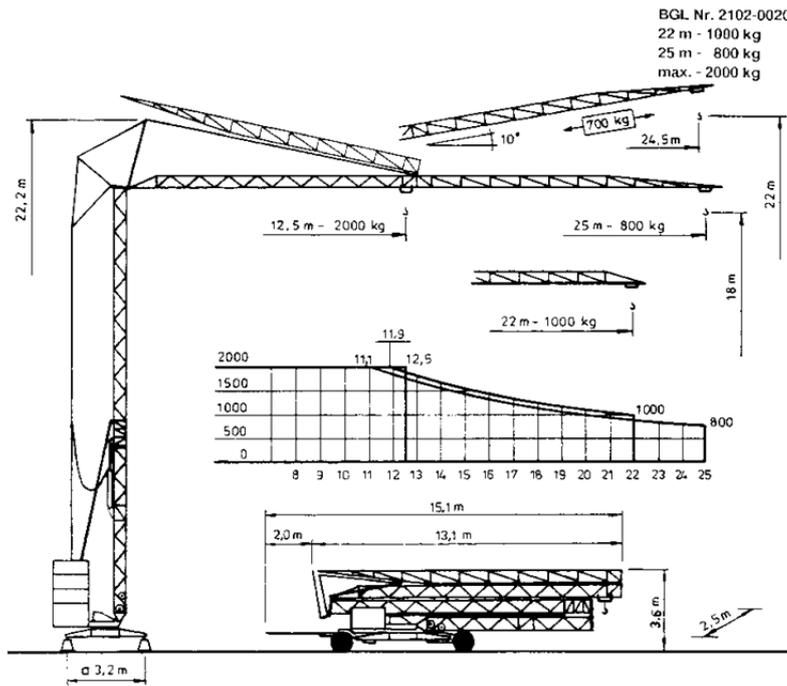
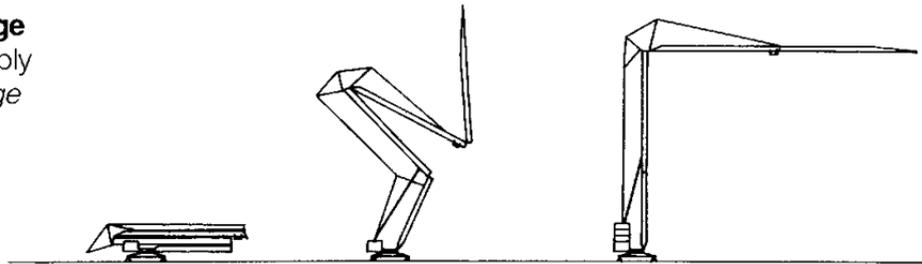


Bild 4-42: Auslegersysteme [13]



Montage
 Assembly
 Montage



Montage – Platzbedarfsdiagramm
 Assembly - Space required diagram
 Montage – Surface utile

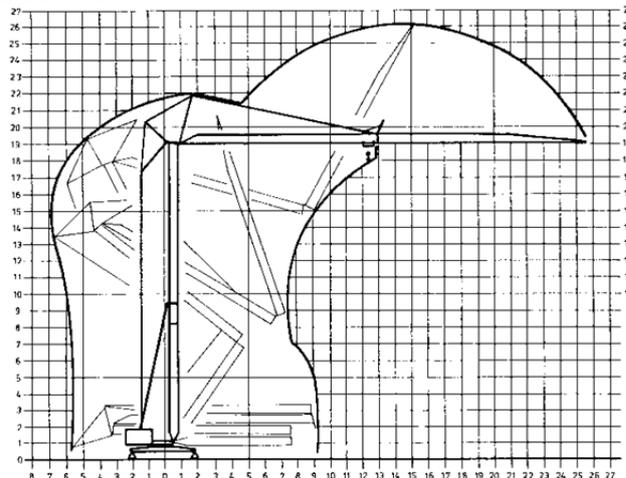
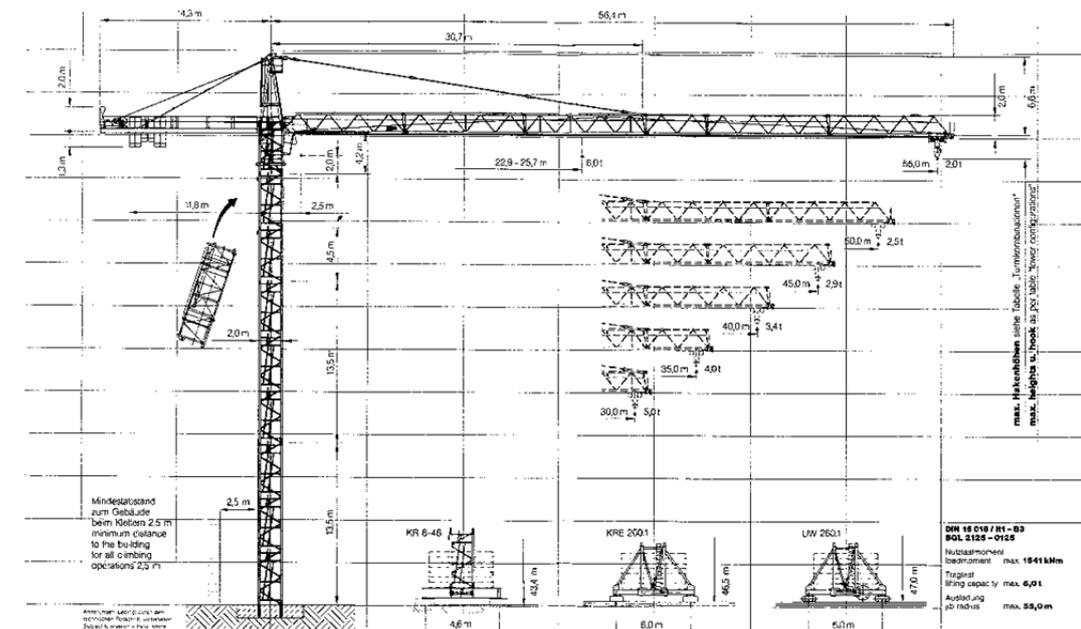


Bild 4-43: Schnellmontagekran [6]

Grosse Turmdrehkrane sind mit **Kletterausrüstung** ausgestattet. Die vorgehend beschriebenen Baukrane sind in der Regel zu Beginn eines Bauvorhabens in ihrer Gesamthöhe zu errichten. Kletterkrane können dagegen in relativ geringer Höhe aufgestellt und entsprechend dem Baufortschritt aufgestockt werden.



**Traglasten (kg)
Loaddata (kg)
DIN 15 018 / H1 - B3**

Auslegerlänge jib length (m)	Tragfähigkeit bei Ausladung jib radius	Ausladung (m) und Tragfähigkeit (t) jib radius (m) and load capacity (t)							
		25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m	55 m	
55	bis 22,9m 6,0t	5,4	4,4	3,6	3,1	2,6	2,3	2,0	
50	bis 24,2m 6,0t	5,8	4,6	3,9	3,3	2,8	2,5		
45	bis 24,4m 6,0t	5,8	4,7	3,9	3,3	2,9			
40	bis 24,6m 6,0t	5,9	4,8	4,0	3,4				
35	bis 24,9m 6,0t	5,9	4,8	4,0					
30	bis 25,7m 6,0t	6,0	5,0						

Die Tragfähigkeitswerte beziehen sich auf 42,0 m Hakenweg. Bei größeren Hakenwegen verringert sich die zulässige Tragfähigkeit um das Mehrgewicht des zusätzlichen Hubseils (beim 2-fachen Seilstrangbetrieb = 2,4 kg je Meter Hakenweg).
Load data refer to 42,0 m hook path. Larger hook path reduces max. load capacity by weight of additional rope (with 2-rope falls operation = 2.4 kg per meter hook path).

**Arbeitsgeschwindigkeiten und Motorleistungen
Working speeds and installed power**

Motor (kW)	4,0	7,5	2 x 5,5	11,0
Geschwindigkeit speed	0t - 4,0t 1...80,0 m/min stufenlos / stepless 0t - 6,0t 1...60,0 m/min	0,8 m ⁻¹ r.p.m.	30,0 m / min	0,9 m / min

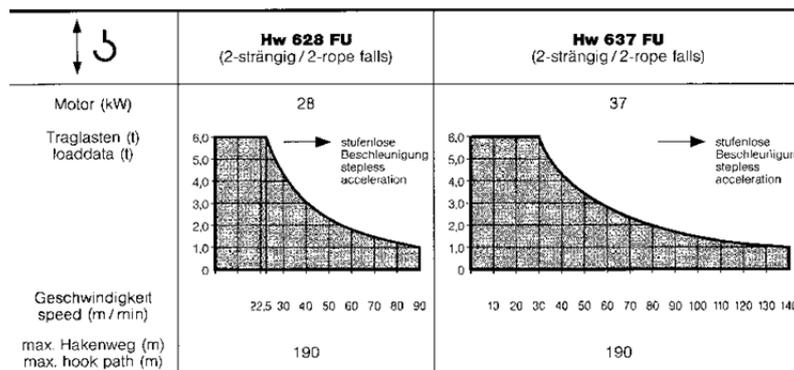


Bild 4-44: Hochbaukran [13]

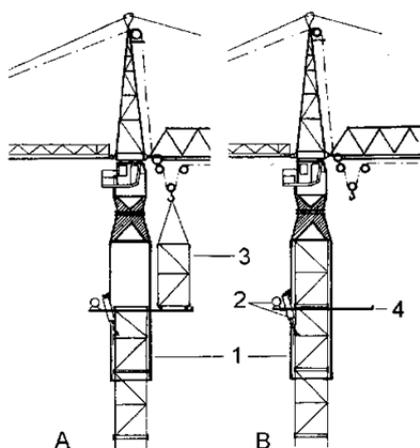
Den **Kletterkran** gibt es in mehreren Varianten. Bei einem sehr häufigen Krantyp, der einen Laufkatzenausleger voraussetzt, ist am oberen Ende um den Kranmast ein Ausseurmstück gesetzt, das sich auf den Kranmast abstützt. Auf diesem Ausseurm-

stück sind Drehkranz, Führerkanzel, Motor und Getriebe sowie der Kranausleger aufgebaut.

Mit der Laufkatze kann ein Turmgeschoss angehoben, auf einer Arbeitsbühne des Aussenturmstücks abgesetzt und auf den Kranturm aufgeschraubt werden. Durch eine Klettervorrichtung klettert das Aussenturmstück an dem erhöhten Kranturm um das eingebaute Turmgeschossstück in die Höhe (Bild 4-45).

Bis in eine Höhe von ca. 70 m kann dieser Krantyp auf Schienen verfahrbar eingesetzt werden. Für grössere Höhen (bis zu 300 m) muss der Kran auf Betonfundamenten verschraubt und mit Seitenverankerungen am fertig gestellten Bauwerk gesichert sein.

Eine andere Möglichkeit eines Krankletterns ergibt sich beim Einsatz eines **aussermittig aufgesetzten Wippauslegers bzw. auch Knickauslegers**. Bei beiden Auslegern kann das zusätzliche Innenturmgeschossstück auf den Kraninnenturm abgesetzt werden.



A Der Kolben der Hydraulikpresse (2) fährt aus und drückt das Kranoberteil hoch. Nach Abstützung des Kranoberteils auf das Kranunterteil wird die Presse eingefahren und der Klettervorgang wiederholt

B Nach dem vierten Klettersprung ist zwischen Kranober- und Kranunterteil Platz für ein neues Turmstück (3). Es wird mit dem Lasthaken hochgeholt, auf die Montagevorrichtung (4) abgesetzt, in das Führungsstück (1) horizontal eingefahren und mit dem Turm verschraubt.

Bild 4-45: Kletterkran [13]

Aufstellung der Turmdrehkrane

Der Aufstellort des Krans wird aus bauablaufbedingten und sicherheitstechnischen Grundsätzen gewählt.

Technische Grundsätze zur Kranaufstellung:

1. Erreichbarkeit aller Lagerplätze
2. Vermeidung langer Fahrwege für den Kran
3. Bestreichung kranintensiver Bereiche gegebenenfalls mit mehreren Kranen
4. Hubkraft \geq max. Last

Sicherheitsbestimmungen

Sicherheitsabstände zu Gebäuden und Gerüsten sind einzuhalten.

Beim Aufbau und Betrieb der Krane ist auf eine sichere Gründung zu achten. Sie können standortfest auf Fundamenten aufgeschraubt bzw. fahrbar auf einem Unterwagen aufgestellt werden. Fahrbare Turmkrane laufen meist auf Schienen, aber es wurden auch Hochbaukrane mit Rad- oder Raupenfahrwerk entwickelt. Für sehr hohe Bauwerke (Turmbauten, Hochhäuser) werden die Krane in der Regel ortsfest montiert und zur Aufnahme von horizontalen Lasten mehrfach gegen das im Bau befindliche Gebäude verankert.

Der Auf- und Abbau von Turmdrehkränen muss wirtschaftlich durchgeführt werden. Einige kleine Hochbaukrane können den Mast teleskopartig einfahren bzw. zusammenklappen und derartig auf öffentlichen Strassen verfahren werden. Diese Krane können mit angebauten Hilfseinrichtungen ohne fremde Maschinenhilfe aufgebaut werden. Dagegen werden schwerere Hochbaukrane in der Regel mit Hilfe von Auto-kränen aufgebaut.

KRANVERORDNUNG (832.312.15 OKT. 2007)

VERORDNUNG ÜBER DIE SICHERE VERWENDUNG VON KRANEN

SUVA FORM 1863 (MAI 2007)

**RICHTLINIEN FÜR DEN EINSATZ VON KRANEN UND BAUMASCHINEN
IM BEREICH ELEKTRISCHER FREILEITUNGEN**

EKAS-RICHTLINIEN

6510	(NOV 2007)	KRANFÜHRER- AUSBILDUNG FÜR DAS BEDIENEN VON FAHRZEUG- UND TURMDREHKRANEN
6511	(OKT 2007)	ÜBERPRÜFUNG UND KONTROLLE VON FAHRZEUG- UND TURMDREHKRANEN

Bild 4-46: Vorschriften für Turmdrehkrane

4.3.7.4.2 Fahrzeugkrane

Der **Mobilkran** kann als Universal-Seilbagger mit entsprechender Zusatzeinrichtung angesehen werden. Er hat einen Motor und einen gemeinsamen Führerstand für Fahr- und Kranbewegungen. Sein wirtschaftliches Einsatzgebiet hat er im Tiefbau.

Der **Autokran** ist eine auf einem LKW aufgebaute Krananlage mit drehbarem Kran-turm, Führerkabine und Ausleger (Bild 4-47). Da in der Regel zusätzliche Stützfüsse ausgefahren werden müssen, sind schwere Autokrane mit teleskopierbaren Seilzugaus-legern oder hydraulisch ausfahrbaren Auslegern mit Tragfähigkeiten bis über 800 Tonnen entwickelt worden. Die **Tragfähigkeit** eines Autokrans ist abhängig von:

- Arbeitsbereich
- Gegengewicht
- Abstützungsart / -möglichkeit
- Auslegerlänge / -verlängerung
- Ausladungsradius

Autokrane sind auf öffentlichen Strassen verhältnismässig schnell von Baustelle zu Baustelle zu verfahren und werden bei Montagen vorgefertigter Teile, also bei kurz-fristig hohen Lastbewegungen, wirtschaftlich eingesetzt.

Die Aufstellung muss möglichst nahe am tatsächlichen Einsatzort erfolgen. Damit wird die Baustelleneinrichtung nicht unwesentlich beeinflusst.

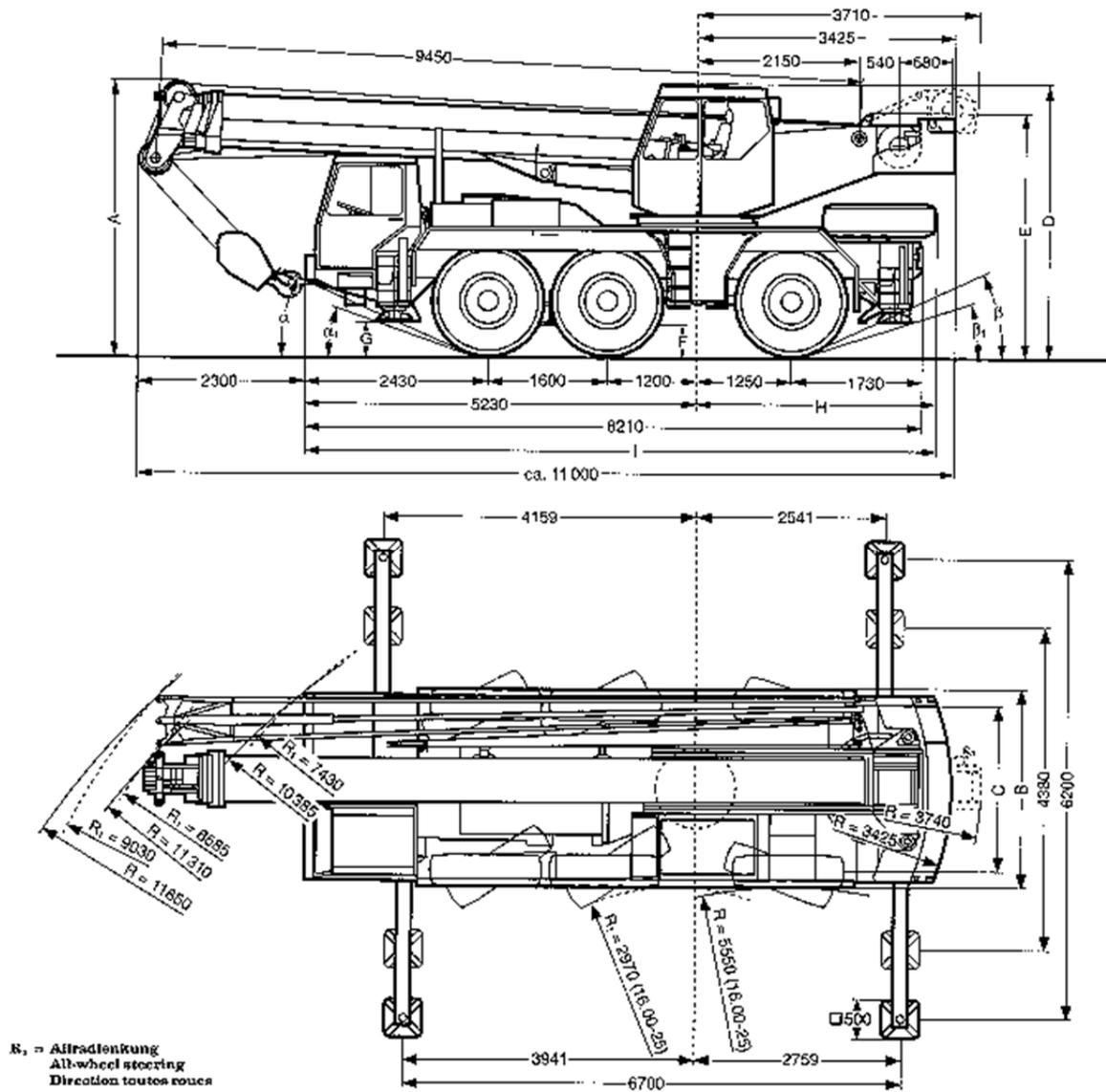


Bild 4-47: Autokran (Liebherr LTM 1040.3) [13]

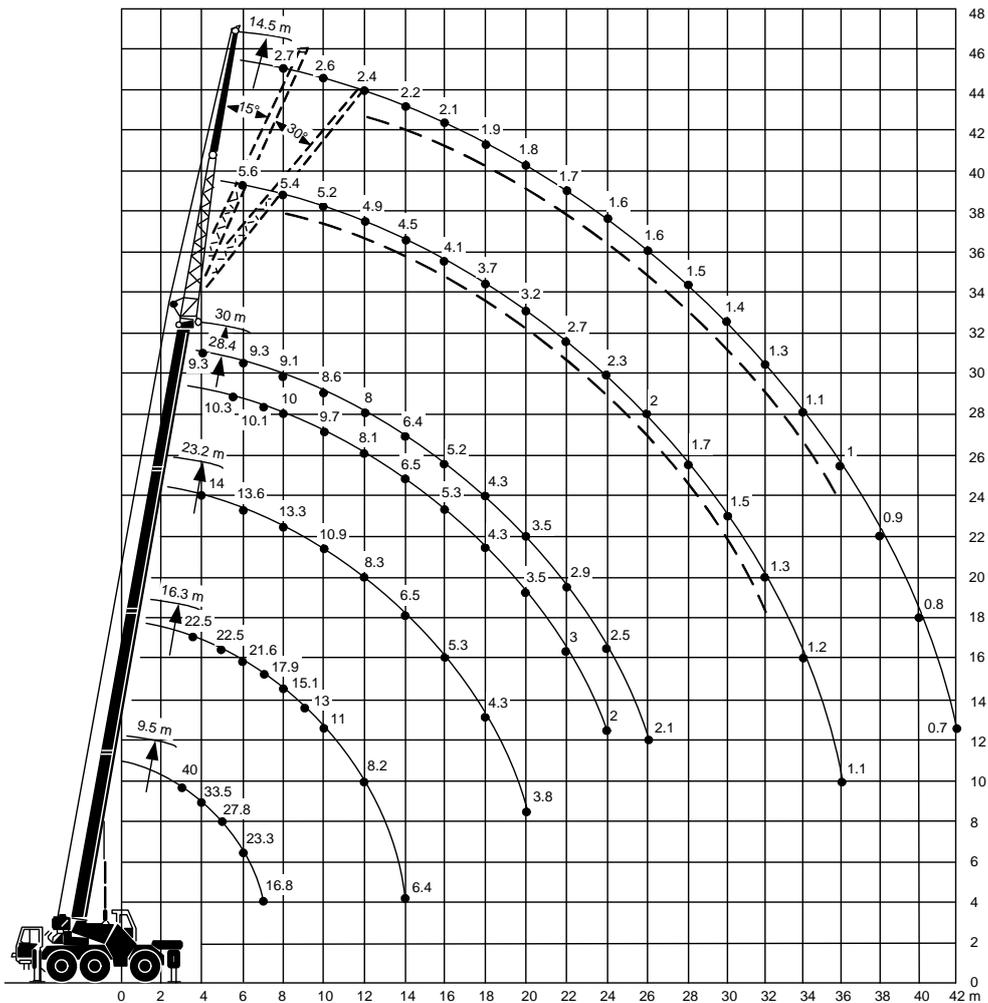


Bild 4-48: Autokran (Liebherr LTM 1040.3) [13]

4.3.7.4.3 Sonderbauformen

Der **Portalkran** entspricht einem Brückenkran, dessen Kranbrücke auf eigenen Stützen auf dem Erdreich aufgeständert ist und mit einem Schienen- oder Radfahrwerk insgesamt verfahren werden kann. Der Portalkran ist wirtschaftlich einzusetzen, z.B. bei schweren Lasten in Eisenbiegewerkstätten, Fertigteilwerken, Rohrvortriebsbaustellen und über schmalen Baugruben und Rohrvortrieben.

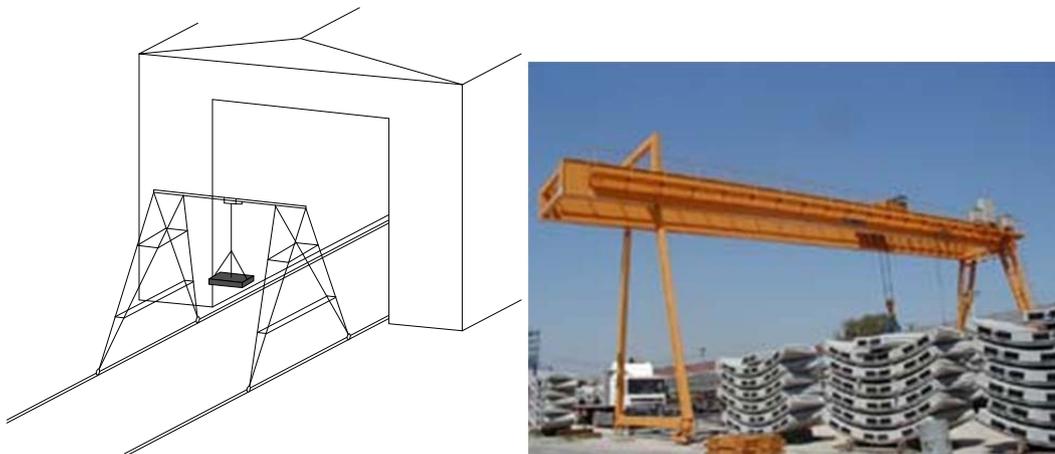


Bild 4-49: Portalkran

Der **Derrickkran**, bereits in der Römerzeit entwickelt, besteht aus einem Standgerät und einem Ausleger, über dessen äusseres Ende das Lastseil für die vertikale Bewegung geführt wird. Horizontale Transporte werden durch Veränderung der Auslegerneigung mit Hilfe des Auslegerwindwerks bzw. durch Versetzen des gesamten Krans ermöglicht. Der Derrickkran ist preiswert herzustellen, schnell auf- und abzubauen, aber beschränkt in Leistung und Hubhöhe.



Bild 4-50: Derrickkran

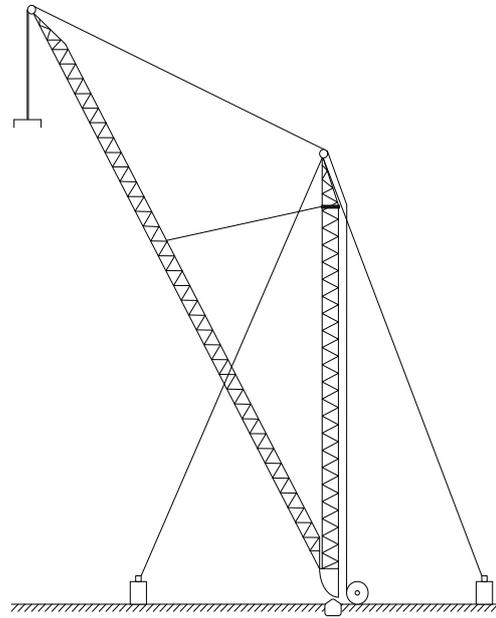


Bild 4-51: Derrickkran - Prinzipskizze

Der **Kabelkran** besteht aus zwei ca. 1000 m entfernten stahl- oder holzgefertigten Türmen, die durch Seile verbunden sind. Auf den an beiden Türmen befestigten Tragseilen wird zur Lastbewegung eine Laufkatze mit Hilfe eines umlaufenden Fahrseils bewegt.

Durch die Verfahrbarekeit einer oder beider Türme kann mit dem Kabelkran eine flächenmässige Bestreichung der Baustelle erreicht werden. Der Kabelkran ist wirtschaftlich bei langen schmalen Baustellen, bei tiefen, breiten Tälern (Staudammbau) und bei Baustellen, die durch Transportfahrzeuge schwer erreicht werden können (Bauwerke an Hängen).

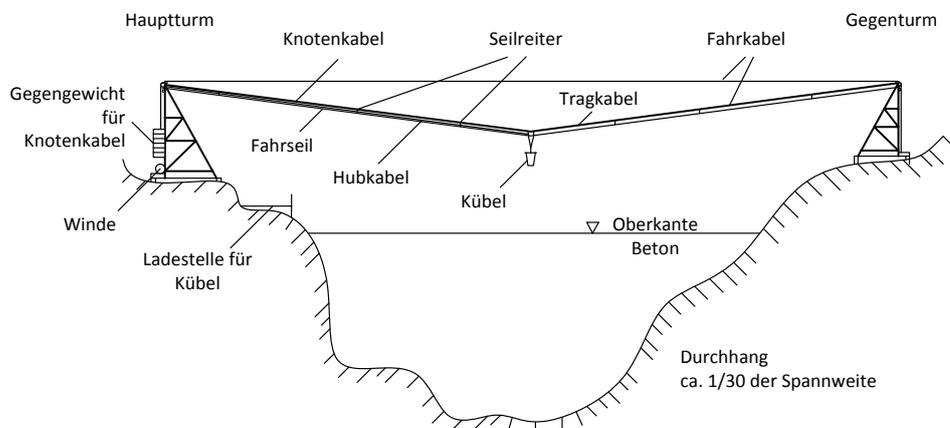
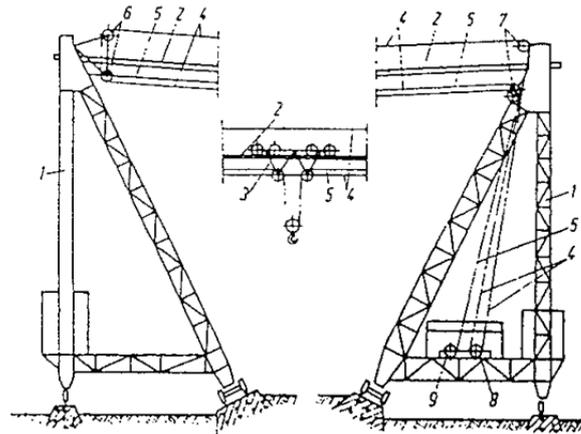


Bild 4-52: Prinzip der Kabelkrane



1 Turm, 2 gespanntes Tragseil, 3 Seillaufkatze, 4 Fahrseil, 5 Hubseil, 6 Umlenkrollen, 7 Leitrollen, 8 Fahrwinde, 9 Hubwinde.

Bild 4-53: Schema eines parallel fahrbaren Kabelkrans

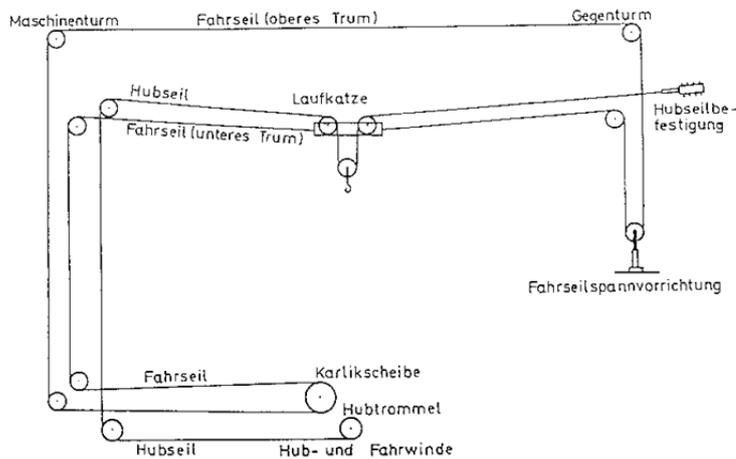


Bild 4-54: Schema der Hub- und Fahrseilführung

4.3.7.5 Kranleistung

Die Arbeit eines Krans verläuft taktweise. Der einzelne theoretische Arbeitsakt T_T bzw. Grundspielzeit t_s setzt sich zusammen aus den Zeiten für (Bild 4-55):

1. Anschlagen der Last
2. Hub-, Dreh- und Verfahzeit der Last zum Abschlagort
3. Lösen der Last
4. Rückfahr-, Senk- und Drehzeit des Lasthakens

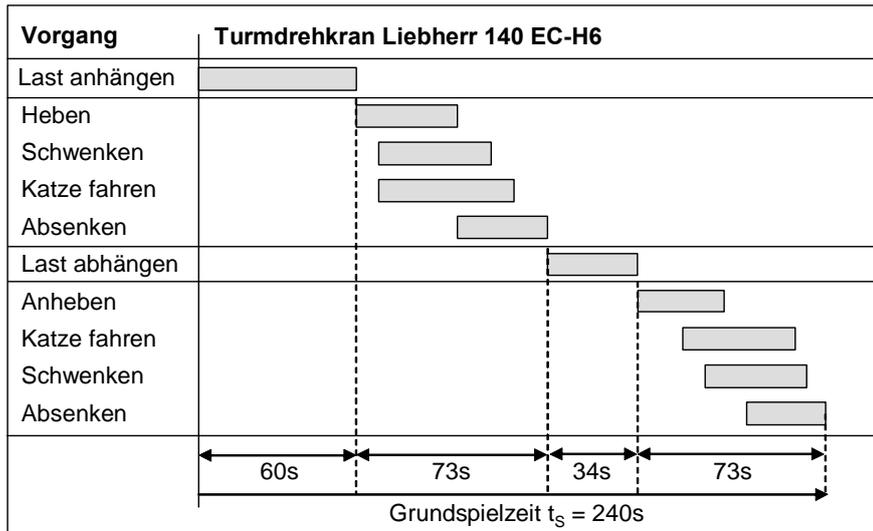


Bild 4-55: Diagramm zur Ermittlung der Grundspielzeiten von Kranen

Die Anhaltswerte für die einzelnen Arbeits- und Bewegungsabläufe können aus Tabelle 4-1 entnommen werden.

Tabelle 4-1: Anhaltswerte für Einzelheiten von Kranberechnungen [11]

Zeit	Einheit	Bewegung	Wert
t_H	[s/m]	Hub- bzw. Senkzeit des Hakens	1 – 20
t_{sch}	[s/α°]	Schwenkzeit des Krans	0.1 – 0.2
t_K	[s/m]	Fahrzeit der Laufkatze	1 – 3
t_A	[s]	Zeit für das Anhängen der Last bzw. Füllen des Betonkübels	30 – 180
t_E	[s]	Zeit für das Entleeren des Kübels bzw. Abhängen von Lasten	30 – 180

Als Mengeneinheit einer „Kranleistung“ kann die **nutzbare Hubkraft** angesetzt werden, die der zulässigen Hubkraft G_{max} , vermindert um die Lasthalterung G_O (Lasthaken, Betonkübel usw.), entspricht. Die theoretische Grundleistung Q_T eines Krans beträgt somit:

$$Q_T = (G_{max} - G_O) \cdot 60/t_0 \quad [t/h]$$

Für die Bestimmung der technischen Nutzleistung eines Krans müsste die Taktzeit genauer untersucht werden. Hierbei stellen sich viele Schwierigkeiten heraus. Mit Fortschritt des Bauvorgangs ist die Hubhöhe variabel. Die nutzbare Hubkraft ist des Öfteren nicht ausgenutzt, da sperrige und leichte Gegenstände bewegt werden müssen. Die Festlegung durchschnittlicher Ausfallzeiten ist kaum möglich, zumal diese von den Kranführern oft nicht beeinflussbar sind. Die zeitlichen Anforderungen der einzelnen Gewerke an den Kran sind vorher meist nicht genau festlegbar.

Aus diesen Gründen wird die Kranleistung häufig nach der theoretischen Grundleistung ermittelt, mit einem Sicherheitsfaktor versehen und mit dem erforderlichen, grob abgeschätzten Bedarf in Einklang gebracht.

Bestimmung der erforderlichen Anzahl Turmdrehkrane

Da der Kran als universelles Hebezeug ein teures Schlüsselgerät auf fast allen Baustellen darstellt, kommt seinem Einsatz sowohl in bauablaufbedingter als auch in wirtschaftlicher Sicht eine übergeordnete Bedeutung zu. Für die Einrichtungsplanung ergibt sich dabei als erstes die Frage nach der benötigten Anzahl Krane auf einer Baustelle.

Die Krananzahl für eine Baustelle kann nach verschiedenen empirisch gewonnenen Ansätzen ermittelt werden. Meist verwendet man zwei verschiedene Ansätze und ermittelt aus diesen auf Erfahrungswerten aufbauenden Ergebnissen die Krananzahl. Folgende empirisch heuristische Ansätze können angewendet werden:

Krananzahl über die Spielzeiten

Das massgebende Kranspiel muss angenommen werden. Daraus kann man die Grundspielzeit t_s (Bild 4-55) und, mittels eines Geräteausnutzungs- bzw. Behinderungsfaktors, die Dauerleistung des Krans bestimmen. Aus der Dauerleistung kann dann die Anzahl der benötigten Krane ermittelt werden. Es gilt:

$$Q_D = \frac{3600}{t_0} \cdot \eta \cdot M$$

mit Q_D : Dauerleistung des Krans [fm^3/h , m^3/h , t/h , Stück/h]

t_0 : Grundspielzeit [s]

η : Abminderungsfaktor [-]

M : geförderte Menge [fm^3 , m^3 , t, Stück]

Das Verfahren der Bemessung über die massgebenden Kranspiele hängt stark von den zu treffenden Annahmen ab und ist daher sehr unsicher. Die Fehlermöglichkeiten sind dabei:

- Festlegung des massgebenden Kranspiels:
Die Kranspielzeiten t_s nehmen bei längeren Fahrstrecken des Krans exponentiell zu, so dass bei längsgestreckten Gebäuden das für den Gebäudeschwerpunkt berechnete Kranspiel nicht das tatsächlich massgebende ist.
- Bestimmung der Dauerleistung:
Die Festlegung des Abminderungsfaktors ist sehr unsicher; er schwankt zwischen 0.50 und 0.83.

Krananzahl mittels Beschäftigtenkennzahlen (Kennzahlenmethode)

Aus der Kenntnis der Anzahl der erforderlichen Arbeitskräfte kann überschlägig der Bedarf an Kranen abgeleitet werden. Das Ergebnis einer solchen Abschätzung kann jedoch nur als grober Richtwert dienen (Tabelle 4-2).

Tabelle 4-2: Richtwerte für Abschätzung Anzahl Arbeitskräfte/Kran nach [7], [11], [12]

Bauwerkstyp	Beschäftigte pro Kran
Mauerwerksbau	15
Betonbau, Betonieren mittels Rohrförderung	20 - 30
Betonbau, Betonieren mit Kran	15 - 20
Fertigteilmontage	3 - 5

Krananzahl über Gebäudevolumen und Baustoffmengen (Kennzahlenmethode)

Anhand von Übersichtsplänen wird das Volumen eines Baukörpers ermittelt. Aus der Baudauer kann, unter Annahme eines durchschnittlichen Baustoffbedarfs pro m³ Bruttorauminhalt des Gebäudes und einer durchschnittlich pro Monat beförderten Baustoffmenge pro Kran, der Kranbedarf ermittelt werden (Tabelle 4-3).

Tabelle 4-3: Richtwerte für Abschätzung Baustoffbedarf/m³ Bruttorauminhalt und durchschnittlicher Beförderungsleistung im Hochbau [12]

Baustoffbedarf pro m ³ Bruttorauminhalt	0.35 - 0.65 t
durchschnittliche Beförderungsleistung	300 - 500 t/mon

Krananzahl über die Kranaufwandswerte für die massgebenden Verrichtungen

Die Errechnung der erforderlichen Kranzeiten erfolgt anhand von Aufwandswerten (evtl. aus der Nachkalkulation) für das Hauptmengengerüst. Über einen Zuschlag für sonstige Arbeiten und für Wartezeit und Stillstände können die benötigten Kranstunden errechnet werden. Unter Annahme einer monatlichen Kranarbeitszeit ergeben sich die benötigten „Kranmonate“ und über die geplante Bauzeit der Bedarf an Kranen (Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Kranaufwandswerte [11]

Vorgang	Aufwand
Konventionelle Deckenschalung	0.04 bis 0.07 h/m ²
Stützenschalung	0.03 bis 0.05 h/m ²
Konventionelle Wandschalung	0.03 bis 0.05 h/m ²
Grossflächige Wandschalung	0.04 bis 0.07 h/m ²
Unterzugschalung	0.03 bis 0.05 h/m ²
Baustahlmatten	0.35 bis 0.50 h/t
Stabstahl	0.25 bis 0.35 h/t
Mauerwerksbau	0.15 bis 0.25 h/m ³
Fertigteilplatten (< 15 m ²)	0.10 bis 0.20 h/St.
Fertigteilplatten und -stützen	0.50 bis 0.70 h/St.
Decken betonieren	0.06 bis 0.08 h/m ³
Fundamente betonieren	0.05 bis 0.07 h/m ³
Wände betonieren	0.10 bis 0.15 h/m ³
Stützen betonieren	0.15 bis 0.35 h/m ³

Krananzahl mit Hilfe von Warteschlangenmodellen

Das Problem voneinander unabhängiger Transportvorgänge kann mit Hilfe der Methoden des „Operations Research“ durch ein Warteschlangenmodell ausgedrückt werden. Die dabei entstehenden, relativ komplizierten mathematischen Modelle sind zwar über die EDV beherrschbar, doch müssen sie immer noch mit vielen Annahmen gestützt werden. Der Ansatz bleibt für ein spezifisches Bauwerk relativ unbefriedigend.

Eine andere Überschlagsformel für die Krankapazität besagt, dass ein Kran im Hochbau eine Leistung von ca. 2000 m³ umbautem Raum pro Monat ermöglicht.

Die Vor- und Nachteile der Dimensionierungsmethoden für Krane und der Anzahl der Krane kann aus Tabelle 4-5 entnommen werden.

Tabelle 4-5: Zusammenstellung der Vor- und Nachteile

Verfahren	Vorteile	Nachteile
massgebendes Kranspiel	für Einzelvorgänge gut geeignet	viele Unsicherheiten
Beschäftigtenkennzahlen	sehr einfach	nur sehr allgemein
Gebäudevolumen und Baustoffmengen	einfach	unsichere Annahmen
massgebende Verrichtungen	relativ genau, flexibel	erhöhter Aufwand
Warteschlangenansatz	spezifischer Ansatz bedingt möglich	aufwendig, täuscht Genauigkeit nur vor

4.3.7.6 Bauaufzüge

Bauaufzüge sind heute ein unabdingbares Element der Effizienzsteigerung einer Baustelle zur schnellen zeitsparenden Erschliessung von mehrstöckigen Bauwerken und Schächten. Das Personal sowie Kleinmaterial und das gesamte Ausbaumaterial können mit Bauaufzügen zeitsparend und damit lohnkostensenkend den einzelnen Geschossen eines Rohbaus zugeführt werden. Bei Hochhäusern z.B. über 4 Stockwerke ist der Bauaufzug neben dem Kran unabdingbar. Besonders in der Ausbauphase, wenn die Fassade schon weitgehend geschlossen ist, ist der Bauaufzug die einzige effiziente Transporteinheit.

Tabelle 4-6: Arten von Bauaufzügen nach [14]

Typ	Traglast	Eigenschaften
Schrägaufzüge	bis 200 kg	stationär, steckbar bis 20 m Länge oder fahrbar, teleskopierbar bis 30 m Länge
Schnellbau-Materialaufzüge	bis 1500 kg	senkrecht, bis 100 m, leichte Ausführung mit Seilantrieb, schwere Ausführung mit Zahnstangenantrieb
Personen- und Materialaufzüge	bis 4500 kg oder 30 Personen	Zahnstangenantrieb mit ein oder zwei Fahrkörben



Bild 4-56: Personen- und Materialaufzüge

Tabelle 4-7: Technische Daten eines Bauaufzuges

Nutzlast max. [kg]	1.500-3.200
Personen max.	30
Förderhöhe max. [m]	250
Fördergeschwindigkeit [m/min]	0-100
Fahrkorb (L x B x H) [m]	1.50 x 3.50 x 2.30

Sicherheitsbestimmungen für Bauaufzüge

- Bauaufzüge für den Materialtransport, ausgerüstet mit betretbarer Plattform, haben folgenden Anforderungen zu genügen:

Geräte, die nach dem 1. April 2001 in Verkehr genommen wurden:

Als Stand der Technik gilt SN EN 12158-1. Es muss eine Konformitätserklärung des Herstellers vorliegen. Bei diesen Geräten gehören die Basisumweh rung und die Ladestellentore zum Lieferumfang.

- Bauaufzüge für die Personen- und Materialbeförderung mit senkrecht geführten Fahrkörben haben folgenden Anforderungen zu genügen:

Für alle Geräte muss eine Baumusterbescheinigung vorliegen. Die Basisumweh rung und die Ladestellentore sind Bestandteil des Gerätes. Als Stand der Technik gilt seit 1. April 2001 SN EN 12159.

4.3.8 Flächenbedarf für die Baustelleneinrichtung

Nach Ermittlung und Dimensionierung der notwendigen

- Produktions- und Supportinfrastruktur,
- Lagerflächen und
- Betriebsflächen

muss überprüft werden, wie diese neben dem zu errichtenden Gebäude untergebracht werden können. Reichen die Flächen nicht aus, so muss man prüfen ob man:

- die Büro- und Magazincontainer mehrstöckig stapelt,
- die Lagerflächen auslagert und Flächen in der Nähe anmietet,
- Halbfertigprodukte nicht auf der Baustelle herstellt sondern über Lieferanten bezieht,
- „Just in time“ Lieferungen für Stahl und Beton durch Logistikplanung sicherstellt.

4.3.9 Baustelleneinrichtungsplan

Die **Zweckzuweisung bestimmter Flächen des Baugeländes** ist erforderlich für die optimale Gliederung der Lager-, Bearbeitungs- und Verkehrsflächen sowie der temporären Gebäude der Baustelle und für die notwendige Trennung der Materialflüsse von den Arbeits- und Fertigungsabläufen. Die abhängigen Abläufe sollen auf dem kürzesten Weg ohne gegenseitige Behinderung möglich sein. Zudem ist die Baustelleneinrichtungsplanung zur **Aufrechterhaltung der allgemeinen Ordnung** und das **Zu-**

sammenwirken der verschiedenen Unternehmer (Bauhauptgewerbe, technische Gebäudeausrüstung, handwerklicher Ausbau, Einrichtung, Aussenanlagen und Freiflächen) bei **komplexen Bauvorhaben notwendig**. Der Baustelleneinrichtungsplan (M = 1 : 500, 200) legt die Flächennutzung am Baugelände fest.

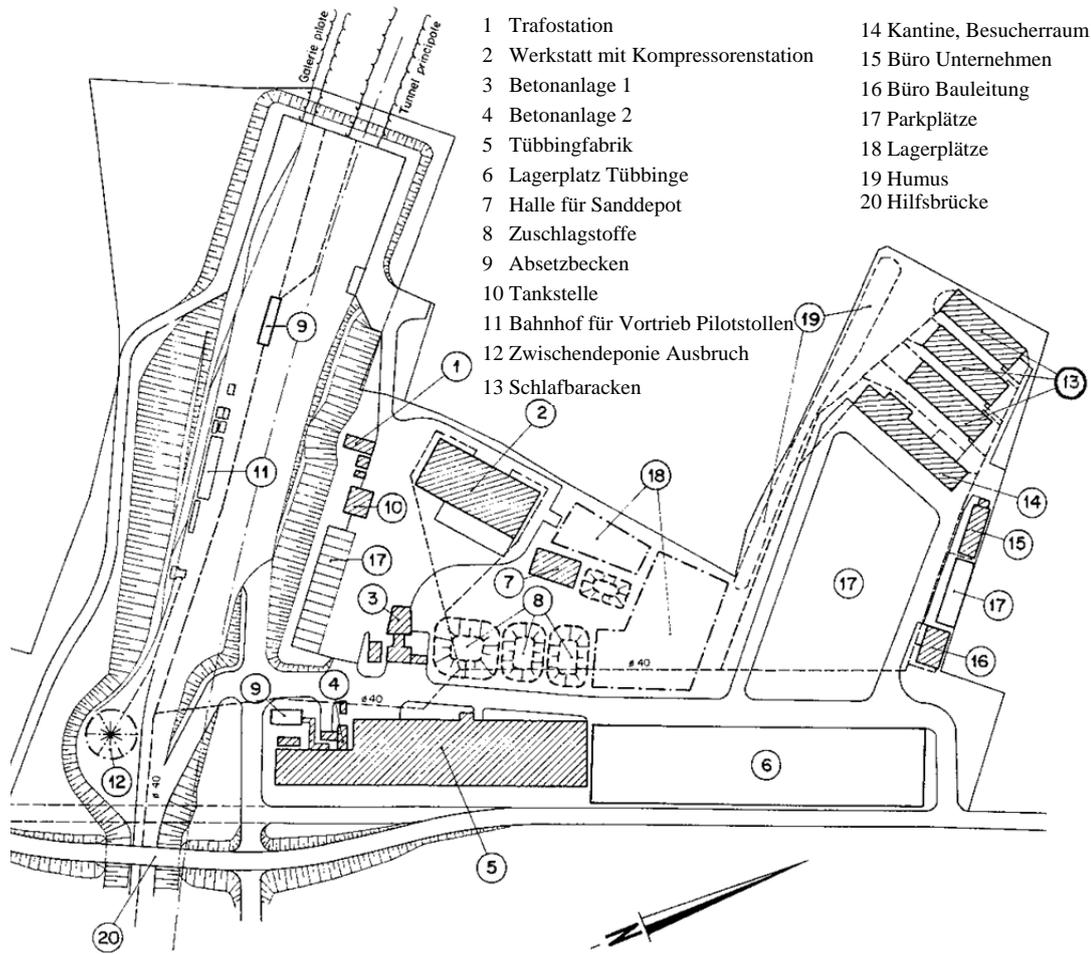


Bild 4-57: Baustelleneinrichtungsplan einer Tunnelbaustelle

Der Baustelleneinrichtungsplan sollte folgende Informationen enthalten:

1. **Bauwerk und Nebenanlagen**
 - geplante und vorhandene Gebäude
 - geplante und vorhandene Aussenanlagen
 - Freiflächen
 - zu schützende Bereiche (z.B.: Bäume)
2. **Beschaffenheit des Baugeländes**
 - Grenzen
 - Zaun
 - Hindernisse
 - Grundwasser, Wasserläufe
 - Belange der Nachbarn
3. **Verkehrsverhältnisse**
 - Anbindung an öffentliche Strassen
 - Strassensperrung, Umleitung

- Beschilderung, Beleuchtung
- Fussgängerwege, Schutzeinrichtungen
- 4. **Zufahrten auf das Baugelände**
 - Baustellenstrassen und -wege, Wendemöglichkeiten
 - Entladestellen
 - Reifenwaschplatz
 - Parkplätze
 - Abmessungen, Belastbarkeit
- 5. **Baufeldumschliessung**
 - Baustellenzaun, -tore, -türen
 - Beleuchtung
 - Hauptbriefkästen
 - Wegweiser
- 6. **Baufeldevrichtungen**
 - Allgemeinbeleuchtung
 - Bauschild
 - Baubüros
 - zentrale Hygieneeinrichtungen
 - zentrale Sanitätsstelle
 - zentrale Notrufstelle
 - zentrale Feuermeldestelle
 - zentrale Informationsstelle (schwarzes Brett)
- 7. **Ver- und Entsorgungseinrichtungen der Baustelle**
 - Hauptanschlüsse für Elektroversorgung
 - Hauptanschlüsse für Wasserversorgung
 - Hauptanschlüsse für Postdienste
 - Hauptanschlüsse für Abwasserentsorgung
 - Entsorgung von Bauschutt, Abfällen, Schadstoffen usw.
- 8. **Kanäle, Leitungen, Kabel**
 - geplante und vorhandene Kanäle und Schächte
 - geplante und vorhandene Leitungen
 - geplante und vorhandene Kabel
 - geplante und vorhanden Freileitungen
- 9. **Lagerflächen**
 - Lagerflächen für Mutterboden
 - Lagerflächen für Aushub- und Verfüllmaterial
 - Lagerflächen für Zwischenlagerungen
- 10. **Betriebsflächen der Baustelle**
 - Baugruben, Böschungen, Bermen, Verbau
 - baubetriebliche Einrichtungen

Beispiele von Baustelleneinrichtungsplänen

(Drees: Baustelleneinrichtungen)

1. Wohngebiet: Errichtung von mehreren Wohngebäuden (Bild 4-58)
2. Geschäftshochhaus mit 14 Stockwerken (Bild 4-59)
3. Dreifeldrige Brücke im Stadtzentrum (Bild 4-60)

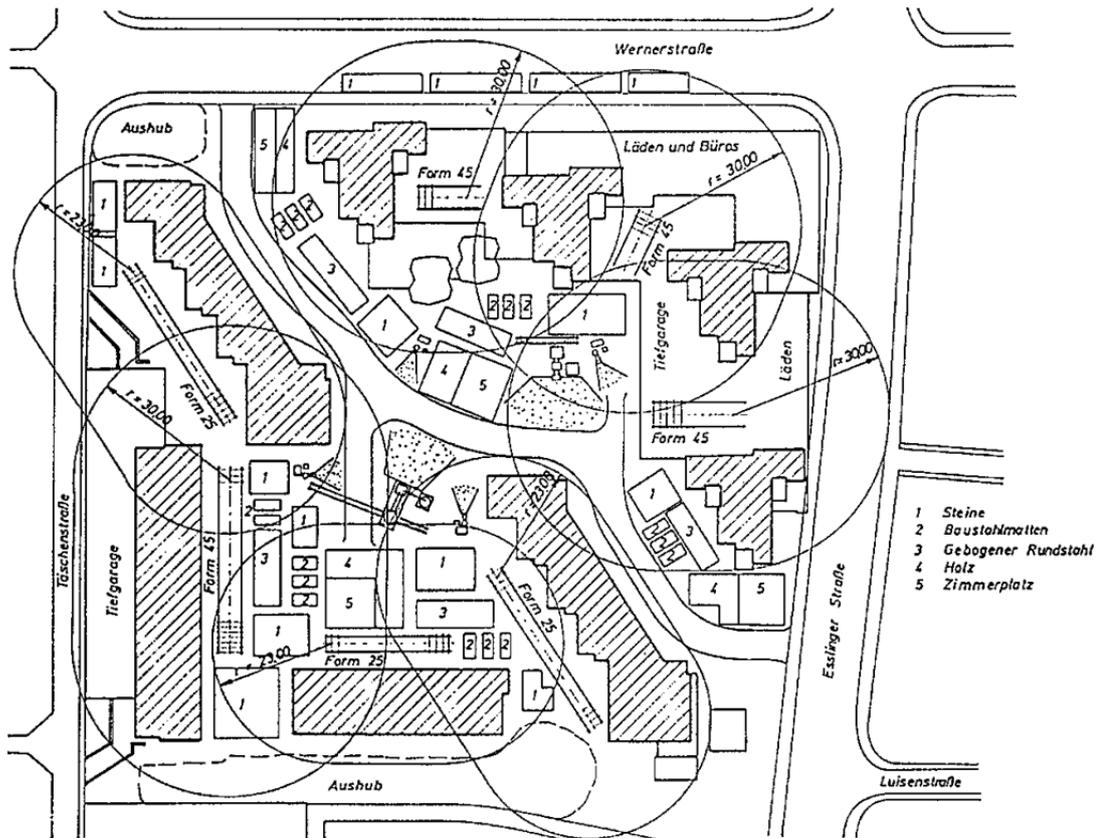


Bild 4-58: Baustelleneinrichtung - Wohngebiet Isold, Fellbach [1]

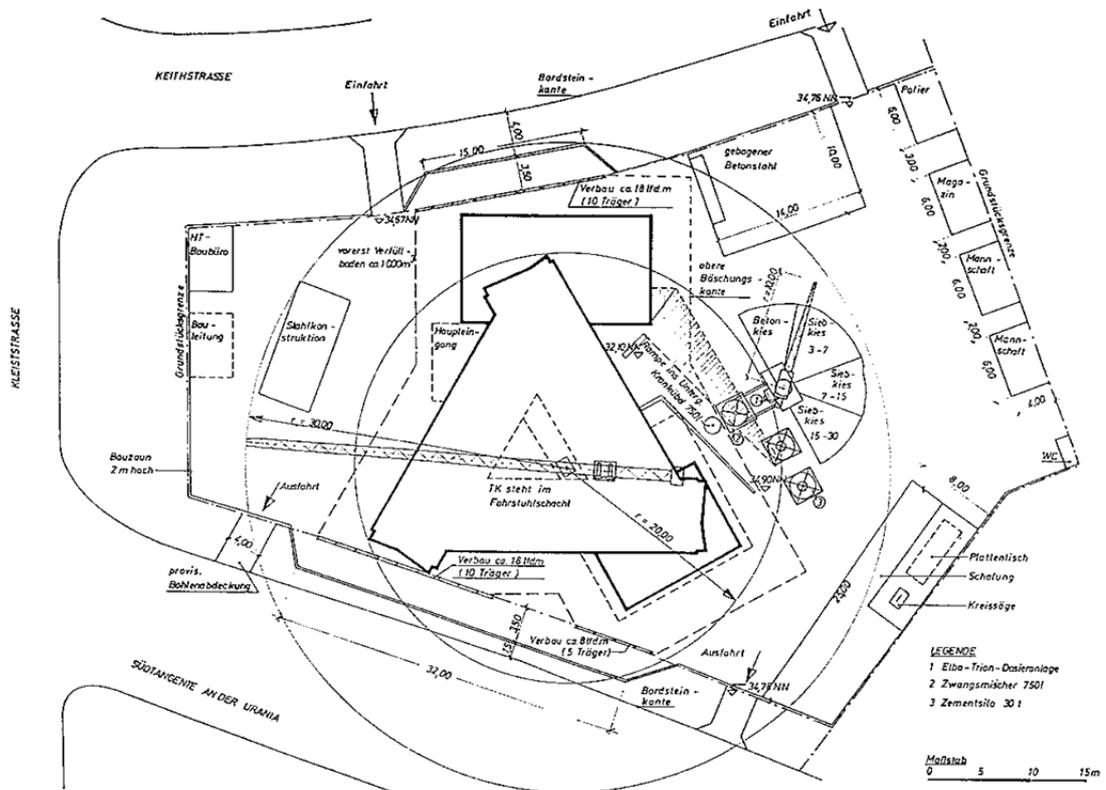


Bild 4-59: Baustelleneinrichtung- Haus der Werbung, Berlin [1]

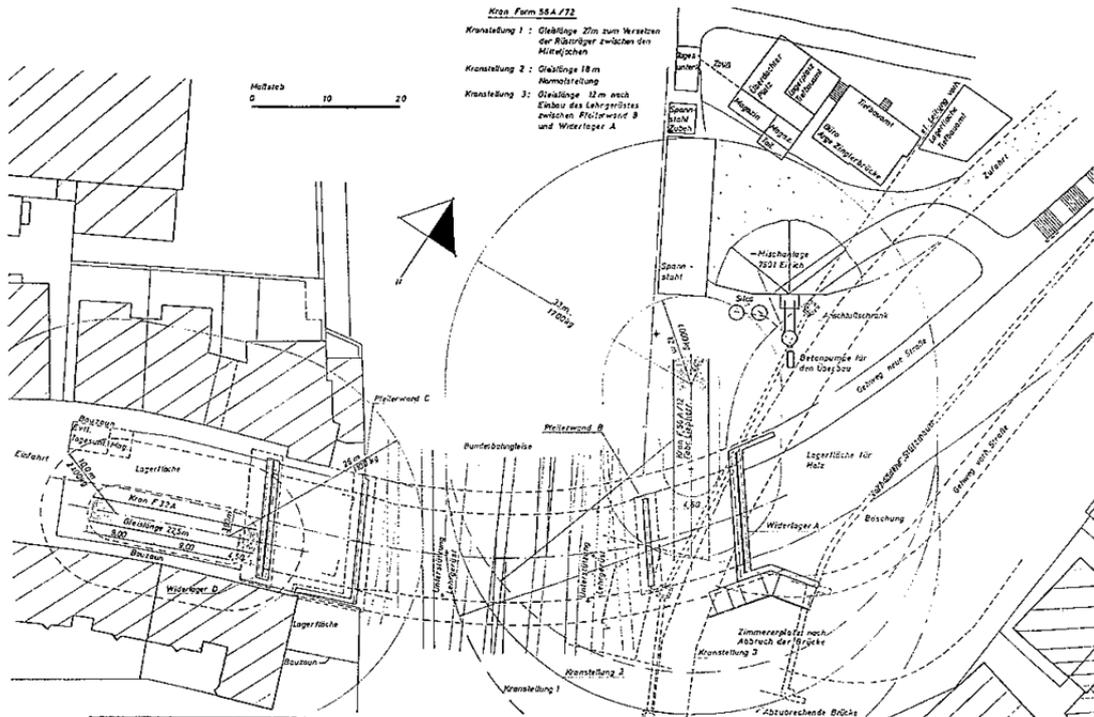


Bild 4-60: Baustelleneinrichtung - Zingler-Brücke, Ulm [1]

Generell ist zwischen Baustellen auf der „grünen Wiese“ und Baustellen im innerstädtischen Bereich (Bild 4-61 bis Bild 4-64) zu unterscheiden. Letztere sind meist durch grosse Einschränkungen hinsichtlich Platz, Arbeitszeit und Verkehrsanbindung charakterisiert. Die Baustelleneinrichtung bei innerstädtischen Baustellen besteht deshalb meist nur noch aus Kran, Büro- und Mannschaftscontainern sowie Lagereinrichtungen, die über dem Fussgängerbereich und dem Gebäudevorplatz aufgeständert angeordnet werden (vgl. Bild 4-61 und Bild 4-62).

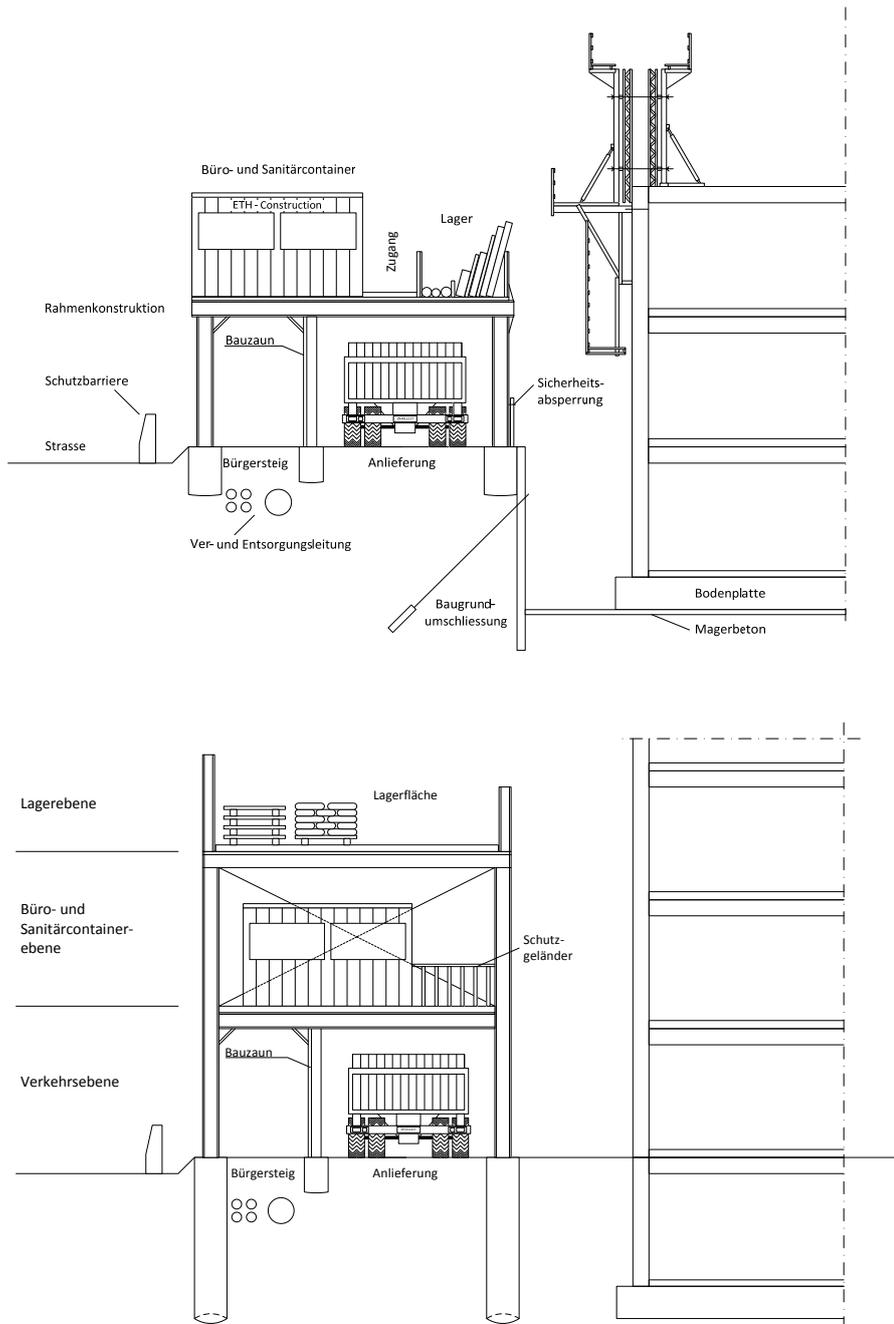


Bild 4-61: Innerstädtische Baustelleneinrichtung Infrastruktur und Anlieferung

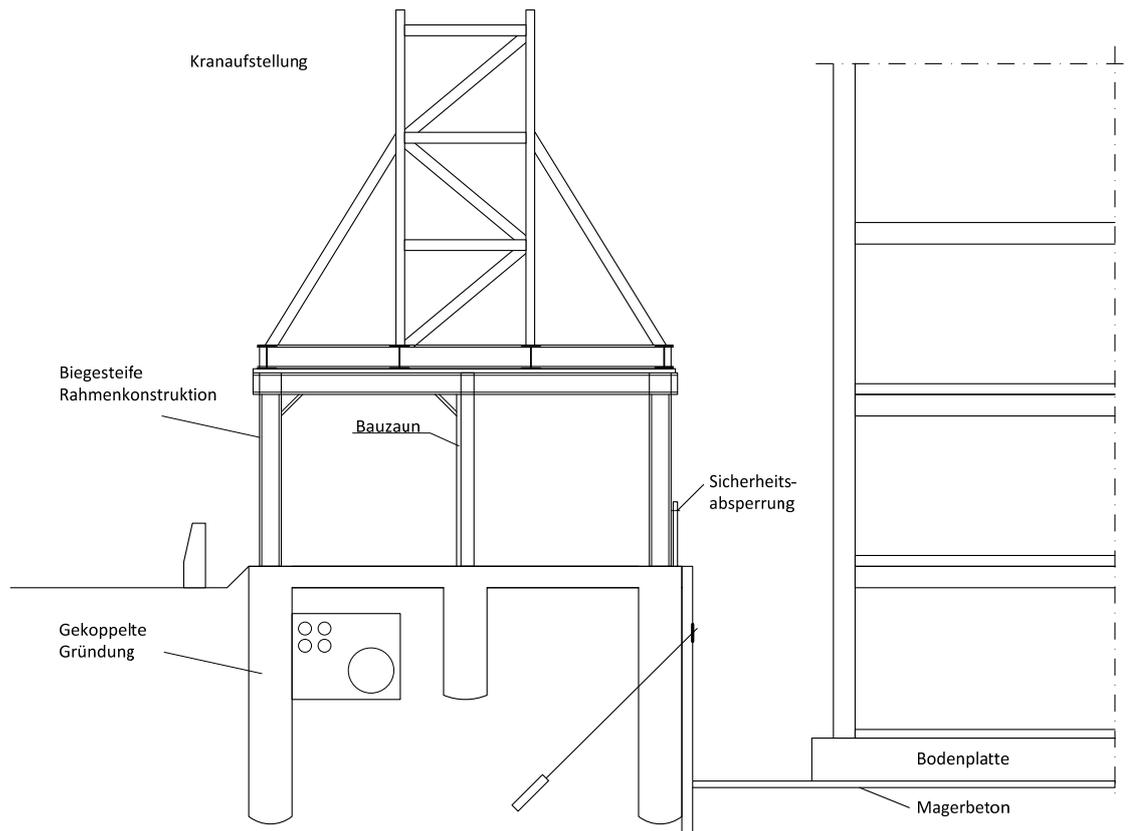


Bild 4-62: Innerstädtische Baustelleneinrichtung Kraufstellung



Bild 4-63: Innerstädtische Baustelleneinrichtung: Blick in die Baugrube



Bild 4-64: Innerstädtische Baustelleneinrichtung: Bentonitauflieger

4.4 Energieumsetzung auf der Baustelle

In den letzten 30 Jahren konnte die Bauleistung pro Arbeiter durch starke Mechanisierung des Bauens erheblich gesteigert werden. Dies war durch steigenden Energie- und Geräteeinsatz möglich. Gleichzeitig konnte der Wirkungsgrad vieler Geräte mit dem Übergang von Dampf auf Elektrizität bzw. Verbrennungsmotoren zu Antriebszwecken und von mechanischer auf hydraulische Kraftübertragung entscheidend verbessert werden. Folgende Energiearten bzw. -formen werden heute auf Baustellen vorwiegend verwendet:

- Elektrische Energie
- Verbrennungsmotoren
- Hydraulik
- Druckluft
- Dampf

4.4.1 Elektrische Energie

Elektrische Energie mit 220 V/380 V ist die bedeutendste Energie auf den meisten Baustellen. Sie ist wirtschaftlich, leicht handhabbar und über Kabel zu transportieren. Elektrizität kann u.a. für folgende Tätigkeiten verwendet werden:

- Heben und Fördern von Lasten
- Pumpen von Wasser
- Betonieren: Beton pumpen, rütteln, abziehen
- Bohren
- Schleifen
- Schweissen

Auf Baustellen wird ein **3-Phasen-Wechselstrom** verwendet. Zwischen 2 Phasen sind jeweils 220 V Spannung. Zur Entnahme von 220 V Strom werden nur 2 Phasen, bei 380 V Strom 3 Phasen benutzt; eine weitere Ader ist für den Schutzleiter.

Der **Anschlusswert** für eine Baustelle ist so zu ermitteln, dass ein Parallelitätsgrad durch Verbraucher berücksichtigt wird. Transformator und Anschlussschrank werden in der Nähe der Hochspannungsleitung installiert; die Verteilerschränke werden möglichst zentral aufgestellt, etwa im Treppenhaus bei Hochbauten. Je Etage können mehrere Verteilerschränke erforderlich sein.

Elektrische Geräte müssen abgesichert sein. Die Absicherung gegen Überlastung wird von einer trägen Sicherung übernommen, die kurzzeitig die um das 5- bis 7-fach größere Strommenge zum Anlaufen übertragen kann und bei Überlastung mit einer entsprechenden Trägheit reagieren darf. Die Absicherung gegen Stromschlag erfolgt durch so genannte FI-Schalter. Sie haben zwei Funktionen: ein Teil des Schalters misst ständig die zu- und abfließende Strommenge; bereits bei einer kleinen Differenz, je nach Typ verschieden, jedoch maximal 0.5 A, unterbricht der andere Teil die Stromzufuhr sofort.

Strom mit Niederspannung (12 V und 24 V) wird bei Fahrzeugen für Beleuchtung, Scheibenwischer, Anlasser etc. verwendet. Bei stillstehendem Motor wird diese Span-

nung durch handelsübliche Akkumulatoren und bei laufendem Motor durch die Lichtmaschine vorgehalten.

Zum Lichtbogen-Kurzschluss-Schweissen verwendet man 42 V bzw. 65 V. Bei solch geringen Spannungen ist nur eine Isolierung der Kabel, jedoch keine Absicherung und keine Schutzleiter notwendig. Für grössere Strommengen werden die erforderlichen Leitungsquerschnitte zu gross.

Allgemein zeichnen sich elektrische Antriebsmotoren durch folgende Vorteile aus:

- geringe Störanfälligkeit und kaum Wartungsbedarf
- guter Wirkungsgrad
- grosser nutzbarer Drehmomentbereich

4.4.2 Ermittlung des elektrischen Leistungsbedarfs

4.4.2.1 Leistungsaufnahme der einzelnen Verbraucher

Wirkungsgrad

Bei den auf den Typenschildern der Baugeräte angegebenen Leistungen handelt es sich um die am Wellenstumpf abgegebene Leistung P_{ab} . Die zugeführte Leistung P_{zu} muss daher grösser sein und ist um den **Wirkungsgrad des Motors** zu erhöhen.

Es gilt:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

mit: η Wirkungsgrad [-]

P_{ab} abgegebene Leistung [kW]

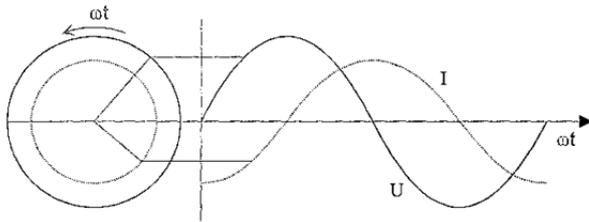
P_{zu} zugeführte Leistung [kW]

Bei den Motoren liegt η zwischen 0.6 und 0.9. Für die **Bemessung** kann mit $\eta = 0.80 - 0.85$ gerechnet werden.

Leistungsfaktor

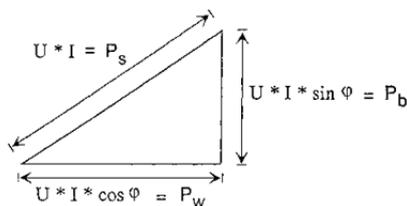
Bei induktiven Verbrauchern (Elektromotoren, Transformatoren) tritt eine Phasenverschiebung um den Winkel φ zwischen Strom und Spannung auf, da das Magnetfeld in der Spule bei wechselnder Stromrichtung immer wieder auf- und abgebaut werden muss, bevor ein Stromfluss eintreten kann. Die Spannung eilt dem Stromfluss voraus (Bild 4-65).

a) Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung



$$\begin{aligned}
 U &\equiv \text{Spannung} &= U_0 \cdot \sin \omega t \\
 I &\equiv \text{Stromstärke} &= -I_0 \cdot \sin(\omega t - \alpha) = I_0 \cdot \cos \omega t \\
 \alpha &\equiv \pi/2 \\
 \varphi &\equiv \omega t &\equiv \text{Phasenwinkel}
 \end{aligned}$$

b) Wirk-, Blind- und Scheinleistung



Stromleistung:

$$\begin{aligned}
 P_s &\equiv \text{Scheinleistung} & P_b &\equiv \text{Blindleistung} \\
 P_w &\equiv \text{Wirkleistung} & \cos \varphi &\equiv \text{Leistungsfaktor}
 \end{aligned}$$

Bild 4-65: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung sowie Wirk-, Blind- und Scheinleistung

Das Produkt zwischen Strom und Spannung ergibt dann nur eine scheinbare Leistung. Die Scheinleistung kann in die Komponenten Blind- und Wirkleistung zerlegt werden. Nur die **Wirkleistung ist in mechanische Arbeit**, Wärme oder Licht umsetzbar.

Merksatz:

„Die Blindleistung kann mit der Verpackung einer Ware verglichen werden; sie ist zwar nötig, aber eigentlich hat man keinen Nutzen von ihr.“

[cit. Wallnig Rainer, 1987, S. 130]

Es gilt:

$$\cos \varphi = \frac{P_w}{P_s}$$

mit: $\cos \varphi$ Leistungsfaktor [-]

P_w Wirkleistung [kW]

P_s Scheinleistung [kW]

Der Leistungsfaktor liegt für Motoren unter Vollast bei rund 0.8 bis 0.9 und sinkt bei nachlassender Belastung. Durch Parallelschaltung von induktiven Widerständen (Motoren etc.) mit kapazitiven Widerständen (Kondensatoren) kann eine Verbesserung des Leistungsfaktors erreicht werden (Blindstromkompensation). Auf Baustellen lässt sich

ohne Blindstromkompensator kaum $\cos \varphi > 0.7$ erreichen, meist liegt $\cos \varphi$ zwischen 0.5 - 0.7.

Gleichzeitigkeitsfaktor

Da nicht alle Verbraucher gleichzeitig und dauernd eingeschaltet sind, ist der tatsächliche Leistungsbedarf geringer als die Summe der für die einzelnen Geräte ermittelten Leistungsaufnahmen (Tabelle 4-8).

Tabelle 4-8: Überschlägige Ansätze für Gleichzeitigkeitsfaktoren [12]

Gleichzeitigkeitsfaktor	
einzelne Baumaschinen oder Anlagen mit mehreren Motoren	0.75 - 0.85
kleine Baustellen mit voneinander unabhängigen Verbrauchern	0.60 - 0.75
Grossbaustellen	0.40 - 0.50

Bei überschlägigen Verfahren treten jedoch schwere Fehler auf, wenn es sich um einseitig zusammengesetzte Geräteparks handelt. Deshalb ist dann eine Zusammenstellung der einzelnen Leistungswerte mit gezielter Gewichtung vorzunehmen.

Tabelle 4-9: Gleichzeitigkeitsfaktoren für einzelne Baugeräte (Richtwerte)

Gleichzeitigkeitsfaktor	
Turmdrehkran	0.3 - 0.4
Bauaufzug	0.5
Mischanlage	0.50 - 0.75
Pumpen zur Wasserhaltung	0.8 - 1.0
Tischkreissäge	0.4
Schweissgeräte	0.5
Zimmerei, Eisenbiegerei, Werkstätte	0.5
E-Installation Unterkunft, Bauleitung	0.5
Heizung, saisonal	0.8 - 1.0
Beleuchtung	1.0

Leistungsbedarf

Für die Dimensionierung der für das Baustellennetz notwendigen Einrichtungselemente muss der Bedarf an elektrischer Leistung P_{ges} , der so genannte Anschlusswert, ermittelt werden. Dabei sind folgende Aufgaben erforderlich:

Leistungsaufnahme der Verbraucher von elektrischer Energie in kW, diese entspricht der Summe der z.B. in der BGL aufgeführten Motorleistung für die auf der Baustelle eingesetzten Geräte. Dabei wird unterschieden in den Leistungsbedarf für Baustellenmotoren P_{mot} und für Lichtstrom und Wärme $P_{\text{Li} + \text{Wä}}$ als Summe der jeweili-

gen Verbraucher auf der Baustelle. Bei der Leistungsaufnahme der Motoren müssen der Wirkungsgrad η und der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ berücksichtigt werden.

Der Wirkungsgrad η gibt das Verhältnis der abgegebenen Leistung zur zugeführten Leistung an und liegt bei Elektromotoren in einer Größenordnung von etwa 0.80 bis 0.85.

Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ ergibt sich aus der Phasenverschiebung von Strom gegenüber der Spannung und liegt bei ca. 0.60.

Da nicht alle Verbraucher gleichzeitig eingeschaltet sind, ist die tatsächlich benötigte Leistung kleiner als die durch Aufsummierung aller Verbraucher ermittelte Leistungsaufnahme. Dies wird über den Gleichzeitigkeitsfaktor a berücksichtigt, der das Verhältnis vom tatsächlichen zum theoretisch möglichen Leistungsbedarf darstellt. Für den Gleichzeitigkeitsfaktor kann normalerweise angenommen werden:

$a = 0.4$ bis 0.5 für Grossbaustellen

$a = 0.6$ bis 0.75 für sonstige Baustellen

$a = 0.75$ bis 0.85 für Einzelgeräte mit mehreren Motoren wie z.B. Krane

Mit diesen Angaben kann der erforderliche Leistungsbedarf ermittelt werden:

$$P_{\text{Ges}} = a \cdot \left(\sum P_{\text{mot}} / (\eta \cdot \cos \varphi) + \sum P_{\text{Li} + \text{Wä}} \right) \quad [\text{kW}]$$

Die Berechnung der Elektroversorgung erfolgt gemäss dem Handbuch „Leistungsermittlung für Baumaschinen und Bauprozesse“ [15].

4.4.3 Verbrennungsmotoren

Ein weiterer Teil der erforderlichen Energie wird durch Verbrennungsmotoren geliefert. Für den Betrieb sind der entsprechende Kraftstoff und ein gewisser Wartungsaufwand vorzusehen, der von Bauart und Betriebsbedingungen abhängt. Leistungseinbussen durch „dünne“ Höhenluft sind zu beachten.

Es wird zwischen Zwei- und Viertakt-Motoren sowie Diesel- oder Benzinantrieb unterschieden. Verbrennungsmotoren sind robuste und dauerhafte Aggregate und finden in fast allen Baumaschinen Anwendung. Gegenüber den Elektromotoren haben sie den Vorteil der Netzunabhängigkeit; als Nachteile sind zu nennen:

- schmaler nutzbarer Drehmomentbereich
- Notwendigkeit einer Kupplung bzw. eines Getriebes
- höhere thermische Verluste und schlechterer Wirkungsgrad
- höherer Wartungsaufwand und hoher Verschleiss

Folgende Verbrennungsmotoren werden gebaut:

Benzinmotor

- relativ günstig in der Anschaffung
- hoher Treibstoffverbrauch, ca. **200-300 g/kW·h**
- CO im Abgas → nicht in geschlossenen Räumen einsetzbar

Dieselmotor

- teuer in der Anschaffung

- günstiger Treibstoffverbrauch, ca. **135-200 g/kW·h**
- wenig CO, aber Schwefelverbindungen im Abgas, weniger giftig
- robust

4.4.4 Ermittlung des Druckluftbedarfs

Der Druckluftbedarf auf der Baustelle ergibt sich aus der Geräteliste der Baustelle, wobei die voraussichtlichen Einsatzzeiten der Geräte anhand des Bauablaufplans berücksichtigt werden müssen. Die hieraus gewonnene Summe des Druckluftbedarfs muss durch eine Reihe von Faktoren korrigiert werden, um die erforderliche Kompressorleistung festlegen zu können.

Für den Zeitpunkt der Spitzenleistung ergibt sich der Druckluftbedarf als Summe aller pneumatisch betriebenen Geräte unter Berücksichtigung der Leistungsverluste und der Gleichzeitigkeit des Einsatzes. Die Berechnung der Druckluftversorgung erfolgt gemäss dem Handbuch „Leistungsermittlung für Baumaschinen und Bauprozesse“ [15].

Druckluftverbrauch $Q_{m,v}$ einiger Geräte bei einem Betriebsdruck von ca. 6 bar:

Pick- und Abbauhämmer

5-10 kg Gewicht	0.8 - 1.0 m ³ /min
11-20 kg Gewicht	0.8 - 1.2 m ³ /min
21-40 kg Gewicht	2.0 - 4.0 m ³ /min

Bohrhämmer

15-25 kg Gewicht	0.2 - 4.0 m ³ /min
------------------	-------------------------------

Drehschlagbohrmaschinen

80-110 kg Gewicht	8-10 m ³ /min
ca. 150 kg Gewicht	11-12 m ³ /min

Spritzbetongeräte (Leistung 3-4 m³/h)

mit E-Motor	5-8 m ³ /min
mit Druckluftmotor	10-16 m ³ /min

Druckluftmotoren je PS

< 5 PS	0.75 - 1.0 m ³ /min.
> 5 PS	0.5 - 0.75 m ³ /min

4.4.5 Hydraulik

Die Hydraulik zur Erzeugung von Kräften hat eine sehr grosse Bedeutung auf Baustellen aufgrund der Robustheit, Kompaktheit der Geräte sowie der universellen Anwendungsmöglichkeit. In vielen Baumaschinen werden wegen des Korrosionsschutzes, der Schmierfähigkeit und der fast gleich bleibenden Zähigkeit bei Kälte und Hitze hydraulische Kraftübertragungen durch Öl eingesetzt. Im Bauwesen werden sowohl die statische als auch die dynamische Hydraulik verwendet. Das Prinzip einer Hydraulik und der Energieumsetzung ist in Bild 4-66 dargestellt.

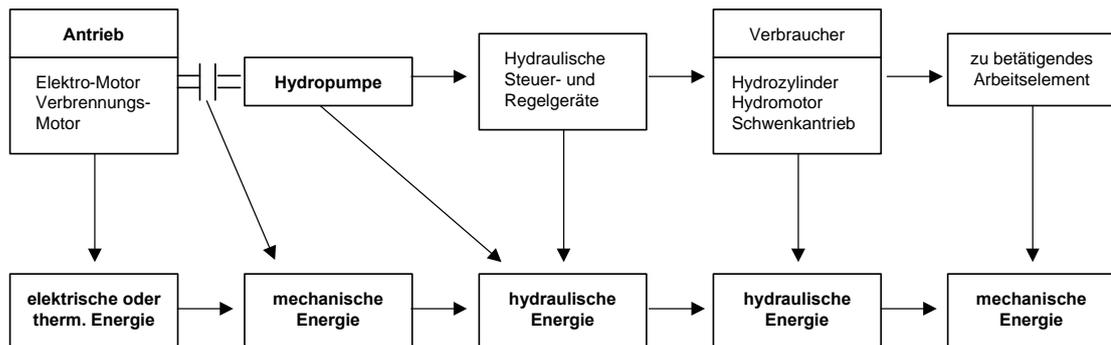


Bild 4-66: Prinzip der Hydraulik

Statische Hydraulik

Generell bestehen statische Hydrauliksysteme aus einem Ölvorrat, einer Hydrauliköl-pumpe, einem Steuerblock und Arbeitszylindern. Zur Kraftübertragung wird nur ein kleiner Teil des Ölvorrats in den Arbeitszylinder gepumpt.

Der Arbeitszylinder ist das zentrale Bauteil der statischen Hydraulik. Trotz seiner kompakten Bauweise kann er meist in beiden Richtungen grosse Kräfte ausüben. Die statische Hydraulik wird z.B. beim Hydraulikbagger zur Schaufelbewegung und bei allen hydraulischen Pressarbeiten eingesetzt (Bild 4-67).

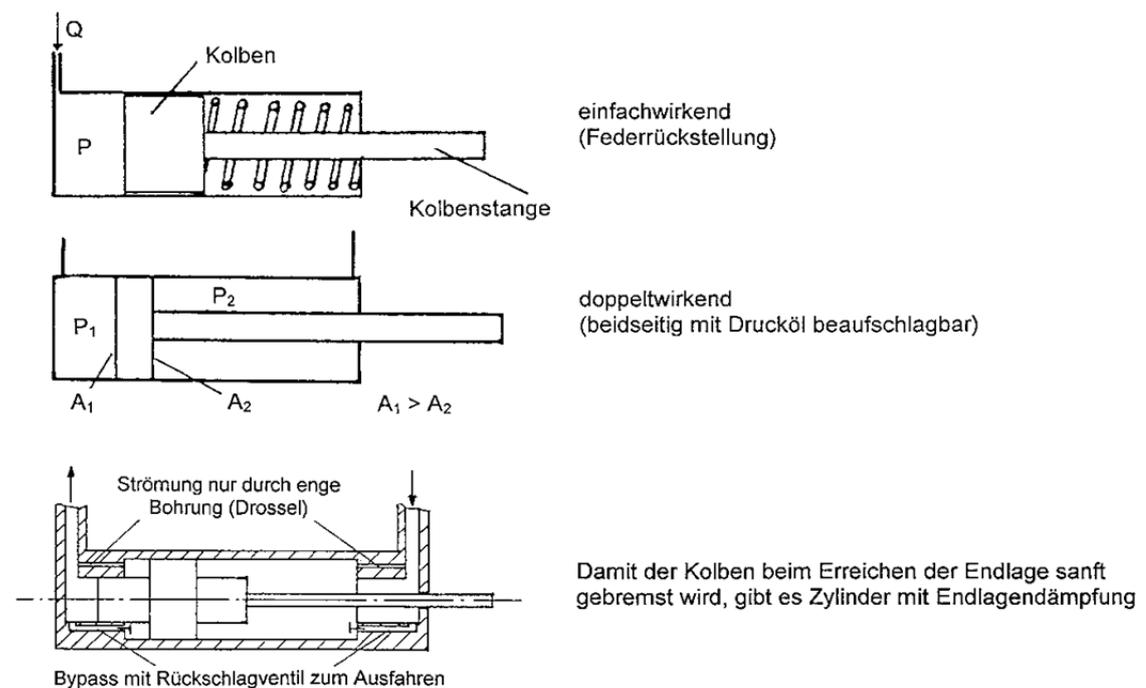


Bild 4-67: Hydraulikzylinder

Dynamische Hydraulik

Von dynamischer Hydraulik ist die Rede, wenn grössere Teile des Ölhaushalts ständig mit grossen Geschwindigkeiten bewegt werden und die kinetische Energie des Öls zu Antriebszwecken benutzt wird. In dynamischen Hydrauliksystemen herrschen geringe Drücke, so dass die Bewegung des Öls mit Flügelrädern möglich ist. Die dynamische Hydraulik kommt vor allem bei **Antriebssystemen** zur Anwendung:

- Turbokupplungen
- Drehmomentwandler
- Lastschaltgetriebe

Hydroantriebe können nahezu verschleissfrei **grosse Kräfte und Drehmomente** übertragen (Tunnelbohrmaschinen, Schildmaschinen). Es tritt ein geringer Leistungsverlust auf, der gegenüber dem Verschleiss und Wartungsbedarf herkömmlicher Reibungskupplungen vernachlässigt werden kann.

In Bild 4-69 ist das Hydrauliksystem eines Baggers dargestellt.

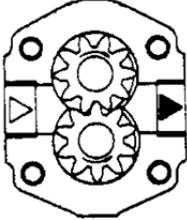
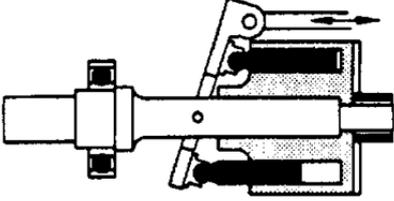
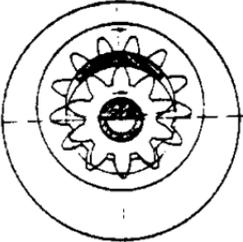
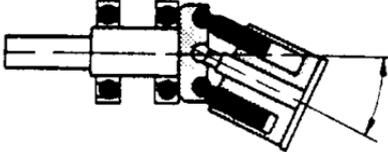
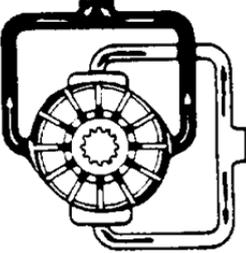
Konstantpumpen-Motoren	Verstellpumpen-Motoren
	
<p>Aussenzahnradpumpe-Motor Druck max. 120 bar; Q/max. 200 l/Min.</p>	<p>Axialkolbenpumpe-Motor Schwenkscheibe Druck ca. 350 bar; Q/max. ca. 500 l/Min.</p>
	
<p>Innenzahnradpumpe-Motor Druck max. ca. 250 bar; Q/max. ca. 200 l/Min.</p>	<p>Axialkolbenpumpe-Motor (Schräg- oder Schwenktrommel) Druck ca. 400 bar; Q/max. ca 500 l/Min.</p>
	
<p>Flügelzellenpumpe-Motor Druck ca. 180 bar; Q/max. ca. 250 l/Min.</p>	

Bild 4-68: Hydraulikpumpen und -motoren

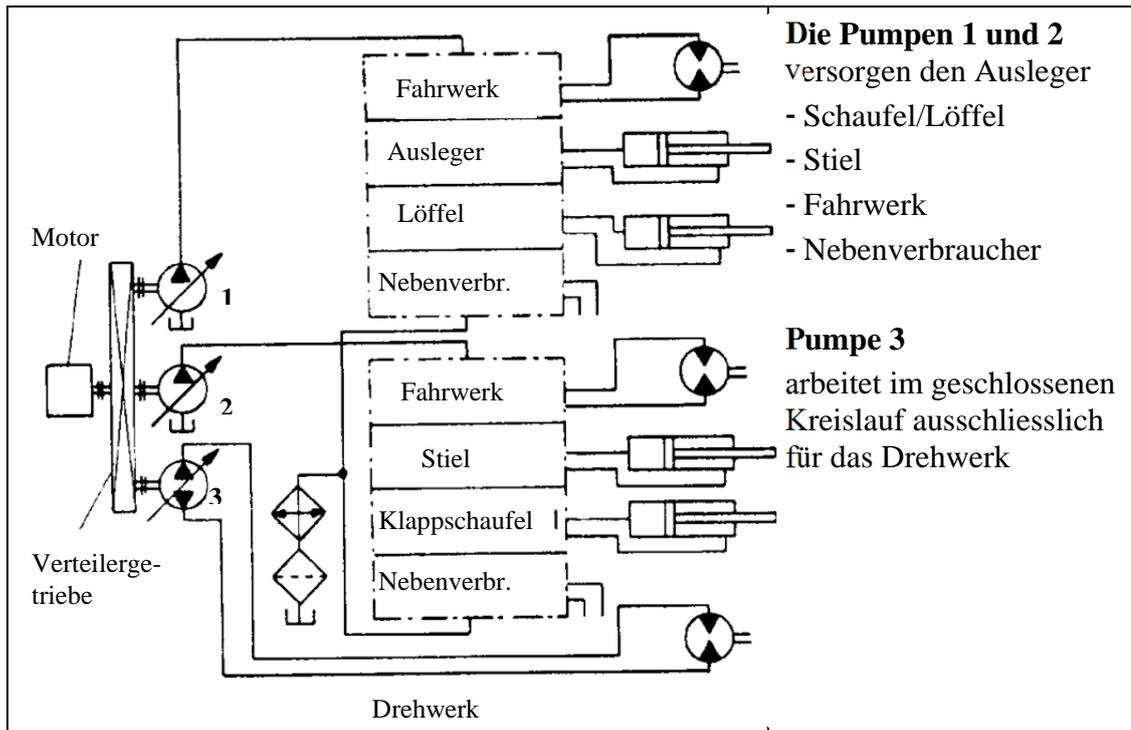


Bild 4-69: Dreipumpensystem eines Hydraulikbaggers

4.4.6 Dampfenergie

Die Dampfenergie, die früher als Antriebsenergie grosse Bedeutung hatte, ist weitgehend von der Elektrizität, dem Verbrennungsmotor und der Hydraulik verdrängt worden. Gründe dafür sind:

- nicht sofortige Verfügbarkeit der Dampfenergie
- hohes Gewicht von Dampfmotoren
- schlechter Wirkungsgrad

Dampfenergie wird heute für Zwecke der Wärmeübertragung und Reinigung verwendet, z.B. für:

- Heizung von Betonzuschlagstoffen beim Winterbau
- Beschleunigung des Abbindeprozesses von Beton
- Reinigung mit Dampfstrahlgerät

4.5 Logistikplanung der Bauabwicklung

Die Logistikplanung beschäftigt sich im Rahmen der Arbeitsplanung (AVOR) mit den Versorgungs-, Entsorgungs-, Transport-, Lager- und Umschlagvorgängen auf der Baustelle (Bild 4-70). Die Logistik verknüpft und versorgt die Beteiligten auf der Baustelle mit einem störungsfreien Informations-, Material-, Energie- und Leistungserstellungsfluss. Das Ziel der Logistik ist es, Ressourcen einzusparen und die Kosten zu optimieren.

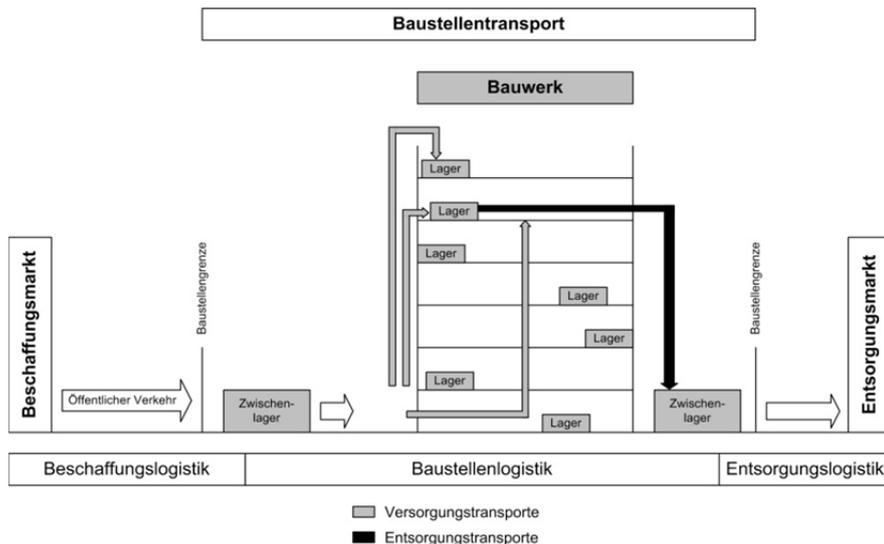


Bild 4-70: Logistik eines Bauprojekts [16]

Einzeluntersuchungen [16] bestätigen den intuitiven Eindruck von vielen Baustellen, dass die auf die abrechenbare Leistungsposition bezogene Produktivität oft sehr gering ist. Die Problematik dieser geringen Leistungen auf abrechenbare Positionen resultiert meist aus unproduktiven Tätigkeiten wie

- Aufräumen und Umräumen, weil die Materiallagerung Arbeiten behindert
- Materialsuche
- Materialtransporten wegen grosser Distanzen zwischen Lager- und Einbauort
- Störungen und Unterbrechungen durch nicht vorhandenes Material und Werkzeuge

Diese unproduktiven Zeiten können bzw. werden meist nicht im Rahmen des Controllings, sondern müssen mit Zeitstudien vor Ort identifiziert werden. Durch eine systematische Logistik, die auf zeitlich-räumlich veränderlich gestaltete Vorgänge angepasst ist, lassen sich hohe Leistungssteigerungspotentiale aktivieren. Logistische Prozesse für einen stationären Betrieb mit klaren stationären Bearbeitungseinrichtungen und Lagern zu planen, ist nicht ganz trivial, aber für eine mobile Industrie wie die Bauindustrie mit der jeweiligen Herstellung des Gebäudes am Ort der Nutzung ist dies eine Herausforderung.

Die Herstellungsabläufe auf einer Baustelle sind einem ständigen zeitlich-räumlich veränderten Prozess unterworfen. In der stationären Industrie handelt es sich während der Herstellung meist nur um einen zeitlich veränderlichen Prozess. Das Produkt läuft in der Fertigungshalle zu stationären Fertigungsgeräten, die unter klar definierten Bedingungen arbeiten.

Daher wird eine logistische Planung der materiellen wie immateriellen Flüsse einer Baustelle nie die gleiche Effizienzsteigerung aufweisen wie in der stationären Industrie.

Besonders auffällig sind bei TU- und GU-Projektentwicklungsformen die logistischen Probleme bei den Subunternehmern. Die Materiallagerung im und um das Gebäude wird oft ohne Rücksicht auf Behinderung von anderen Gewerken durchgeführt. Damit steigen durch Umräumen und Wartezeiten die Kosten.

Administrative Baustelleninfrastruktur

Zur administrativen Baustelleninfrastruktur gehören einerseits die Büroräumlichkeiten wie Besprechungszimmer oder Büro-Arbeitsplätze, sowie aber auch die Mannschaftsunterkünfte, Kantinen, Materiallager etc.

Bei kleinen Baustellen (z.B. Einfamilienhausbau) ist es häufig der Fall, dass diese nicht auf der Baustelle zur Verfügung gestellt werden, sondern in den eigentlichen Räumlichkeiten am Standort der Unternehmung vorhanden sind. Bei grösseren und langandauernden Projekten wird normalerweise direkt vor Ort mittels Baucontainern eine eigene Infrastruktur für die administrativen Tätigkeiten des Baubetriebs aufgebaut. Besonders bei innerstädtischen Baustellen, bei welchen häufig der zur Verfügung stehende Platz beschränkt ist, ist die Anordnung der Container auf dem Bauareal deshalb oft problembehaftet. Eine mögliche Lösung ist im

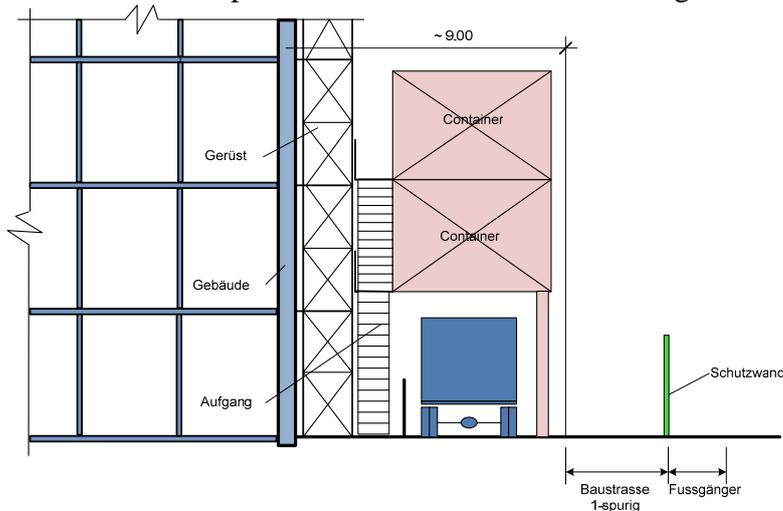


Bild 4-71 dargestellt.

Die Baucontainer sind im Regelfall stapelbar und können auf Podeste gestellt werden, so dass unterhalb der Container beispielsweise Baustrassen, Parkplätze oder auch öffentliche Bereiche Platz finden.

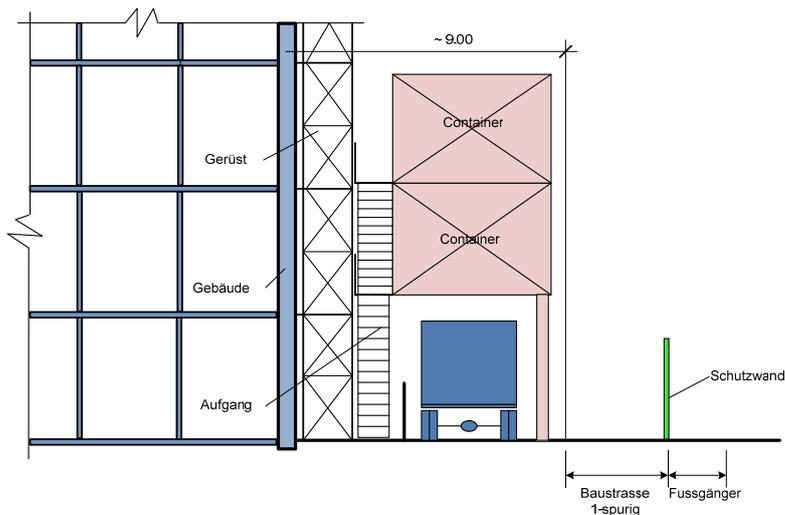


Bild 4-71: Administrative Baustelleninfrastruktur

Transportlogistik

Ein zentrales Logistikmanagement der Baustelle im Rahmen der Arbeitsvorbereitung bzw. Baustellenführung, das digitalisiert alle Informationen projektbezogen bündelt, die Menge der erforderlichen Materialien ermittelt, unter Beachtung der Bereitstellungszeiten bestellt, sie bauzeitnah vom Baustoffhändler bzw. Produzenten abrufen, die Transportvorgänge abstimmt und die Materialien den verantwortlichen Personen auf der Baustelle übergibt bzw. auf den vorbestimmten Lagerflächen abgeliefert, leistet einen erheblichen Beitrag zum Erfolg der Baustelle. Dadurch können Material-, Transport- und Zirkulationskosten gesenkt und „just in time“-Lieferungen ermöglicht werden.

Die Effizienz der Transporte zur Baustelle hängt von folgenden Kriterien ab [16]:

- Lage der Materialbezugsquellen und der Baustelle
- vorhandene Infrastruktur
- örtliche Rahmenbedingungen der Baustelle und Bauherrnvorgaben
- Menge und Beschaffenheit der zu transportierenden Stoffe (Gase, Flüssigkeiten, Stückgut, Schüttgut)
- Grösse, Lage und Zustand der Freiflächen für mögliche Zwischenlager
- zeitliche Vorgaben aus dem Projektablauf

Davon ausgehend müssen in der Arbeitsvorbereitung folgende Basisvorgaben für ein Logistikkonzept entwickelt werden:

- einfache Erreichbarkeit der Anlieferflächen und Übergabepunkte
- Abstimmung von Transportmitteln und -geräten der Baustelle aufeinander
- Wegeplanung und Flächennutzung ausserhalb und innerhalb des Gebäudes
- Verkehrssicherung und Baustellenzufahrtsregelungen

Daraus resultiert ein erheblicher Bedarf an Koordination und Kommunikation zur Verringerung der räumlichen und zeitlichen Engpässe bei der Materialbereitstellung.

Transportmeldungen mit Mengen- und Tourenübersichten, Baustellenzufahrtsregelungen sowie Ausweisung von Lagerorten müssen erstellt und koordiniert werden. Die Fahrzeuge sollten sich per Mobilfunk schon vor der Abfahrt bzw. während der Fahrt bei der koordinierenden Stelle melden, um unnötige Wartezeiten beim Abladen zu vermeiden. Die Ergebnisse aus der Umsetzung dieser Konzeptionen sind [17]:

- Gewährleistung der baubetrieblich abgestimmten Belieferung der Baustelle mit den benötigten Materialien
- Erkennung und Vermeidung von Engpässen in der Materialbelieferung
- gewerkeübergreifende, frühzeitige Koordination der Materialtransporte und Lagerung
- Übersicht über die Materiallagerorte und -mengen durch Barcodes mit zentraler Registrierung von Materialflüssen

Anliefer-, Lager- und Umschlagslogistik

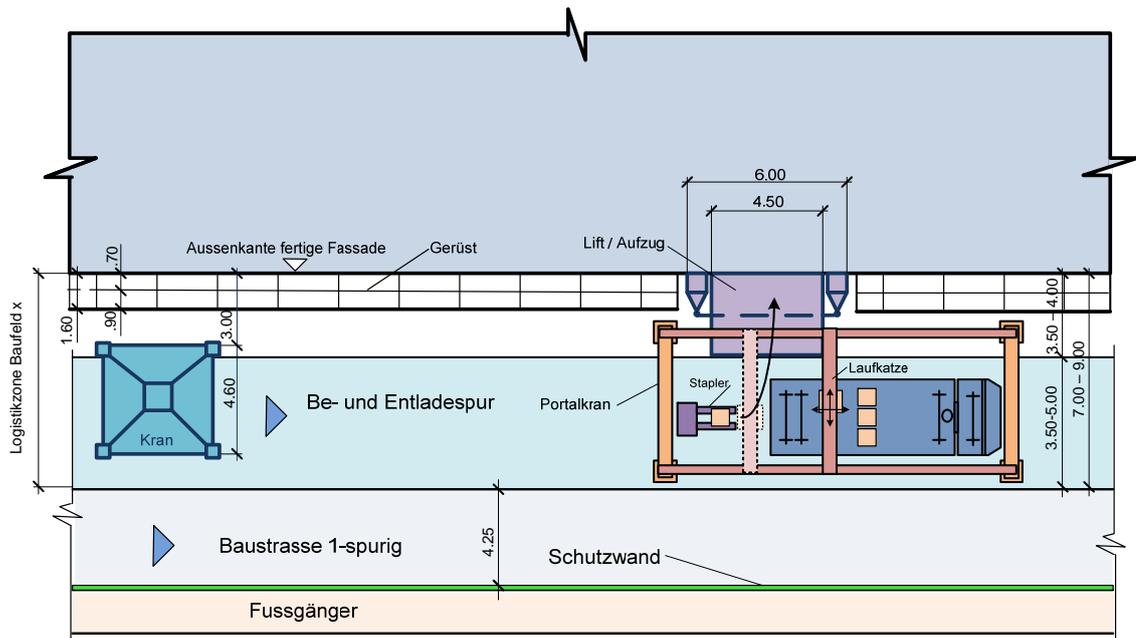


Bild 4-72: Be- und Entladezone mit Lift und Turmkran

Die Baustellenlogistik kann unterteilt werden in die Planung der Lagerflächen und die Planung der Baustellentransporte. Für die Planung des Materialflusses auf der Baustelle sind die Materialeinheiten zu bestimmen, mögliche Transportmittel auszuwählen, Transportketten zu entwickeln sowie Materiallager am Ort des Verbrauchs festzulegen.

Ein Grundsatz sollte dabei beachtet werden: Materialien sind möglichst gleich am Einbauort zu lagern, um zusätzliche Lohnkosten für das Umstapeln zu vermeiden. Dies lässt sich jedoch aufgrund der Platzverhältnisse und dem sich zeitlich-räumlich verändernden Projekt nicht immer gewährleisten. Daher müssen Transportmittel und Transportkette mit den dazugehörigen Geräten sowie die Lagerflächen geplant werden. Die Logistikplanung im Rahmen der AVOR ist ein baubegleitender Prozess, der aufgrund der situativen Verhältnisse auf der Baustelle auch dort geplant und angepasst werden sollte.

Als Transportmittel stehen Paletten, Kisten und Behälter mit offenen oder vollwandigen Konstruktionen zur Verfügung. Das Material muss aus Arbeitssicherheits- und Rationalisierungsgründen auf den Paletten gelagert bzw. in Folie eingeschweisst sein, damit beim Transport kein Material herunterfällt.

Nach [16] ist die Lieferung des angeforderten Materials zum vorgegebenen Lagerplatz oder Arbeitsbereich eine wichtige Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Materialversorgung. Hierzu bietet sich die Nutzung von Barcodes an, die an den Ladeeinheiten befestigt werden. Sie ermöglichen die Speicherung von Daten, die beim Materialfluss von Bedeutung sind, wie Inhalt, Menge und Ausführungsabschnitte, zu denen das Material transportiert werden soll. Die Verwendung von mobilen Datenerfassungsgeräten ermöglicht es auf der Baustelle, die Ladeeinheiten jederzeit zu identifizieren und den genauen Verwendungszweck / Bestimmungspunkt zu ermitteln sowie den Verbrauch und die Verschiebung an den Einsatzort zu registrieren und dann täglich in den zentralen Logistikcomputer zur Ermittlung der Gesamtbilanz zu übertragen.

Die Planung der Transportkette umfasst den Materialumschlag auf der Baustelle, den vertikalen Materialtransport in die einzelnen Stockwerke und das horizontale Verteilen der Materialien in den Geschossen eines Bauwerks.

Folgende Grundsätze sind dabei zu beachten:

- Material über den kürzesten Weg transportieren
- Handtransporte vermeiden und auf technische Transportmittel zurückgreifen
- Kleine, produktionsnahe Materiallager anstreben
- Zweckmässige Transporteinheiten wählen
- Übersichtlichkeit der Lager gewährleisten und eine gewerkeübergreifende Stockwerklogistik einrichten

„Beim Materialumschlag auf der Baustelle müssen geeignete Abladegeräte zur Verfügung stehen, um ein reibungsloses Entladen zu gewährleisten. Durch den Abruf, die Transportanmeldung und die frühzeitige Einteilung der Materialien in geeignete Einheiten ist der Verantwortliche jederzeit auf die anstehenden Lieferungen vorbereitet. Sofern die LKW nicht über eigene Selbstentladegeräte verfügen, können die Materialien mit den vom Logistikkordinator bereitgestellten Gabelstaplern, Radladern, Auto-kränen oder mittels Turmdrehkränen abgeladen werden. Je nach räumlichen Bedingungen ist bei vorhandenen Öffnungen und mobilen Stockwerksladebühnen ein Direktumschlag in die Etagen anzustreben, falls geeignete Krane auf der Baustelle zur Verfügung stehen oder die Selbstentladevorrichtungen genügende Reichweite haben. Daher sind von der Arbeitsvorbereitung zusammen mit der Logistikplanung ausreichend grosse Fassadenöffnungen für die jeweils benötigte Zeit einzurichten. Radlader und Gabelstapler können die Materialien zu den Vertikaltransportgeräten befördern. Listen der zur Verfügung stehenden Geräte und Transporteinheiten vereinfachen die Transportkettenplanung und die Geräteauswahl.“ [nach 16].

Der vertikale Materialtransport kann mittels Bauaufzug oder Kran mit Stockwerksbühnen durchgeführt werden. Das Material wird zum Anlieferungsplatz gebracht, der im Baustelleneinrichtungsplan so positioniert ist, dass z.B. der Kran das Material zu den Lagerflächen umsetzen kann. Je nach örtlichen Verhältnissen wird das Material auf Zwischenlager umgesetzt oder direkt in die Stockwerke zur Verarbeitung eingehoben. Dies gilt auch für die Lieferung von Rohmaterial, das direkt bei den Verarbeitungsgeräten gelagert und mittels Luftförderverfahren, Aufzügen oder Kran vertikal transportiert wird.

Das horizontale Verteilen in den Geschossen erfolgt am günstigsten über Gabelstapler, Hubwagen etc., je nach Materialbeschaffenheit und Transportentfernung. Die Materialeinheiten sollten ohne Umpacken von dem Vertikaltransportgerät entnommen und zu den Lagerflächen gebracht werden. Die Verkehrswege und die Lagerflächen sind ausreichend zu dimensionieren.

Planung von Lagerflächen – Lagerflächenmanagement

Materiallager bilden den Puffer zwischen unregelmässigen Materialanlieferungen und schwankendem Materialverbrauch bei der Herstellung. Daraus resultieren folgende Anforderungen an ein Lagerflächenmanagement [17]:

- Koordinationsgespräche und Abstimmung mit allen Gewerken
- Bereitstellung benötigter Baustoffe in bedarfsgerechten Mengen im Zeitfenster der jeweiligen Bauphase durch bedarfssynchrone Versorgung gemäss der „just in time“-Anlieferung
- Aufteilung der Lagerflächen in Teilflächen für die verschiedenen Materialien
- Zuweisung der Lagerflächen in den Stockwerken zum Einbau ohne gegenseitige Behinderung in den jeweiligen Zeitfenstern des Baufortschritts
- Eintragung des Anlieferungsplatzes und der Lagerflächen sowie der Baustrassen und Standorte der Einrichtungen für die einzelnen Bauphasen im Baustelleneinrichtungsplan
- Verkürzen der Wegstrecken
- Dezentrale und arbeitsplatznahe Lagerung in den Stockwerken bzw. Einbauorten, d.h. bei Anlieferung der Materialien an den Übergabepunkten unmittelbar vertikale Verteilung anstreben.

Um dies zu sichern, ist die Entwicklung einer bauphasenabhängigen Stockwerklogistik notwendig, die folgende Grundsätze [16] verwirklichen soll (Bild 4-73):

- Transportwege und Lagerflächen je Stockwerk für die jeweilige Bauphase planen
- Materialumlagerung vermeiden
- Gegenseitige Behinderungen der parallel arbeitenden Gewerke im Ausbau verhindern
- Materialien und bereits erbrachte Bauleistungen vor Beschädigungen schützen
- Sauberkeit auf der Baustelle erhalten
- Arbeitssicherheit erhöhen
- Lagerflächenbedarf auf dem Baugelände verringern
- Trassen freihalten (Ver- und Entsorgung)
- Lagerplatzbedarf durch koordinierte Lagerung verringern

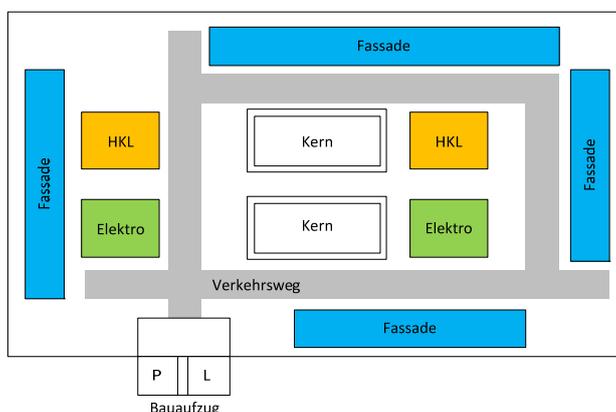


Bild 4-73: Stockwerkklagerplan – Ausbau I: Fassade, HKL, Elektro

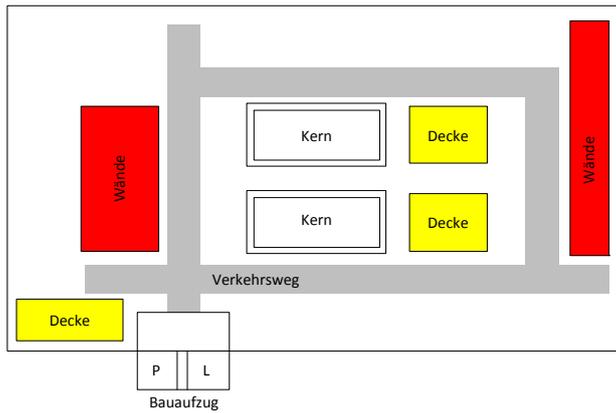


Bild 4-74: Stockwerkklagerplan – Ausbau II: Wände, Decke

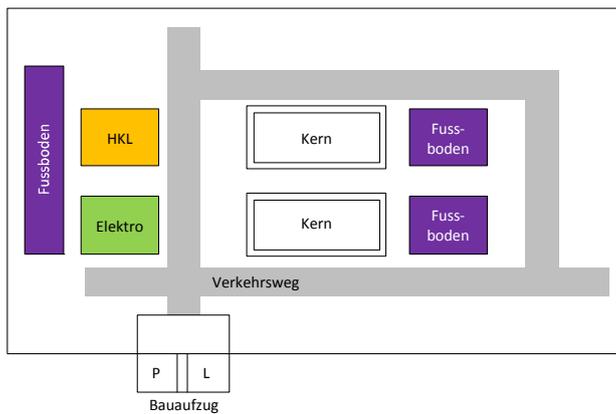


Bild 4-75: Stockwerkklagerplan – Ausbau III: Fussboden, HKL/E-Armaturen

Als Ausgangspunkt zur Planung der Stockwerklogistik dient der Ausbauterminplan. Aufgrund der Abfolge der Arbeiten erfolgt die Unterteilung der Arbeits- und Lagerflächen (Bild 4-73). Die Ermittlung des Lagerflächenbedarfs erfolgt aufgrund der Arbeitsleistung der jeweiligen Gewerke in dem entsprechenden Bauphasenabschnitt, aus dem Arbeitsplatzbedarf für die Ausführung der Leistung und den notwendigen Verkehrswegen.

Im Lagerflächenplan pro Stockwerk werden in Abhängigkeit von der Bauphase die Lager- und Arbeitsflächen sowie die erforderlichen Verkehrswege zur horizontalen Materialverteilung eingezeichnet.

Entsorgungslogistik

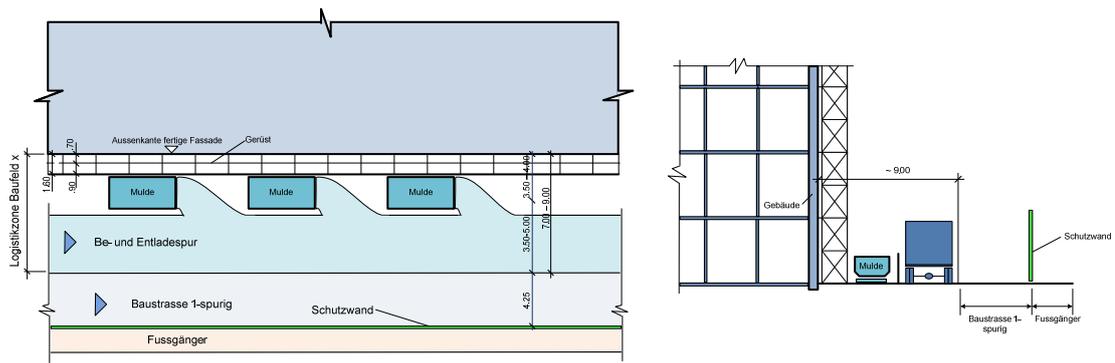


Bild 4-76: Grundriss und Schnitt eines Entsorgungskonzeptes

Die richtige Entsorgung aller im Zuge der Bauproduktion anfallenden Baurestmassen ist Aufgabe der Entsorgungslogistik. Die Wirtschaftlichkeit einer konzeptionell durchdachten Entsorgungslogistik zeichnet sich durch Trennung der Abfallfraktionen zur geordneten Wiederverwertung oder Deponierung aus.

4.6 Nachhaltigkeit während der Baurealisierung

4.6.1 Definition Nachhaltigkeit

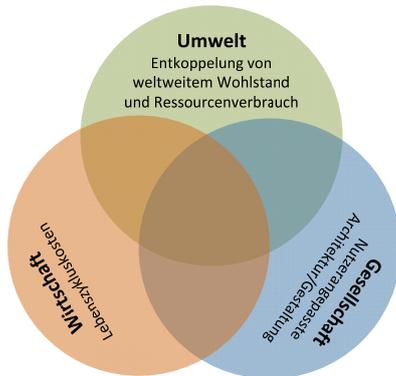


Bild 4-77: Die drei Bereiche der Nachhaltigkeit¹

Die Nachhaltigkeit ist der Versuch den Fortbestand der Erde in dem Bestand, wie wir sie heute kennen, auch in Zukunft gewährleisten zu können, ohne dass zukünftigen Generationen ein Nachteil verschafft wird. Der grundsätzliche Gedanken, wie wir die Nachhaltigkeit heute verstehen, hat seinen Ursprung in der Forstwirtschaft. 1713 wurde im Buch SYLVICULTURA OECONOMICA – DIE NATURMÄSSIGE ANWEISUNG ZUR WILDEN BAUM-ZUCHT² der Grundsatz: „*Lebe von den Erträgen und nicht von der Substanz*“ formuliert. Dies bedeutet so viel wie, dass man von dem Zins seines Kapitals leben soll, ohne, dass das Kapital verringert wird.

Der heute geläufige Ansatz der Nachhaltigkeit ist das von der Weltbank 1994 entwickelte Kapitalstockmodell¹, welches 3 verschiedene Nachhaltigkeit-Kapitale beinhaltet:

- Die Umwelt Ökologische Nachhaltigkeit
- Die Wirtschaft Ökonomische Nachhaltigkeit
- Die Gesellschaft Soziale Nachhaltigkeit

Diese sind im Bild 4-77 dargestellt. Bei einem Projekt soll möglichst darauf geachtet werden, dass alle drei Bereiche berücksichtigt werden und somit ein ganzheitlicher Ansatz vorliegt. Die Weltbank hat daraus die folgende Formel entwickelt¹:

$$K_{\text{Nachhaltigkeit}} = K_{\text{Umwelt}} + K_{\text{Wirtschaft}} + K_{\text{Gesellschaft}}$$

Womit zwischen zwei grundsätzlichen Formen der Nachhaltigkeit unterschieden werden kann:

1. **Starke Nachhaltigkeit:** Keiner der drei Kapitalstöcke darf über eine längere Zeit gesehen abnehmen.
2. **Schwache Nachhaltigkeit:** Die Summe der drei Kapitalstücke darf über eine längere Zeit gesehen nicht abnehmen.

¹ Serageldin I., Steer, A. (eds.): Making Development Sustainable, from Concept to Action, World Bank, ESD, Environmentally Sustainable Development Occasional Paper Series No. 2, Washington, USA, 1994

² Carlowitz, Hanns Carl: Sylvicultura Oeconomica, Johann Friedrich Braun, Leipzig, 1713

In der Schweiz wurde vom Bundesrat ein Mischsystem ausgearbeitet: die schwache Nachhaltigkeit „Plus“ oder „sensible sustainability“. Diese besagt, dass eine Kompensation zwischen einzelnen Kapitalstöcken zulässig ist, ein jeweils kritischer Grenzwert aber nicht unterschritten werden darf (z.B. Luftverschmutzung, Ausbildungsstandard, Inflationsregulierung etc.). Daraufhin wurde die Strategie Nachhaltige Entwicklung 2008-2011^{3, 4, 5} verfasst, welche anschliessend evaluiert⁶ und in die Strategie Nachhaltige Entwicklung 2012-2015 überführt worden ist. Informationen sowie die detaillierte Strategie sind online beim Bund unter www.are.admin.ch/themen/nachhaltig verfügbar.

4.6.1.1 Nachhaltigkeit im Bauprozess

Die Nachhaltigkeit im Bauprozess beschränkt sich nicht nur auf einen einzelnen Bereich der zuvor aufgezeigten drei Bereiche. Auch das System Bauprozess muss in Hinblick der Nachhaltigkeit ganzheitlich betrachtet werden. Dies bedingt, da die Planungsfreiheit bei Projekten in der Startphase am grössten ist, dass die Aspekte des nachhaltigen Bauens möglichst frühzeitig hinzugezogen werden sollen. Dies ist im Bild 4-78 exemplarisch aufgezeigt. Zusätzlichen Entscheidungsspielraum könnte beispielsweise durch ein Zurückschreiten in eine frühere Projektphase geschaffen werden, was aber häufig zu Projektverzögerungen führt. Durch den frühzeitigen Einbezug der Nachhaltigkeit in den Planungsprozess kann gewährleistet werden, dass die Massnahmen optimal wirken und umgesetzt werden können.

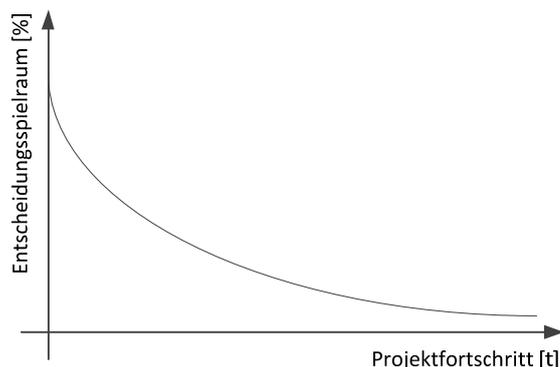


Bild 4-78: Entscheidungsspielraum im Projektfortschritt

Die Betrachtung der Nachhaltigkeit beschränkt sich nicht nur auf die Baurealisierung, sondern soll insbesondere auch für die Phase des Betriebs des Bauwerkes betrachtet werden. Meist entstehen in der Betriebsphase die grössten Auswirkungen auf unser

³ Schweizerischer Bundesrat: Strategie Nachhaltige Entwicklung: Leitlinien und Aktionsplan 2008-2011, Bericht vom 16. April 2008; Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Sektion Nachhaltige Entwicklung; Bern, 2008

⁴ Interdepartementaler Ausschuss Nachhaltige Entwicklung IDANE: Strategie Nachhaltige Entwicklung Leitlinien und Aktionsplan 2008-2011 – Zwischenbericht 2011 zum Stand der Umsetzung, Bericht vom 18. Juli 2011; Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Sektion Nachhaltige Entwicklung; Bern, 2011

⁵ Interdepartementaler Ausschuss Nachhaltige Entwicklung IDANE: Strategie Nachhaltige Entwicklung Leitlinien und Aktionsplan 2008-2011 – Technischer Teil: Massnahmenblätter, Bericht vom 18. Juli 2011; Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Sektion Nachhaltige Entwicklung; Bern, 2011

⁶ Bettina Rüegge, Susanne Stern, Nicole Noth, Thomas von Stokar: Evaluation Strategie Nachhaltige Entwicklung, Schlussbericht vom 07. Januar 2011; Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Sektion Nachhaltige Entwicklung; Bern, 2011

ökologisches, ökonomisches und soziales Umfeld, da diese oft mehrere Dutzende Jahre umfasst. Um den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes in Bezug auf die Nachhaltigkeit zu analysieren, sollten zudem noch allfällige Umnutzungen respektive der Rückbau betrachtet werden.

In den folgenden Unterkapiteln werden einige ausgesuchte Möglichkeiten der drei verschiedenen Bereiche vorgestellt wie ein nachhaltiger Baubetrieb ermöglicht werden kann. Die Phasen Betrieb, Instandsetzung, Umnutzung und Rückbau werden in den folgenden Unterkapiteln nicht betrachtet.

4.6.1.2 Ökologisch nachhaltige Baustelle

4.6.1.2.1 Energieeffizienz

Um einen ökologischen Baubetrieb zu ermöglichen stehen verschiedenste Möglichkeiten zur Verfügung. Insbesondere wird hier versucht die Energieeffizienz und somit den CO₂-Ausstoss zu verbessern.

Bei der Energieeffizienz kann überall angesetzt werden, wo Energie verbraucht wird, und dies ist bei sämtlichen Prozessen und Einrichtungen, welche während der Baurealisierung zum Einsatz kommen, der Fall:

- Baucontainer (Isolation, Beleuchtung etc.)
- Logistikeinrichtungen (LKW, Baukran, Baulift etc.)
- Erdbaugeräte (Bagger, Dumper etc.)
- Energieumwandlung und –bereitstellung (Druckluftherzeugung etc.)
- etc.

Allgemein kann hier der Grundsatz formuliert werden, dass darauf geachtet werden soll, dass möglichst moderne Gerätegenerationen eingesetzt werden sollen, welche allenfalls über entsprechende Gütesiegel verfügen.

Eine der neusten Entwicklungen ist beispielsweise der in Japan von der Firma Komatsu entwickelte Hydraulikbagger mit einem Hybridantrieb. Die Funktionsweise dieses Baggers ist im Bild 4-79 dargestellt.

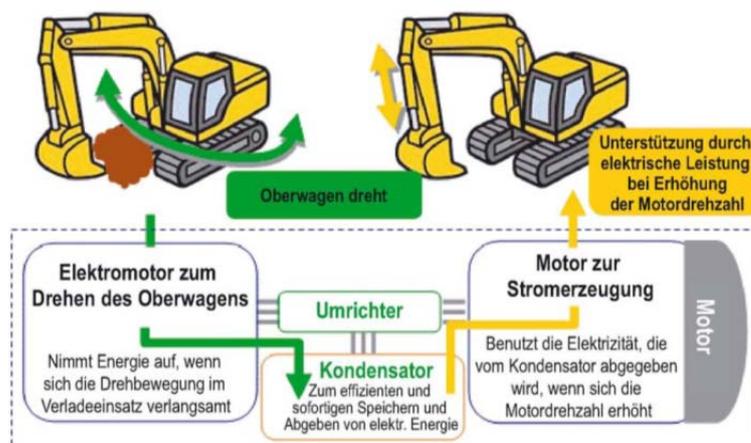


Bild 4-79: Konzept des Hybrid-System von Komatsu [Quelle: www.komatsu.eu]

Laut Komatsu kann mit dem Hybridsystem im Vergleich zum herkömmlichen Antrieb zwischen 30% und 40% an Energie gespart werden.

Zur weiteren Energieeffizienzgewinnung und/oder CO₂-Ausstossminimierung sind heutzutage auch LKW mit Erdgas-, Biogas- oder Biodieselmotoren im Einsatz.



Bild 4-80: LKW mit Kompogas/Erdgas-Motor / Biodiesel-Bautankstelle [Quelle: www.umweltarena.ch]

4.6.1.2.2 *Energiegewinnung*

Zusätzlich zur Verwendung von Energie effizienter Baustelleneinrichtung besteht auch die Möglichkeit im Baubetrieb selbst Energie zu gewinnen. Insbesondere sind hier die folgenden Möglichkeiten zu nennen:

- Voraberstellung von Erdwärmesonden für die Heizung der Baucontainer
- Energiegewinnung durch Solarpanel (beispielsweise auf Baucontainer)



Bild 4-81: Solarpanel auf Baucontainer [Quelle: www.umweltarena.ch]

- Energiegewinnung durch Windräder (beispielsweise auf Baukran)



Bild 4-82: Windrad auf Baukran [Quelle: www.umweltarena.ch]

Mit der heutigen Technologie kann aber durch Massnahmen oft nur ein eher geringer Anteil der notwendigen Baustellenenergie gewonnen werden, weshalb diese meist nur einen symbolischen Charakter haben.

Will man die Baustelle mit sauberem Strom versorgen, kann man diesen oft beim lokalen Energiewerk direkt einkaufen. Dies ist häufig auch günstiger, da die Energiewerke den CO₂ neutralen Strom in grösserem Stil produzieren und entsprechende Investitions- und Montagekosten auf der Baustelle nicht anfallen.

4.6.1.2.3 Optimierter Einsatz von Baumaterialien

Den Einsatz der Baumaterialien kann man grundsätzlich in drei verschiedenen Richtungen optimieren:

1. In Anbetracht der Menge an verwendetem Material
2. In Anbetracht der grauen Energie des Materials
3. In Anbetracht der Toxizität/Umweltschädlichkeit des Materials

Der erste Punkt ist die klassische Optimierungsmöglichkeit des Ingenieurs, es sollen möglichst schlanke und sparsame Strukturen erstellt werden sowie hochwertiges Baumaterial nicht sinnlos verbaut werden. Hier bestehen beispielsweise bei folgenden Punkten Optimierungsmöglichkeiten:

- Statische Optimierung des Tragwerkes
- Verwendung von hochfestem, schnellabbindendem Beton
- Verwendung von hochfesten Baustahl

Unter dem Begriff der grauen Energie versteht man die Energie, welche anfällt um das entsprechende Produkt aus den Rohstoffen zu gewinnen, transportieren, verarbeiten, montieren, betreiben und anschliessend wieder zu entsorgen oder zu recyceln.

Wird hier bei der Wahl der Baustoffe auf entsprechende Produkte geachtet, kann die Gesamtbilanz des CO₂-Ausstosses und Energieverbrauches beträchtlich gesenkt werden. Möglichkeiten bestehen hier insbesondere bei der Verwendung von Recyclingmaterialien oder bei der Berücksichtigung von lokalen Produktionsstätten:

- Recyclingbeton mit Zuschlägen aus Abbruchbeton (kann normalerweise nur für statisch schwach belastete Bauteile verwendet werden)
- Ökostahl aus recyceltem Altstahl
- Verwendung von Zement mit reduziertem Klinkeranteil, z.B. Hochofenzemente mit erhöhtem Hüttensandanteil (Die Klinkerproduktion benötigt einen enorm hohen Energieaufwand (graue Energie), der Zement „Optimo 4“ von Holcim ist beispielsweise vom Energieaufwand her optimiert)
- Verwendung von lokalen und zertifizierten Holzprodukten (z.B. vom Forest Stewardship Council – Arbeitsgruppe Schweiz (FSC-Schweiz))
- Kies aus lokalen Kiesgruben (Im schweizerischen Mittelland besteht eine sehr hohe Dichte an Kiesgruben, welche qualitativ hochwertige Zuschlagsstoffe sowie Sand & Kies zur Verfügung stellen können)

Im folgenden Bild 4-83 sind die Kiesgruben des Kanton Bern dargestellt.

**Grubenstandorte Mitglieder KSE Bern
und Stiftung Landschaft und Kies**
Stand 11.11.2009

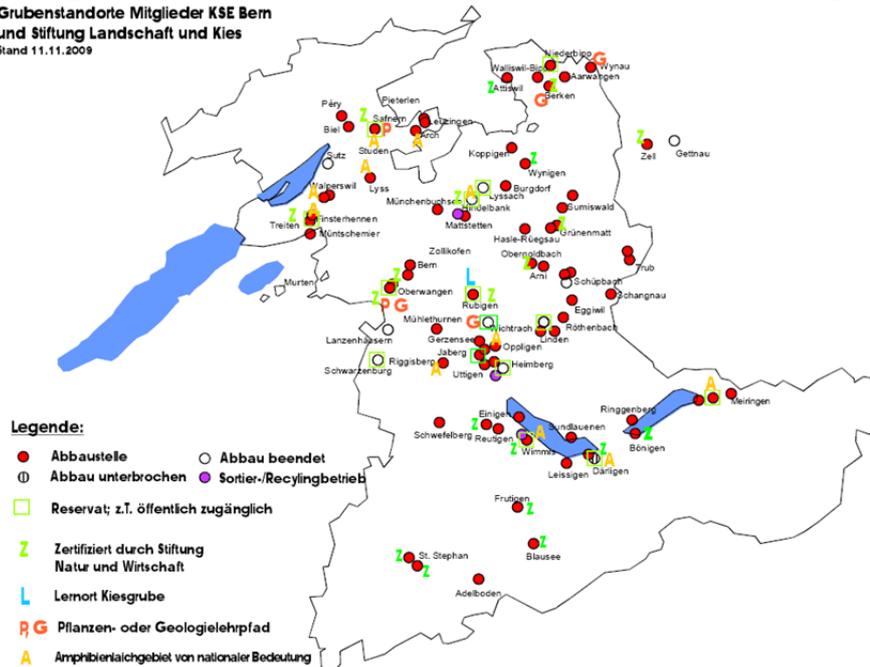


Bild 4-83: Überblick über Kiesgrubenstandorte im Kanton Bern [Quelle: www.landschaftundkies.ch]

Kann man die Baustelle trotz aller Massnahmen nicht auf das gewünschte Niveau des CO₂-Ausstosses bringen oder will einen CO₂ neutralen Baubetrieb erreichen, besteht zusätzlich noch die Möglichkeit des Zertifikathandels. Hierbei kann man bei Organisationen einen gewissen CO₂-Ausstoss kaufen, für welchen durch diese Organisation garantiert wird, dass er an einem anderen Ort eingespart wird. Dies wird oft beispielsweise durch Aufforstungen erreicht.

Bei der Umweltschädlichkeit der einzelnen Baumaterialien kann beispielsweise auf folgende Punkte geachtet werden:

- Kein Eintrag von löslichen Mittel in das Grundwasser (insbesondere bei Injektionen)
- Sparsame Verwendung von Zusatzmittel bei der Betonherstellung (Verflüssiger, Abbindebeschleuniger, Frostschutzmittel etc.)
- Verwendung von unbedenklichen Materialien für die Isolation, den Korrosionsschutz, den Witterungsschutz etc.

4.6.1.2.4 Allgemeiner Umweltschutz

Um einen nachhaltigen Baustellenbetrieb zu ermöglichen können auch noch weitere Massnahmen wie die Folgenden getroffen werden:

- Verwendung von Partikelfilter für die Reinhaltung der Luft (In der Schweiz gilt ein grundsätzliches SUVA-Obligatorium für Partikelfilter an nicht elektrisch betriebenen Baumaschinen ab einer gewissen Motorleistung und Einsatzdauer pro Tag)⁷
- Schutz der Landschaft bei der Einrichtung der Baustelle und der Errichtung von Baustrassen

⁷ Siehe www.suva.ch → Nachweis Obligatorium Partikelfilter – SuvaPro

- Wiederverwendung von Bauabfällen als Recyclingmaterial
- Einrichtung einer zentralen Bauentsorgung und Recyclingstelle mit einer Materialtrennung bei der Sammlung der Bauabfälle
- Fassung der Baustellenabwässer und Aufbereitung dieser
- Sanierung von bestehenden Altlasten und Vermeidung von zukünftigen Altlasten durch eine entsprechende Planung und Ausführung des Bauwerkes
- etc.

4.6.1.3 Ökonomisch nachhaltige Baustelle

Um eine nachhaltige Baustelle, im Vergleich zu herkömmlichen Baubetrieben, durchführen zu können, ist auf den ersten Blick oft ein finanzieller Mehraufwand notwendig. Um die Vorteile einer ökologisch verantwortungsvoll geführten Baustelle ökonomisch zu bewerten ist daher eine ganzheitliche Betrachtung notwendig:

- Durch eine exakte Energiebedarfsbestimmung, optimierten Energieverbrauch und Vermeidung von Lastspitzen kann eine adäquate Baustelleninfrastruktur für die Energiebereitstellung installiert werden. Dies führt zu geringeren Inventarkosten auf der Baustelle.
- Kostensenkung durch eine optimierte Materiallogistik (Vermeidung von Lehrfahrten, langen Wartezeiten etc.)
- Geringere Energiekosten, durch effizientere und sparsamere Motoren/Einrichtungen bei den Leistungsgeräten

Im folgenden Bild 4-84 ist beispielsweise der verminderte Energieeinsatz am Bagger Komatsu PC200-8 dargestellt.

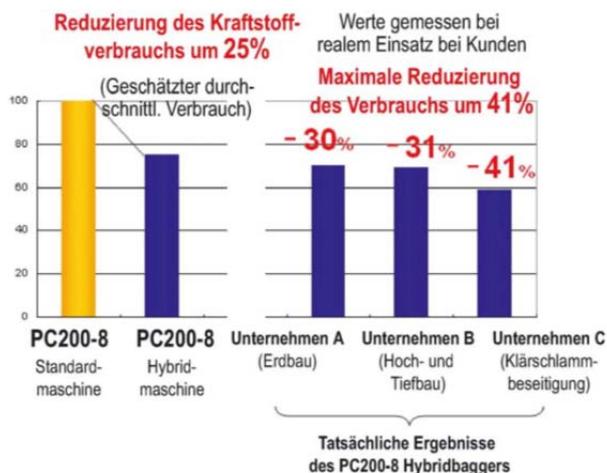


Bild 4-84: Energieeinsparung durch Hybridantrieb am Beispiel des Baggers Komatsu PC200-8 [Quelle: Komatsu Europe International N.V.]

- Durch eine effiziente Baustelleneinrichtung und speditive Bauverfahren können Projektverzögerungen vermieden werden und zudem hat die umliegende Bevölkerung geringere Staub-, Lärm- und Verkehrsbelastungen zu ertragen.
- Das erstellte Bauwerk erhöht seinen Marktwert, wenn nachweislich (Zertifizierung) nachhaltige Bauverfahren eingesetzt wurden.

- Konstruktionen, die eine einfache und getrennte Erneuerung der Komponenten sowie eine einfache Materialtrennung ermöglichen, können die Umbau-, Instandsetzungs- und Rückbaukosten erheblich reduzieren.
- Durch den Einsatz von umwelttechnischen unbedenklicheren Materialien können bei einem zukünftigen Rückbau die Abbruch- und Entsorgungskosten sowie die Umweltbelastungen gesenkt werden.

4.6.1.4 Sozial nachhaltige Baustelle

Bei den sozial nachhaltigen Massnahmen für den Baubetrieb ist zwischen externen und internen sozialen Nachhaltigkeitsmassnahmen zu unterscheiden. Unter der externen sozialen Nachhaltigkeit kann man die Baustellenschutzmassnahmen für die betroffene Bevölkerung zusammenfassen. Die interne soziale Nachhaltigkeit betrifft den Baubetrieb mit den beschäftigten Unternehmungen selbst. Die interne soziale Nachhaltigkeit ist sehr eng mit der Personalpolitik der Unternehmungen verknüpft.

Massnahmen zur Sicherstellung eines extern sozial nachhaltigen Baubetriebs sind beispielsweise folgende:

- Bau von Lärm- und Staubschutzwänden um die Anlieger vor unerwünschten Emissionen zu schützen, aber auch um die Bevölkerung vor Unfällen durch den Baubetrieb zu schützen.



Bild 4-85: Lärm- und Staubschutzwand um den Voreinschnitt Ost beim Bau des Hausmatt-Tunnel in Olten [Quelle: Bau- und Justizdepartement des Kanton Solothurn]

- Logistikoptimierung um Verkehrsbehinderungen und Lärmemissionen zu minimieren, dies entlastet primär die Anlieger der Baustelle, sowie die Verkehrsteilnehmer der betroffenen Verkehrssysteme und -netze. Zu beachten sind hier die direkten Anwohner, Gewerbebetriebe (Büro, Industrie, Logistikbetriebe etc.), öffentliche Einrichtungen (Parkanlagen, Schulen etc.) und auch Nachbarbaustellen. Die Minimierung des Bauverkehrs ist insbesondere bei innerstädtischen Baustellen ein wichtiges Anliegen, da häufig die Zufahrt zur Baustelle beschränkt und mit einem gestörten Verkehrsfluss zu rechnen ist.
- Einrichtung einer zentralen Kommunikationsstelle um Anlieger und Interessierte über den Baufortschritt und zukünftige Beeinträchtigungen zu informieren. Über diese Kommunikationsstellen können Baustellenführungen, Vorträge, Flyer, Informationsveranstaltungen etc. organisiert und koordiniert durchgeführt werden.

- Dokumentierung und seriöse Archivierung der Pläne des ausgeführten Bauwerkes um zukünftigen Generationen die Instandsetzungsarbeiten, Altlastsanierungen, Umnutzungen etc. zu erleichtern.

Während bei der externen sozialen Nachhaltigkeit hauptsächlich die Anlieger geschützt werden, sind bei der internen sozialen Nachhaltigkeit die Baustellenmitarbeiter selbst betroffen. Hier stehen beispielsweise folgende Massnahmen zur Verfügung:

- Sicherstellung der Sicherheit auf der Baustelle durch das Einhalten der SUVA-Richtlinien und sonstigen gesetzlichen Auflagen, wie beispielsweise:
 - Absturzsicherungen, Gerüste
 - Tragen von Sicherheitskleidung und Sicherheitsausrüstung
 - Alarm- und Rettungsmassnahmen
 - Sicherheitsschulungen
 - etc.

Allgemein können diese Massnahmen als SiGe-Plan (Sicherheits- und Gesundheitsplan) zusammengefasst werden.

Detailliert sind die Sicherheitsmassnahmen im Kapitel 15 dieses Skriptes beschrieben.

- Mitarbeiter mit einem Gesamtarbeitsvertrag einstellen, sozial verträgliche Arbeitsbedingungen einhalten (Entlohnung, Ferienanspruch, Überstundenentschädigungen etc.) und die Arbeitsplatzsicherheit gewährleisten.
- etc.

4.6.2 Instrumente für einen nachhaltigen Bauprozess

Um die Nachhaltigkeit während der Baurealisierung gewährleisten zu können stehen die verschiedensten Planungs-, Zertifizierungs- und Hilfsmittel zur Verfügung. Die wichtigsten sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 4-10: Hilfsmittel für die Planung eines nachhaltigen Baubetriebes und Bauwerkes

Hilfsmittel	Einsatz	Bauphase	Nutzen
Albatros	Beurteilung der Nachhaltigkeit	Während der strategischen Planung	Ermöglicht eine Gesamtsicht aller beteiligten Punkte und Aspekte
SNARC	Beurteilung der Nachhaltigkeit von Architekturwettbewerben	Konzept Phase	Beurteilungsmethode → nachvollziehbare Aussagen zu gewählten Kriterien
SIA 112/1 & 112/2	Nachhaltiges Bauen mit definierten Leistungen zu den Themen Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt	Ab der strategischen Planung	Die Themen sind vordefiniert und klar strukturiert → vollständige Optik des Projekts möglich

eBKP-Merkblätter	Zur Auswahl der Bauprodukte	Ab Vorstudien	Für die Grobplanung hilfreich → für die Grobauswahl der Produkte
eco-devis	Zur Unterstützung der eBKP-Merkblätter	Ab Vorstudien	Direkte Vergleiche mit anderen Produkten
Baubio Datenbank (SIB)	Insbesondere für die Analyse und das Vergleichen von Stoffen und Produkten	Während Projektierung und Ausführung	Quellengestützte Daten mit gleicher Datenerhebung - Vergleichen von Produkten in Bezug auf diverse Aspekte (Energie, Technik etc.)
ecoinvent	Grundlageninstrument zum Erstellen von Ökobilanzen	Alle Phasen	Datenbank
Deklarationen SIA 493	Beim Analysieren und Vergleichen von Produkten	Ab Projektierung	Ermöglicht einen Vergleich mit anderen Produkten, sozusagen die ökologische Visitenkarte eines Produktes
KBOB Empfehlungen	Empfehlung zu diversen Themen	Ab Vorstudien	Wegweiser bei verschiedenen Themen
MINERGIE-ECO®	Planungshilfe für ein nachhaltiges Bauwerk mit anschließender Zertifizierung	Ab Vorstudien	Einheitliche Zertifizierung eines nachhaltigen Bauprozesses und Baute inkl. Bauökologie

4.6.3 Beispiele

Die Nachhaltigkeit während der Baurealisierung gewinnt immer mehr an Bedeutung, dies sieht man auch daran, dass sich immer mehr Firmen der Philosophie der Nachhaltigkeit zuwenden. Auch bei den Bauherren ist die Nachfrage nach nachhaltigen Lösungen am steigen.

In den folgenden Unterkapiteln sollen nachhaltige Lösungen an ausgesuchten Praxisbeispielen auf Baustellen und in Unternehmungen aufgezeigt werden.

4.6.3.1 Baustellen

4.6.3.1.1 Umweltarena Spreitenbach – Die erste CO₂-neutrale Baustelle



Bild 4-86: Visualisierung Umweltarena Spreitenbach [Quelle: www.umweltarena.ch, 13.10.2011]

Im Frühjahr 2010 wurde mit dem Bau der Umweltarena Spreitenbach begonnen. Auf über 10'000m² soll ein Kompetenzzentrum für Umweltfragen entstehen. Es sind Dauer- und Wechselausstellung zum Thema Umwelt geplant.

Das ehrgeizige Vorhaben soll nicht nur die erste CO₂-neutrale Baustelle der Welt sein, auch in Sachen Betrieb soll das Gebäude, laut dem Bauherrn und Bauunternehmer Walter Schmid, neue Massstäbe setzen.

Konkret wurden auf der Baustelle die folgenden Massnahmen umgesetzt um einen umweltfreundlichen Baubetrieb erreichen zu können:

- Lastwagen werden mit Kompogas/Naturgas oder Biodiesel betrieben (siehe Bild 4-80)
- Die rund 80'000m³ Aushub wurden möglichst wieder als Zuschlagsstoff für den Beton verwendet (Aufbereitung in einem Betonwerk in Dietikon)
- Baustromproduktion mit einem Windrad auf dem Baukran und Solarzellen auf den Baucontainern (siehe Bild 4-81 und Bild 4-82)
- Einkauf von CO₂-neutralem Strom bei den Stromwerken
- Einsatz von CO₂ reduziertem Zement (Optimo 4 von Holcim)
- Einsatz von Recyclingkies aus Betonabbrüchen und Strassenkoffern für Sauberkeitsschichten und gering belastete Bauteile
- Einsatz von Öko-Stahl (Recyclingstahl aus Stahlschrott)
- Kompensierung des restlichen CO₂-Ausstossen mittels Zertifikaten

4.6.3.1.2 *Gotthard-Basistunnel – Recycling von Bauschlamm*⁸

Beim Tunnelvortrieb mittels Sprengvortrieb (SPV) oder mittels Tunnelbohrmaschine (TBM) fällt Bauwasser an. Dies setzt sich aus Bergwasser und aus dem zur Staubbekämpfung eingesetztem Brauchwasser zusammen. Dieses Bauwasser durchmischt sich mit dem Baustaub (Vom Spritzbeton, Ausbruch etc.), den Abgasen der Motoren und auch den Gebirgs gasen. Teils ist das Bergwasser zudem zusätzlich vorbelastet durch das Gestein des Gebirges.

Bevor dieses bei der Baustelle des Gotthard-Basistunnels anfallende Wasser in einen Vorfluter geleitet, versickert oder in eine kommunale Abwasserreinigungsanlage geleitet werden konnte, musste es aufbereitet werden. Diese Aufbereitung umfasste eine Kühlung, Neutralisation, Absetzung von Schwebestoffen und teilweise auch eine weitere umfassende chemische Behandlung. Die Schlämme aus den Absetzbecken der Aufbereitung wurden vor der Entsorgung mit den Schlämmen aus den vorgeschalteten Absetzbecken im Tunnel vermischt und mittels Pressen entwässert. Insgesamt fielen so 127'000t Tunnelabwasseraufbereitungs-Schlämme (TWAB-Schlämme) an.

Bei der Aufbereitung des Ausbruchmaterials (Fels) mittels Brechen, Waschen und Sieben wurde dieses zu Betonzuschlagsstoffe für die Tunnelbaustelle aufbereitet. Bei diesen Prozessen fielen rund 11-15% des aufbereiteten Rohmaterials wieder als Schlammrückstand an. Auch dieses wurde wieder mittels Pressen entwässert. Diese Materialaufbereitungs-Schlämme (MAB-Schlämme) kommen insgesamt auf eine Menge von rund 940'000t.

Diese Bauschlämme waren teilweise sehr stark mit Kohlenwasserstoffe, Nitraten und Chromat belastet und hätten somit in Deponien eingelagert werden müssen. Teilweise war die Belastung aber sogar für Inertstoffdeponien zu hoch, so dass andere Lösungen gefunden werden mussten (z.B. Einlagerung in Reaktordeponie). Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Belastung der TWAB-Schlämme im Vergleich zu den MAB-Schlämmen viel höher war, und dass die Schlämme aus dem SPV die höheren Belastungswerte als diejenigen aus dem TBM-Vortrieb aufwiesen. Der Schwankungsbereich war aber sehr hoch, wodurch ein flexibles Weiterverarbeitungs- oder Entsorgungssystem gefunden werden musste.

Im Bild 4-87 ist eine Übersicht über die angefallene Menge an Bauschlamm an den einzelnen Zwischenangriffen abgebildet. In der Tabelle 4-11 sind die angetroffenen Belastungswerte der Schlämme sowie die verschiedenen Grenzwerte der einzelnen Richtlinien aufgeführt.

⁸ Quelle: AlpTransit Gotthard AG

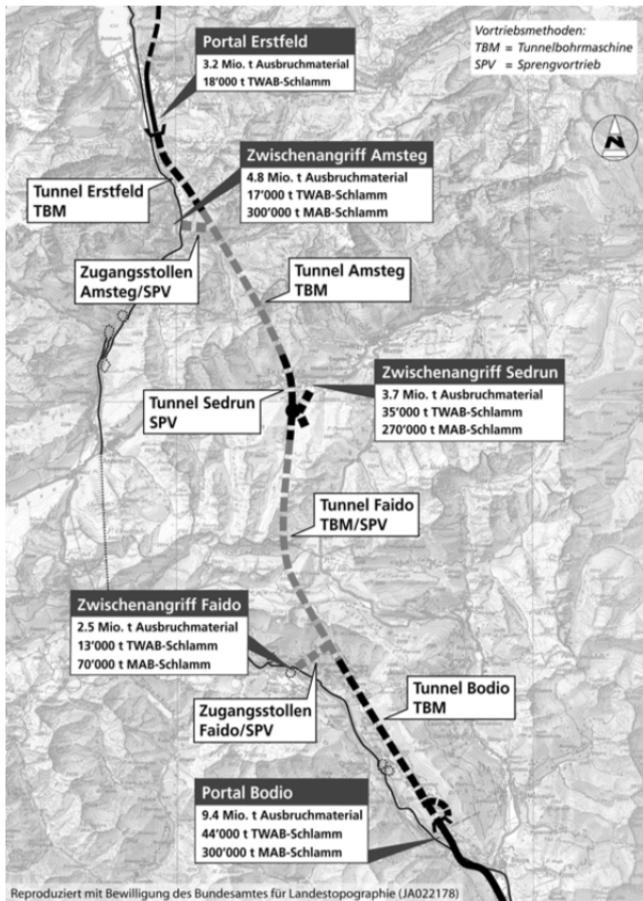


Bild 4-87: Übersicht über den Bauschlammfall beim GBT

Tabelle 4-11: Angetroffene Belastungswerte der Bauschlämme

	Kohlenwasserstoffe⁹	Chrom VI	Nitrit	pH
Gemessene Werte				
TWAB-Schlämme	500-10'000 mg/kg TS	> 0.1 mg/l	0-5 mg/l	-
MAB-Schlämme	300-1'000 mg/kg TS	0.01-0.1 mg/l	1-10 mg/l	-
Grenzwerte				
Grenzwert TVA¹⁰ für Eluat				
- Inertstoff	0.5 mg/l	0.01 mg/l	0.1 mg/l	6-12
- Reststoff	5 mg/l	0.1 mg/l	1 mg/l	6-12
Richtwert Aushubrichtlinie				
- U-Wert (unverschmutzt)	50 mg/kg TS	0.05 mg/kg TS	-	-
- T-Wert (tolerierbar)	250 mg/kg TS	0.05 mg/kg TS	-	-
Empfehlung BUWAL¹¹	500 mg/kg TS	-	-	-

⁹ Aliphatische Kohlenwasserstoffe > C10

¹⁰ Technische Verordnung über Abfälle

¹¹ Abfälle auf Inertstoffdeponien, Empfehlung BUWAL, 2000

Um diese hochbelasteten Schlämme möglichst kostengünstig und umweltgerecht entsorgen zu können wurden die entsprechenden Leistungen ausgeschrieben um die ideale Strategie für die Schlämme zu evaluieren. Dabei gingen Offerten ein, in welchen die folgenden Behandlungsmassnahmen angeboten wurden:

1. Die Schlämme als Rohmaterialersatz in der Ziegeleiproduktion
2. Die Schlämme als Rohmaterialersatz in der Zementproduktion
3. Thermische Behandlung der Schlämme zur Schadstoffelimination mit anschliessender Ablagerung
4. Vakuumthermische Behandlung der Schlämme zur Schadstoffelimination mit anschliessender Ablagerung
5. Biologisch-/chemische Behandlung der Schlämme mit anschliessender Verwertung als Rohmehlersatz bzw. Ablagerung

Der Zuschlag für die Verwertung bekam schliesslich eine Unternehmung in der Nordschweiz, welche die Bauschlämme in der Zement- und Ziegeleiproduktion als Rohmaterialersatz verwenden konnte. Durch die thermische Behandlung beim Brennvorgang konnte die Belastung der Schlämme auf Inertstoff-Qualität gesenkt werden und somit eine weitere Verwendung als Rohmaterial für die Ziegel- und Zementindustrie gewährleistet werden. Somit lieferte die beim Gotthard-Basistunnel angewandte Methode einen wichtigen Beitrag zur Schonung von natürlichen Ressourcen und setzte einen geschlossenen Baustoffkreislauf um. Zudem wurden teure Deponievolumen geschont. Der Nachteil dieses Verfahrens ist aber, dass eine regelmässige und strenge Qualitätskontrolle notwendig ist, um sicherzustellen, dass keine etwaigen Belastungen in zukünftige Bauwerke eingebaut werden.

Zusätzlich kann zu dieser Thematik auch noch angemerkt werden, dass im Untertagebau immer häufiger zur Produktivitätssteigerung neue Hilfsstoffe eingesetzt werden, um beispielsweise den Boden zu konditionieren. Die Wirkung dieser Polymere, Tenside, Spezialzemente etc. auf die Schlammqualität ist aber häufig unbekannt. Es muss daher vor dem Einsatz solcher Mittel abgeklärt werden, welche möglichen Folgen und Kosten aus der Beseitigung allfälliger Rückstände und Entsorgung entstehender Sonderabfälle entstehen können. Es sollten somit, wie in der gesamten Diskussion um die Nachhaltigkeit, auch diese Zusammenhänge ganzheitlich betrachtet werden.

4.6.3.2 Unternehmungen

Ein moderner Unternehmensansatz besteht in der nachhaltigen Unternehmensführung, somit müssen sich nicht nur einzelne Baustellen sich einem nachhaltigen Bauprozess verschreiben. Oft ist es auch der Fall, dass Bauunternehmungen ihre Abläufe und Prozesse im Sinne der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit optimieren. Anbei eine beispielhafte Aufführung von einzelnen Unternehmungen, welche einen Schritt zur Nachhaltigkeit unternommen haben.

4.6.3.2.1 *Max Bögl Bauservice GmbH (D) – Energiemanagement in der Baubranche*

Die Max Bögl Bauservice GmbH hat nach eigenen Angaben eine Auslage von rund 150'000 € für natürliche Ressourcen, und dies pro Tag! Als den Verantwortlichen diese Summe bewusst wurde, haben sie sich entschieden ein Energiekonzept zu erstellen und diese Auslagen zu optimieren, sprich zu minimieren.

Im Bild 4-88 ist der Energiemix dieser natürlichen Ressourcen aufgeführt. Dabei fällt sofort auf, dass der grösste Teil (66%) für Kraftstoffe aufgebraucht werden, also für den Betrieb der rund 2'600 Fahrzeug starken Flotte.

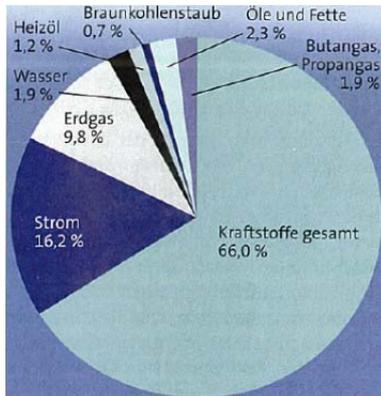


Bild 4-88: Verbrauchsmix der natürlichen Ressourcen der Max Bögl Bauservice GmbH [Quelle: [21]]

Diese Optimierung hat dann zu folgenden Massnahmen geführt:

- Transporte über längere Strecken werden möglichst per Bahn und nicht via LKW durchgeführt



Bild 4-89: Versand eines Trägers via Bahn [Quelle: [21]]

- Falls Bahntransport nicht möglich, soll auch ein Versand via Schiff geprüft werden (z.B. für Brückenträger)



Bild 4-90: Verlad eines Brückenträgers für den anschliessenden Versand mittels Binnenschiff [Quelle: [21]]

- Anlieferung der Baustelle sollen routen- und zeitoptimiert werden, wodurch Logistikkapazität eingespart werden kann (z.B. durch ein Just-in-Time-Management)

- Einbau eines Energie-Controllingsystems in die Fahrzeuge um den Energieverbrauch aufzuzeichnen.
 - Aufzeichnung der folgenden Informationen
 - Kraftstoffverbrauch pro Zeiteinheit
 - Beschleunigungswerte
 - Drehzahl des Motors
 - Mittels diesen Werten kann die Fahrweise bewertet und die Fahrer können dann in entsprechenden Schulungen auf eine sparsamere und effizientere Fahrweise hingewiesen und geschult werden
 - Der Fahrer kann seine Daten jederzeit online einsehen und so seinen eigenen Fahrstil überprüfen, was einem Ansatz zur Selbstkontrolle und Motivation entspricht.

4.6.3.2.2 *Eberhard AG – CO₂-neutrale Baudienstleistungen*

Die Eberhard AG, eine der führenden Bauunternehmungen in der Schweiz, ist nach eigenen Aussagen stets darum bemüht, ihre Leistungen möglichst ohne Umweltauswirkung zu erbringen. Da dies in den Sparten Erdbau, Rückbau, Baugruben, Baustoffe, Baustoff-Recycling und Altlastsanierungen aber trotz eines optimierten Logistikkonzeptes und Schulungen im sparsamen Fahren, nicht immer möglich ist, hat sich die Eberhard AG dazu entschlossen ihren firmeninternen Carbon Footprint zu berechnen und die anfallende CO₂-Menge zu kompensieren.

Untersucht wurden die Firmenbereiche Eberhard Bau AG, Eberhard Recycling AG, Ebiox AG, Weichacher Kies AG und Porphywerk Detzeln GmbH in den Bereichen Bau, Baustoffe, Altlastensanierung und Logistik. Jedoch wurde nur der firmeninterne CO₂-Ausstoss berücksichtigt und die vorgelagerten Emissionen, welche durch die Herstellung der Geräte, die Raffinerie des Diesels etc. anfallen, wurden nicht angerechnet.

Seit dem Jahr 2010 kompensiert nun die Firma Eberhard AG ihren nicht vermeidbaren CO₂-Ausstoss von rund 13'000t pro Jahr mit der Stiftung SENS-International, welche mit der Swiss Climate Protection Initiative (SCPI) eine Recyclinganlage für Kühlgeräte in Brasilien betreibt.

4.6.3.2.3 *Holcim (Schweiz) AG – Die Firma mit der Nachhaltigkeits-Charta*

Die Holcim (Schweiz) AG ist eine Tochtergesellschaft der weltweit tätigen Holcim Ltd. und bildete sich aus einem Zusammenschluss mehrerer selbstständiger Kies- und Zementproduzenten in der Schweiz. Die Schwerpunkte der Holcim (Schweiz) AG sind Zement, Kies und Beton. Nach den eigenen Angaben hat die nachhaltige Entwicklung der Firma eine besondere Bedeutung. Dies drückt sich beispielsweise dadurch aus, dass die Holcim (Schweiz) AG eine Nachhaltigkeits-Charta verfasst hat, welche von der Länderleitung unterschrieben worden ist. Im Bild 4-91 ist diese abgebildet.

Der Grundgedanke dieser Charta ist, dass sich das Unternehmen zu einer ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit verpflichtet und ihre Mitarbeiter darauf sensibilisiert. Zudem werden die getroffenen Massnahmen regelmässig überprüft und die Ergebnisse sowie auch die Massnahmen aktiv nach aussen kommuniziert. Der Nachhaltigkeitsbericht 2008-2010 kann auf der Holcim Homepage kostenlos als Download bezogen werden (<http://www.holcim.ch/de/nachhaltige-entwicklung.html>).



Bild 4-91: Nachhaltigkeits-Charte der Holcim (Schweiz) AG [Quelle: www.holcim.ch, 13.10.2011]

4.6.3.2.4 Ernst Schweizer AG – Nachhaltige Unternehmensführung und die Übernahme von sozialer Verantwortung¹²

Die Ernst Schweizer AG ist ein in der Schweiz führendes Metallbauunternehmen in Familienbesitz. Das Unternehmen wurde 1920 gegründet und bereits in der ersten Fassung des Unternehmensleitbildes aus dem Jahr 1978 wurden klare Grundsätze zu den Leistungen für die Kunden, zu umweltgerechten Herstellverfahren und Produkten, zum Zusammenwirken mit den Mitarbeitern und der Gesellschaft sowie zur Wirtschaftlichkeit des Unternehmens verfasst.

¹² Quelle: Ernst Schweizer AG (www.schweizer-metallbau.ch, 17.10.2011)

Das Verantwortungsprinzip für eine nachhaltige Unternehmensführung, die bei sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen Entscheidungskriterien ansetzt, war somit schon immer im Betrieb verankert. Es wurde aber ständig versucht dieses Prinzip noch stärker zu verankern und auszuweiten. Beispielsweise wurde die Sustainability Balanced Score Card (SBSC) eingeführt. Die Balanced Score Card (BSC) ist ein Instrument für die strategische Geschäftsführung. Mit Hilfe der BSC können aus der Strategie messbare Ziele, Kennzahlen, Vorgaben und Massnahmen abgeleitet werden. Die konventionellen Perspektiven, welche mittels einer BSC betrachtet werden, sind: Finanzen, Kunden, interne Prozesse und Entwicklung. Mit der SBSC werden nun noch zusätzlich die 3 Säulen der Nachhaltigkeit in die konventionelle BSC integriert. Die Ernst Schweizer AG versucht mit der SBSC sich in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen zu verbessern und dadurch starke unternehmerische Nachhaltigkeitsbeiträge zu erreichen. Weiter sind seit dem Jahr 1996 die Prozesse der Ernst Schweizer AG nach der Qualitätsmanagement Norm ISO 9001 und der Umweltmanagement-Norm ISO 14001 zertifiziert.



Bild 4-92: Zertifizierung nach ISO 9001 und ISO 14001

Auf dieser organisatorischen Grundlage werden die Unternehmenswerte der Nachhaltigkeit durch die folgenden Prinzipien umgesetzt:

- Vermeidungsprinzip: weniger Energie und Abfall
- Kreislaufprinzip: möglichst nur recycelte Metalle verwenden
- Nutzenprinzip: ökologischer, wirtschaftlicher Nutzen für den Kunden

Weitere Schritte der Unternehmensführung in Richtung Nachhaltigkeit waren, dass in der gesamten Unternehmung die vier Schweizer Erfolgspunkte (SEP) eingeführt worden sind. Diese sind im folgenden Bild 4-93 dargestellt. Um die Nachhaltigkeit auch in der Produktkette (Supply Chain) gewährleisten zu können werden die SEP mittels Fragebogen auch bei den Lieferanten abgefragt. Bei wichtigen Zulieferern werden zudem teilweise auch Werkbesuche durchgeführt um hier einen Kontrollmechanismus zu haben.

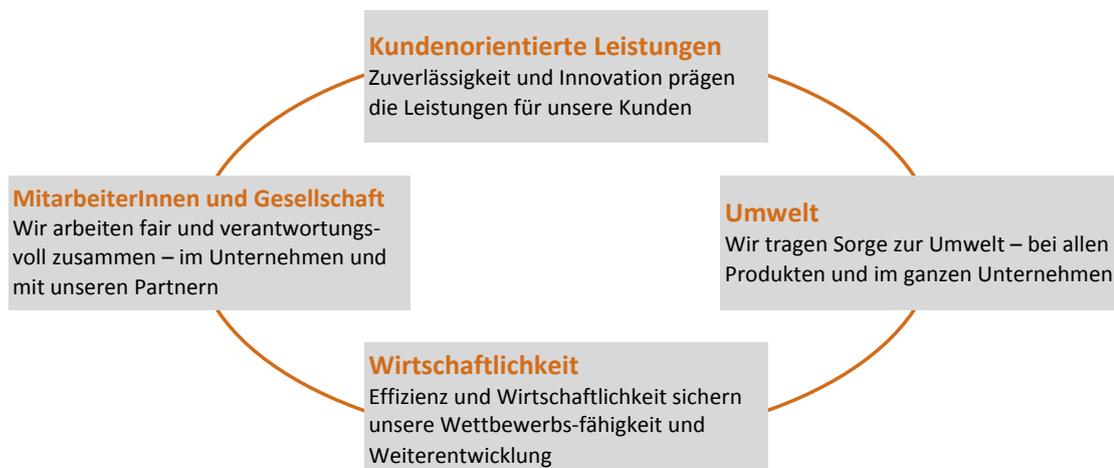


Bild 4-93: Die vier Schweizer Erfolgspunkte (SEP) [Quelle: Ernst Schweizer AG]

Die Ernst Schweizer AG nimmt ihre soziale Verantwortung wahr, indem die Firma eine grosse Zahl von Lehrstellen anbietet, Teilzeitbeschäftigung für Mütter oder Väter ermöglicht und jede Diskriminierung verbietet. Dieses Prinzip der sozialen Verantwortung zeigt sich aber auch dadurch, dass das Unternehmen in diversen Projekten aktiv beteiligt ist. Diese reichen von Forschungstätigkeiten über eine Beteiligung an sozialen Projekten bis hin zur Unterstützung von kulturellen und gesellschaftlichen Organisationen.

Beispielsweise werden folgende Forschungsprojekte unterstützt:

- CircoSolar – Entwicklung eines Direkteinspeisemodules für die Warmwassererzeugung aus Solarenergie. Mit diesem System kann mit Solarenergie mit möglichst geringen Wärmeverlusten Wasser erhitzt werden. Dies wird erreicht mittels eines Systems ohne Vor- und Rücklaufleitungen.



Bild 4-94: Solaranlage für die Warmwasseraufbereitung [Quelle: www.schweizer-metallbau.ch]

- Mit dem Projekt REFRAME beteiligte sich Ernst Schweizer AG an einem europäischen Forschungsprojekt für hochisolierte Fenster. Unter Berücksichtigung ästhetischer und wärmedämmtechnischer Ansprüchen soll ein optimaler Fensterrahmen konzipiert werden. Dabei ist die Ernst Schweizer AG verantwortlich für die Entwicklung und den Bau sowie die Tests der Prototypen. Informationen zum Projekt sind unter www.eu-reframe.net verfügbar.

Die soziale Verantwortung, welche die Ernst Schweizer AG übernimmt, zeigt sich zudem auch durch die Unterstützung der folgenden Organisationen:

- FEDINA – Eine Entwicklungsorganisation in Südindien, die den Ärmsten der indischen Gesellschaft Ausbildung und Förderung zur Selbsthilfe bietet.
 - ADES – Herstellung und kostengünstiger Vertrieb von Solarkochern in Madagaskar
- Oder auch Institutionen, welche sich der Forschung und/oder der Kunst gewidmet zugeschrieben haben, werden von der Ernst Schweizer AG unterstützt:
- Haus Konstruktiv – Einzige Institution in der Schweiz, welche sich der inhaltlichen und geschichtlichen Aufarbeitung der konkreten, konstruktiven und konzeptuellen Kunst zugewandt hat
 - Institut gta – Institut für Geschichte und Theorie der Architektur der ETH Zürich
 - ETH House of Science – Hochmodernes Zentrum für die Wissenschaft in Bamiyan, Afghanistan
 - oikos Stiftung – Die oikos Stiftung setzt sich für die Nachhaltigkeitsausbildung des internationalen wirtschaftswissenschaftlichen Nachwuchses ein

Literaturverzeichnis

- [1] Drees G., Reiff K.: Die Baustelleneinrichtung – Entwurf – Planung – Beispiele. Werner Verlag, Düsseldorf 1977.
- [2] N.N.: BGL Baugeräteliste 2001: Technisch-wirtschaftliche Baumaschinendaten. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, Bauverlag Wiesbaden, 2001.
- [3] N.N.: Standard-Analysen SBV ST-WIN Hochbau 2001 (Betrachtungsprogramm mit Datenbank), SBV, Zürich, 2001.
- [4] Heuer H., Gubany J., Hinrichsen G.: Baumaschinen-Taschenbuch – Ratgeber für die Baupraxis. Bauverlag, 1994.
- [5] N.N.: Bundesgesetz über explosionsgefährliche Stoffe – Sprengstoffgesetz. Der Schweizerische Bundesrat, 2000.
- [6] Conducta AG Winterthur, Produktinformation.
- [7] Böttcher P., Neuenhagen H.: Baustelleneinrichtung, Betriebliche Organisation – Geräte – Kosten – Checklisten. Bauverlag, 1997.
- [8] Simons H., Kolbe P.: Verfahrenstechnik im Ortbetonbau: Schalen – Bewehren – Betonieren. Teubner Verlag Stuttgart 1987.
- [9] Peddinghaus Produktinformation. Bild aus: Heuer H., Gubany J., Hinrichsen G.: Baumaschinentaschenbuch – Ratgeber für die Baupraxis, Bauverlag, 1994.
- [10] Rieckenberg, F.: Strassenabspernungen bei Arbeiten auf öffentlichen Strassen. Vereinigung der Strassenbau- und Strassenverkehrsingenieure in Niedersachsen e.V., Allgemeiner Deutscher Automobilclub (ADAC) Niedersachsen, Verband der Bauindustrie Niedersachsen e.V., Verband industrieller Bauunternehmungen des Weser-Ems-Gebiets e.V., Baugewerbeverband Niedersachsen, Hannover 1968.
- [11] Drees, G., Sommer, H., Eckert, G.: Zweckmässiger Einsatz von Turmdrehkränen im Hochbau. In: BMT 12, 1980, S. 822-843.
- [12] Seeling, R.: Die Kranbemessung im Hochbau unter besonderer Berücksichtigung des Warteschlangenansatzes. In: BMT 3, 1981, S. 118-124.
- [13] Liebherr-Werk Biberach GmbH, Produktinformation.
- [14] Fleischmann, H.D.: Bauorganisation, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- [15] Girmscheid, G.: Leistungsermittlung für Baumaschinen und Bauprozesse. Springer/vdf, Berlin, Zürich, 2005
- [16] Blecken, U.; Boenert, L.; Blömeke, M.: Studie zur Akzeptanz einer Dienstleistung Logistik in der Bauindustrie. Universität Dortmund, Lehrstuhl Baubetrieb, 2001.
- [17] Loschert, P.: Terminmanagement im schlüsselfertigen Hochbau. Diss., Techn. Univ. Darmstadt, 1999.
- [18] Weber, M.: Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre. J.C.B. Mohr, Tübingen, 1968

- [19] DEZA/ARE: Die Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz: Methodische Grundlagen, 2004
- [20] <http://www.are.admin.ch/themen/nachhaltig/00262/00528/index.html?lang=de>
11. Oktober 2011
- [21] Guttenberger, P.: Energieeffizienz in der Baubranche. In: BauPortal, September 2011, Ausgabe 9, S. 30-35
- [22] Eberhard AG, Firmenbroschüre: CO₂-neutral
http://www.eberhard.ch/dnl/125_1050_Eberhard_CO2_Info_4072011.pdf
- [23] Hahn, T., Wagner, M.: Sustainability Balanced Scorecard – Von der Theorie zur Umsetzung, Universität Lüneburg, Lehrstuhl für Umweltmanagement, Lüneburg, 2001

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 5: Bauproduktionsprozess – Lean Construction – Arbeitsplanung auf der Baustelle

Inhaltsverzeichnis

5	Bauproduktionsprozess – Lean Construction – Arbeitsplanung auf der Baustelle	263
5.1	Lean Construction – Wochenarbeitsprogramm	263
5.1.1	Rohbauphase	265
5.1.2	Ausbauphase.....	276
5.1.3	Beispiel: Wochen- und Tagesfliessprogramm – Gesamtinstallation der Ausbau-Job-Pakete	280
5.2	Geräte- und Materialabruf.....	294
5.3	Organisation des Bauablaufs, der Baumethoden und der Arbeitssicherheit	295
5.4	Baustellencontrollingprozess	296
5.4.1	Leistungsvorgaben	297
5.4.2	Wochenleistungs-Controlling	298
5.5	KVP - Kontinuierlicher Verbesserungsprozess.....	303

5 Bauproduktionsprozess – Lean Construction – Arbeitsplanung auf der Baustelle

5.1 Lean Construction – Wochenarbeitsprogramm

Die Takt- und Fliessproduktion des Roh- und Ausbaus sollte regelmässig detailliert für einen definierten, direkt folgenden Zeitabschnitt geplant werden. Eine Form dieser Planung sind Wochenarbeitsprogramme, die in ihrer Grundform den Termin- und Kapazitätsplanungen entsprechen, jedoch detaillierter sind. Die Erstellung der Wochenarbeitsprogramme zu den entsprechenden Leistungspositionen / Abschnitten ist aber erst kurz vor der Ausführung der jeweiligen Arbeiten möglich, da erst dann Einflüsse wie z. B. Wetter, Ausfälle, Stand der Abhängigkeit von anderen Bauaktivitäten berücksichtigt werden können. Zudem gewährleistet eine solche detaillierte Arbeitsvorbereitung und Logistikplanung die Verfügbarkeit von Materialien, Geräten und Fachkräften zum jeweils richtigen Zeitpunkt. Materialfehlmengen können noch rechtzeitig bestellt und Kapazitäten gesichert werden. Im Wochenarbeitsprogramm werden die täglichen Aktivitäten der Arbeitsgruppen für den jeweiligen Arbeitsabschnitt sowie für das jeweilige Bauelement nach detaillierten Leistungsvorgaben wie z. B. Ab- und Aufbau von m² Schalung, Verlegen von Tonnen Baustahl, Betonieren von m³ Beton geplant. Neben der Vorgabe der Gruppenleistung werden damit die Vorgaben für die Betonbestellung (Menge, Zeit) und die benötigten Geräte wie Betonpumpen und Innenrüttler, Mobilkrane etc. ermittelt. Dadurch können die gemeinsamen Ressourcen der verschiedenen Ausführungsgruppen, die je für sich das Wochenarbeitsprogramm aufstellen, vom Baustellenchef oder Logistikkoordinator der AVOR koordiniert werden. Zudem kann dadurch die Lagerung, der Transport und der Einbau von Materialien zwischen den Gewerken koordiniert werden. Dazu gehört auch die stockwerksweise Bereitstellung von Arbeits- und Lagerflächen. Die Logistikplanung muss im Rahmen der wöchentlichen baubegleitenden AVOR-Revision durchgeführt werden. Als Koordinationssitzung dient die wöchentliche Bauführerbesprechung.

Für die Arbeitsorganisation des Takt- und Fliessprozesses (Bild 5-1) muss man infolge der Intensität und Interaktivität sowie der Abhängigkeiten zwei Bauphasen unterscheiden:

- Rohbauphase
- Ausbauphase

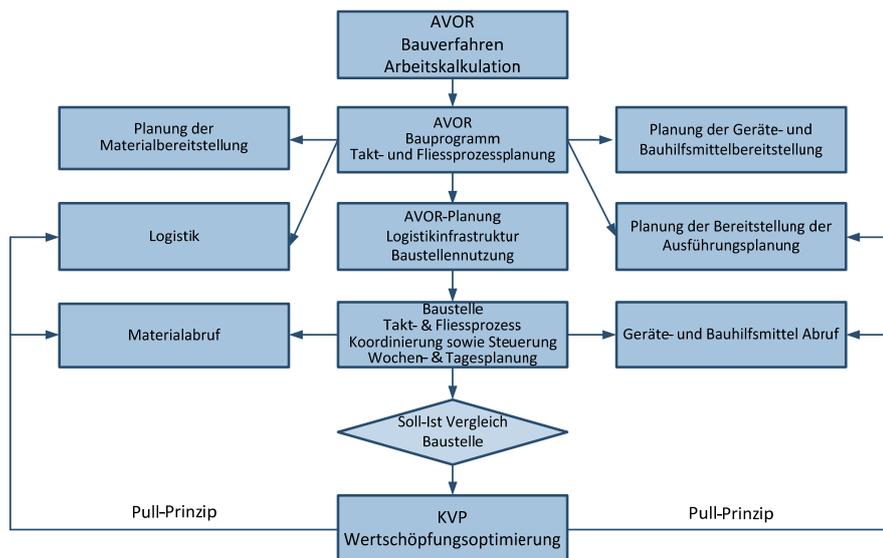


Bild 5-1: Takt- und Fließprozessplanung und Umsetzung in der Bauproduktion

Für die Arbeitsorganisation auf der Baustelle ist die Gesamtleitung, also die Bauleitung des Bauherrn oder der TU bzw. der GU, verantwortlich. Der Gesamtleitung obliegt es, eine störungsfreie, leistungsorientierte, effiziente und interagierende Zusammenarbeit der Arbeitsgruppen in den verschiedenen Arbeitsgattungen zu organisieren. Das Ziel dieser Arbeitsorganisation muss es sein, die Wertschöpfung der beteiligten Unternehmen zu steigern, Verlustzeiten zu eliminieren und alle auf den Erfolg des Projekts auszurichten.

Um eine solche koordinierte, wertschöpfende Zusammenarbeit auf einer Baustelle zu inszenieren, muss die Bauleitung bzw. der TU oder GU folgende Massnahmen ergreifen:

- AVOR – Bauprogramm und Arbeitskalkulation (Soll-Vorgaben) erstellen (Top-Down)
- Workshop 1 – Bauprogramm vorstellen und grundsätzliche Regeln der Zusammenarbeit bestimmen um bei den Beteiligten eine gemeinsame Teamverantwortung für das Projekt zu generieren
- AVOR – Vorbereitung der Einlegeteams auf Grundlage des Bauprogramms der Bauunternehmung mit
 - Mengenermittlung
 - Leistungsbestimmung
 - Bestimmung der Einlegezeiten und Teamgrößen

je Bauabschnitt und Bauelement.

- Workshop 2 – Abstimmung und Koordination der Arbeitsteams sowie Vorbereitung der ersten Wochenplanung mit Vorausschau über drei bis vier Wochen
- Wochensitzungen – Vereinbarung der Wochen- und Tagesplanung am Freitag-Nachmittag mit Vorbereitung der Einlegeteams in Bezug auf Materialart, Materialmengen, Leistung, Zeitbedarf und Teamstärke vor der Sitzung
- Wochensitzungen – Abstimmung der interaktiven Arbeitsjobs mit Zeitfenster an den jeweiligen Einsatztagen

- Wochensitzungen – Dienen dazu Behinderungen der Arbeitsteams zu verhindern, die Effizienz zu steigern und nicht-wertschöpfende Aktivitäten zu eliminieren
- Wochensitzungen – Soll-Ist-Analyse mit kontinuierlichem Verbesserungsprozess (KVP) ist als wertsteigernde Aktivität systematisch zu nutzen
- Wochensitzungen – Systematische Vorausplanung der Materialien in Menge, Art und Qualität sowie die Nutzung der Logistikinfrastruktur (Transport und Lagerung)

5.1.1 Rohbauphase

AVOR – Top-Down-Produktionsplanung

In der Rohbauphase bilden die Rohbauarbeiten zur Errichtung der Konstruktion durch den Bauunternehmer den Leitprozess. Diesem Leitprozess sind die Einlegearbeiten für HKL, Sanitär und Elektro untergeordnet. Der in der AVOR und auf Grundlage der Arbeitskalkulation entwickelte Takt- und Fließprozess der Konstruktionserstellung mit Bauabschnitten und Bauelementen sowie den Arbeitsjobs bzw. den Arbeitsschritten (schalen, bewehren, betonieren oder mauern) geben den Takt für die Einlegearbeiten vor für:

- Elektroerrohre
- Lüftungskanäle
- Passiv-Energiespeicher
- Etc.

Zur Abstimmung der Arbeitsgruppen

- Bauunternehmen
- Elektrofirma
- HKL-Unternehmer
- Sanitärunternehmen

muss der Bauunternehmer **Top-Down ein detailliertes Bauprogramm** (Bild 5-3 und Bild 5-6) im Rahmen der AVOR erstellen. In diesem Bauprogramm müssen die Herstellungsabschnitte und Bauelemente detailliert ausgewiesen werden. Dazu ist es erforderlich die einzelnen zusammenhängend hergestellten Bodenplatten-, Wand- und Deckenteilabschnitte als Vorgang mit Beginn und Ende auszuweisen (Bild 5-3 und Bild 5-6).

Im Rahmen der AVOR werden zur Sicherstellung der Arbeitsinhalte und des Arbeitsumfangs eines jeden Vorgangs bzw. Teil-Jobs im Bauprogramm Teil-Job-Listen (Tabelle 1) erstellt. In diesen Teil-Job-Listen werden für jeden Vorgang oder Teilvorgang, der z. B. Arbeitsabschnitte oder Bauelemente umfasst, folgende Angaben gemacht (Tabelle 1):

- Rohbau-Bauabschnitt
- Teil-Jobs des Bauabschnitts nach Arbeitsgattung gegliedert
- Liste der Teil-Jobs mit Angabe von
 - Geräten zur Herstellung
 - Bauhilfsmittel zur Herstellung

- Materialien sowie deren Mengen, Dimensionen und Qualität

Damit ist die Grundlage für die Produktionsplanung und Produktionssteuerung der Baustelle gelegt, auf der die Wochen- und Tagesplanung mit einem vollständigen Material-, Geräte- und Bauhilfsmittelgerüst aufbaut. Auf dieser Basis kann auch die Logistik der Beschaffung, der Bereitstellung und des Abrufs zielorientiert aufgebaut und gesteuert werden.

Baustellenarbeitsorganisation – Bottom-Up

In den Wochenprogrammen der Baustelle, die von dem Leitteam der Bauunternehmen erstellt werden und auf dem AVOR-Bauprogramm aufbauen, können dann die Teil-Jobs in Arbeitsabschnitte unterteilt werden (Bild 5-5 und Bild 5-7).

Auf Basis des geplanten Wochenprogramms (Bild 5-5) des Bauunternehmers müssen nun die Einlegearbeitsgruppen ihre Mengen, ihre Leistungen und ihren Arbeitskräfteeinsatz planen. Denn nach der ersten Lage Bewehrung werden im Regelfall, z. B. bei Decken, die Einlegearbeiten vorgenommen. Bei Wänden erfolgen diese auf der späteren Nutzungsseite des jeweiligen Raums.

Die Wochenarbeitsplanung der interagierenden Baustellenteams muss von der Bauleitung des Bauherrn oder vom TU bzw. GU verantwortlich inszeniert und geleitet werden. Der Bauunternehmer muss die Koordinierung mit den Einlegeunternehmen vornehmen. Im Streitfall muss die Bauleitung Lösungen vorschlagen und entscheiden.

Tabelle 1: AVOR-Teil-Job-Liste Rohbau – Arbeitsschritte, Geräte, Bauhilfsmittel, Materialien und Mengen zur Herstellung eines Vorgangs (hier Wand A1) im Bauprogramm

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Federal Institute of Technology Zurich		TT consulting gmbh Prof. Dr.-Ing. G. Girmscheid				
Nr.	Teil-Job Vorgangsbeschreibung	Menge	Material/Geräte /Hilfsmittel		Verant- wortung	Bemer- kung
			bestellt	Abruf		
Job: Betonarbeiten						
1	Schalen <ul style="list-style-type: none"> • Rahmenschalung • Spannanker • 2 x Betonierbühnen 	H=2.75m, L=10.00m 22 Stk. L=10.00m				
2	Bewehren <ul style="list-style-type: none"> • Vertikal • Horizontal • Bügel 	Ø 22, l=3.25m Ø 12, l=10.50m, N=11 Ø 10, N=60				
3	Betonieren <ul style="list-style-type: none"> • C20/25 	d=25cm V=6.875m ³				
Job: Elektro-Arbeiten						
4	Leerrohre verlegen	Ø 25, l=20m				
5	Dosen setzen	4 Stk.				
Job: HKL-Arbeiten						
6	Lüftungsschacht erstellen	20/100, l=3m				
7	Leerrohre Steigleitung	Ø 25, l=3m				
Job: Sanitär-Arbeiten						
8	Abwasserfalleitung Stockwerk verlegen	Ø 25, l=3m				
9	Wasserversorgungsleitung Stockwerk verlegen	Ø 25, l=3m				

In der Wochensitzung erfolgt dann auf Basis des Wochentaktplans der Bauunternehmung (Bild 5-7) die Koordination der Einlegeunternehmer:

- Elektro
- Sanitär

- HKL

in Bezug auf die genauen Tage und Zeitfenster sowie den Arbeitsbereich. Die Einlegeunternehmen müssen dazu ihre Materialarten, Mengen, Leistungen und Teamstärken für die jeweiligen Zeitfenster der Verlege-Arbeiten bestimmen. Evtl. müssen Veränderungen der Zeitfensterdauern vereinbart werden, um unnötige Verluste zu eliminieren. Zudem müssen die Arbeitspläne über drei bis vier Wochen im Voraus geplant werden, um die Materialbereitstellung sicherzustellen und Spezialgeräte etc. bereit zu stellen (Bild 5-8).

Daher ist die Arbeitsumsetzung und Arbeitsorganisation auf der Baustelle selbst im Rahmen des Lean Management von besonderer Bedeutung. Denn die Baustelle muss das AVOR-Bau- bzw. -Arbeitsprogramm (Bild 5-3 und Bild 5-6) auf der Baustelle weiter in Wochen- und Tagesziele (Bild 5-5) herunterbrechen.

Dieser AVOR- und Arbeitsorganisationsprozess auf der Baustelle wird für das in Bild 5-2 dargestellte Gebäude erläutert. Für dieses Projekt ist in Bild 5-3 das AVOR-Termin- und Bauprogramm dargestellt. In diesem AVOR-Bauprogramm sind die Bauabschnitte und Bauteile mit ihren Jobs aufgeführt. So wird die Bodenplatte in drei Abschnitten im Taktverfahren hergestellt. Die Gesamtdauer dieser Jobs beinhaltet die folgenden Teil-Jobs:

- Schalen je Bauabschnitt
- Bewehren je Bauabschnitt
- Betonieren je Bauabschnitt

Diese Teil-Jobs wurden im AVOR-Bauprogramm nicht in ihrem Takt- und Fließablauf detailliert geplant. Dies ist dann Aufgabe der Baustelle im Rahmen ihrer Arbeitsorganisation. Jedoch wurden die Jobdauern unter Berücksichtigung der Teil-Jobs aufgrund der Soll-Stunden-Vorgaben für die Teil-Jobs aus der Arbeitskalkulation und der gewählten Teamstärke der AVOR ermittelt. Ferner wurden dabei die Zeitdauern der jeweiligen Einlegearbeiten für:

- Elektrorohre
- Sanitärleitungen
- HKL-Rohre und –Kanäle

berücksichtigt (Bild 5-3).

Die Umsetzung in die Soll-Wochen- und -Tagesarbeitsplanung auf der Baustelle (z. B. für die 3. Woche) wird in Bild 5-4 und Bild 5-5 dargestellt. Denn die Arbeitsorganisation auf Basis der Soll-Vorgaben der AVOR und Arbeitskalkulation erfolgt durch das Baustellenteam bestehend aus:

- Baustellenchef
- Abschnittsbauführer
- Poliere – Bau
- Projektleiter – Elektro
- Projektleiter – Sanitär
- Projektleiter – HKL

Der Bauunternehmer bildet das Leitteam im Rohbau mit Abschnittsbauleitern und Polieren. Diese Soll-Wochen- und -Tagesplanung (Bild 5-5) erfolgt detailliert auf Teil-Job-Basis. Die Teil-Jobs der Bauunternehmen bilden den Leit-Takt- und -Fließprozess, weil hier der Kern des Gebäudes von der Bauunternehmung erstellt wird. Die Ausbauunternehmen Elektro, Sanitär und HKL müssen ihre Einlegearbeiten auf den Soll-Takt- und -Fließprozess der Bauunternehmung abstellen. Im Soll-Wochen- und -Tagesarbeitsprogramm werden die einzelnen Teil-Jobs und ihre Dauern aufgrund der Soll-Stunden-Vorgaben aus der Arbeitskalkulation auf die einzelnen Bauabschnitte und deren Teil-Jobs Schalen, Bewehren und Betonieren sowie auf die Einlegearbeiten für Elektro, Sanitär und HKL herunter gebrochen (Bild 5-5).

Die Einlegearbeiten konzentrieren sich auf folgende Bauelemente:

- Bodenplatte – Elektro und Heizung
- Wände – Elektro, Sanitär und HKL
- Decke – Elektro und HKL

Die Sanitäreinrichtungen befinden sich im Bereich Bauabschnitt II – Kern. Auch die Steigleitungen HKL und Elektro sind im Kern. Die Elektroleitungen sowie HKL werden im Stockwerk vom Kern aus über einen Unterverteiler in die einzelnen Räume geführt. Die Einlegearbeiten für Elektroleerrohre, Sanitär und HKL werden im Regelfall dann durchgeführt, wenn die erste Bewehrungslage verlegt wurde. Nach den Einlegearbeiten wird dann die zweite Bewehrungslage verlegt. Die Einlegearbeiten müssen stark und robust mit Abstandshaltern an der Bewehrung fixiert werden. In Bild 5-5 ist der Soll-Wochen-Tagestakt- und -Fließplan der Herstellung dargestellt.

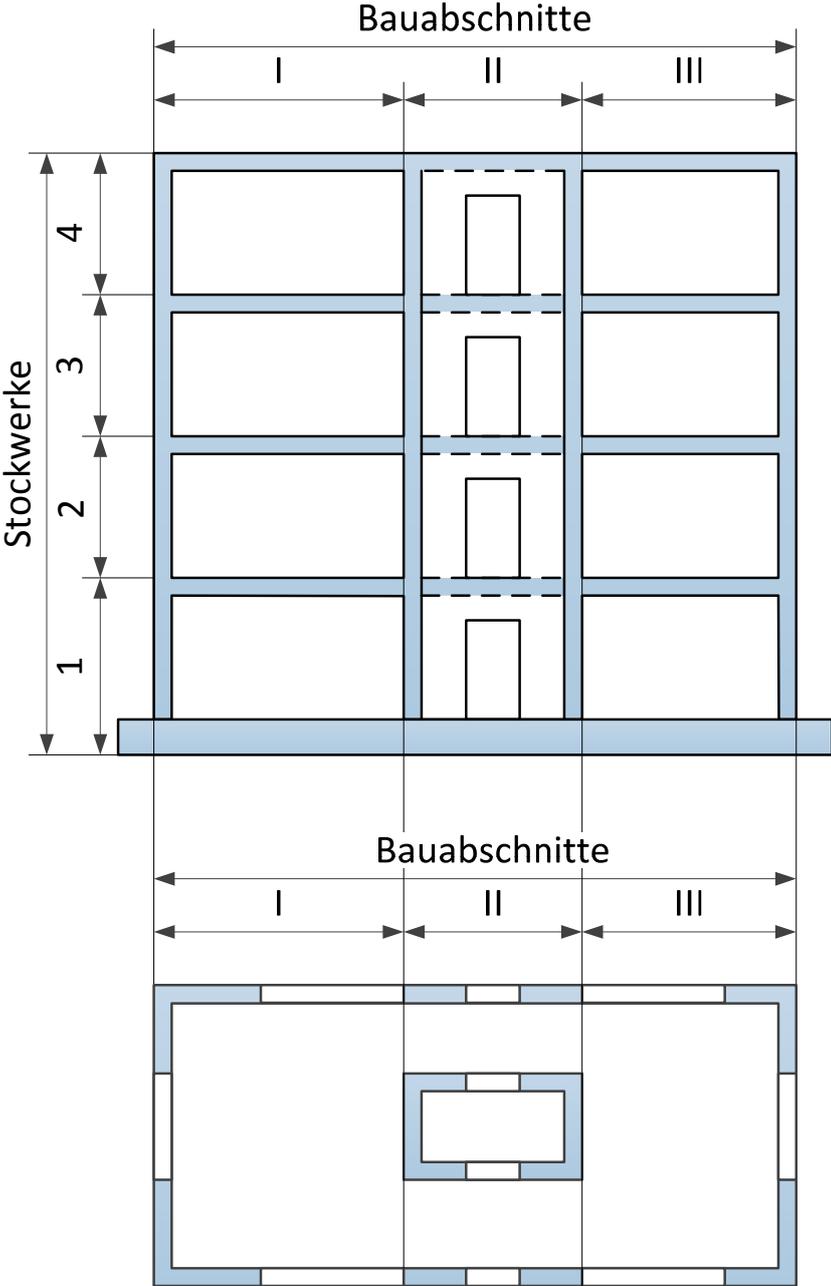


Bild 5-2: Rohbausystem - Bauabschnitte

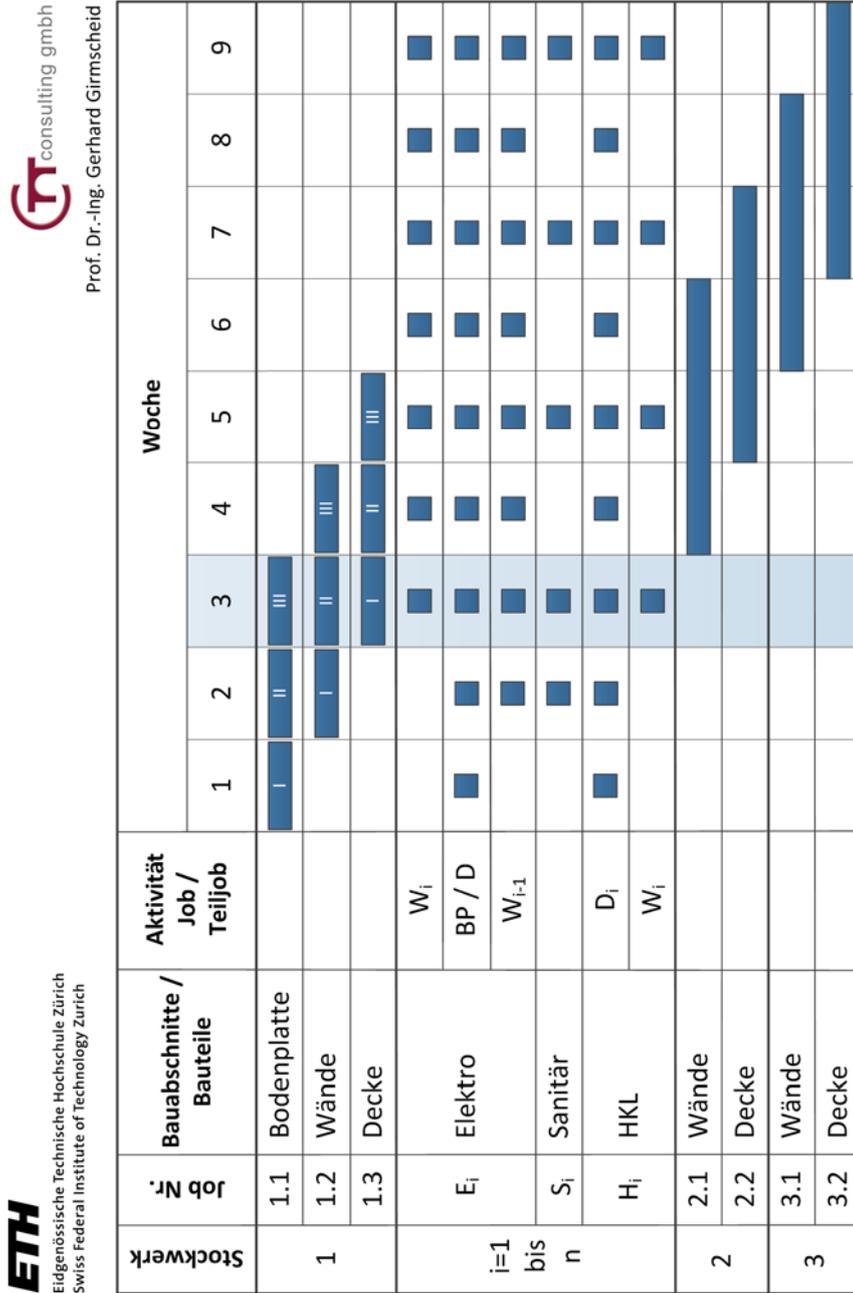


Bild 5-3: AVOR-Top-Down-Termin- und Bauprogramm der Takt- und Fließfertigung

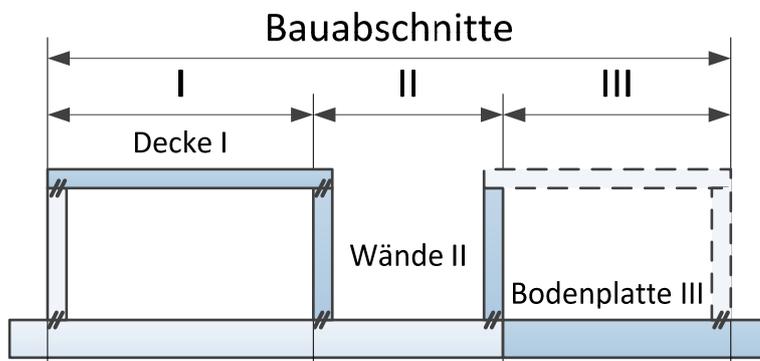


Bild 5-4: Wochenplan – 3. Woche - Arbeitsabschnitte

Teil-Job Nr.	Aktivität Job / Teiljob	Woche											
		Mo		Di		Mi		Do		Fr		Sa / So	
		V	N	V	N	V	N	V	N	V	N		
1.1.III	Bodenplatte III	Schalen	■										
		Bewehren 1		■	■	■	■						
		Bewehren 2						■	■	■	■		
		Betonieren									■	■	
E:BP1	Elektro					■	■						
HKL:BP1	HKL					■	■						
1.2.II	Wände II	Schalen 1	■										
		Schalen 2								■	■		
		Bewehren 1		■	■	■	■						
		Bewehren 2					■	■	■	■			
		Betonieren									■	■	
E:W1-II	Elektro					■	■						
S:W1-II	Sanitär					■	■						
HKL:W1-II	HKL					■	■						
1.3-I	Decke I	Schalen	■	■	■	■							
		Bewehren 1			■	■	■	■					
		Bewehren 2							■	■	■		
		Betonieren									■	■	
E:D1-I	Elektro						■	■					
HKL: D1-I	HKL						■	■					

Bild 5-5: Bottom-Up-Wochen- und -Tagesplanung Takt- und Fließfertigung der Teil-Jobs in den Arbeitsabschnitten

Dazu ist es unabdingbar, dass eine Arbeitskalkulation erstellt wurde, die eindeutige Soll-Stundenvorgaben für die Herstellung der Bauelemente und für deren Arbeitsschritte vorgibt, z. B. Schalen, Bewehren, Betonieren oder Elektro-Leerrohre pro Betonierabschnitt verlegen. Die einzelnen Bauabschnitte und Bauteile bzw. Bauelemente werden dann auf Basis des Bauprogramms in Wochenleistungen aufgeteilt. Im Wochenprogramm werden die Soll-Wochenleistungen festgelegt und damit die Soll-Arbeitsschritte pro Tag. Diese werden auf der Basis der Arbeitskalkulation mit Soll-Stunden hinterlegt. Damit wird einerseits die Teamstärke pro Arbeitsschritt und die Soll-Dauer festgelegt. Dann werden vom Polier die einzelnen Arbeitsschritte mit Mannstärke und Soll-Zeiten pro Arbeitstag für die jeweilige Planwoche festgelegt.

In einem weiteren Beispiel soll aus dem AVOR-Bauprogramm (Bild 5-6) das Arbeitsprogramm auf der Baustelle für einen Soll-Wochentakt der Takt- und Fließprozess eines Hochbaustockwerks entwickelt werden (Bild 5-7). Dieser Soll-Arbeitsablauf wurde vom ausführenden Baustellenteam der Baufirma auf Basis der AVOR geplant. Dabei wurden das Soll-Top-Down-Bauprogramm und die Stundenvorgaben der Arbeitskalkulation berücksichtigt. Auf dieser Basis werden die Einlegearbeiten von Elektro, HKL und Sanitär geplant.

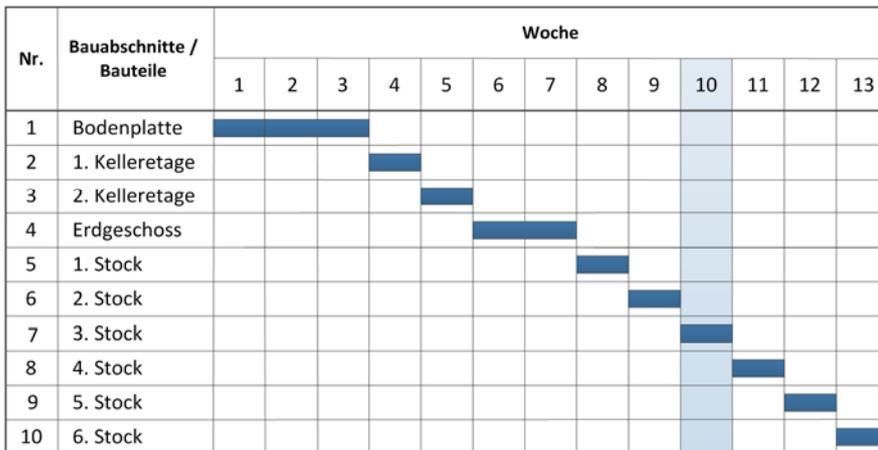


Bild 5-6: Hochhaus-Rohbauprogramm – AVOR-Takt- und -FlieBprozess

Im Rahmen des Lean-Construction oder auch des Lean-Management werden oft Arbeitskarten mit den Soll-Leistungen pro Tag für die einzelnen Arbeitsteams erstellt (Bild 5-8). Mit diesen Arbeitskarten werden analog zu Bild 5-5 die Zeitfenster bestimmt, in denen die einzelnen Teil-Jobs ausgeführt werden sollen. Zudem werden auf jeder Arbeitskarte die wichtigsten

- Arbeiten
- Materialien
- Hilfsmittel
- Geräte

aufgelistet. Dies ist eine hervorragende Tagesarbeitsvorbereitung. Denn damit wird sichergestellt, dass (Bild 5-8)

- Vorlaufzeit – das Material frühzeitig bestellt wird.
- Vorlaufzeit – Geräte und Bauhilfsmittel frühzeitig disponiert werden.
- Vorbereitung – jeder Folgetag abends hinsichtlich Materialdisposition, Geräten, Handwerkszeug sowie Sicherstellung der Zugänglichkeit der Arbeitsstelle vorbereitet wird.

Es werden pro Team die Tagesarbeiten auf einer Arbeitskarte aufgelistet (siehe Bild 5-8). Dies wird für alle beteiligten Teams durchgeführt.

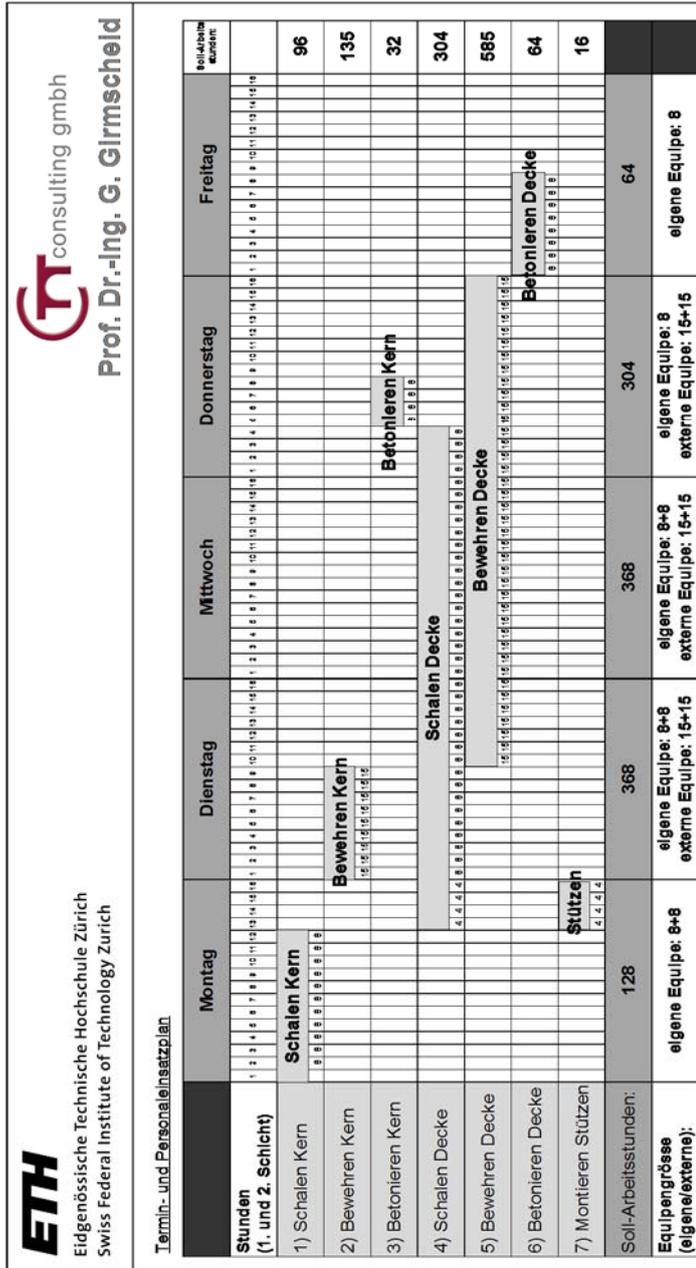


Bild 5-7: Lean Construction – 3. Stock Ausführungsorganisation mit Wochenbauprogramm auf der Baustelle

		Woche I+1							Woche I+2							
		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr
Gruppe	Schalung Beton	Ausschalen Decke ...	Einschalen Decke Kern I	Schalung Kern I	Schalung Kern A	Betonieren Decke Kern	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Bewehrung	Decke Bereich A	Decke Bereich B	Decke Bereich B	Kern	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Elektro	Leerrohre unt. Lage	Leerrohre unt. Lage	Leerrohre ob. Lage	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	HKL	Lüftung unt. Lage	Lüftung unt. Lage	Lüftung ob. Lage	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Sanitär	Abwasser	Abwasser	Abwasser	Abwasser	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Geräte- disposition	Bestellung Mobilkran	...	...	...	Bestellung	...	...	Vorlaufzeit	...	...	...	...	...	Einbau Mobilkran
	Material- disposition	Bestellung Material	...	...	...	Bestellung	...	...	Vorlaufzeit	...	...	...	...	...	Lieferung Material

Bild 5-8: Lean Construction – 3. Stock Ausführungsorganisation mit Wochen- und Tagesprogramm auf der Baustelle (10. Woche) sowie Material- und Gerätebereitstellung

Diese Arbeit wird am Donnerstag oder spätestens am Freitagmorgen von dem Leitteam vorbereitet. In der Freitags-Besprechung wird dann am Nachmittag das Wochen- und Tagesarbeitsprogramm mit den beteiligten Teams besprochen, abgestimmt und anschliessend beschlossen.

Im Fall des Rohbaus eines Hochbaus bildet das Baumeisterteam das Leitteam. Denn Elektro, Lüftung und Sanitär müssen gemäss Baufortschritt des Baumeisters z. B. ihre Leerrohre und Leitungen auf der unteren Lage der Deckenbewehrung verlegen bevor die oberste Lage der Bewehrung eingebaut wird. Die Präsenz der technischen Gewerkeunternehmen (Elektro, Lüftung, Sanitär) wird dabei auf den Tag bzw. auf den halben Tag genau abgestimmt. Damit wird sichergestellt, dass die nicht-wertschöpfenden Wartezeiten für alle Unternehmen reduziert werden. In der Freitags-Koordinations- und Wochenplanungssitzung werden dann weitere Abstimmungen getroffen. Viel-

leicht schlägt die Elektrofirma vor alle Leerrohre am Dienstag zu verlegen um ihren Einsatz auf der Baustelle zu optimieren. Dies muss sich allerdings im Gesamtkontext der Prozesse und der Beteiligten nahtlos einfügen. Damit wird sichergestellt, dass alle abhängigen Beteiligten interaktiv denken und handeln. Zudem müssen alle Beteiligten das Wochenprogramm für die nächsten zwei bis drei Wochen grob skizzieren, so dass Geräte, Bauhilfseinrichtungen und Materialien frühzeitig bestellt werden können, um eine just-in-time Bereitstellung zu sichern (Bild 5-8). In

Bild 5-9 ist eine typische Tagesarbeitskarte für das Schalungsteam dargestellt.

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Federal Institute of Technology Zurich		TT consulting gmbh Prof. Dr.-Ing. G. Girmscheid		
Tagesarbeitskarte: Schalen - Decke				
Stock: k – Stockwerksfläche 1200m ²				
Tag: Dienstag Woche i				
Team: 6 Mann				
Einschalen Decke B1 – Einschafffläche 400m²				
Arbeiten:				
1. Stellen der Spindelstützen – Abstand 2m				
2. Verlegen der Systemschalungsträger – Abstand 2m über Stützen, Überlappen 15cm				
3. Verlegen der Rostträger – Abstand 0.50m, Überlappen 15 cm				
4. Verlegen der Schaltafeln				
Anmerkung: Stützen, Systemträger, Rostträger und Schalung in Gebinden				
Hilfsmittel:				
1. Theodolit/Messbänder				
2. 2 Bockleitern				
3. 2 x Hilti-Bohrer				
4. 2 x Hilti-Schrauber				
5. Kranverfügbarkeit: Dienstag (7-17h)				
Material:				
	Type	Menge	Einzellänge	Total
1. Spindelstützen	Eurex 20 250	<u>110</u>	<u>2.50m</u>	
2. Systemschalungsträger	H 20 top P 2.65m	<u>80</u>	<u>2.65m</u>	
3. Rostträger	H 20 top P 2.65m	<u>248</u>	<u>2.65m</u>	
4. Schaltafeln	SO 27mm 200x50c,	<u>400</u>		
Probleme:				

Bild 5-9: Tagesarbeitskarte - Schalungsgruppe

Während der Umsetzung der Tagesprogramme werden Störungen möglichst direkt beseitigt, z. B. durch Überstunden. Treten dennoch Verzögerungen auf die für den nächsten Tag erkennbar sind, werden die nachfolgenden Unternehmen (z. B. Elektro) informiert, dass ihre Arbeitsgruppe z. B. nicht vormittags sondern nachmittags kommen soll.

Ein weiterer Vorteil der detaillierten, wöchentlichen Arbeitsvorbereitung und Logistikplanung ist die ständige Kontrolle der Terminvorgaben und folglich die Terminanpassung. Verzögerungen lassen sich frühzeitig erkennen, und es können gegebenenfalls Massnahmen getroffen werden, sie wieder aufzuarbeiten (durch Anpassung der Ressourcen: Extrakolonnen, -geräte, -stunden), um den Gesamtterminplan zu sichern.

Arbeitsabläufe und Baumethoden werden in ihrer Leistungsfähigkeit transparent dargestellt und können somit überprüft und verbessert werden. Auch abhängige parallele Bauvorgänge zwischen den Arbeitsgruppen und Subunternehmern lassen sich dadurch gut und meist konfliktfrei koordinieren.

5.1.2 Ausbauphase

Die Organisation eines behinderungsfreien Ausbaus der verschiedenen interagierenden Arbeitsgruppen an den gleichen Bauabschnitten, Stockwerken, Räumen und Bauelementen ist besonders herausfordernd. Die meisten Baustellen bzw. Unternehmungen haben in dieser Phase die höchsten Effizienzprobleme bzw. die meisten nicht-wertschöpfenden Arbeitszeiten fallen an. Diese Bauablaufstörungen werden durch zwei Einflüsse ausgelöst:

- Gegenseitige Behinderungen in gleichen Räumen durch Arbeiten und Materiallagerungen.
- Unterbrechung der einzelnen Jobs durch unzureichende Vorgängerarbeiten.

Viele Baustellen werden gerade in dieser Ausbauphase als Chaosbaustellen erlebt. Materialsuchen, Materialumstellen sowie gegenseitiges Behindern mit unterbrochenen Arbeitsabläufen durch unvollständige Vorgängerarbeiten sind an der Tagesordnung. Die Stunden laufen den meisten Unternehmern davon. Besonders Baustellen, die im starken Wettbewerb standen, entpuppen sich häufig als Verlustbaustellen. Die meisten haben eine einfache Entschuldigungserklärung an der Hand. „Es liegt am Wettbewerb.“ Dem ist in der Regel nicht so. Diese Baustellen sind entweder vom Bauherrn bei der Einzelvergabe oder vom TU oder GU schlecht geplant worden. Anschliessend versuchen die KMUs durch ihre Selbstorganisation die Situation improvisierend zu verbessern.

Die Lösung liegt in der Workflow-Planung der Gewerke/Arbeitsgattungen und Arbeitsgruppen als Takt- und Fliessprozess. Der Takt- und Fliessprozess mit der dazugehörigen Logistik muss

- räumlich – stockwerks- und raumweise,
- ablaufmässig – gemäss den Arbeitsgruppen mit ihren Job-Paketen und Teil-Jobs
- geplant werden.

Dabei ist es wichtig, dass die Jobs inhaltlich und räumlich interaktiv und integrativ abgestimmt sind, so dass

- die einzelnen Arbeitsbereiche (work stations) möglichst räumlich oder zeitlich voneinander getrennt werden, um gegenseitige Behinderungen zu vermeiden.
- die Job-Pakete strukturell lagenweise aufgebaut sind, so dass der Nachfolger seine Installation parallel oder in der nächsten Lage ohne Behinderung einbauen kann.
- die Job-Pakete stufenweise behinderungsfrei und in optimaler Zusammensetzung erstellt werden, so dass die jeweilige Arbeitsgattung ihre Aufgaben möglichst zusammenhängenden erfüllt.
- die Job-Pakete optimal auf die nachfolgende Arbeitsgruppe/Arbeitsgattung abgestimmt sind, so dass der Nachfolger einfach ohne strukturelle Behinderung die Nachfolgearbeiten möglichst vollständig erfüllen kann.

Um die Job-Pakete inhaltlich, räumlich und zeitlich abzustimmen, sind folgende A-VOR-Tätigkeiten mit den betroffenen Arbeitsgattungen interaktiv und integrativ in einem Workshop durchzuführen:

- Festlegung der Job-Pakete und Teil-Jobs pro Stockwerk und pro Raum
- Festlegung der Reihenfolge der Arbeitsgattungen und derer Job-Teilpakete bzw. Teil-Jobs
- Festlegung der zeitlichen Dauer der jeweiligen Job-Teilpakete bzw. Teil-Jobs

Zu den im Ausbau befindlichen Arbeitsgattungen und nach logischer Reihenfolge gegliederten Job-Paketen bzw. -Teilpaketen gehören:

- Herstellung gemauerter Trennwände mit Installationsschlitzern und Türrahmen.
- Herstellung von Installationsschächten.
- Installation von Trockenwandrahmen und Beplankung der ersten Seite sowie Installation der Schall- und Wärmeisolierung und der Türrahmen.
- Installation der Sanitärleitungen.
- Verlegung der Elektro-Leerrohre.
- Verlegung der HKL-Rohre.
- Trockenwände: Schliessen der zweiten Seite der Trockenwand.
- Mauerwerk: Schliessen der Schächte und Schlitze.
- Installation der Trockendecke.
- Aufbringen der Fussbodenschallisolation sowie Estrich.
- Schalldichtes Verschliessen von Sanitärleitungen, Elektrorohren und evtl. Elektroinstallationen an den Decken- und Wanddurchdringungen.
- Verputzen und Streichen der Wände.
- Fussbodenverlegung.
- Installation der Türen.
- Installation der Armaturen:
 - Sanitär – Waschbecken, Toilette, etc.
 - HKL – Auslässe, Heizkörper, etc.
 - Elektro – Schalter, Steckdosen, etc.

In einem ersten Folgeschritt nach Festlegung der Teil-Jobs des Ausbaus und deren Grundsequenz muss die Teil-Job-Liste durch die einzelnen Arbeitsgruppen bzw. Arbeitsgattungen erstellt werden. In diesen Teil-Job-Listen des Ausbaus (Tabelle 2) ist für jede Arbeitsgattung und für jeden Arbeitsschritt das Mengen- und Bauhilfsmaterialgerüst systematisch zusammengestellt. Diese Teil-Job-Liste dient jeder Arbeitsgruppe zur Planung der Leistung mit Dauer und Mannstärke sowie zur Steuerung der Logistik, der Materialbestellung und Materialbereitstellung mit der notwendigen Lagerlogistik und der erforderlichen Logistikinfrastrukturbelegung.

Tabelle 2: Teil-Job-Liste Elektro-Ausbau – Arbeitsschritte, Geräte, Bauhilfsmittel; Materialien und Mengen für jede Arbeitsgattung

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Federal Institute of Technology Zurich		 Prof. Dr.-Ing. G. Girmscheid				
Nr.	Teil-Job Vorgangsbeschreibung	Menge	Material/Geräte /Hilfsmittel		Verant- wortung	Bemer- kung
			bestellt	Abruf		
Job: Elektro-Ausbau						
1	Zuführen der Leerrohre vom Raumverteiler zu den Verbraucherpunkten	Ø 25, l=25m				
2	Leerrohre an Durchbrüchen mit Körperschalldämmung ausrüsten	d=25mm, b=30cm, l=3m				
3	Elektrokabel ziehen <ul style="list-style-type: none"> • Zimmerverteiler installieren • Kabel ziehen • Dosen in Wände setzen 	1 Stk. 25m 5 Stk.				
4	Elektroarmaturen einbauen <ul style="list-style-type: none"> • Schalter • Steckdosen • Steuereinrichtung 	4 Stk. 5 Stk. 1 Stk.				

Im nächsten Schritt wird der geometrisch-räumliche Ablauf der Job-Pakte für die Arbeitsgattungen festgelegt. Dazu eignen sich Job-Flächenpläne (Bild 5-10) innerhalb derer den einzelnen Job-Pakete und -Teilpakete zeitliche Flächen zugewiesen werden. Diese Flächen dienen den Arbeitsgattungen temporär auf Taktbasis aufgebaut als Arbeits- und Lagerflächen. In den im Taktplan für die einzelnen Teil-Jobs ausgewiesenen Zeiten dürfen diese Flächen von den Arbeitsgruppen als Arbeits- und Lagerfläche genutzt werden. Falls nicht besonders ausgewiesen, muss das Material der jeweiligen Arbeitsgruppe nach Fertigstellung des Teil-Jobs entfernt werden. Zudem muss jede Arbeitsgruppe ihre genutzten Arbeitsflächen räumen und reinigen.

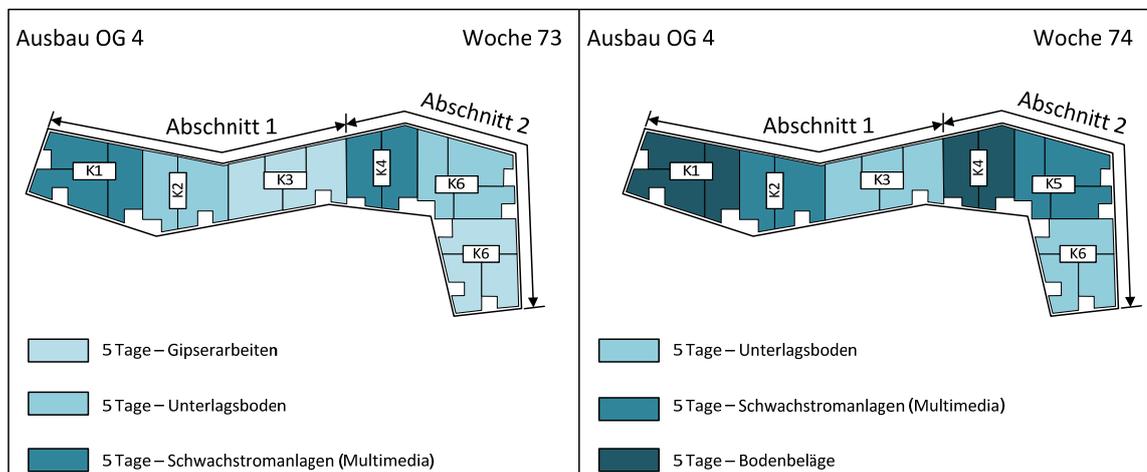


Bild 5-10: Job-Flächenpläne – Ausschnitt aus dem Flächenmodell einer Hochbaustelle

Das Ausweisen von temporären Lagerflächen für die einzelnen Arbeitsgruppen ist besonders wichtig, um die Arbeitswege kurz zu halten. Es darf jedoch nicht erlaubt werden, dass z. B. die Gipsplatten für die zweite Seite in den Räumen gelagert werden, in denen vorher noch Elektroleerrohre, Heizungs- oder Sanitärleitungen verlegt werden müssen. In solchen Fällen müssen die Nachfolgearbeitsgruppen Elektro, Sanitär und Heizung mehrmals die Räume für den gleichen Arbeitstyp betreten, weil sie durch die Lagerung der Vorgängerunternehmung für die Nachfolge-Arbeiten stark behindert werden.

In einem weiteren Schritt werden die Kapazitäten und Arbeitsdauern der einzelnen Teil-Jobs für die Taktplanung festgelegt. Diese Arbeiten der AVOR werden von den einzelnen Arbeitsgattungen nach den ersten Workshops auf Basis der Teil-Job-Listen vorbereitet. In einem zweiten Workshop werden die Takt- und Fließplanung mit den Job-Flächenzuweisungen diskutiert und deren zeitliche und räumliche Disposition abgestimmt.

Jede einzelne Arbeitsgruppe muss intern die einzelnen Abläufe und notwendige Ressourcen auf Basis der Teil-Job-Listen festlegen, um die entsprechenden Taktzeiten einzuhalten. Hierzu ist es notwendig den Arbeitsablauf in einem Wochen- und Tagesprogramm festzulegen. Ein Elektrounternehmer muss z. B. zur Installation seiner Leerrohre in einem Hotelstockwerk festlegen, welche Arbeiten er in welcher Reihenfolge durchführt:

- Installation der Kabeltragsystem-Trassen vom Stockwerksverteiler durch den Flur
- Leerrohre als Bündel auf die Kabeltragsystem-Trasse heben
- Verlegen der Leerrohre vom Stockwerksverteiler bis zu den einzelnen Zimmerverteilern
- Leerrohre von den Zimmerverteilern in die einzelnen Zimmer verlegen

Dazu ist es erforderlich:

- sich die Arbeitsschritte zu überlegen
- Zeitaufwand aus der Arbeitskalkulation vorgeben
- die Teamgröße pro Arbeitsschritt festzulegen
- Arbeiten festzulegen, die parallel durch mehrere Teams ausgeführt werden können
- Materialmengen zu bestimmen
- Arbeitshilfsmittel, wie Bühnen, Geräte und Handwerkzeug zu bestimmen

Daraus erhält man einen ersten Takt- und Ressourcenplan, den man im Allgemeinen optimieren muss, um das ökonomische Minimalprinzip zu erfüllen. Auf Basis dieser Soll-Planung erhält man sofort die arbeitstechnischen Soll-Stunden. Diese müssen mit den Vorgaben aus der Arbeitskalkulation übereinstimmen. Andernfalls muss der Taktplan überarbeitet werden. Diese Soll-Leistungen und Soll-Stunden, die interaktiv zusammen hängen und nicht verändert werden, weder bezüglich Leistung noch Stunden, bilden die Grundlage für den täglichen und wöchentlichen Soll-Ist-Vergleich. Der geplante Takt- und Fließprozess wird gemäss gemeinsamer AVOR- und Wochenarbeitsplanung umgesetzt. Die Grundplanung des Takt- und Fließprozesses sowie die Koordination der Arbeitsgattungen und deren Arbeitsgruppen und deren wöchentliche Steuerung ist die Kernaufgabe der Gesamtbauleitung des Bauherrn bzw. des TU und GU.

Am Ende jeder Woche (Freitagnachmittag) muss die Planungs- und Koordinationssitzung der Bauleitung mit allen interagierenden Ausbauunternehmen stattfinden. Besprechungspunkte sind:

- Soll-Ist-Vergleich
- Ursache von Verzögerungen und Behinderungen
- Massnahmenplanung zur Soll-Erreichung mit jeweils drei bis vier Wochen Vorschau

- Stand Materialbestellung und -lieferung sowie Materiallagerung
- Sauberkeit und Sicherheit der Baustelle
- Lagernutzung sowie Nutzungsplanung der Logistikinfrastruktur

Die einzelnen Unternehmen müssen diese Planungsbesprechung für ihre Arbeitsgattung und Teil-Jobs spätestens Donnerstagabends oder Freitagmorgens selbst vorbereiten. Die Besprechung dient dazu Soll-Ist-Abweichungen festzustellen und Massnahmen zur Zielerreichung zu planen sowie Vorschläge zur Verbesserung des Gesamt-Takt-Fliessprozesses auszuarbeiten. Durch eine solche systematische Vorgehensweise ist das Ziel der Weg zum Erfolg. Die heutige Improvisation am Bau, besonders während des Ausbaus, ist eine Verschwendung von Ressourcen und besonders des Gewinns. Das kann sich kein rational handelndes Unternehmen bzw. keine Unternehmensführung leisten. Dies betrifft auch jeden Bereichs-, Niederlassungs- und Projektleiter. Jeder Projektleiter / Baustellenchef ist zugleich Unternehmer der jeweiligen Bau-Produktion eines Projekts. Wer seine Produktion nicht systematisch planen und koordinieren kann oder will, ist fehl am Platz. Projektleiter, Baustellenchef und Bauleitung müssen unternehmerisch handeln. Die Werkzeuge hierzu sind eindeutig feststellbar. Es handelt sich um

- eine Top-Down-AVOR mit Takt- und Fliessprozessplanung sowie Logistik- und Logistikinfrastrukturplanung basierend auf der Arbeitskalkulation, abgestimmt auf die Phasen und Bedürfnisse der Baustelle.
- eine Arbeitskalkulation mit klaren Soll-Vorgaben für jeden Teil-Job aus den einzelnen Leistungspositionen der Angebotskalkulation.
- eine Verkettung von Soll-Leistungen und Soll-Stunden-Vorgaben für jeden Bauabschnitt, für jede Baugruppe, für jedes Bauelement sowie für die dazugehörigen Teil-Jobs (Arbeiten).
- eine Bottom-Up-Produktionstakt- und -fliessorganisation auf der Baustelle für jedes Unternehmen, für seine Arbeitsgattung sowie der interaktiven, integrativen Koordination der interagierenden Prozesse.
- eine Wochen- und Tagesarbeitsplanung der einzelnen Teil-Jobs sowie Arbeiten mit drei bis vier Wochen Vorausschau für Geräte- und Materialbestellungen.
- ein wöchentliches Soll-Ist-Controlling mit Abweichungsanalyse inklusive Massnahmenplänen bei Abweichungen und KVP-Massnahmen.
- eine wöchentliche Abstimmung der verschiedenen Unternehmen bezüglich Taktablauf, Logistikinfrastruktur, Lagerflächen, Sicherheit und Ordnung.

Diese Grundsätze führen zum Erfolg des Projektes für Bauherrn und Bauleitung sowie für die beteiligten Unternehmen!

5.1.3 Beispiel: Wochen- und Tagesfliessprogramm – Gesamtinstallation der Ausbau-Job-Pakete

Im Folgenden wird die räumliche und ablaufmässige Koordination der verschiedenen interagierenden Arbeitsgruppen zur Erzielung eines effizienten und behinderungsfreien Ausbaus beispielhaft anhand eines Stockwerks in einem Hotel betrachtet. Dazu wird der Takt- und Fliessprozess mit der dazugehörigen Logistik stockwerksweise geplant und ein Wochenprogramm für die Ausbau-Jobpakete zur Gesamtinstallation der

Trockenwände, Sanitär-, HKL- und Elektroinstallation sowie Estrich und architektonische Fertigstellung wird entwickelt.

Der Grundriss des betrachteten Stockwerks ist in Bild 5-11 dargestellt. Massivwände sind grau hinterlegt. Die Innenwände werden in Trockenbauweise erstellt. Die Zuführung der Versorgungs- und Entsorgungsmedien ist wie folgt gelöst:

- Serviceräum – Hier befindet sich die zentrale Steigzone und die Stockwerksverteilung für
 - Elektro mit Stockwerksverteiler
 - Heizung und Lüftung mit Stockwerksabzweigung und Abstellinrichtung
 - Wasser mit Stockwerksabzweigung und Abstellinrichtung
- Gangwände – Hier befinden sich die direkten Falleitungen für die Abwasserentsorgung.

Alle Medien Wasser, Heizung mit Vor- und Rücklauf sowie Elektro mit Strom, TV und Radio, Internet, Sprinkleralarm werden zu den Zimmerverteilern zugeführt. Die Zimmerverteiler mit den Sicherungs- und Abstellorganen befinden sich im Unter- und Oberschrank der Zimmergarderobe.



Bild 5-11: Grundriss des Stockwerks

Folgende Begriffsbestimmungen liegen den weiteren Ausführungen zu Grunde:

Job-Paket: Gesamtaufgabe einer Arbeitsgattung, z. B.:

- Bauunternehmen: Rohbau erstellen

- Elektro: Gesamtinstallation mit Lehrrohrinstallation sowie Kabelverlegung und allen Elektroverteilern, Schalt- und Abnahmeeinrichtungen
- HKL: Gesamtinstallation mit Verlegen der Heizrohre vom Stockwerksverteiler zum Raumverteiler, Zuführen zu den Einzelräumen, Verlegen der Lüftungsrohre sowie Einbau aller Armaturen
- Sanitär: Gesamtinstallation der Wasser- und Abwasserleitungen und Einbau aller Sanitärarmaturen

Teil-Job: Teilarbeitspaket eines Job-Pakets, z. B.:

- Bauunternehmen: Decke im 5. Geschoss erstellen mit den Teil-Jobs: schalen, bewehren, betonieren
- Elektro: Leerrohre in Decke verlegen, Kabel ziehen
- HKL: Verlegen der Heizrohre
- Sanitär: Verlegen der Sanitärleitungen Abwasser und Wasser

Arbeitsschritte: Innerhalb eines Teil-Jobs, z. B. Elektro:

- Verlegen der Leerrohre im Gang
- Montieren der Trasse
- Verlegen der Leerrohre im Raum 1-n etc.

Im Wochenprogramm sind die verschiedenen Teil-Jobs mit den einzelnen Arbeitsschritten, der gewählten Mannschaftsstärken und der jeweiligen Dauer in chronologischer Reihenfolge vertikal dargestellt. Horizontal im Wochenprogramm werden die Teil-Jobs in ihrer sequentiellen und parallelen Reihenfolge ihrer Takt- und Fließfertigung abgebildet. Ein Ausschnitt des Wochenprogramms mit Teil-Job 1 bis 3 für die Gesamtinstallation der Trockenwände in einem Hotel ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Teil-Jobs sind jeweils blau hinterlegt.

Tabelle 3: Ausschnitt des Wochenprogramms – Teil-Job 1-3

Ausbau-Jobpakete		Woche i					Woche i+1				
Teil-Jobs	Arbeitsgruppe	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr
1 Installation der Trockenwand	Trockenbau										
1.1 Rahmen erstellen	8 Mann	R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9								
1.2 Einbau Türrahmen	8 Mann			15 Türen R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9						
1.3 Beplankung Seite 1	8 Mann					R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9				
1.4 Einbau Schall- und Wärmeisolierung	8 Mann					R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9				
2 Verlegen der Sanitärleitungen	Sanitär Abwasser										
2.1 Abwasserfällfällung Stockwerk	8 Mann						R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9			
2.2 Abwasserleitungen Toilette	8 Mann						R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9			
2.3 Abwasserleitungen Waschbecken	8 Mann						R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9			
2.4 Abwasserleitungen Bad/Dusche	8 Mann						R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9			
3 Verlegen der Sanitärleitungen	Sanitär Wasser										
3.1 Verlegen Trasse links und rechts	8 Mann						Trasse L+R				
3.2 Wasserversorgung Toilette	8 Mann						R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9			
3.3 Wasserversorgung Waschbecken	8 Mann						R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9			
3.4 Wasserversorgung Bad/Dusche	8 Mann						R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9			

Teil-Job 1: Installation der Trockenwände

Teil-Job 1 umfasst die Installation der Trockenwand durch die Arbeitsgruppe Trockenbau mit den in Bild 2 angeführten Arbeitsschritten. Mit der gewählten Mannschaftsstärke von acht Mann für die Trockenbau-Gruppe können an einem Tag die Rahmen für vier Räume gestellt werden. In R1, R2, R6 und R7 werden die Rahmen am ersten Tag und in R3, R4, S und R9 werden sie am zweiten Tag gestellt. Wie in Bild 5-12 dargestellt werden die Rahmen für die beiden gegenüberliegenden Zimmer jeweils am Gang gelagert. Am nächsten Tag werden die Türrahmen für 15 Türen gesetzt und gleichzeitig mit der einseitigen Beplankung der Rahmen begonnen in den Räumen R1, R2, R6 und R7 sowie am nächsten Tag in den Räumen R3, R4, S und R9. Dies wird für alle acht Räume innerhalb von zwei Tagen erledigt. An den folgenden beiden Tagen wird die Schall- und Wärmeisolierung eingebaut.

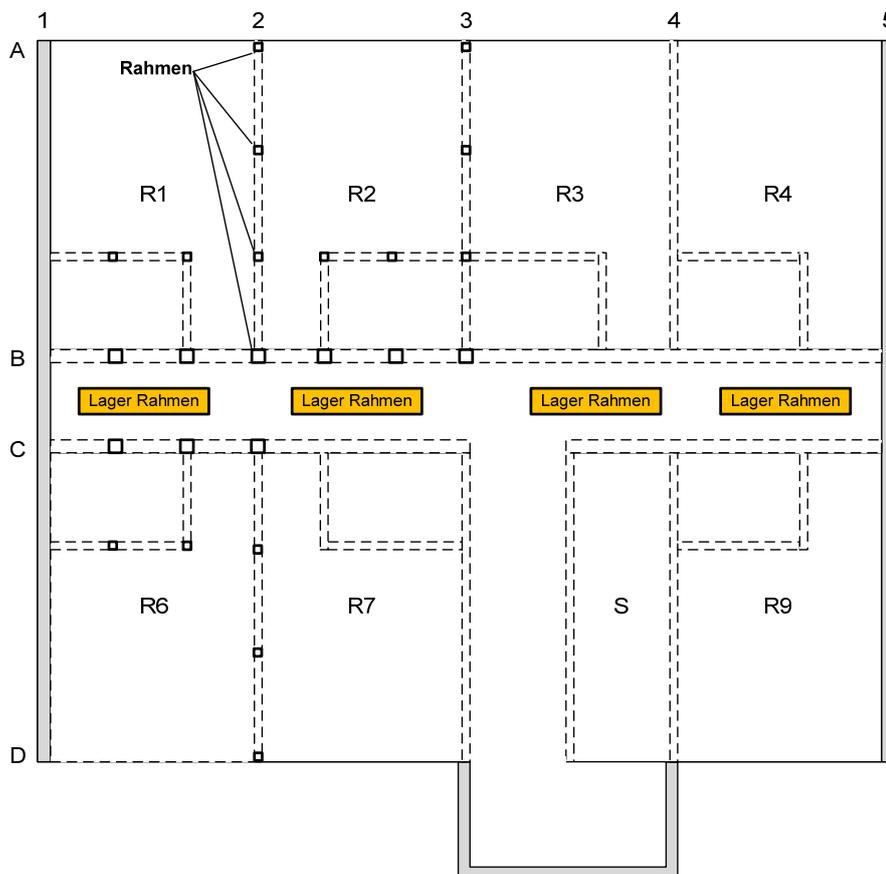


Bild 5-12: Teil-Job 1 – Installation der Trockenwand

Teil-Job 2: Verlegen der Sanitärleitungen – Abwasser

Daran schliesst Teil-Job 2 Verlegen der Sanitärleitungen Abwasser (Bild 5-13) an. Während in R3, R4, S und R9 die Schall- und Wärmeisolierung eingebaut wird, können bereits von der Sanitär-Gruppe die Abwasserfalleitung für das Stockwerk sowie die Abwasserleitungen für Toilette, Waschbecken und Bad/Dusche in R1, R2, R6 und R7 verlegt werden. Die Sanitärerrohre werden wie in Bild 5-13 dargestellt in den Räumen gelagert.

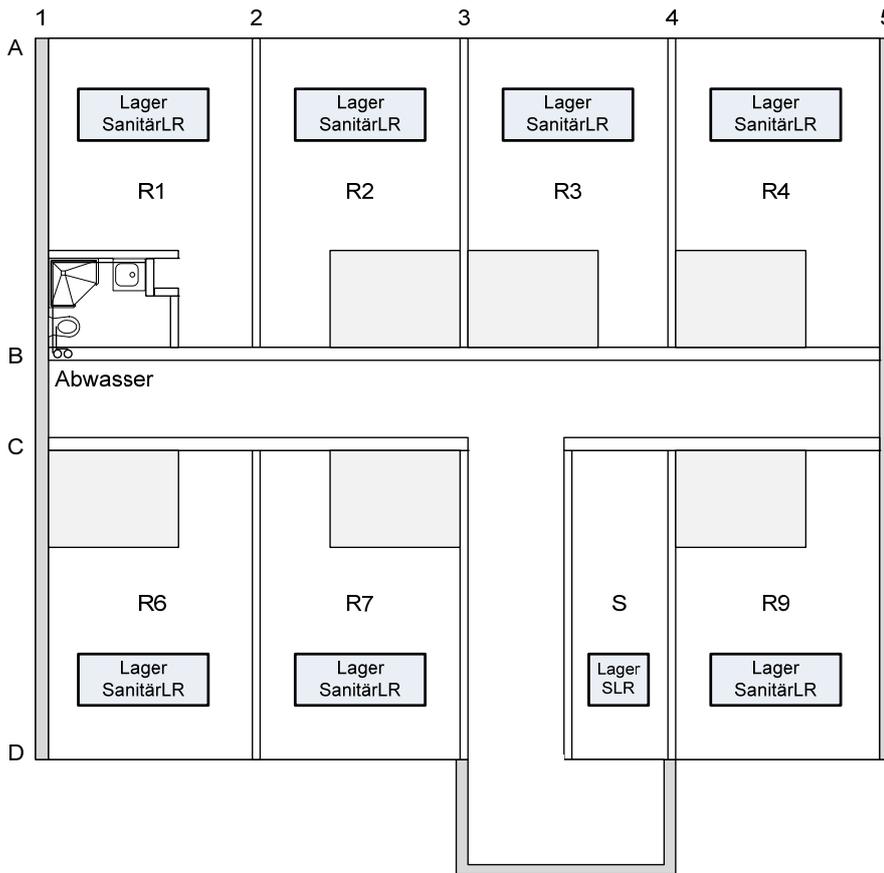


Bild 5-13: Teil-Job 2 – Verlegen der Sanitärleitungen Abwasser

In Bild 5-14 ist die Führung der Abwasserleitungen in den Nassräumen dargestellt. Die Abwässer des Waschbeckens und der Dusche werden einer gemeinsamen Fallleitung zugeführt. Für die Toilettenabwässer ist eine separate Fallleitung vorgesehen. Für alle acht Räume ist Teil-Job 2 mit acht Mann innerhalb von zwei Tagen durchgeführt.

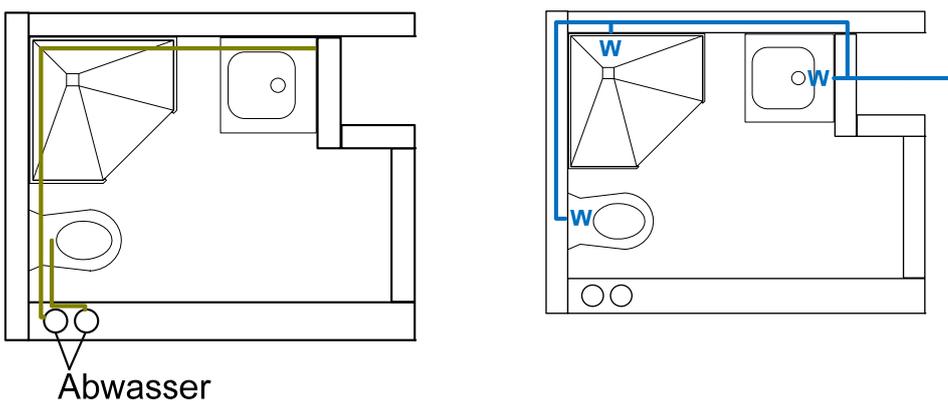


Bild 5-14: Nassraum mit Abwasser- und Wasserleitungen

Teil-Job 3: Verlegen der Sanitärleitungen – Wasser

Zeitgleich zu Teil-Job 2, der in den Räumen R1, R2, R6 und R7 durchgeführt wird, kann mit Teil-Job 3 Verlegen der Trasse der Sanitärleitung Wasser im Gang begonnen werden. Die Installation im Gang erfolgt an der Decke zwischen der untergehängten

Decke. In diesem Arbeitsschritt wird die Trasse zur Wasserversorgung vom Service-raum in den Zugangsflur und dann links und rechts im Zimmerzugangsflur verlegt (Bild 5-15) Am nächsten Tag wird die Installation der Wasserversorgungsleitungen für Toilette, Waschbecken und Bad/Dusche (Bild 5-14) in den Räumen R1, R2, R6 und R7 während die Sanitärabwasserinstallation in den Räumen R3, R4, S und R9 stattfindet. Teil-Job 3 ist mit acht Mann nach drei Tagen abgeschlossen.

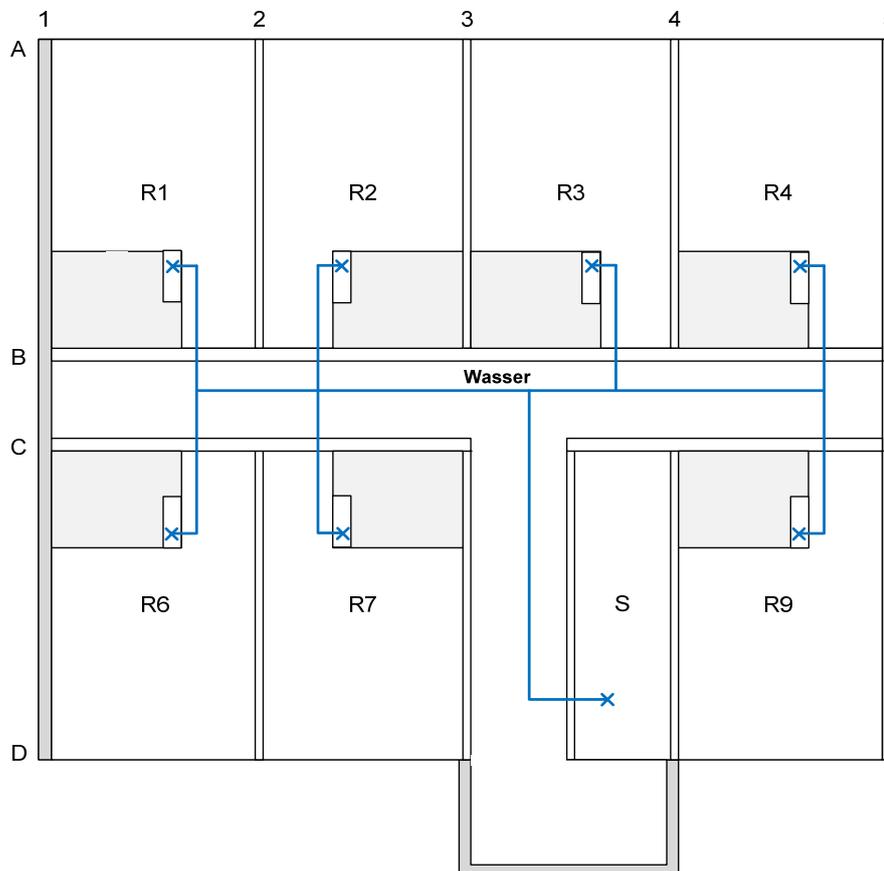


Bild 5-15: Teil-Job 3 – Verlegen der Sanitärleitungen Wasser

Teil-Job 4: Verlegen der Heizrohre

Während die Verlegung der Wasserleitungen in den Nasszellen der Räume am Dienstag und Mittwoch der Woche $i+1$ erfolgt, wird auch das Verlegen der Heizungsstrasse vom Serviceraum durch den Zugangsflur und von dort in den Zimmerflur links und rechts durchgeführt. Das Verlegen beginnt im Serviceraum, wo sich die Steigleitung und der Stockwerksverteiler aus der Steigzone befinden. Die Steigleitung wird verlängert und die Anschlüsse und Absperrventile für die Versorgung des Stockwerks werden installiert. Gleichzeitig wird die Flurtrasse mit Vor- und Rücklauf an die Decke gehängt und befestigt. Diese Trasse wird vom Stockwerksverteiler zu den Raumverteilern für Rücklauf und Vorlauf verlegt. Die Installation in den Räumen erfolgt von dem Zimmerverteiler mit dem Verlegen der Bodenschlaufen (Bild 5-16). Als letzter Arbeitsschritt werden die Lüftungsrohre mit Ventilator in den Abluftschächten im Stockwerk verlegt. Wie in Tabelle 4 dargestellt ist dieser Teil-Job mit vier Mann nach fünf Tagen abgeschlossen.

Tabelle 4: Ausschnitt des Wochenprogramms – Teil-Job 4-7

Ausbau-Jobpakete		Phase: Ausbau							Stock: k							
		Woche I+1							Woche I+2							
Teil-Jobs	Arbeitsgruppe	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr
4 Verlegen der Heizrohre	HKL															
Stockwerkverteiler zum Raumverteiler Rücklauf und Vorlauf			Trasse links	Trasse rechts												
4.2 Zuführen zu den Einzelräumen, Bodenschläufen verlegen	4 Mann					R1, R2, R3, R4, R6, R7										
4.3 Verlegen der Lüftungsrohre in Ablufschächten im Stockwerk nur Ventilator	4 Mann											R1-R9				
5 Verlegen der Elektroleerrohre	Elektro															
5.1 Zuführen der Leerrohre vom Stockwerkverteiler zum Raumverteiler	4 Mann									Trasse links						
5.2 Zuführen der Leerrohre vom Raumverteiler zu den Verbraucherpunkten	4 Mann											R1, R2, R3, R4, R6, R7				
6 Schliessen der Trockenwand	Trockenbau															
6.1 Beplankung der Seite 2	8 Mann													R1, R2, R3, R4, R6, R7		
7 Installation der abgehängten Trockendecke	Trockenbau															
7.1 Abgehängte Trockendecke installieren	8 Mann														Gang	R1, R2, R3, R4, R6, R7, S, R9



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Prof. Dr.-Ing. G. Girmscheid

Projekt: Hotel

Stock: k

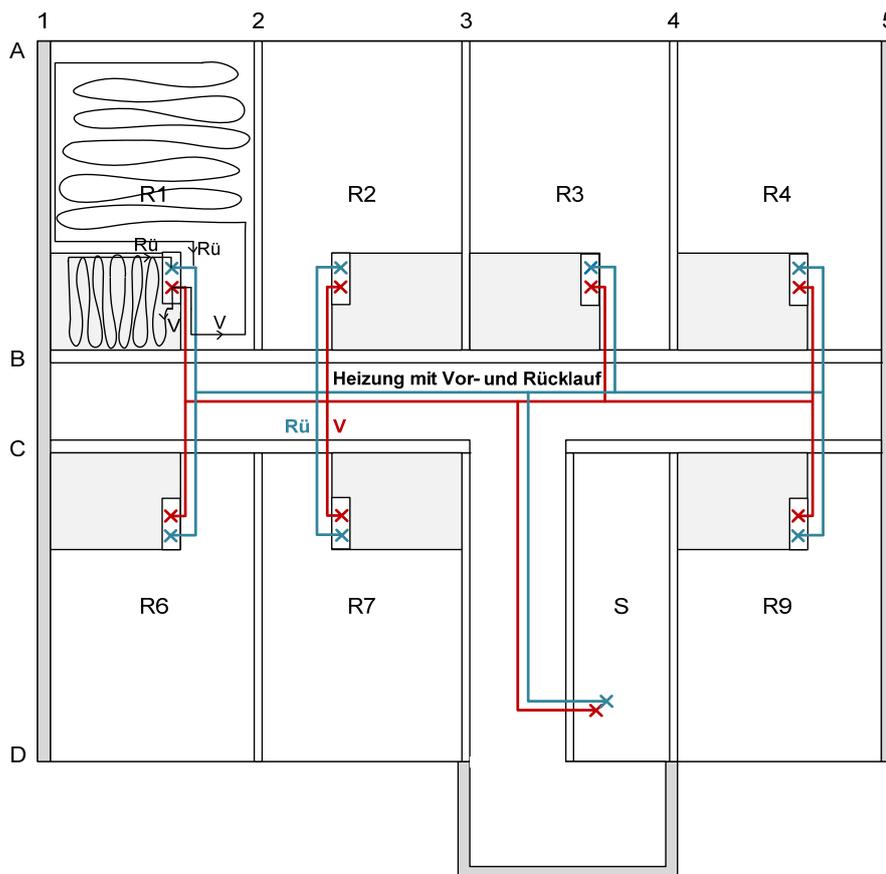


Bild 5-16: Teil-Job 4 – Verlegen der Heizrohre mit Vor- und Rücklauf

Teil-Job 5: Verlegen der Elektroerrohre

Für die Elektroerrohre wird ebenfalls zuerst die Trasse vom Stockwerksunterverteiler im Serviceraum im Zugangsflur und dann im Zimmerflur links und rechts zu den Zimmern bis zum Raumverteiler im Zimmer verlegt und anschliessend werden die Leerrohre für Strom, TV und Radio, Internet und Telefon vom Raumverteiler zu den einzelnen Verbraucherpunkten in den Zimmern zugeführt (Bild 5-17). Dafür werden mit vier Mann vier Tage benötigt (Tabelle 4).

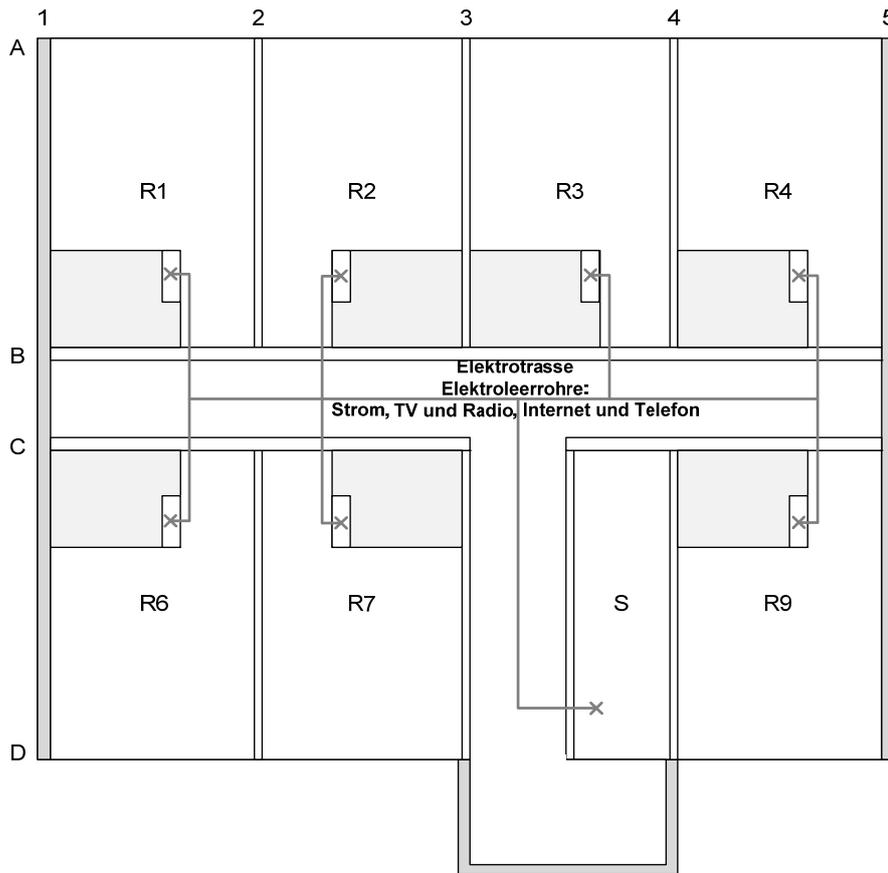


Bild 5-17: Teil-Job 5 – Verlegen der Elektroleerrohre

Um einen effizienten Einbau der Leerrohre zu erzielen, ist auf eine kreuzungsfreie Anordnung der Leerrohre für Elektro, Wasser und Heizung zu achten (Bild 5-18 und Bild 5-19).

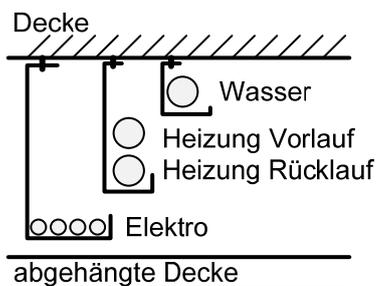


Bild 5-18: Querschnitt der Decke mit Anordnung der Leerrohre

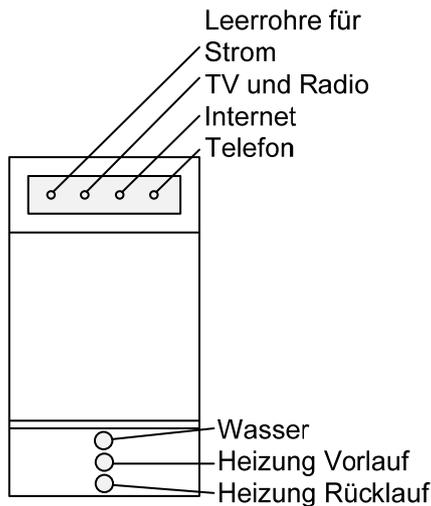


Bild 5-19: Anordnung der Leerrohre für Elektro, Wasser und Heizung im Unter- und Oberschrank der Zimmergarderobe

Teil-Job 6: Schliessen der Trockenwand

Nach dem Verlegen aller Leerrohre wird die zweite Seite der Trockenwand beplankt und die Wand wird damit geschlossen.

Teil-Job 7: Installation der abgehängten Trockendecke

Sobald die Trockenwand geschlossen ist, kann die abgehängte Trockendecke installiert werden. Die Trockendecke wird im Zugangs- und Zimmerzugangsflur installiert sowie in dem Eingangsbereich in den Zimmern (Vorräume gegenüber dem Bad).

Tabelle 5: Ausschnitt des Wochenprogramms – Teil-Job 8

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Federal Institute of Technology Zurich		TT consulting gmbh Prof. Dr.-Ing. G. Girmscheid									
Projekt: Hotel		Phase: Ausbau					Stock: k				
Ausbau-Jobpakete		Woche #2					Woche #3				
Teil-Jobs	Arbeitsgruppe	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr
8 Estrich Zimmer und Gang herstellen	Estrich										
8.1 Fussbodenschallisolation aufbringen	4 Mann					R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9				Gang
8.2 Schwimmenden Estrich einbringen	4 Mann							R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9		Gang

Teil-Job 8: Estrich Zimmer und Gang herstellen

Als nächstes Arbeitspaket erfolgt mit Teil-Job 8 die Herstellung des Estrichs. Dazu wird im ersten Arbeitsschritt die Fussbodenschallisolation in den Zimmer aufgebracht und anschliessend wird der schwimmende Estrich dort eingebracht. Danach wird die Fussbodenschallisolation am Gang aufgebracht und der schwimmende Estrich am Gang eingebracht. Wie Tabelle 5 entnommen werden kann, ist dieser Teil-Job mit vier Mann nach fünf Tagen abgeschlossen. Am Freitag und über das Wochenende kann der Estrich abbinden.

Teil-Job 9: Schalldichtes Verschliessen

Am Montag und Dienstag der Woche i+4 werden im Teil-Job 9 alle Leitungen (Sanitär, HKL und Elektro) an den Decken- und Wanddurchbrüchen mit Körperschalldämmung ausgerüstet. Diese Arbeiten können mit vier Mann pro Gewerkearbeitsgruppe innerhalb von zwei Tagen abgeschlossen werden (Tabelle 6).

Tabelle 6: Ausschnitt des Wochenprogramms – Teil-Job 10-14

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Federal Institute of Technology Zurich		TT consulting gmbh Prof. Dr.-Ing. G. Girmscheid									
Projekt: Hotel		Phase: Ausbau					Stock: k				
Ausbau-Jobpakete		Woche i+4					Woche i+5				
Teil-Jobs	Arbeitsgruppe	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr
9 Schalldichtes Verschliessen	Sanitär, HKL, Elektro										
9.1 Sanitärleitung an Durchbrüchen mit Körperschalldämmung ausrüsten	4 Mann	R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9								
9.2 HKL-Leitungen an Durchbrüchen mit Körperschalldämmung ausrüsten	4 Mann	R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9								
9.3 Elektro-Leitungen an Durchbrüchen mit Körperschalldämmung ausrüsten	4 Mann	R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9								
10 Elektrokabel ziehen	Elektro										
10.1 Zimmerverteiler installieren	4 Mann	R1-R9									
10.2 Kabel ziehen	4 Mann		R1-R9								
10.3 Dosen in Wände setzen	4 Mann			R1-R9							
11 Verputzen und Anstreichen	Anstreicher										
11.1 Spachteln der Wände	4 Mann				R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9					
11.2 Streichen der Wände	4 Mann					R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9				
12 Fussboden verlegen	Fussboden										
12.1 Fussboden verlegen	4 Mann							R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9		Gang
13 Installation der Türen	Türen										
13.1 Türen einhängen und ausrichten	2 Mann										15 Türen
14 Armaturen einbauen	Sanitär, HKL, Elektro										
14.1 Sanitärarmaturen einbauen (Waschbeckenarmaturen, Handtuchhalter etc.)	4 Mann								R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9	
14.2 HKL-Armaturen einbauen (Lüftungsdockelanschlüsse, Ventilke, Heizkörper etc.)	4 Mann								R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9	
14.3 Elektro-Armaturen einbauen (Schalter, Steckdosen, Steuerungseinrichtungen etc.)	4 Mann								R1, R2, R6, R7	R3, R4, S, R9	

Teil-Job 10: Elektrokabel ziehen

Gleichzeitig zum schalldichten Verschliessen werden im Zuge des Teil-Jobs 10 die Elektrokabel gezogen. Dazu werden im ersten Arbeitsschritt die Zimmerverteiler installiert, anschliessend die Kabel gezogen und danach die Dosen in die Wände gesetzt. Mit vier Mann ist dieser Teil-Job wie in Tabelle 6 dargestellt nach zwei Tagen abgeschlossen.

Teil-Job 11: Verputzen und Anstreichen

Im nächsten Teil-Job werden die Wände gespachtelt und gestrichen. Dies nimmt mit vier Mann vier Arbeitstage in Anspruch (Tabelle 6).

Teil-Job 12: Fussboden verlegen

Danach wird mit vier Mann der Fussboden in allen Räumen und abschliessend am Gang verlegt, wofür drei Arbeitstage benötigt werden (Tabelle 6).

Teil-Job 13: Installation der Türen

Gleichzeitig können mit zwei Mann an einem Tag die 15 Türen eingehängt und ausgerichtet werden (Tabelle 6).

Teil-Job 14: Armaturen einbauen

Als letzter Teil-Job erfolgt der Einbau der Armaturen. Dies betrifft die Sanitärarmaturen wie Waschbeckenarmaturen, Handtuchhalter etc., die HKL-Armaturen wie Lüftungsdeckelauslässe, Ventile, Heizkörper, etc. und die Elektro-Armaturen wie Schalter, Steckdosen und andere Steuerungseinrichtungen. Mit vier Mann pro Gewerkearbeitsgruppe wird dieser Teil-Job innerhalb von zwei Tagen abgeschlossen (Tabelle 6).

Von den einzelnen Arbeitsgruppen werden für die Arbeitsziele basierend auf der Teil-Job-Liste (Tabelle 7) die Tagesarbeitskarten erstellt.

Tabelle 7: Teil-Job-Liste Elektro-Ausbau – Arbeitsschritte, Geräte, Bauhilfsmittel, Materialien und Mengen für jede Arbeitsgattung

 <small>Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Federal Institute of Technology Zurich</small>		 <small>Prof. Dr.-Ing. G. Girmscheid</small>				
Nr.	Teil-Job Vorgangsbeschreibung	Menge	Material/Geräte /Hilfsmittel		Verant- wortung	Bemer- kung
			bestellt	Abruf		
Job: Elektro-Ausbau						
1	Zuführen der Leerrohre vom Raumverteiler zu den Verbraucherpunkten	Ø 25, l=25m				
2	Leerrohre an Durchbrüchen mit Körperschalldämmung ausrüsten	d=25mm, b=30cm, l=3m				
3	Elektrokabel ziehen <ul style="list-style-type: none"> • Zimmerverteiler installieren • Kabel ziehen • Dosen in Wände setzen 	1 Stk. 25m 5 Stk.				
4	Elektroarmaturen einbauen <ul style="list-style-type: none"> • Schalter • Steckdosen • Steuereinrichtung 	4 Stk. 5 Stk. 1 Stk.				

Tabelle 8 zeigt eine solche Tagesarbeitskarte für eine Arbeitsgruppe des Trockenbaus. In der Arbeitskarte werden die

- Arbeitsziele und Arbeitsschritte
 - Materialien und Mengen
 - Hilfsmittel
 - spezielle Werkzeuge
- aufgeführt.

Tabelle 8: Tagesarbeitskarte - Trockenbau

ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Federal Institute of Technology Zurich		TT consulting gmbh Prof. Dr.-Ing. G. Girmscheid		
Tagesarbeitskarte: Trockenbau				
Stock: k				
Tag: Montag Woche i				
Team: 2 Mann				
Raum R1 – Rahmen stellen				
<u>Arbeiten:</u>				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Einmessen von Fluchtpunkten 2. Boden- und Decken-U-Profile installieren 3. Ständer einmessen/anpassen 4. Ständer einstellen und mit L-Winkle befestigen 				
<u>Hilfsmittel:</u>				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Theodolit/Messbänder 2. 2 Bockleitern 3. 2 x Hilti-Bohrer 4. 2 x Hilti-Schrauber 				
<u>Material:</u>				
	Type	Menge	Einzellänge	Total
1. U-Profil	U 5x10	<u>5</u>	<u>3.00m</u>	<u>15.0m</u>
2. Ständer	□ 10x10	<u>8</u>	<u>2.73m</u>	<u>21.9m</u>
3. Befestigungswinkel	L 10x10	<u>16</u>		
<u>Probleme:</u>				

Zur übersichtlichen Darstellung werden die Arbeitskarten in einem Arbeitskartenboard mit ca. drei Wochen Vorschau eingeordnet (Tabelle 9). Nach Ausführung der Arbeiten werden die Karten entfernt. Ist die Arbeit an dem jeweiligen Tag nicht fertiggestellt, wird die Karte abends nicht entfernt, sondern erhält einen roten Punkt. Zudem wird auf der Karte vermerkt, welches Problem dazu geführt hat, dass die Aufgabe nicht komplett erfüllt werden konnte. Ausserdem trifft sich die Arbeitsgruppe jeden Abend an dem Arbeitskartenboard, um die Arbeit des nächsten Tages zu besprechen. Zudem können Nachfolgearbeitsgruppen über eventuelle Störungen informiert werden. Das Projektmanagement weiss an jedem Abend, ob die Arbeiten planmässig voranschreiten oder ob Probleme aufgetreten sind. Somit bestehen sofortige Interventionsmöglichkeiten, um Massnahmen mit den Gruppen zu besprechen, anzuordnen und durchzusetzen. Jede Arbeitsgruppe wird somit diszipliniert und motiviert, ihre Leistungen programmgerecht umzusetzen. Ein Aufschaukeln von Problemen nach dem Motto „das bekommen wir schon im Laufe der Woche hin“ wird verhindert, indem ziel- und ergebnisorientierte Massnahmen täglich getroffen werden. Nur durch eine solche detaillierte Arbeitsplanung kann ein Takt- und Fliessprozess koordiniert und gesteuert werden.

Tabelle 9: Arbeitskartenboard Ausbau k. Stock – Ausführungsorganisation mit Wochen- und Tagesprogramm

Arbeitsgruppe	Woche i							Woche i+1							Woche i+2						
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	
Trockenbau Arbeitssteam 1	Rahmen R1, R2	Rahmen R3, R4	Türen Bepflanken R6, R7	Bepflanken R3, R4	Isolierung R1, R2	Isolierung R3, R4												Bepflanken R1, R2, R6, R7	Bepflanken R3, R4, S, R9		
Trockenbau Arbeitssteam 2	Rahmen R6, R7	Rahmen S, R9	Bepflanken R1, R2	Bepflanken S, R9	Isolierung R6, R7	Isolierung S, R9												Abgehängte Decke R1, R2, R6, R7	Abg. Decken R1, R2, R6, R7	Abg. Decken R3, R4, S, R9	
Sanitär Arbeitssteam 1						AW-fällig R1, R2, R6, R7	AW-fällig R3, R4, S, R9														
Sanitär Arbeitssteam 2						AW-fällig R1, R2, R6, R7	AW-fällig R3, R4, S, R9														
Sanitär Arbeitssteam n						Wasser Trasse L-R	Wäg. R1, R2, R6, R7	Wäg. R3, R4, S, R9													
HKL Arbeitssteam 1							Heizung Trasse L1	Heizung Trasse L1													
HKL Arbeitssteam 2							Heizung Trasse L2	Heizung Trasse L2													
Elektro Arbeitssteam 1																					
Elektro Arbeitssteam 2																					
Estrich Arbeitssteam																					
Anstreicher Arbeitssteam																					
Fussboden Arbeitssteam																					

Fazit

Durch die systematische Workflowplanung der Gewerke und Arbeitsgruppen als Takt- und Fließprozess entsprechend dem hier dargestellten Beispiel werden die einzelnen Job-Pakete und Arbeitsschritte inhaltlich und räumlich interaktiv und integrativ abgestimmt und damit wird die Effizienz des Ausbauprozesses maximiert.

5.2 Geräte- und Materialabruf

Im Rahmen der Arbeitsvorbereitung und Logistikplanung werden der Mannschafts- und Geräteeinsatz, die Subunternehereinsätze sowie Materiallieferungen disponiert. Jede Termin- und Bauablaufplanung beruht auf Leistungsannahmen, die in die Leistungsberechnung und in die Planung der Ressourcenbereitstellung und der Dauer von Aktivitäten eingehen. Die Termin- und Ablaufplanung ist während des Herstellungsprozesses eines Bauwerks verschiedensten Störgrößen wie z. B. schlechtem Wetter oder Lernkurven, die Abweichungen von den Planvorgaben erzeugen, unterworfen.

Nach Vertragsabschluss teilt die Arbeitsvorbereitung der Personal- und Maschinenabteilung und den Subunternehmern die antizipierten Einsatz- und Liefertermine für die ungefähre Disposition der Ressourcen mit. Unter Beachtung der vereinbarten Vorankündigungszeiten ruft die Baustellenleitung gemäss dem Baufortschritt die Ressourcen für die Baustelle ab. Die Bauleitung hat dabei folgende Punkte zu beachten:

- Wann werden diese Geräte, Mannschaften, Materialien benötigt?
- Wie lang sind die minimalen Abrufzeiten für die Beteiligten zur Bereitstellung der Ressourcen auf der Baustelle?
- Sind genügend Lager- und Abstellflächen bzw. Sozialeinrichtungen vorhanden?

Man sollte bei der Abwicklung einer Baustelle eine „just in time delivery“-Strategie anvisieren, d. h., Baustoffe werden nicht auf dem Werkhof zwischengelagert, sondern direkt zum Verbrauchsort, der Baustelle, geliefert. Damit wird das zweifache Anfasen und Transportieren des Materials verhindert und die erforderliche Werkhofzwischenlagerkapazität reduziert, jedoch sind die jeweiligen Vorlaufzeiten entscheidende Vorgaben für den Geräte- und Materialabruf. Vor allem zur Vermeidung von unproduktiven Arbeitsstunden durch Wartezeiten auf Geräte und Material oder durch wiederholtes Umsetzen von Material, weil die Lagerung den Arbeitsablauf stört, ist eine baubegleitende Logistik unumgänglich. Besonders wichtig ist die Baustellenlogistik bei beengten Platzverhältnissen im innerstädtischen Bereich und bei der Abwicklung von TU- und GU-Aufträgen in der Phase, in der mehrere Unternehmer den Ausbau parallel durchführen.

Mit der baubegleitenden Logistik, die wöchentlich im Rahmen der Überprüfung und Überarbeitung der Arbeitsvorbereitung angepasst wird, lassen sich die „heimlichen Stundenfresser“, die in keinem konventionellen Controlling aufgedeckt werden, zu produktiven Leistungen lenken und damit die monetären Erfolgspotentiale der Unternehmen nachhaltig verbessern.

Die Lieferung und Lagerung von Subunternehmermaterial muss, bei mangelnden Lagerkapazitäten auf der Baustelle, mit den Subunternehmern bereits zu Vertragsabschluss geregelt werden. Bei der Subunternehmerbeauftragung während der Bauabwicklung muss unbedingt auf die möglichen Liefertermine des Subunternehmermaterials geachtet werden. Der Subunternehmer wird das Material erst nach Auftragseingang definitiv bestellen; in jedem Fall sollte diese Vorlaufzeit zur Bestimmung des spätesten Beauftragungstermins berücksichtigt und im Vertrag geregelt werden.

Beim Materialabruf sind Produktions- und Lieferzeiten zu beachten. Produktionszeiten resultieren aus den Anforderungen an das Produkt, der Leistungsfähigkeit des Unternehmens und der Menge. Hinzu kommen Lieferzeiten, die je nach Produkt oder Herkunft mehrere Wochen in Anspruch nehmen können. Am Tag der Lieferung ist für

ausreichende Lagerfläche, Geräte zum Abladen und ggf. zusätzliche Arbeitskräfte zu sorgen.

Beim Abruf von Grossgeräten ist die Aufbau- und Installationszeit in die Terminplanung einzukalkulieren. So kann der Aufbau von besonders grossen Kranen durchaus eine Woche in Anspruch nehmen; noch schwieriger verhält es sich bei Produktionsanlagen für den Baustellenhilfsbetrieb wie z. B. einer Betonmischanlage oder sogar einer Fertigungsanlage für Betonfertigteile. Für den Tag der Anlieferung ist für eine ausreichende und geräumte Installationsfläche zu sorgen. Dies trifft besonders für Grossgeräte wie z. B. Tunnelbohrmaschinen zu, aber auch für Spezialschalungen im Hochbau und für die vorbereitende Installation von selbstkletternden Kernschalungen.

5.3 Organisation des Bauablaufs, der Baumethoden und der Arbeitssicherheit

Die wichtigste Aufgabe des Ausführungsmanagements ist es, die gewählten Baumethoden zu optimieren und die Bauabläufe dem dynamischen Prozess, der oft verschiedenen internen und externen Störungen unterworfen ist, möglichst flexibel und leistungssteigernd anzupassen.

Die Leistungen auf der Baustelle werden im Rahmen der Arbeitskalkulation zeit- und kostenmässig bewertet. Die Organisation des Bauablaufs orientiert sich an diesen Ansätzen; Bauabläufe und Baumethoden sind regelmässig daraufhin zu kontrollieren. Es ist sicherzustellen, dass die geplanten und kalkulierten Leistungsvorgaben der Bauverfahren umgesetzt und die Konzepte verwirklicht werden können, wie es in der Arbeitsvorbereitung und Arbeitskalkulation vorgesehen war.

Da jedes Projekt Unikatcharakter hat, muss man für jedes Bauverfahren eine gewisse Lernphase berücksichtigen. Auch bei Bauverfahren, die der Baustellenmannschaft bekannt sind, muss bei einer neuen Zusammensetzung der Gruppe und neuen Bedingungen vor Ort mit Lernphasen gerechnet werden. Bei neuen Bauverfahren oder Bausystemen (Schalungen etc.) sind Anlaufschwierigkeiten zu erwarten. Die Aufgabe der Baustellenleitung ist es, die Minimierung der Lernphase zu gewährleisten. Regelmässige Wochenarbeitsbesprechungen können dazu genutzt werden, Probleme technischer Art anzusprechen und zu klären. In Bezug auf Subunternehmer sind diese Besprechungen besonders wichtig, um ihre Integration in den Bauablauf (z. B. bei einer Taktplanung) zu fördern. Nach der Lernphase sind die Bauproduktionsleistungen einem weiteren kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) zu unterziehen. Dazu ist es erforderlich, für routinemässig wiederkehrende Leistungen Arbeitsstudien durchzuführen, um das Verbesserungspotential zu erkennen.

Ist der Bauablauf mit besonderen Anforderungen an die Belastung der Mitarbeiter verbunden, so sind persönliche Anerkennungen, z. B. in Form von Bonuszahlungen, und andere leistungsfördernde Massnahmen einzusetzen. Eine positive Stimmung auf der Baustelle ist der beste Leistungsgarant.

Die Durchsetzung des Sicherheits- und Gesundheitsplans zur Sicherstellung der Arbeitssicherheit gehört auch zu den Hauptaufgaben der Bauführung/-leitung. Schutzkleidungen, Absperrungen, Hinweise und die Einhaltung der Sicherheitsmassnahmen sind regelmässig zu kontrollieren. Der Baustellenleiter ist für seine Mitarbeiter verantwortlich und darf nicht in den Glauben verfallen, diese seien von selbst ausreichend sicherheitsbewusst. Das Konzept der Arbeitssicherheit sollte auf präventiven und ausmassvermindernden Massnahmen beruhen. Das Ziel dieses abgestuften Vorgehens ist

es, das Eintreten von Ereignissen mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit zu vermeiden. Tritt doch ein Ereignis ein, so müssen Massnahmen zur Bekämpfung bereitstehen, um das Ausmass der Auswirkungen auf Personen, Bauwerke und Umwelt möglichst gering zu halten. Neben der Beachtung der technischen Arbeitssicherheit am Arbeitsplatz und an den Geräten ist es erforderlich, das Personal für verschiedene Gefahrensituationen zu schulen. Für grössere Ereignisse sollten Rettungspläne ausgearbeitet werden.

5.4 Baustellencontrollingprozess

Auf Basis eines kontinuierlichen Baustellencontrollings wird es erst möglich, die optimal geplanten Baustellenabläufe während der Herstellprozesse zielorientiert zu steuern und damit die regelmäßige Kontrollaufgabe wahrzunehmen. Im Zuge eines effizienten Controllings ist es notwendig, dass die Vorgaben aus der Arbeitskalkulation in ein Controlling-Sheet überführt werden, um so Abweichungen zwischen den Soll-Leistungen und Ist-Leistungen zeitnah festzustellen und Gegenmassnahmen zur Ergebnisverbesserung treffen zu können.

Es ist unerlässlich, dass die jeweiligen Überprüfungen der Soll-Vorgaben der Arbeitskalkulation mit den Ist-Werten der Baustelle regelmäßig sowohl im wöchentlichen als auch im monatlichen Rhythmus erfolgen. Erst dadurch kann eine effiziente Führung der Baustelle mit kontinuierlichen Verbesserungen gewährleistet werden. Während die Soll-Stundenvorgaben klar festgelegte Steuerungsfunktionen besitzen, ergeben sich die Prognosewerte aus den real erzielten Ist-Stundenwerten der Baustelle projiziert auf das festgelegte Bauende (Bild 24).

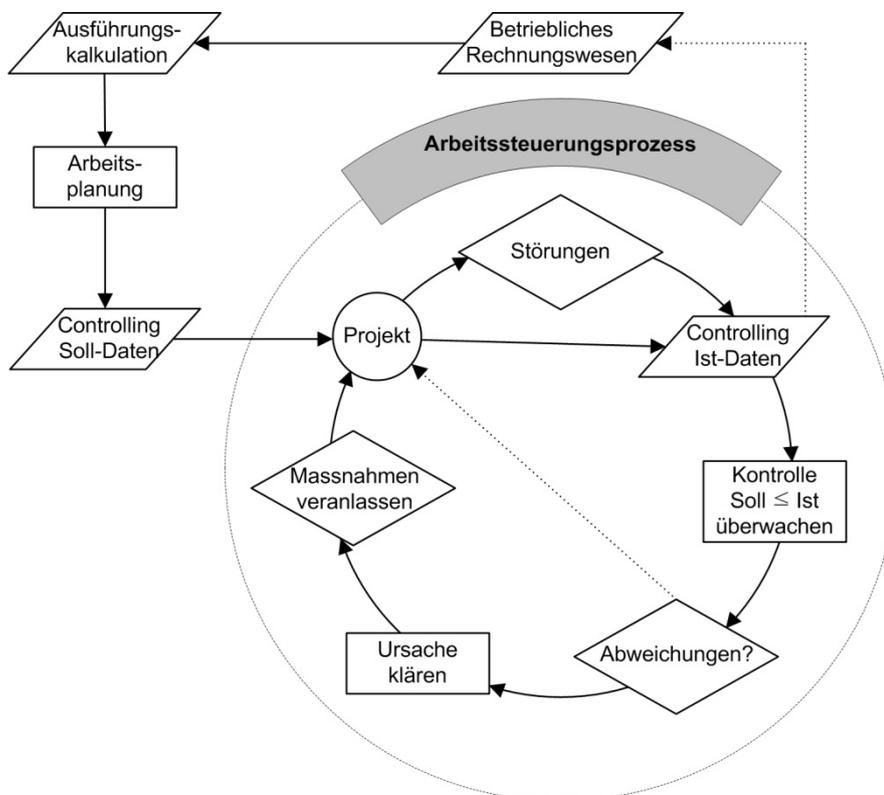


Bild 5-20: Kybernetischer Regelkreis der Arbeitsplanung und Arbeitsprozesssteuerung

5.4.1 Leistungsvorgaben

Bild 5-21 zeigt die Soll-Stundenvorgaben der Arbeitskalkulation für das Baustellencontrolling basierend auf der durchgeführten Arbeitskalkulation. Dabei werden die Vorgaben aus der Arbeitskalkulation, die die Ziel- bzw. Soll-Stunden je Woche und Geschoss ausweisen, in eine Tabelle übertragen. Dies kann auch in einem Soll-Terminplan eingetragen werden (Bild 5-21). Es ist Aufgabe des Bauführers die auf der Baustelle verbrauchten Ist-Stunden mit den Soll-Vorgaben der Baustelle gegenüberzustellen und die Soll-Ist-Differenzen zu ermitteln.

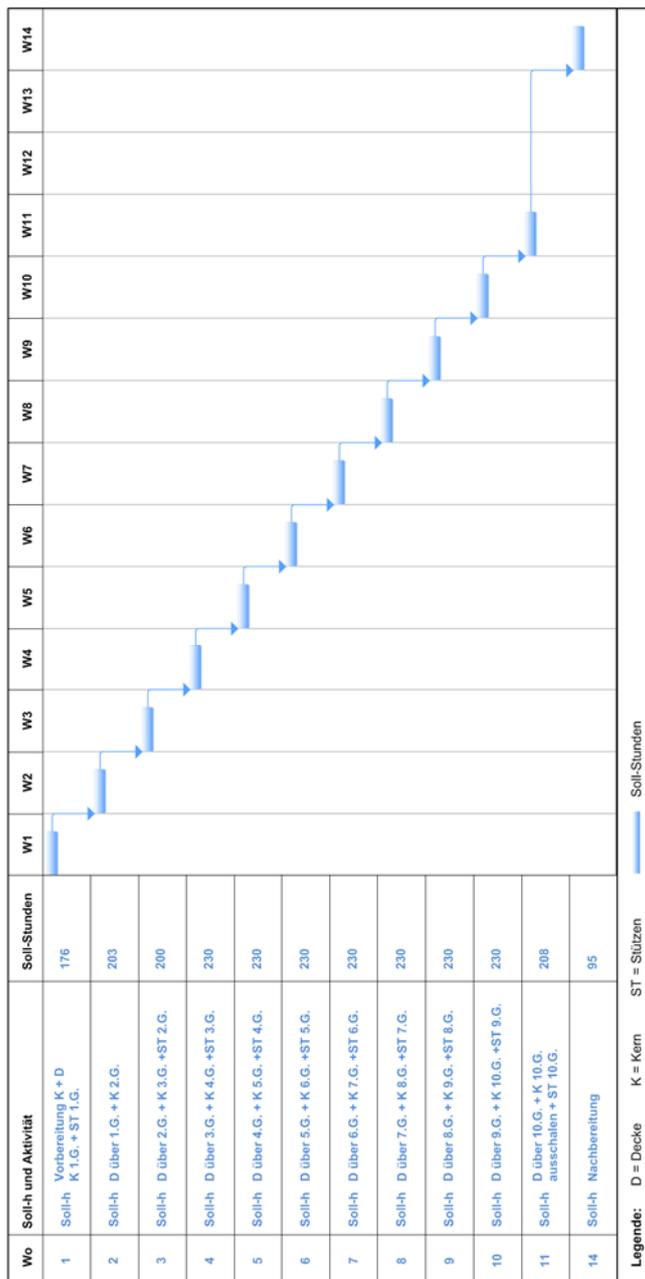


Bild 5-21: Soll-Terminplan

Tabelle 10: Baustellencontrolling – Soll-Vorgaben in h/Woche

	Rohbau 1.-10. G.										Soll- Total							
	1. Wo	2. Wo	3. Wo	4. Wo	5. Wo	6. Wo	7. Wo	8. Wo	9. Wo	10. Wo		11. Wo	12. Wo	13. Wo	14. Wo			
Vor- bereitung																		
	Schalungsvorbereitung																	
	Kern	27															27	
	Decke	65															65	
	1. Geschoss	84															84	
	Kern 1. G. + Stützen 1. G.		110														110	
	Decke über 1. G.																	
	2. Geschoss			93													93	
	Kern 2. G.				110												110	
	Decke über 2. G.																	
Bau- produktion	3. Geschoss																90	
	Kern 3. G. + Stützen 2. G.				140												140	
	Decke über 3. G.																	
	4. Geschoss																90	
	Kern 4. G. + Stützen 3. G.					140											140	
	Decke über 4. G.																	
	5. Geschoss																90	
	Kern 5. G. + Stützen 4. G.						140										140	
	Decke über 5. G.																	
	6. Geschoss																90	
Nach- bereitung	Kern 6. G. + Stützen 5. G.																140	
	Decke über 6. G.																	
	7. Geschoss																90	
	Kern 7. G. + Stützen 6. G.																140	
	Decke über 7. G.																	
	8. Geschoss																90	
	Kern 8. G. + Stützen 7. G.																140	
	Decke über 8. G.																	
	9. Geschoss																90	
	Kern 9. G. + Stützen 8. G.																140	
Decke über 9. G.																		
Ist- Woche- stunden	10. Geschoss																90	
	Kern 10. G. + Stützen 9. G.																140	
	Decke über 10. G.																	
	Kern ausschalen + Stützen 10. G.																47	
	Nachbereitung																	
	Kern																	21
	Decke - 9. Geschoss																	
	Decke - 10. Geschoss																	95
	8. Stock-Hilfsstützen																	
	Summe	176	203	200	230	230	230	230	230	230	230	208					95	2492
Ist-Woche- stunden																		
Soll-Ist-Differenz																		
Summierte Differenz																		

5.4.2 Wochenleistungs-Controlling

Das Wochenleistungs-Controlling dient zur „bottom-up“ Arbeitsorganisation und Vorgabe für die Baustelle. Mit ihrer Hilfe lässt sich die Baustelle auf Polierebene steuern und ermöglicht, mit den Polieren einen wöchentlichen kontinuierlichen Verbesserungsprozess durchzuführen. Zudem bilden diese Vorgaben eine ideale Grundlage zur Arbeitsplanung der Arbeitsgruppen.

Basierend auf den Leistungsvorgaben (Tabelle 10) wird in einem weiteren Schritt ein Wochenleistungs-Controlling für den Baufortschritt von Decke und Kern vorgenommen. Tabelle 10 dient dabei als Vorlage für ein effizientes Wochenleistungs-Controlling und ordnet die jeweiligen Stundenvorgaben für die Erstellung von Decke und Kern systematisch in die Bereiche Job-Leistung, als Soll- bzw. Zielstundenvorgabe bzw. als Ist-Stundenerfassung zur Erstellung der jeweiligen Bauelemente und der Summenleistung einschließlich des Berichtsmonats sowie der Prognose-Leistung bis zum Bauende. Die Prognose-Leistung simuliert den zu erwartenden Gesamtstundenaufwand bis zur Fertigstellung auf Basis des erzielten Ist-Ergebnisses bis zum Ende des Berichtsmonats sowie der sich ergebenden Baumstände bzw. unter Berücksichtigung der eingeleiteten Verbesserungsmaßnahmen.

In der Spalte Job-Leistung werden in der Zeile Σ (Summe) die Stunden der Bauelemente summiert, die in der jeweiligen Woche hergestellt werden sollen. Diese dienen einerseits als Soll- bzw. Grenzstunden der Leistungsvorgabe und andererseits werden die verbrauchten Ist-Stunden diesen Soll- bzw. Grenzstunden gegenübergestellt. Dabei ist die Ziel- bzw. Soll-Leistung als Vorgabe aus der Arbeitskalkulation von der Ist-Leistung als tatsächliche Leistung der Baustelle abzugrenzen. Der dazugehörige Fertigstellungsgrad in % bezieht sich auf abgeschlossene Leistungen der betrachteten Woche.

Bild 5-22 zeigt schematisch die Abweichungen der Ist-Leistung von jenen der Soll-Leistung aufgrund einer Planlieferungsverzögerung durch den AG (Ursache) und der daraus sich ergebenden Produktionsstörung und der einhergehenden Terminverzögerung beim AN (Wirkung) infolge Leistungshemmung und Leistungsunterbrechung. Aufgrund einer verspäteten Planlieferung und eines daraus resultierenden Leistungsabfalls auf der Baustelle kann die Erstellung der Decke und des Kerns nicht zeitgerecht erfolgen. Die aufgetretenen Leistungsverluste müssen somit eine Woche verspätet nachgeholt werden (3 zusätzliche Arbeitstage + 2 Leertage).

Die Arbeitsgruppen Decke und Kern begannen - trotz fehlender Spezialpläne für nutzerbedingte Deckendurchbrüche und Ankerkonsolen in den Kernwänden - in der m.-Woche mit dem Stellen der Schalung sowie dem Verlegen der Standardbewehrung. Jedoch wurde durch die verspätete Lieferung der Pläne

1. für die Zusatzbewehrung der Aussparungen und Konsolen sowie
2. für die genaue Größe und Lage der Aussparungen

die Leistung der Gruppen gehemmt und behindert.

Erst montags in der (m+1).-Woche wurde die Spezialaussparungs-Schalung sowie die Zusatzbewehrung geliefert. Von Montag bis Mittwoch erfolgten die Korrekturarbeiten sowie das Betonieren der Decke über dem (n-1).-Stockwerk und der Kern im n.-Stockwerk.

Die Mannschaft hatte somit 2 Tage (Donnerstag und Freitag) Leerzeiten aufgrund der Abbindedauer des Betons in der (m+1).-Woche. Erst am Montag in der (m+2).-Woche konnte der normale, zyklische Bauablauf mit der Decke über dem n. Stock und dem Kern im (n+1).-Stock begonnen werden (Bild 5-22).

Die Mannschaft hat aufgrund der Planlieferungsbehinderung in der 8. Woche nur eine Fertigstellung erreicht im Soll-Umfang von 56 Soll-Leistungsstunden für die Deckenherstellung und 36 Soll-Leistungsstunden für die Kernherstellung. Dies ergibt Gesamt-Soll-Leistungsstunden von 92 h und entspricht einem Soll-Fertigstellungsgrad von 40%. Aufgrund der Behinderung werden allerdings nur 175 Ist-Stunden verbraucht, da die Mannschaft ihre Normalarbeitszeit auf 7 h/AT reduzieren konnte, um so die Zusatzkosten der Behinderung minimieren zu können.

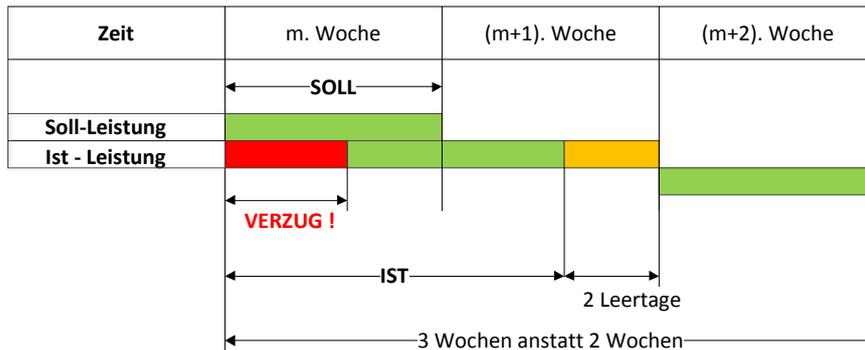


Bild 5-22: Soll-Ist-Abweichung durch Verzug auf der Baustelle

Somit ist der Fertigstellungsgrad nach der 8. Woche:

- Alle Decken unter dem/und im 6. Stock und alle Kerne unter/und im 7. Stock – 100% fertiggestellt,
- Decke über 7. Stock – 40% fertiggestellt,
- Kern im 8. Stock – 40% fertiggestellt.

In der folgenden 9. Woche muss die Rest-Soll-Leistung von 60% (Decke und Kern) mit einem wertschöpfenden Soll-Stundenanteil von

- Decke: $h_{D,9.Woche}^{Soll} = 140 - 56 = 84 h$
- Kern: $h_{K,9.Woche}^{Soll} = 90 - 36 = 54 h$
- Total: $h_{9.Woche,teilerfertig}^{Soll} = 138 h$

erbracht werden.

Auch in der 9. Woche sind ca. 175 Ist-Stunden angefallen, da die Mannschaft in ihrem Fertigungsfluss durch die Leerzeit behindert wurde, die zum Abbinden des Betons während der Woche (Donnerstag und Freitag) anfiel, anstatt der geplanten Wochenendnutzung (Samstag und Sonntag) zum Abbinden des Betons.

Diese relative Wochenleistungsschätzung erfolgt nach ungefähren Zuweisungen der Soll-Stunden zu den einzelnen Abschnitten der Decke und des Kerns. Eine solche Soll-Leistungsabgrenzung für ein ungeplantes Zwischenstadium kann sehr genau, z. B. nach Tonnen verlegtem Stahl oder nach geleisteter Schalarbeit, zum Gesamtumfang rechnerisch zugewiesen werden oder relativ genau geschätzt werden.

Diese eingetretenen Behinderungen mit den einhergehenden nicht wertschöpfenden Stunden werden folgendermaßen berechnet:

$$h^{Nachforderung} = (140 - 56) + (140 - 84) = 140 h$$

Dieser Stundenwert muss der Unternehmer beim Eintreten der Behinderung beim Bauherrn anzeigen sowie den Bauherrn über die Beendigung (z. B. nach der 2. Woche) informieren. Diesen Mehraufwand kann der Unternehmer im Rahmen einer Nachforderung als Mehrkosten geltend machen.

Die notwendigen Stunden zur Fertigstellung des Bauwerkes nach dem jeweiligen Stichtag sind in der Spalte Prognose zu erfassen, wobei die erforderlichen Leistungsstunden bis zum Bauende antizipiert werden müssen. Es wird dabei ersichtlich, dass sich die Leistungserstellung um eine Woche nach hinten verschiebt und ebenso die to-

talen Stunden aufgrund der zusätzlichen Arbeits- bzw. Verlustzeiten erhöhen. Es obliegt somit dem Bauführer rechtzeitig Gegenmaßnahmen zu treffen, um weitere Abweichungen von den Soll-Vorgaben zu verhindern und das Bauprojekt erfolgreich in der vertraglich festgelegten Bauzeit abzuwickeln.

Neben der tabellarischen Darstellung kann auch eine grafische Auswertung der Soll-Vorgaben und der Ist-Leistungen mit den entstandenen Abweichungen durchgeführt werden. In der Baupraxis wird üblicherweise der Terminplan zur graphisch zeitlichen Darstellung des Soll-Ist-Leistungsstandes herangezogen. Dieser kann auch mit den Soll-Ist-Stunden belegt werden (Bild 5-23).

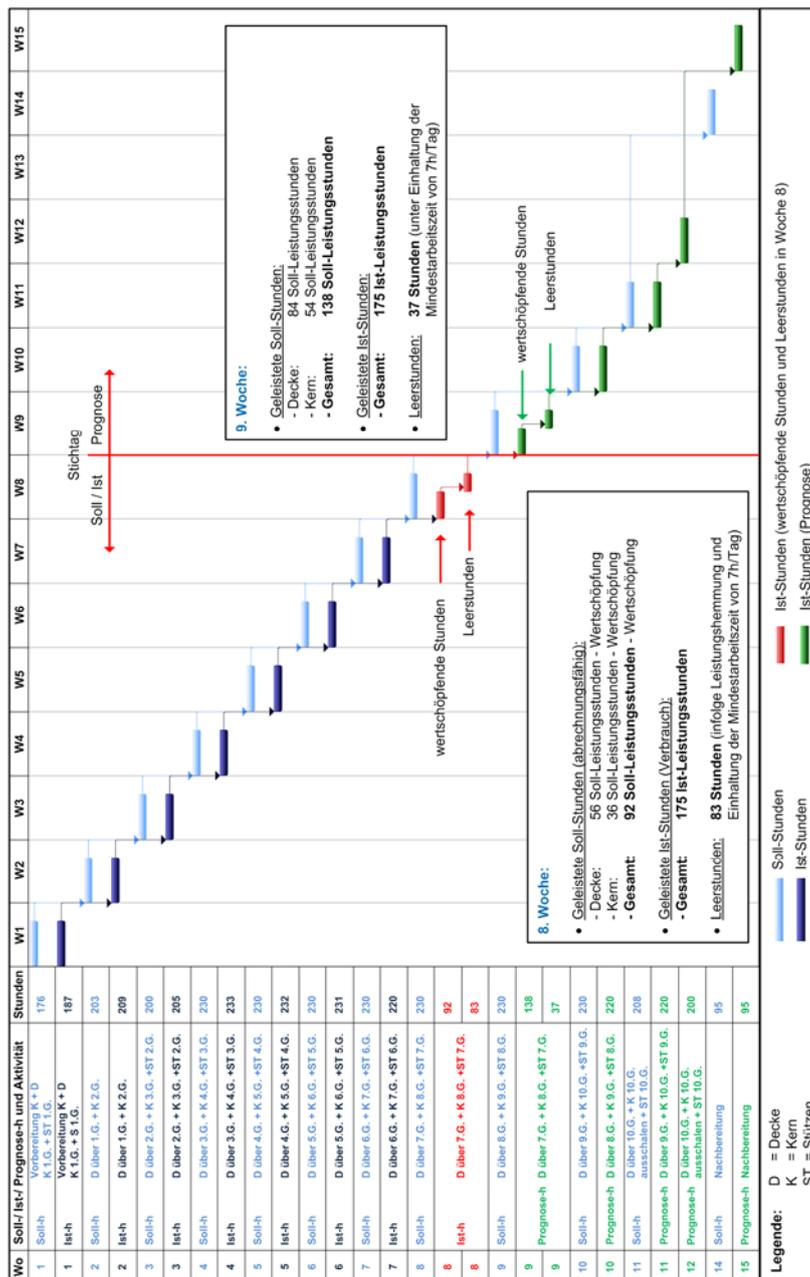


Bild 5-23: Terminplan: Soll-Ist-Stunden

Monatsleistungs-Controlling

Das Monatsleistungs-Controlling (MLC) ist ein Element des internen Berichtswesens eines Unternehmens. Mittels MLC ist der Entwicklungsstand und die Entwicklungstendenz der Baustelle in Bezug auf die Leistungsvorgaben, die die Geschäftsleitung mit der Arbeitskalkulation der Baustelle vorgegeben hat, zu überprüfen.

Auf Basis des wöchentlichen Controllings der Baustelle wird üblicherweise auch ein Monatsleistungs-Controlling durchgeführt, um im Überblick Abweichungen der tatsächlichen Ist-Stunden vom Leistungsziel der Geschäftsleitung aufzeigen zu können. Tabelle 11 zeigt ein Beispiel eines Monatsleistungs-Controllings analog zum Wochenleistungs-Controlling zur anschaulichen Darstellung der Soll- bzw. Ist-Stunden der Baustelle.

Tabelle 11: Monatsleistungs-Controlling

Monat	Geschoss	Summe Fertigstellungsgrad [%]	Woche Fertigstellungsgrad [%]	Job-Leistung		Summenleistung		Endergebnis Prognose [h]	Bemerkung
				Soll [h]	Ist [h]	Soll [h]	Ist [h]		
1	Vorbereitung	4	100	92	97	92	97		
	1	7	100	84	90	176	187		
	2	15	100	203	209	379	396		
	3	23	100	200	205	579	601		
	4	27	40	92	93	671	694		
	Σ 1. Monat				671	694			
2	4	32	60	138	140	809	834		
	5	42	100	230	232	1039	1066		
	6	51	100	230	231	1269	1297		
	7	60	100	230	220	1499	1517		
	8	64	40	92	175	1591	1692	1692	VERZUG!!
	Σ 2. Monat			920	998				STICHTAG
3	8	69	60	138		1729	1867		
	9	79		230		1959	2087		
	10	88		230		2189	2307		
	11	96		208		2397	2507		
	Σ 3. Monat			806					
4	Nachbereitung	100		95		2492	2602	2602	
	Σ 4. Monat			95		2492	2602		

Die Durchführung eines Monatsleistungs-Controllings ist besonders bei Bauwerken, deren Bauzeit sich über ein oder mehrere Jahre erstreckt, sehr empfehlenswert. Oft werden neben den Leistungen auch die entstandenen Kosten kontrolliert, um allfälligen Abweichungen entgegenwirken zu können. Dies ist notwendig, um die finanzielle Lage der Baustelle im Rechnungswesen zu bewerten.

Der Monatsbericht enthält neben dem Monatsleistungs-Controlling noch einen systematischen Baustellenkurzbericht. Dieser Baustellenkurzbericht enthält im Regelfall folgende Berichtsstruktur:

Leistung

- Kurze Beschreibung der ausgeführten Leistungen
- Gründe für eine Leistungsumstellung
 - interne
 - externe
- Beschreibung der Leistungsabweichung von den Soll-Vorgaben
- Eingeleitete Maßnahmen zur Leistungssteigerung

Bauherr/Planer

- Projektsitzungen – Hauptinhalte
- Anordnungen des Bauherren

Behinderungen/Nachträge

- Behinderungsanzeigen – Gründe
- Nachträge (meist separate Liste)
 - in Vorbereitung
 - gestellte Nachträge
- Offene Nachtragsforderungen

Rechnungsstellung/Zahlungseingang (separate Liste)

- Rechnungsstellung
- Zahlungseingänge
- Verspäteter Zahlungseingang
- Offene Forderungen
- Gründe, warum der Bauherr offene Forderungen nicht zahlt
- Maßnahmen

Besondere Vorkommnisse

- Unfall
- Besucher
- etc.

Das Baustellencontrolling basierend auf einer systematischen, bauteilbezogenen Arbeitskalkulation ermöglicht in Verbindung mit der Ressourcen- und Terminplanung eine systematische Steuerung der Baustelle bis hin zur Poliergruppe. Dabei werden die entsprechenden Arbeitsprozesse in ihrer Folge und logistischen Interaktion mit den beauftragten Leistungspositionen für die zu erstellenden Bauelemente gekoppelt.

5.5 KVP - Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Der kontinuierliche Verbesserungsprozess muss eingebettet sein in das Projekt-Qualitätsmanagement-Handbuch und muss sich auf die Projektziele des Unternehmens ausrichten. Eine Verbesserung ist nur dann möglich, wenn das Messen der Zielerreichung machbar ist („If you can not measure, you can not manage“). Die Verbesserungen im Projekt richten sich nach den jeweiligen projektspezifischen Soll-Vorgaben aus, z. B.:

- Leistungsverbesserung der direkten Produktionsabläufe durch Vereinfachung der Tätigkeitsabläufe, veränderte Verfahren, etc.

- Leistungsverbesserungen der Logistikabläufe, bzgl.
 - Materialbereitstellung
 - Materiallagerung
 - Geräteeinsatz
 - Veränderung der Abläufe
 - Abgestimmte Nutzung von Baustellentransportgeräten und von Geräten zwischen verschiedenen Teams
- Sicherheitsverbesserung in den einzelnen Bauphasen zur Verringerung der Unfallgefahr und Verbesserung der Leistung durch erhöhte Sicherheit
- Qualitätsverbesserung zur Verhinderung von Nachbearbeitung
- Umwelteinflussminimierung (Lärm, Staub, etc.) zur Minimierung von Beschwerden und Behinderungen der eigenen Baustelle

Der kontinuierliche Verbesserungsprozess [KVP] wird meist in den in Bild 5-24 dargestellten Stufen umgesetzt:

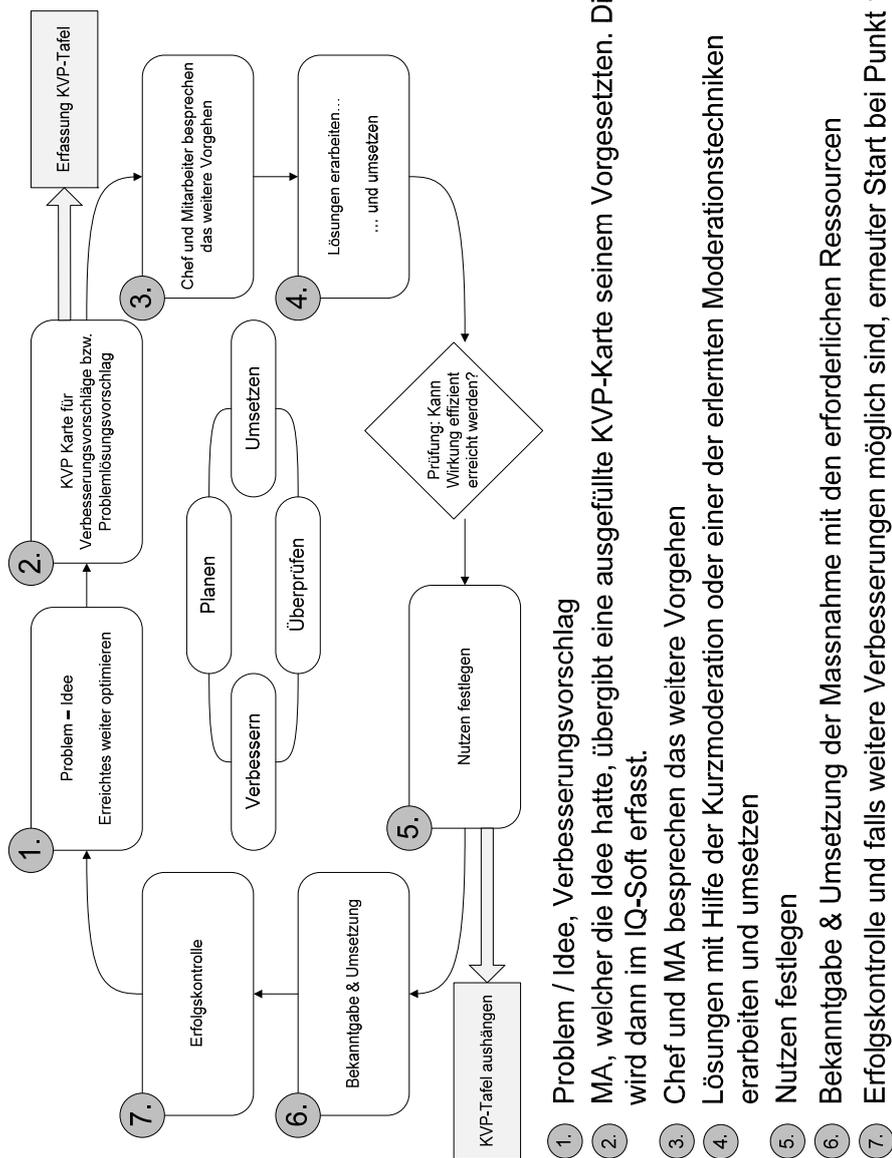


Bild 5-24: Ablauf eines KVP-Vorschlages auf der Baustelle

1. Problem / Idee, Verbesserungsvorschlag
2. MA, welcher die Idee hatte, übergibt eine ausgefüllte KVP-Karte seinem Vorgesetzten. Diese wird dann im IQ-Soft erfasst.
3. Chef und MA besprechen das weitere Vorgehen
4. Lösungen mit Hilfe der Kurzmoderation oder einer der erlernten Moderationstechniken erarbeiten und umsetzen
5. Nutzen festlegen
6. Bekanntgabe & Umsetzung der Massnahme mit den erforderlichen Ressourcen
7. Erfolgskontrolle und falls weitere Verbesserungen möglich sind, erneuter Start bei Punkt 1

KVP-Karte: Problemlösungsvorschlag

1. Thema / Problem		2. Auswirkungen & Daten / Ursachen	
3. Ziel		<pre> graph LR Mensch --> Arrow Maschine --> Arrow Methode --> Arrow Material --> Arrow Arrow --> Auswirkung((Auswirkung)) </pre>	
4. Ideen / Lösungen		Pkt	5. Vorteile / Machbarkeit
7. Aktivitäten		Wer	Termin
Moderation / TeilnehmerInnen: Sitzungsdauer / Aufwand Std.: / Realisierung bis: Erfolgskontrolle am: Datum: Stellungnahme Vorgesetzter:			

Bild 5-25: KVP-Karte auf der Baustelle Problemlösungsvorschlag

Der Problemlösungsprozess soll wie folgt durchgeführt werden (Bild 5-25):

- Problem, welches zu Ineffizienzen führt, muss erkannt werden, z. B. Sicherheitsproblem, Warten auf Material, Material umstellen, Ist-Stunden grösser als Soll-Stunden, Nacharbeiten aufgrund von Fehlstellen
- Lösungsvarianten mittels Brainstorming in einer Teamsitzung erarbeiten und auf Ideenkarte festhalten
- Lösungsvariante bewerten auf
 - Effektivität
 - Kosten
 - Risiken

- Vorteile und Nachteile

- Lösungsvariante auswählen
- Aktivitätsplan für die Genehmigung und Umsetzung ausarbeiten

In der wöchentlichen Bausitzung zwischen Baustellenchef, Baustellenführer und Polier werden die Soll-Ist-Abweichungen sowie die Probleme der Baustelle diskutiert. Dann werden die Lösungsvorschläge besprochen und bewertet. Je nach Umfang und Wirkung der KVP-Massnahmen kann diese

- direkt beschlossen werden, z. B. zur direkten Gefahrenabwendung oder zur direkten Verbesserung der Arbeits- oder Logistikabläufe ohne grundsätzliche Veränderung der jeweiligen Elementarprozesse,
- zur vertieften Prüfung an die AVOR- bzw. Kalkulationsabteilung weiter gegeben werden, um die interaktive Wirkung auf Parallel- bzw. Folgeabläufe zu prüfen und die Leistungs- und Kostenwirksamkeit zu überprüfen.

Jeder Problemlösungsvorschlag wird bewertet und beurteilt. Die erfolgreichen Lösungsvorschläge werden durch den Baustellenchef bzw. den Baustellenführer bekannt gegeben. Je nach Ressourcenbedarf werden sie:

- Formell mündlich in den wöchentlichen Baustellensitzung bekannt gegeben und die Ergebnisse werden im Protokoll vermerkt.
- Schriftlich und mit Anweisungen über Gerätebereitstellung, Ablaufänderungen, etc. und neuen Soll-Vorgaben sowie Planänderungen bekannt gegeben und veranlasst.

Nach der Instruktion der Mitarbeiter und Beginn der Umsetzung beginnt gleichzeitig das Erfolgscontrolling bezüglich der Zielerreichung der Soll-Vorgaben bzw. inwieweit die KVP-Massnahmen greifen und die erwartete Verbesserung eingetreten ist. Die KVP-Massnahme sollte wiederum kritisch auf Verbesserungen vom Team und der Baustellenleitung hinterfragt werden.

Beim KVP ist es wichtig, dass der Respekt gegenüber den Mitarbeitern im Mittelpunkt des Erfolges steht. Dann ist der Polier bereit seine Ideen für Detailabläufe einzubringen und der Bauführer leitet das Gesamtkonzept. Wenn diese Symbiose funktioniert ist der KVP erfolgreich.

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 6: Bauverfahren des Tiefbaus - Baugrubenumschliessungen

Inhaltsverzeichnis

6	Bauverfahren des Tiefbaus – Baugrubenumschliessungen	315
6.1	Grundlagen und Arten von Baugrubenumschliessungen	315
6.2	Spundwandbauweise.....	317
6.3	Trägerbohlwände - Rühlwände.....	318
6.4	Ausführung der Rammarbeiten.....	322
6.4.1	Einflussgrößen	322
6.4.2	Rambärsysteme	327
6.4.3	Schnellschlaghammer	330
6.4.4	Vibratoren / Vibrationshämmer.....	332
6.4.5	Beurteilung des Baugrunds für das Einbringen von Rammgut.....	334
6.4.6	Rammleistungen.....	335
6.4.7	Einbauverfahren	336
6.4.8	Einbringen von Spundbohlen	340
6.4.9	Probleme beim Einbau von Spundwandbohlen.....	344
6.4.10	Dichten von Spundwänden.....	346
6.4.11	Baugrubenumschliessung mit Kastenfangdamm.....	347
6.4.12	Spezielle Aspekte beim Ziehen der Spundwände	350
6.5	Trägergeräte für das Rammen und Ziehen	352
6.6	Baugrubenaussteifung.....	358
6.7	Anker und Ankerarbeiten	366
6.8	Pfahlwände	371
6.9	Schlitzwände.....	374
6.10	Mixed-in-Place-Wände.....	376
6.11	Gefrierwände/Injektionswände	379
6.12	Auswahlkriterien für Baugrubenumschliessungen.....	379
6.13	Ausführungsbeispiele	385
6.13.1	Querung einer bestehenden Rohrleitung durch eine Rühlwand	385
6.13.2	Querung einer bestehenden Rohrleitung durch eine Spundwand ...	385
6.13.3	Baugrube im Grundwasser – Einbindung der Baugrubenumschliessung	386
	Literaturverzeichnis	388

6 Bauverfahren des Tiefbaus – Baugrubenumschliessungen

6.1 Grundlagen und Arten von Baugrubenumschliessungen

Die Baugrubenherstellung ist, neben der Rohbauherstellung und dem Ausbau, einer der Hauptprozesse des Bauproduktionsprozesses eines Bauwerks.

Dieser Hauptprozess gliedert sich (Bild 6-1) in die Modulprozesse Baugrubenumschliessung, Baugrubenaussteifung und Aushub, sowie Rückfüllung nach Herstellung des Kellerrohbaus. Diese Prozesse sind interaktiv. In diesem Kapitel befassen wir uns mit den Modulprozessen Baugrubenumschliessung und Baugrubenaussteifung.

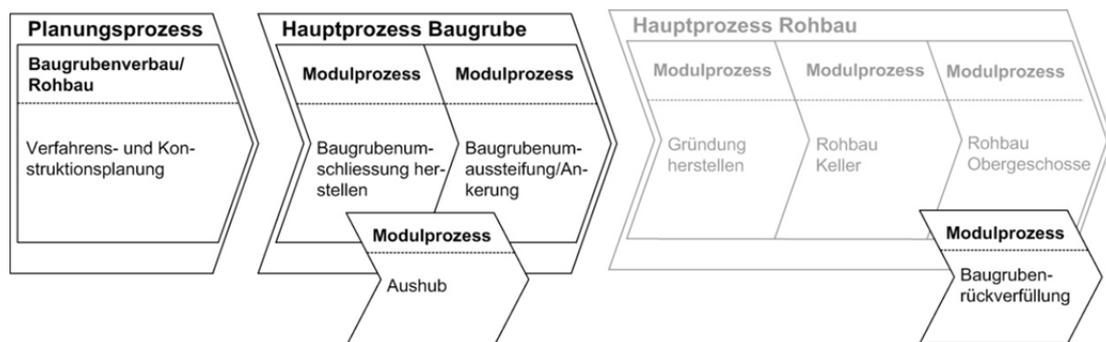


Bild 6-1: Prozess der Baugrubenherstellung

Baugruben können prinzipiell mit Böschungen oder vertikalem Verbau umgeben werden. Die Entscheidung ob eine Baugrube geböscht oder vertikal verbaut umschlossen werden kann, hängt ab von:

- den projektspezifischen Anforderungen (Vertrag)
- der umgebenen Bebauung
- den geologischen und hydrologischen Bedingungsgrößen
- den Umwelanforderungen an Lärm und Erschütterungen
- den Kosten der Baugrube, sowie den interaktiven Prozesskosten: Baugrubenumschliessung, Aussteifung, Aushub, Erstellung des Bauwerks, Rückfüllung

Für die Ausführung von Baugrubenumschliessungen stehen folgende Bauverfahren zur Auswahl:

- Böschung
- vernagelte Böschung
- Spundwände
- Rühlwände
- Pfahlwände
- Schlitzwände
- MIP-Wände (Mixed-in-Place-Wände)

- Jetting (Jet Grouting) / Injektionen / HDI-Injektionen
- Gefrierwände (Spezialfall)

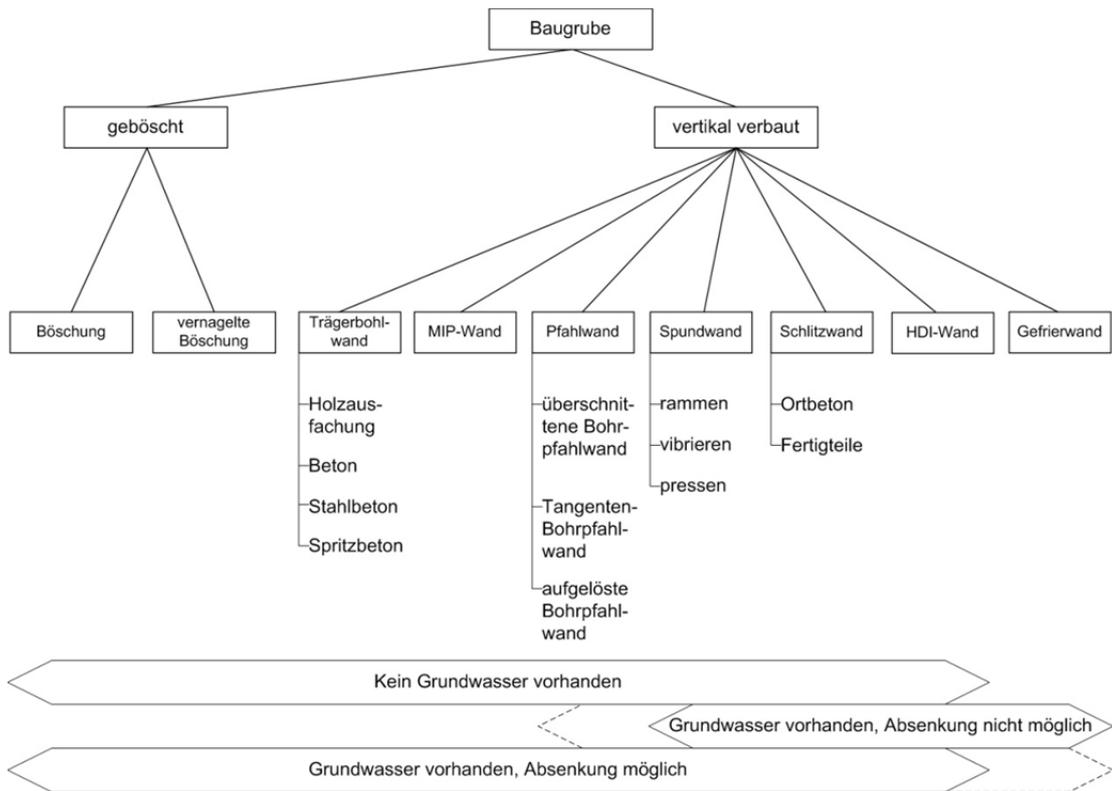


Bild 6-2: Baugrubenumschliessungen – Übersicht

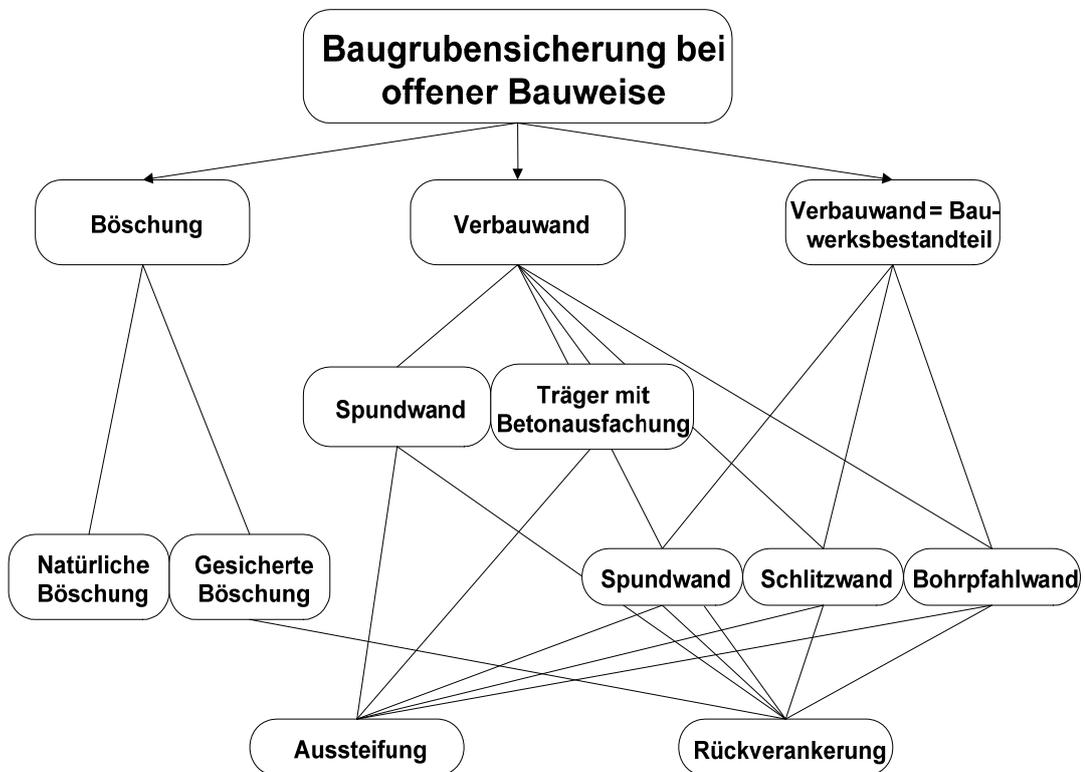


Bild 6-3: Baugrubensicherung bei offener Bauweise

6.2 Spundwandbauweise

Bei der Wahl des Spundwandprofils für Baugrubenumschliessungen muss man nicht nur die statische Ausnutzung und die Rammfähigkeit, sondern auch die Wiedergewinnung und Wiederverwendungsmöglichkeit berücksichtigen (Bild 6-4). Die Wiederverwendung ist bei stärkeren Profilen eher gegeben als bei dünnwandigen (Verschleiss).

Vorteile:

1. schneller Baufortschritt (ca. 20 m/Tag), je nach Bodenart und Bohlenlänge
2. mehrfacher Einsatz möglich
3. fachweise bzw. staffelförmige Rammung möglich
4. weitgehende Dichtigkeit bei anstehendem Wasser
5. Material kann wiedergewonnen werden.

Nachteile:

1. Grössere Hindernisse können nicht beseitigt oder durchschlagen werden (Abhilfe durch nachträgliches Rammen einer zusätzlichen Bohle auf der Innen- oder Aussenseite).
2. Bohlen können aus dem Schloss springen, dann sind umfangreiche Verpressarbeiten oder Schweissarbeiten erforderlich.
3. Lärmbelästigung durch Rammung
4. Vibrationsschäden an benachbarter Bebauung durch Rammarbeit
5. Die Baugrubentiefe ist im Allgemeinen auf ca. 25 m begrenzt.

1. Hoesch



2. Larsen



3. Krupp



Bild 6-4: Spundwandssystem

Spundwände verschiedenster Profilstärken werden überall dort gebraucht, wo es darum geht, einen dichten Baugrubenabschluss zu erstellen und das Wasser (Grundwasser, Fluss-, See-, Meerwasser) weitgehend aus der Baugrube fernzuhalten. Bei einwandfreiem Einsatz kann eine mehrmalige Verwendung (10 - 20 ×) gewährleistet werden. Extreme Einsätze (bei hohen Belastungen, Findlingen, Fels) können zu Deformationen und Beschädigungen und damit zu Verlusten führen.

6.3 Trägerbohlwände - Rühlwände

Die Trägerbohlwand ist eine aufgelöste Konstruktion eines vertikalen Baugrubenabschlusses. Die Trägerbohlwand besteht aus (Bild 6-5):

- Trägern die im Abstand von ca. 2 m angeordnet werden
- Ausfachungen zwischen den Trägern

Als senkrechte Tragglieder kommen im Wesentlichen in Frage:

1. eingerammte oder mit einem Vibrationsbär eingerüttelte Walzprofile
2. in vorgebohrte Löcher gestellte Walzprofile
3. Bohrpfähle aus Stahlbeton

Der übliche Abstand der Bohlträger beträgt 2.00 bis 2.50 m. Der Feldabstand sollte gleichmässig sein, um unterschiedliche Belastungen und Verdrehungen zu vermeiden. Um den freigelegten Boden zwischen den Bohlträgern zu sichern, ist eine Ausfachung erforderlich, dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten:

1. Holzbohlen
2. Kanthölzer
3. Eisenbahnschwellen
4. Kanaldielen
5. Stahlbetonfertigteile
6. geschalte Stahlbetonwand in Abschnitten
7. Spritzbeton

Liegen geeignete Bodenverhältnisse **ohne Wasser** vor (Lockermaterial, **Kies/Sand**, nicht bindig oder bindig durchsetzt, diverse Moränenarten) oder kann eine Grundwasserabsenkung vorgenommen werden, so können Rühlwände als wirtschaftlich günstige Baugrubenabschlüsse vorgesehen werden.

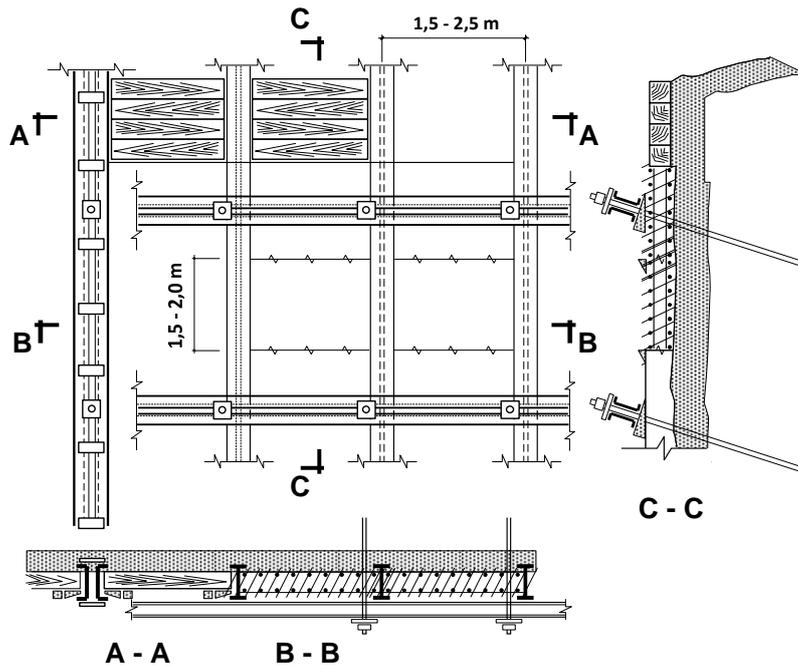


Bild 6-5: Trägerbohlwand - Rühlwand

Konstruktive Ausführung

Als senkrechte Tragglieder werden folgende Stahlprofile in Abhängigkeit der horizontalen Lastaufnahme aus diesen Trägern verwendet:

- Doppel-T-Rammträger (HEA, HEB, etc.) bei innerer horizontaler Trägerrahmenaussteifung der Baugrube
- Doppel-T-Rammträger bei rückwärts Verankerung unter Verwendung von horizontalen \llcorner -Trägern zur Lastaufnahme aus den Rammträgern und Übergabe an die Anker (Bild 6-5 rechts)
- \llcorner -Rammträger zur direkten Aufnahme der Anker ohne horizontalen Lastaufnahmeriegel (Bild 6-5 links)

Ist der Untergrund rammbaar und sind keine Hindernisse (z.B. Findlinge) vorhanden, so können die Profile einvibriert oder gerammt werden. Andernfalls sind Bohrungen (je nach Untergrund verrohrt oder unverrohrt) vorzusehen, in welche die Träger mit einer Endrammung zum Einbinden des Rammträgerfusses gestellt werden.

Bei der gebohrten Rühlwandlösung wird der Trägerfuss meist einbetoniert und die Resthöhe der Wand mit Kies/Sand aufgefüllt. Oder die Bohrung ist nur durch eine Schicht zur Auflockerung durchzuführen, dann wird der Träger gerammt.

Statische Wirkungsweise

Die Lasteinwirkung auf die Rühlwand sowie das statische System bestimmen das Stahlprofil, den Trägerabstand, die Ankerlagen und die Anzahl der Anker. Berücksichtigt werden muss dabei das anstehende Bodenmaterial, das ebenso für die Aushubetappen mitbestimmend ist.

Betrachtet man das statische System einer Rühlwand (Bild 6-6), so sind grundsätzlich die beiden Fälle der Lastabtragung in horizontaler Richtung und der Lastabtragung in vertikaler Richtung zu unterscheiden.

1. Lastabtragung in horizontaler Richtung:

Die Belastung durch den Erddruck auf den Baugrubenverbau wird durch die Ausfachung in die Trägerbohlen eingeleitet. Die einzelnen Ausfachungselemente wirken hier als Einfeldträger (bei Ausfachung mit: Holzbohlen, Kanthölzer, Eisenbahnschwellen, Kanaldielen oder stabförmigen Stahlbetonfertigteilen), oder als einaxial gespannte Platte (bei Ausfachung mit: geschalter Betonwand oder Spritzbeton). Bei Ausfachungen mit Ortbeton oder Spritzbeton ist darauf zu achten, dass die Stärke der Ausfachung so gross ist, dass sich zwischen den Trägerbohlen ein Druckgewölbe ausbilden kann.

2. Lastabtragung in vertikaler Richtung:

Die Belastung auf die Trägerbohlen in vertikaler Richtung ergibt sich aus den durch die Ausfachung eingeleiteten Lasten. Das statische System ist hier das eines elastisch eingespannten Trägers, mit einem oder mehreren Auflagern, entsprechend der Anzahl der Ankerlagen bzw. der Anzahl der Lagen der Aussteifungen.

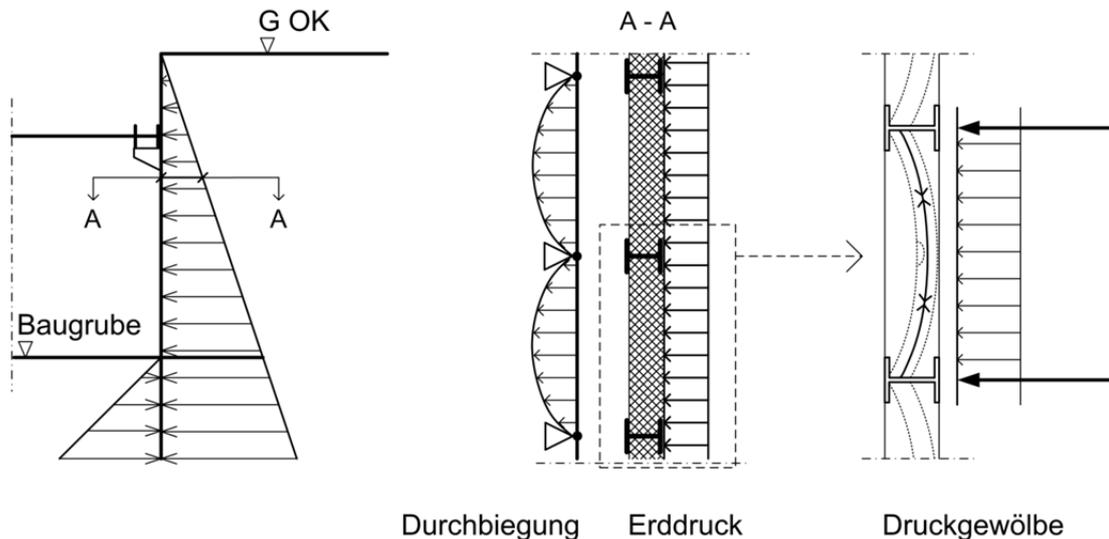


Bild 6-6: Rühlwand - Statisches System

Herstellungsphasen

Nach dem Einbringen der vertikalen Stahlprofile folgt in vertikaler Richtung etappenweise der Aushub (Bild 6-7). Die Aushubetappen betragen im Allgemeinen 4-5m. Nach ca. 2m Aushubtiefe erfolgt etappenweise die Ausfachung zwischen den Trägern. Die Ausfachung wird bei geringeren Baugrubentiefen meist von oben nach unten durchgeführt, wobei die Bohlen nach dem etappenweisen Aushub mit einer Baggerschaufel von oben nach unten nachgedrückt werden. Bei wieder verwendbarer Ausfachung setzt man die Bohlen in Rahmen aus U-Profilen, die etwas kleiner sind als der Achsabstand der Rammträger (Toleranz für Abweichungen der Rüttel- oder Rammträger) und eine Höhe von etwa 1.50 m aufweisen. Solche Bohlenplatten können effizient gesetzt und später mit dem Bagger gezogen werden. Bei tieferen Baugruben, bei denen ein Nachdrücken der Ausfachung von oben nach unten nicht mehr möglich ist, erfolgt die Ausfachung unmittelbar nach der jeweiligen Teilaushubphase (ca. 2m) im freigelegten Bereich unterhalb der bereits in der vorangegangenen Aushubphase erstellten Ausfachung aus Spritzbeton oder Ortbeton in vorgehängter Schalung. Nach dem Ausfachen erfolgt das Bohren und Versetzen der Anker. Sollte auf gewissen Schichtverläufen Sickerwasser anfallen, so muss dieses gefasst und abgeleitet werden. Allenfalls

muss Sickerbeton hinter der statischen Ausfachung vorgesehen werden, um einen Wasserstau zu vermeiden.

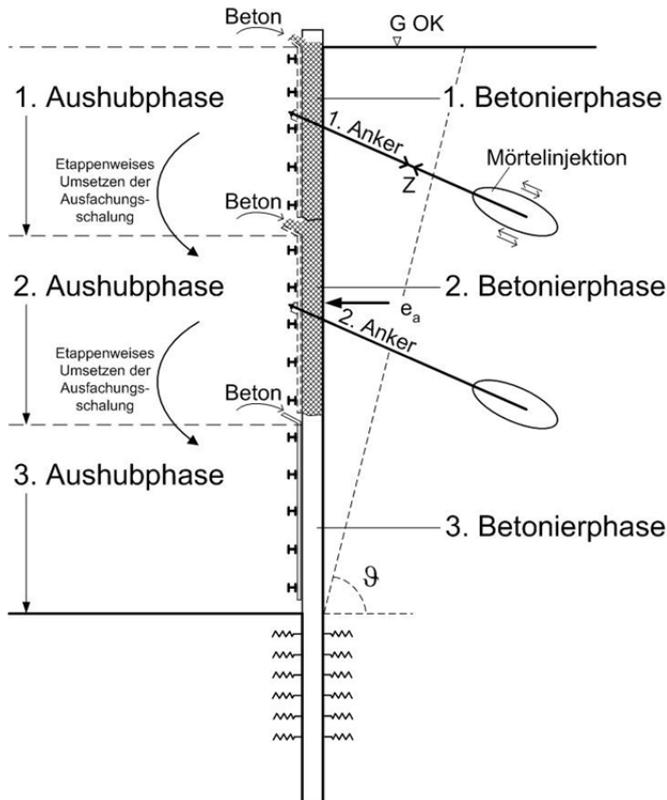


Bild 6-7: Herstellungsphasen einer Rühlwand

Vorteile sind:

1. **gute Anpassung** an Leitungen, Schächte, alte Bauteile oder andere Hindernisse
2. in allen Böden, oberhalb des Grundwasserspiegels, anwendbar
3. Man kann ohne Probleme von der Flucht abweichen oder Baugruben vergrößern.
4. Die Verbohlung oder der Beton zur Ausfachung wird **zwischen den Trägerflanschen** eingebracht.
5. Bauglieder können **wiedergewonnen** werden.
6. Beim Ziehen wird der Untergrund kaum gestört.
7. Die Bauweise ist meist **wirtschaftlich**.

Nachteile sind:

1. Einsatz im Grundwasser oder ohne Grundwasserabsenkung ist nicht möglich.
2. Bei rieselfähigen Böden kann Material in die Baugrube auslaufen, mit einhergehenden Setzungen um die Baugrube.

6.4 Ausführung der Rammarbeiten

6.4.1 Einflussgrößen

Je nach Projekt ergeben sich folgende **Randbedingungen für die Ausführung von Rammarbeiten**:

- gut/schlecht zugängliches Terrain
- eingeeengte Platzverhältnisse (innerstädtisch)
- Hindernisse über oder unter Terrain
- Spundwandbereiche im Wasser (See/Fluss)
- Lärm- und Vibrationsbeschränkungen

Die Auswahl des Rammgerätes wird beeinflusst durch:

- Verfügbarkeit im eigenen Firmeninventar bzw. bei externen Vermietern
- Umfang der Ramm- bzw. Zieharbeit
- Länge/Gewicht der Profile
- Verfügbarkeit eines Elektroanschlusses
- Bodenverhältnisse

Für das Rammen von Spundbohlen und Trägern verschiedenster Art, können folgende Geräte vorgesehen werden:

- Rammhären (Freifall, Druckluft und Diesel)
- Schnellschlaghämmer (Druckluft)
- Vibratoren (Hydraulik)
- Hydraulische Einpressgeräte

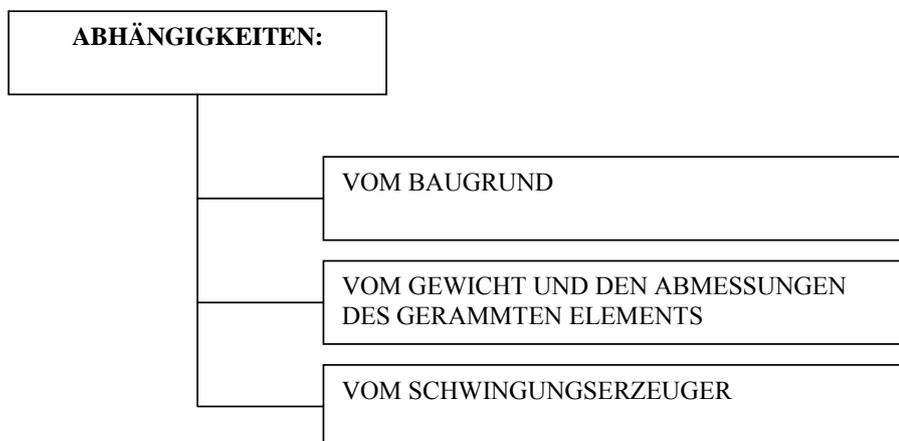


Bild 6-8: Interaktionsgrößen zur Bestimmung des Rammgerätes

Der Baugrund sowie das Gewicht und die Abmessungen des zu rammen- oder vibrierenden Elements determinieren die Anforderungen an das zur Bewältigung der Ramm- und Zieharbeit zu verwendende Gerät (Bild 6-8). Beim Eintreiben müssen die Reibung zwischen Spundwand und Boden sowie der Spitzenwiderstand überwunden werden; beim Ziehen nur die Reibung zwischen Spundwand und Boden. Das Eintreiben bzw. das Ziehen erfolgt entweder durch Schlag/Stoss (langsam mit schweren bzw. viele schnelle Stöße) oder durch Vibration. Durch den Impuls des Schlags bzw. durch die Vibration wird die Reibung (Haft- oder Gleitreibung) sowie der Spitzenwiderstand durch Grundbruch überwunden und somit das Rammgut in den Boden abgesenkt (Bild 6-9).

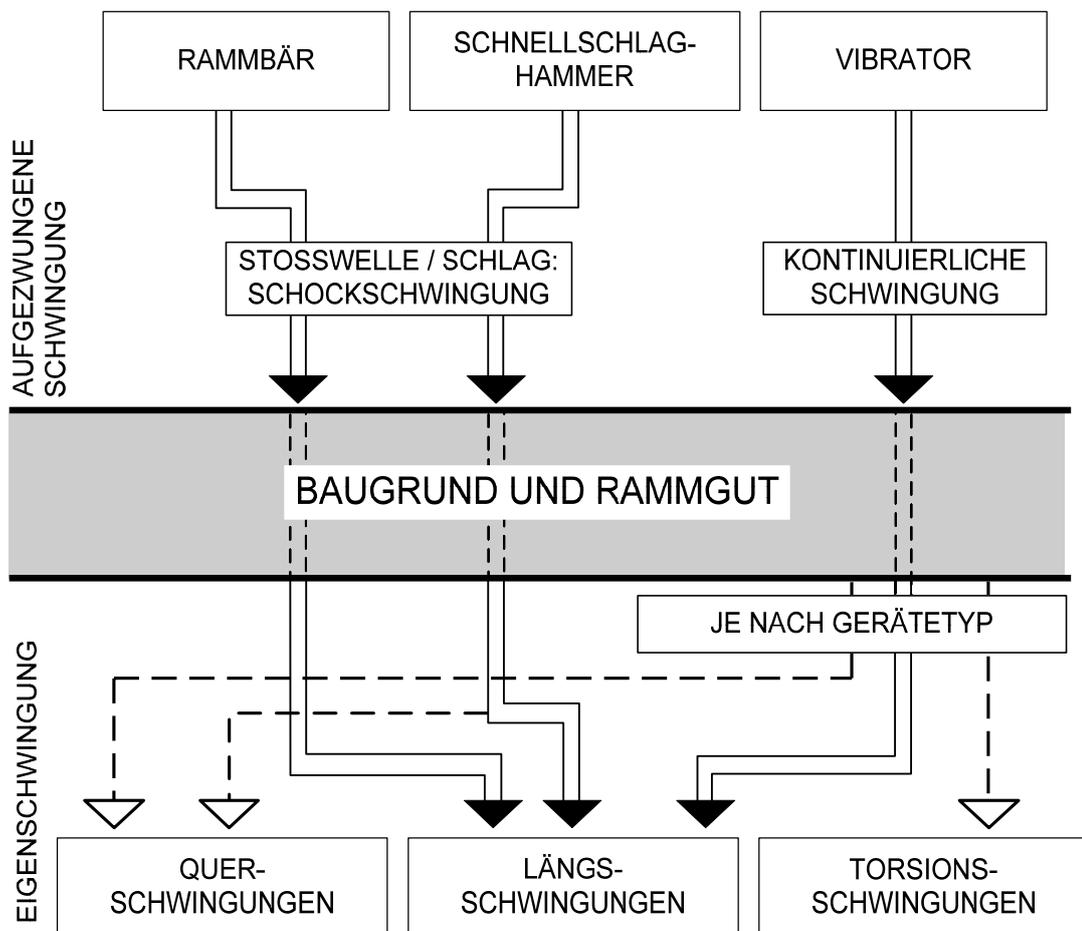


Bild 6-9: Übersicht Schwingungserzeuger

	VIBRATOREN	SCHNELL-SCHLAGHAM-MER	FREIFALLBÄREN
ANTRIEB	ELEKTRONISCH HYDRAULISCH	DRUCKLUFT DAMPF	DIESEL DAMPF DRUCKLUFT
SCHWIN-GUNGSART	AUFGEZWUNGEN LÄNGSSCHWIN-GUNG	EIGENSCHWIN-GUNG IN LÄNGS- UND QUERRICHTUNG	LÄNGSSCHWIN-GUNG
AMPLITUDE	1 – 14 mm	SCHWACH	SCHWACH
FREQUENZEN	0 – 200 Hz	LÄNGS 100 – 150 Hz QUER 50 – 100 Hz	100 – 150 Hz
ENERGIE	6 – 250 mkg	15 – 2700 mkg	150 – 30000 mkg

Bild 6-10: Prinzip des Eintreibens

Schlag-frequenz	Dampfbär	Dieselbär	Schnell-schlagbär	Hydraulikbär	Impulsbär
Schläge / min	50 - 70	40 - 60	100 - 600	- 140	- 300

Bild 6-11: Übersicht Schwingungserzeuger [1]

Die Rammsysteme mit ihren Antriebsvarianten, Schwingungscharakteristiken und Energiefreisetzung sind in Bild 6-10 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass bei den Schnellschlaghämern und Freifallbären eine Stoss- bzw. Impulsenergie intermittierend abgegeben wird, während bei den Vibrationsbären die Energie kontinuierlich abgegeben wird.

Bild 6-11 listet Richtwerte für die Schlagfrequenzen der einzelnen Vibrationserzeuger auf.

Die Charakteristiken der verschiedenen Rammsysteme ist in Bild 6-12 wiedergegeben.

Im Folgenden wird eine Übersicht über die möglichen Geräte mit ihren Leistungen gegeben. Nähere Angaben befinden sich in den Baugerätelisten[14]. Die Übersichten enthalten folgende Systeme:

- Rammbären (Tabelle 6-1)
- Schnellschlaghämmer (Tabelle 6-2)
- Vibrationshämmer (Tabelle 6-3)

	PRINZIP	SCHLAG-ZAHL 1/min	FALL-GE-WICHT Mg	GERÜST	ANTRIEB	RAMMGUTPROFIL
FREIFALLBÄR	SCHLAGEND	10 - 20	1 - 5	JA	MECHANISCH	 ⊥
DAMPFBÄR	SCHLAGEND	50 - 70	3 - 20	JA	DAMPF	   
DIESELBÄR	SCHLAGEND	40 - 80	40 - 80	JA	DIESEL	   
SCHNELL-SCHLAGBÄR	SCHLAGEND	100 - 250	0.2 - 2	NEIN	LUFT, DAMPF, HYDRAULISCH	 
HYDRAULIK-BÄR	SCHLAGEND	30 - 60	2.5 - 24	JA	HYDRAULISCH	 
IMPULSBÄR	DRÜCKEND	0 - 360	-	JA	HYDRAULISCH	 
VIBRATIONS-BÄR	VIBRIEREND	450 - 3000	100 ¹⁾	NEIN	ELEKTRISCH (HYDRAULISCH)	 
PILEMASTER	DRÜCKEND	-	8 - 20 ²⁾	NEIN	HYDRAULISCH (MECHANISCH)	

 = ROHR  = SPUNDBOEHLE  = TRÄGER  = PFAHL

1) FLIEHGEWICHT 2) PRESSKRAFT

Bild 6-12: Auswahlkriterien für Rammsysteme [1]

Tabelle 6-1: Rammen mit Rammbären

FABRIKANT	TYP	PRO MINUTE	GEWICHT kg		
				DRUCKLUFT m ³ /min	DIESELÖL Lit./h
DELMAG	D5	42 - 60	1'240		3,5
	D12	42 - 60	2'750		
	D22	42 - 60	5'030		
	D30	39 - 60	5'600		
	D44	37 - 56	10'200		
DEMAG	BB 800	42	1'900	4,5	
	BB 1500	42	2'850	10,0	
	BB 3000	42	5'800	20,0	

Tabelle 6-2: Rammen / Ziehen mit Schnellschlaghammer

**RAMMEN MIT SCHNELLSCHLAGHAMMER
(GERÄTEAUSWAHL)**

FABRIKANT	TYP	SCHLAGZAHL (BEI 6 BAR) PRO MINUTE	GESAMT - GEWICHT kg	LUFTVERBRAUCH (BEI 6 BAR) m ³ /min	BEMERKUNG
DEMAG	VR 8	180	980	5,0	
	VR 19	145	2450	12,0	
	VR 40	138	4300	13,2	
MENCK (KRUPP)	SB 80	205	1350	5,0	GLEICHE HÄMMER AUCH FÜR DAMPFBETRIEB MÖGLICH
	SB 120	175	1860	6,5	
	SB 180	150	2880	8,0	
	SB 270	130	4000	11,0	
	SB 400	115	5940	16,0	

**ZIEHEN MIT SCHNELLSCHLAGHAMMER
(GERÄTEAUSWAHL)**

FABRIKANT	TYP	SCHLAGZAHL PRO MINUTE	GESAMT - GEWICHT kg	ERFORDERLICHE VORSPANNUNG MIN. / MAX.	LUFT - VERBRAUCH m ³ / min
DEMAG	PZ 6	300 - 350	540	3200 / 9000	4,5
	PZ 12	210 - 240	1490	8000 / 20000	8,0
	PZ 21	180 - 240	2380	12000 / 25000	11,0
	PZ 5 / 40	160 - 190	4600	25000 / 40000	20,0

Tabelle 6-3: Rammen / Ziehen mit Vibratoren

FABRIKANT	TYP	UNWUCHT- DREHZAHL	GEWICHT kg	ANTRIEB ¹⁾		MOTOR kW
				EL.	HY.	
DELMAG (SYST. DÜNNERS)	PE 1401	24.3 Hz	1030	X		2 x 8 kW
	PE 2001	24.3 Hz	1080	X		2 x 10 kW
	PE 3001	24.3 Hz	1930	X		2 x 28 kW
	PE 7001	24.3 Hz	4820	X		2 x 50 kW
MÜLLER	MS - 10 HB		1300		X	
	MS - 20 H		3700		X	
	MS - 25 H		3700		X	
	MS - 50 H		6100		X	
	USW.					
PTC	15 HFVS		2750		X	242 kW
	30 HFVS		4900		X	375 kW
	25 H1		3500		X	186 kW
	50 H4		6500		X	375 kW
	SOWIE ZAHLREICHE HYDRAULISCH BETRIEBENE MODELLE					
VÖGELE	VIR 50	360 / min	1200	X		6 kW
	VIR 200	300 / min	6000	X		18 kW

1) EL. = ELEKTRONISCH / HY. = HYDRAULISCH

6.4.2 Rammbärsysteme

Die Rammbärsysteme (single-acting) und Schnellschlaghämmer (double-acting) sind Geräte die mit einzelnen Schlägen auf das Rammgut einwirken. Der Bär oder Hammer bewegt sich im freien Fall oder durch eine exogene Energiezuführung (Dampf, Hydraulik, Diesel) auf das Rammgut. Die kinetische Energie wird in einen Schlagimpuls beim Auftreffen auf das Rammgut umgewandelt. Diese Kraft setzt sich als longitudinale Schwingungswelle fort bis zur Pfahlspitze. Beim Durchlaufen der Kraft durch das Rammgut wird die Reibungskraft zwischen Boden und Rammelement überwunden und bei ausreichender Kraft der Grundbruch unter der Rammgutspitze erzeugt. Dabei senkt sich das Rammgut bei jedem Schlag weiter in den Boden bis die Rammtiefe erreicht ist.

Freifallbär

Der Freifallbär wird am Mäkler hochgezogen. Die kinetische Energie zur Einrammung wird durch den freien Fall auf das Rammgut erzeugt. Mit der Fallhöhe und dem **Gewicht des Bären** (das ca. 1.5fache des Gewichts des Rammguts) kann die Schlagenergie variiert werden. Das Verfahren ist billig und unkompliziert, hat aber infolge der geringen Schlaghäufigkeit (bis 15 Schläge pro Minute) eine geringe Leistung (Bild 6-13 links). Mit dem Freifallbär kann Rammgut mit hohem Spitzenwiderstand gerammt werden, jedoch hat das Gerät geringe Leistungen.

Dampfzylinderbär

Beim Dampfzylinderbären führt der Zylinder die Schlagbewegung aus, der Kolben ist am Mäkler befestigt. Dieses Rammverfahren ist wartungsarm und betriebssicher; durch das Gewicht des Zylinders und die Hubhöhe kann eine hohe variable Schlagenergie erzeugt werden. Die Leistung des Dampfzylinderbären liegt, infolge der größeren Schlaghäufigkeit (bis zu 50 Schlägen pro Minute), höher als beim Freifallbär. Nachteilig sind die starke Lärmentwicklung und die notwendige Dampferzeugung (Bild 6-13 rechts). Der Dampfzylinder ist für Rammgut mit hohem Spitzenwiderstand geeignet. Das Gerät hat relativ hohe Rammleistungen.

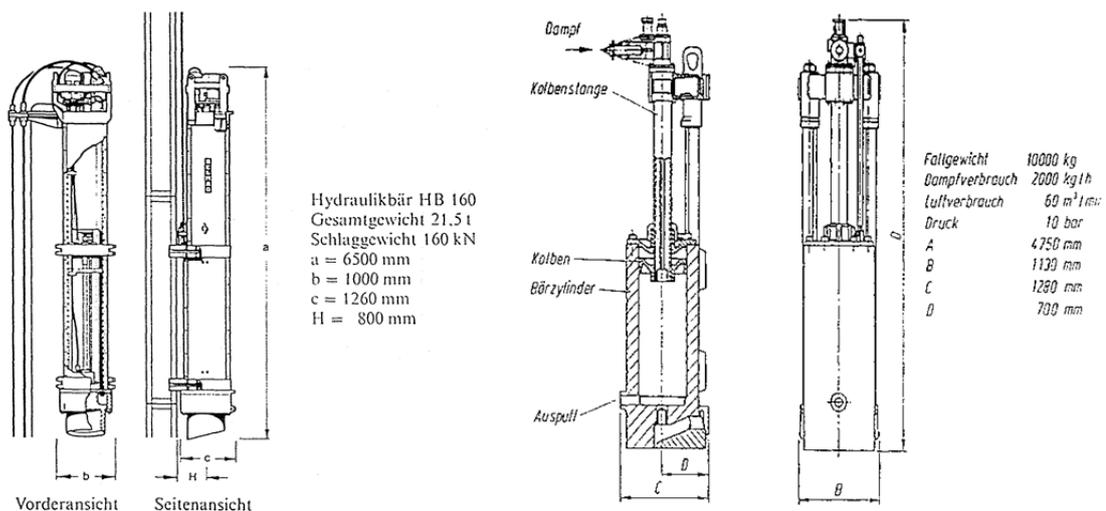


Bild 6-13: Freifallbär, Dampfzylinder [2]

Diesalbär

Beim Diesalbär (Schlagzerstäubung) bewegt sich der Schlagkolben im feststehenden Zylinder. Die Funktion lässt sich durch 5 Phasen darstellen (Bild 6-14):

1. **Kolben anheben:** Das Schlaggewicht (Kolben) wird mit Hilfe der Ausklinkvorrichtung nach oben gezogen und während der Aufwärtsbewegung in einer bestimmten Höhe automatisch ausgeklinkt.
2. **Einspritzen des Dieselöls und Kompression:** Das Schlaggewicht (Kolben) betätigt beim Fallen den Pumpenhebel, wodurch eine genau dosierte Menge Dieselöl auf die Schlagstückoberfläche gespritzt wird. Sobald der Kolben die Auspufflöcher überläuft, beginnt er, die Luft im Zylinderraum zu komprimieren.
3. **Schlag und Explosion:** Beim Aufschlag des Kolbenendes auf das Schlagstück wird das Dieselöl im Verbrennungsraum zerstäubt. Der Kraftstoffnebel entzündet

sich an der komprimierten Luft. Die dabei entstehende Explosionsenergie wirft den Kolben wieder hoch.

4. Auspuffen: Beim Hochspringen legt der Kolben die Auspufflöcher frei. Die Verbrennungsgase entweichen und der Druck im Zylinderraum gleicht sich dadurch aus.
5. Spülen: Der Kolben springt weiter hoch, saugt dabei durch die Auspufflöcher Frischluft zur Spülung des Zylinderraums an und gibt den Pumpenhebel frei. Der Pumpenhebel kehrt in seine Ausgangsstellung zurück, wobei der Pumpe wieder Kraftstoff zugeführt wird.

Durch die Schlagzerstäubung (Bild 6-15) wirken drei Energiearten (Kompression + Schlag + Explosion) auf das Rammgut. Mit solchen Dieselnären kann schweres Rammgut - bei ca. 40 bis 60 Schlägen pro Minute - in das Erdreich getrieben werden.

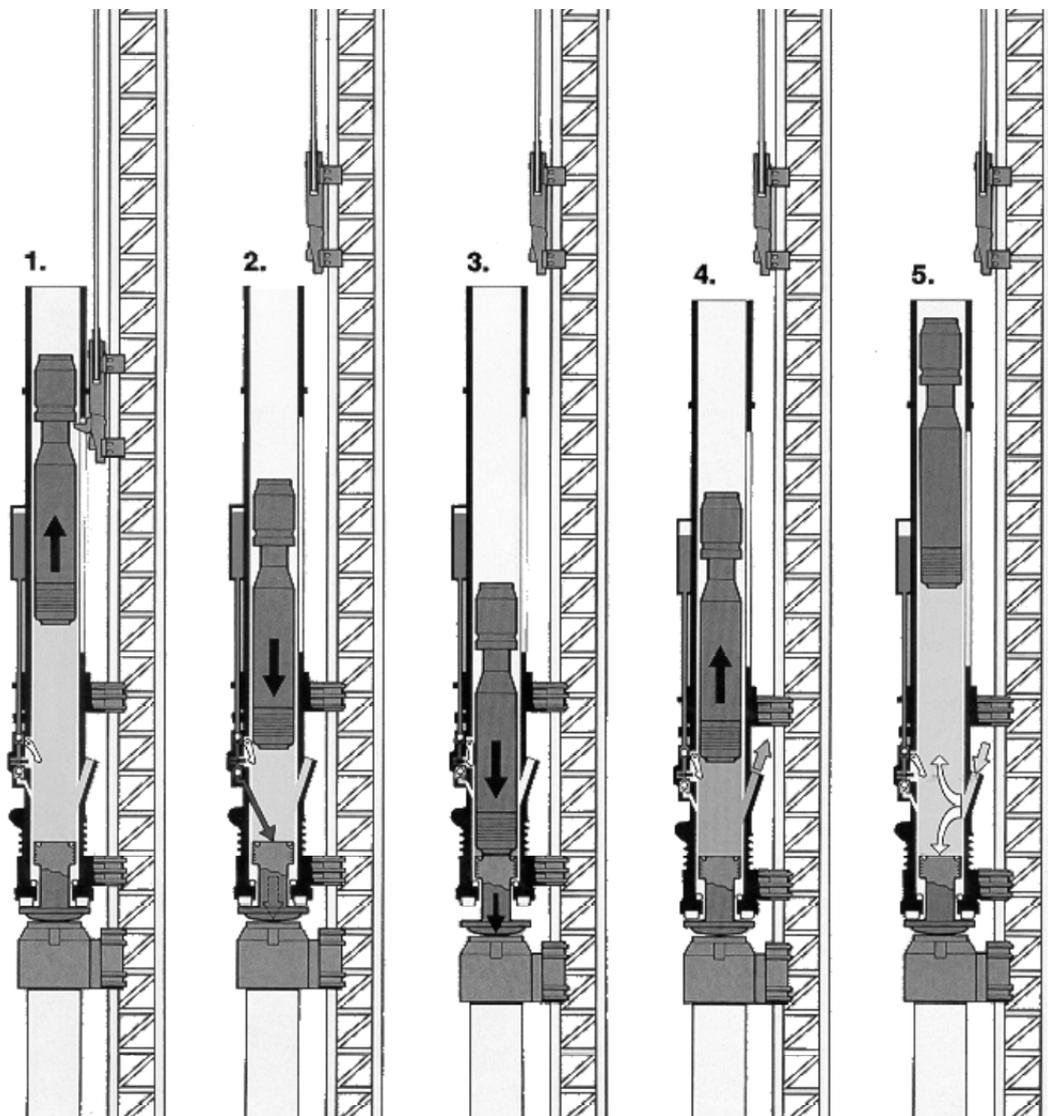


Bild 6-14: Dieselnär DELMAG System (Explosionsbär) [2]

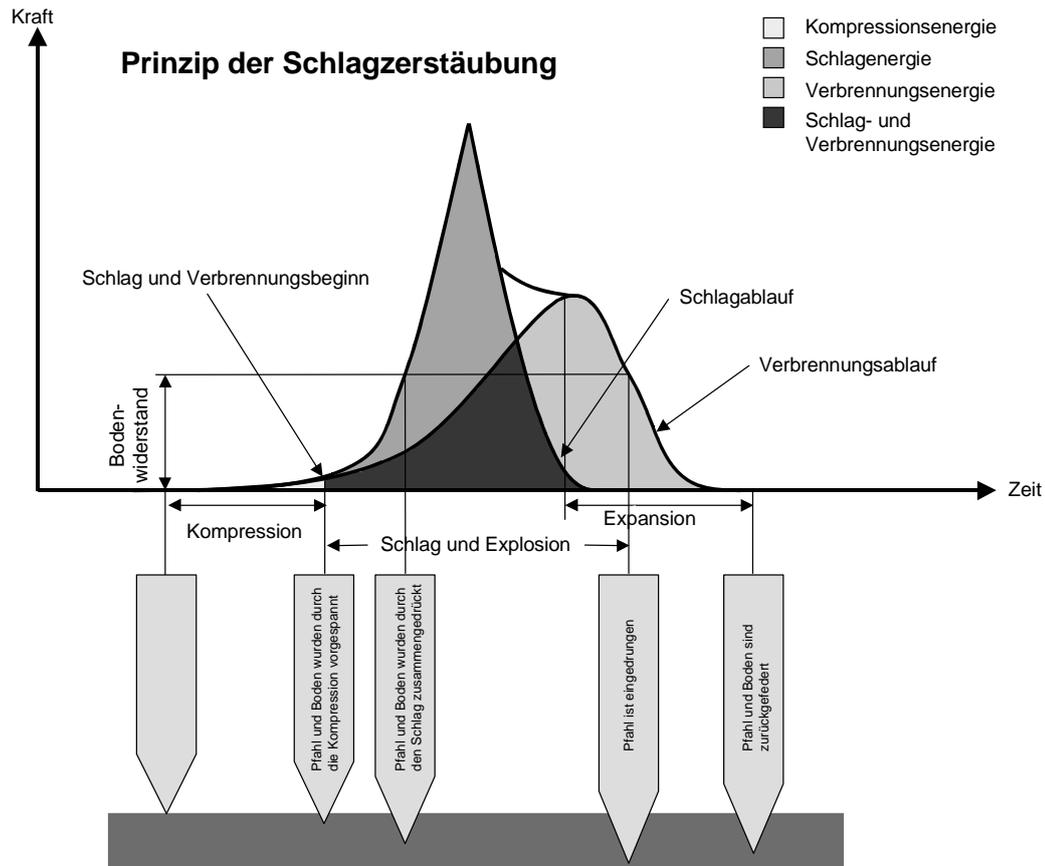


Bild 6-15: Prinzip der Schlagzerstäubung [2]

Bei hohem Spitzenwiderstand werden heute meist Rammhärsysteme mit relativ hoher Leistung eingesetzt.

6.4.3 Schnellschlaghammer

In einem feststehenden Zylinder (Bild 6-16) wird der Schlagkolben durch Dampf, Druckluft oder Öldruck gehoben und auch nach unten beschleunigt (double-acting).

Infolge der hohen Schlagzahl, 60 bis 300 Schläge pro Minute entsprechend dem Gewicht des Bären, kann das Rammgewicht des Bären reduziert werden. Das System hält das Rammgut in dauernder Bewegung durch die hohe Schlagfrequenz, so dass nur die Gleitreibung und der Spitzendruck überwunden werden müssen. Der Schnellschlagbär kann **freireitend** und **unter Wasser** arbeiten. **Schrägammungen** sind gut durchführbar, da die Schlagenergie nicht allein aus der Erdanziehung herrührt. Das Rammgut wird infolge der geringen Energie je Schlag geschont. Der Rammhammer ist **nicht** für Rammgut mit **hohem Spitzenwiderstand geeignet**.

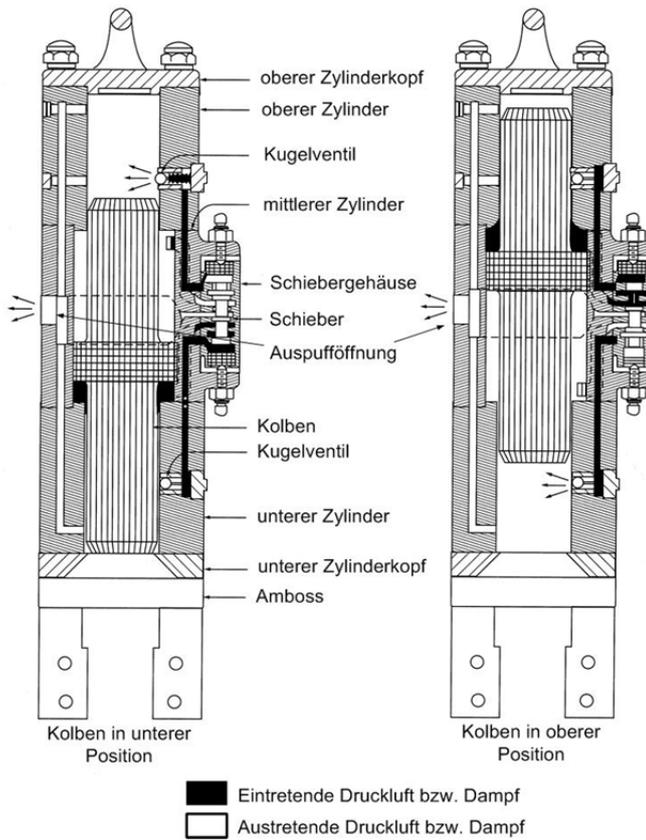


Bild 6-16: Schnellschlagbär – Antrieb mit Druckluft bzw. Dampf [2]

Impulsbär

Die Funktionsweise und das Einsatzspektrum des Impulsbärs sind analog denen des Schnellschlagbärs. Der Antrieb des Kolbens erfolgt hier jedoch ölhydraulisch (Bild 6-17).

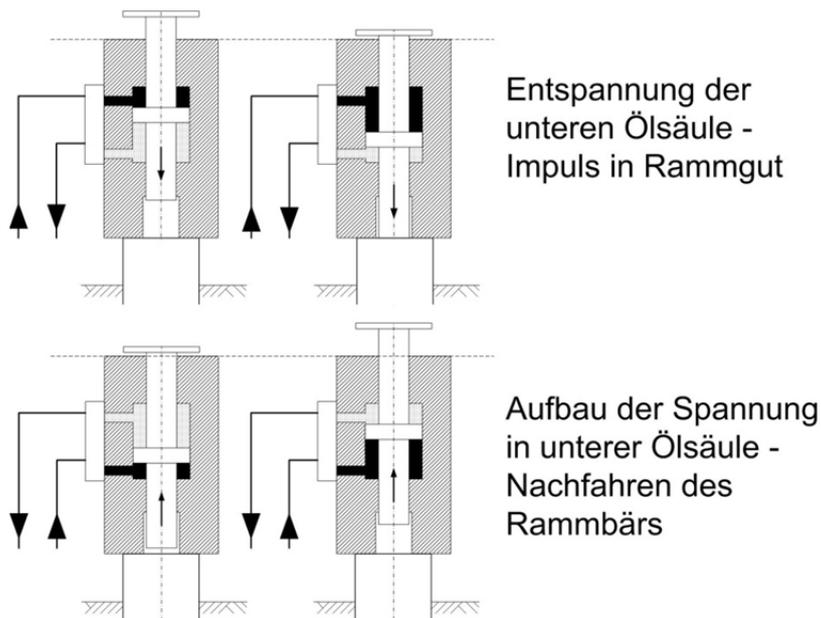


Bild 6-17: Impulsbär – Antrieb ölhydraulisch

6.4.4 Vibratoren / Vibrationshämmer

Der Vibrationshammer erzeugt Schwingungen in Längsrichtung des Rammguts, wodurch der Scherwiderstand des Bodens und die Mantelreibung - durch Schwingungsfrequenzen im Resonanzbereich des anstehenden Bodens - derart vermindert werden, dass das Rammgut infolge seines Eigengewichts sowie Gewicht des Hammers und der Beschleunigungskräfte der Fliehkraften in den Boden einsinkt. Der Vibrationshammer ist freireitend einsetzbar (Bild 6-18) und geräuscharm, aber nicht für alle Böden und jedes Rammgut geeignet.

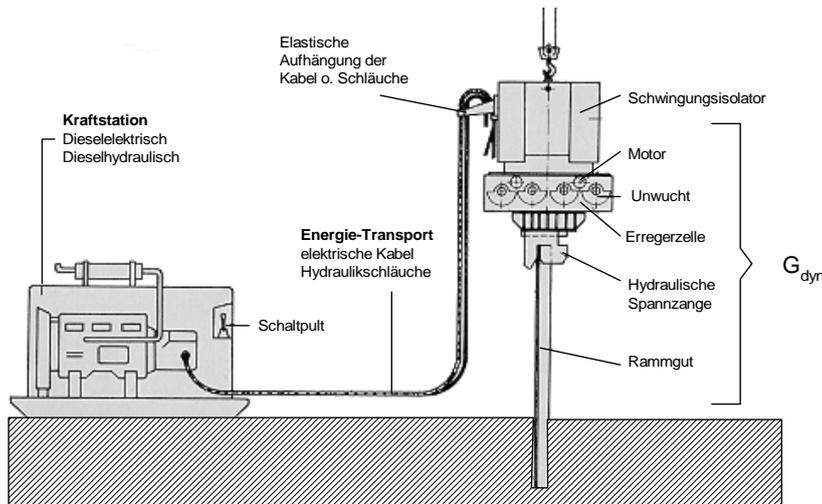


Bild 6-18: Spundwandentreiben mit Vibrationsbär und Kraftstation [2]

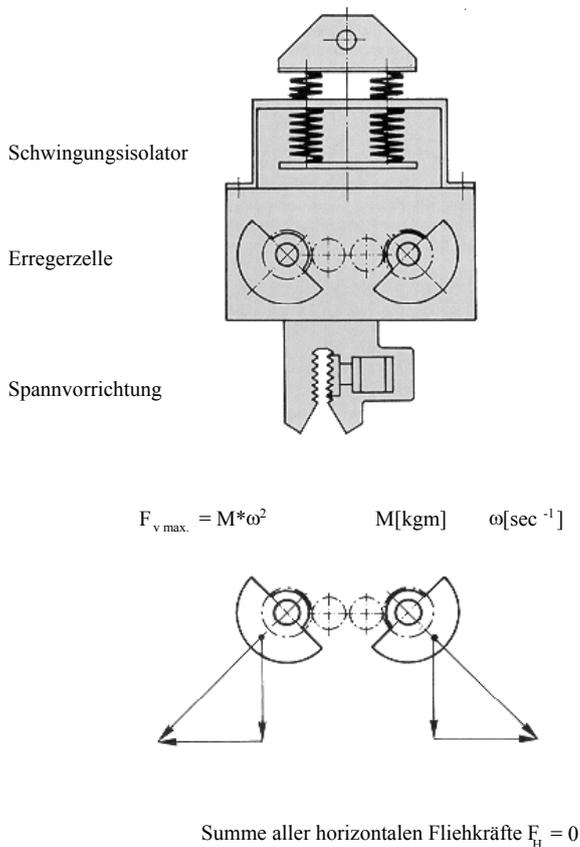


Bild 6-19: Funktionsweise Vibrationshammer [2]

Auf das Rammgut wirkende Fliehkräfte (Bild 6-19):

$$F(t) = m \omega^2 s(t)$$

Frequenz: $f = 1/T \quad [s^{-1}]$

Kreisfrequenz: $\omega = 2 \pi/T \quad [s^{-1}]$

Masse: $m \quad [kg]$

Massenschwerpunkt: $s(t) = r \quad [m]$

Beschleunigung: $a = \omega^2 \cdot r \cdot \sin\varphi$

$$F_R = m \omega^2 r$$

$$F_V = m \omega^2 \cdot r \sin\varphi$$

$$F_H = m \cdot \omega^2 \cdot r \cos\varphi$$

$$V = G + 2 \cdot F_V = mg + 2 m \cdot \omega^2 r \cdot \sin\varphi$$

$$H = F_H - F_H = 0$$

Das Bild 6-20 gibt Erfahrungshinweise **mit welchem Vibrationshammer** sich **welche Profile** in **was für Böden** bis in **welche Tiefen** niederbringen lassen.

Welche Böden sind vibrierfähig?			Welches Gerät ist richtig?		
Bodenart	Kornform und Bodenzustand	Eignung	Elektrischer Vibrationsbar Typ	Geeignet zum Senken und Ziehen von	bis ca. bis ca. m kg
Kies grob Kies mittel Kies fein Sand grob Sand mittel Sand fein Lehm Loß Schlick	Körnig rund Körnig rund Körnig rund Körnig rund breig-weich breig-weich breig-steif	gut	PE 1401	Kanalbleien leichten Spundbohlen IPB-Trägern 140-280	8 600
			PE 2001	Kanalbleien Spundbohlen IPB-Trägern 140-280	10 1000
			PE 3001	mittelschweren bis schweren Einzel- und Mehrfachbohlen IPB-Trägern bis 360 Rohren bis 1000 mm ø	14 2700
			PE 7001	schwere Einzel- und Mehrfachbohlen IPB-Trägern bis 600 Rohren bis 1400 mm ø	28 6500
			PE 7002	schwere Einzel- und Mehrfachbohlen IPB-Trägern bis 600 Rohren bis 1400 mm ø	28 6500
Kies fein Sand grob Sand mittel Lehm Loß	Körnig kantig Körnig kantig Körnig kantig steif steif	bedingt			
Kies grob Sand fein Mergel Ton	bindig kantig, trocken steif steif-fest	nein			

Die Gewichts- und Längenangaben sind Durchschnittswerte. Bei entsprechendem Boden und Senkgut sind Abweichungen nach oben oder unten möglich. In wasserhaltigem Borden ist wesentlich besser zu senken und zu ziehen als in trockenem Boden. Auf keinen Fall darf der Vibrationsbar zu klein sein. Das Gerät muß eine Leistungsreserve haben.

Bild 6-20: Vibriergerät DELMAG (Vibrierfähigkeit des Bodens/Gerätetyp) [2]

Für die Mantelreibung werden Angaben in Tabelle 6-4 gemacht.

Tabelle 6-4: Mantelreibungswerte

B o d e n		Mantelreibung kN/m²
Sand und Kies	locker - mittel	10 - 16
	dicht - sehr dicht	15 - 28
bindige und schluffige Böden	weich	3 - 8
	plastisch	6 - 12
	hart	12 - 20
	sehr hart	> 20

6.4.5 Beurteilung des Baugrunds für das Einbringen von Rammgut

Da ausser Form, Gewicht, Grösse, Länge und Einbauneigung des Rammguts auch der zu durchrammende Boden eine erhebliche Rolle für die Auswahl des Rammverfahrens spielt, sollte jeder Rammung eine eingehende Bodenuntersuchung vorausgehen. Folgende Einflussgrössen des Baugrunds sollten erhoben werden:

- Korngrösse, -form, -verteilung, Ungleichförmigkeitszahl
- Umlagerungs- und Verdichtungsfähigkeit des Bodens
- Wassergehalt
- Schichtung
- vorhandene Hindernisse wie z.B. Steine, Fundamente, Auffüllungen

Zur Beurteilung der Rammpbarkeit des Bodens sind Ramm- und Drucksondiergeräte anzuwenden. Liegt bei einer schweren Rammsonde eine Schlagzahl grösser 50 je 10 cm Eindringtiefe vor, so ist mit einer schweren Rammung zu rechnen.

Die **Bodenarten** lassen sich wie folgt beurteilen:

- Leichte Rammung
weiche, breiige Böden (z.B. Moor, Torf, Schlick, Klei), locker gelagerte Mittel- und Grobsande, Kiese ohne Steineinschlüsse
- Mittelschwere Rammung
mitteldicht gelagerte Mittel- und Grobsande, feinkiesige Böden, steifer Ton und Lehm
- Schwere bis schwerste Rammung
dicht gelagerte feinsandige und schluffige Böden, dicht gelagerte Mittel- und Grobkiese, harte Tone, verkittete Geröll- und Moränenschichten, ausgetrocknete bindige Böden, leichter Fels

In der Tabelle 6-5 ist der Rammschwierigkeitsgrad in Abhängigkeit der Bodenart und des Rammgutes gegenübergestellt, um daraus eine Entscheidungshilfe für die geeigneten Rammsysteme zu erhalten.

Tabelle 6-5: Rammbareignung

Schwierigkeitsgrad des Rammens	Bodenart	Rammgut	Geeignete Rammssysteme
sehr leicht	Moor, Torf, Schlick, weicher Klei und ähnliche weiche Bodenarten	Holz, Stahlbeton, Stahl	Vibrationsbär, Schnellschlagbär
leicht	locker gelagerte Mittel- und Grobsande; angeschüttete, nicht künstlich verdichtete Böden weiche Tone	Holz, Stahlbeton, Stahl dito	Vibrationsbär, Schnellschlagbär dito
mittel	mitteldicht gelagerte Mittel- und Grobsande (evtl. mit kleineren Steinen) feinkiesige Böden steife Tone und Lehm	Holz, Stahlbeton*, Stahl dito Holz, Stahlbeton, Stahl	Vibrationsbär, Schnellschlagbär Vibrationsbär, Diesebär dito
schwer	Feinsande festelagerte Feinkiese halbfeste bis feste Tone, Lehm Trümmerschutt (bis zu mehreren Metern Mächtigkeit), jedoch ohne Beton- und Stahleinschlüsse	Holz, Stahlbeton*, Stahl Stahl Holz, Stahlbeton, Stahl Stahlbeton, Stahl	Vibrationsbär, Diesebär dito dito Zylinderbär, Diesebär
sehr schwer	fest gelagerte feinsandige und schluffige Böden, evtl. leicht tonig fest gelagerte Mittel- und Grobkiese, Geröll- und Moränenschichten harte Tone Geschiebemergel Verwitterungsschicht von Fels Schiefertone, weicher Fels	Holz*, Stahl*, Stahlbeton* Stahl Stahl Stahl Stahl Stahl	Zylinderbär, Diesebär Zylinderbär Zylinderbär Zylinderbär Zylinderbär Zylinderbär

* Spülhilfe zweckmässig

6.4.6 Rammleistungen

Für die Vorbereitungsplanung eines Projekts bedarf es der **zeitlichen Abschätzung** der Arbeitsdauer. Dazu soll die nachstehende Übersicht als **Richtgrösse für das Rammen und Ziehen mit einem Umkehrdrucklufthammer (Schnellschlaghammer)** dienen:

Rammpbarkeit	Bodenart	Rammen m ² /AT	Ziehen m ² /AT
gut rammbare Böden	lockerer Kies/ Kies-Sand	100 - 160	140 - 180
normal rammbare Böden	sandig/kiesige bis lehmige Böden	80 - 100	90 - 130
schwer rammbare Böden	verkittete, lehmig/kiesige Böden	50 - 80	70 - 100

Beim Vibrationshammer kann gegenüber dem Schlaghammer mit Druckluft eine 10-15 % höhere Leistung angesetzt werden.

Die meisten Spundwände können gezogen werden. Zum Ziehen eignen sich besonders Vibrationshämmer oder Schnellschlaghämmer. Schräg verlaufene Spundwände oder Spundwände, die infolge von Hindernissen aus den Schlössern wegdrehen, dürften kaum ziehbar sein und sind meistens auf geeigneter Höhe abzubrennen.

6.4.7 Einbauverfahren

Rammbären / Schlagrammen

Die Auswahl des Rammbären hängt von den Rammelementen, deren Gewicht und Abmessungen, den Bodenverhältnissen und der Rammtiefe ab. **Freifall-, Dampfzylinder und Diesalbären (Explosionsbären) eignen sich für alle Bodenarten**; ihr Nachteil sind jedoch die Rammerschütterungen, die hohe Schallemission und, bei Explosionsbären, die Abgase. Bärengewicht und Gewicht des Rammelements einschliesslich Rammmaube sollten das Verhältnis von mindestens 1:1, wenn nicht gar 2:1 haben, bei sehr schweren Pfählen ist allerdings auch 0.6:1 möglich.

Trotz der Nachteile kann man auf diese Bären bei **schweren Stahl- oder Stahlbeton-Fertigpfählen und schweren Spundwandrammungen** im Brückenbau, Spezialtiefbau, Hafen- und Seebau nicht verzichten. Wird das Bärengewicht im Verhältnis zum Gewicht des Rammguts zu klein, besteht die Gefahr, dass der Kopf des Rammguts zerschlagen wird. Bei Rammbären ist es unabdingbar zur Schonung des Rammgutes, ein Rammkissen zwischen Rammbär und Rammgut zu verwenden. Als Rammkissen eignen sich Hartholzaufsätze die in einem Stahlrahmen (Gürtel) eingespannt sind, damit das Kissen durch die Schläge nicht zerrissen wird.

Schnellschlaghämmer

Schnellschlaghämmer (Hydraulik- oder Drucklufthammer), die infolge ihrer hohen Schlagzahl von 100 bis 300 Schlägen/min. das Rammgut in ständiger Bewegung halten, arbeiten wesentlich schonender. Sie können bei rolligen oder leicht bindigen Böden besonders wirkungsvoll eingesetzt werden.

Vibratoren / Vibrationshämmer

Vibrationshämmer eignen sich besonders für **Kiese und Sande in runder Kornform** sowie für leicht bindige Böden und breiige, weiche Bodenschichten mit geringer Plastizität. Auch Mischböden und **bindige Böden** können bearbeitet werden, wenn sie ei-

nen **hohen Wassergehalt** haben. Wenig geeignet sind Kiese und Sande mit kantiger Kornform oder trockene und stark bindige Böden sowie Böden, die sich beim Vibrieren nur wenig umlagern. Beim Einrütteln von Spundbohlen kann sich auch der Boden am Fuss soweit verdichten, dass die Vibration abgebrochen werden muss. Massive Elemente oder Hohlprofile mit der Gefahr der Pfropfenbildung eignen sich wegen des hohen Spitzenwiderstands wenig für das Rüttelverfahren. Fährt sich das Rammelement an einem Stein oder einem Fundament fest und wird das Gerät nicht von der Rammmannschaft abgestellt, so kann sich durch die fortdauernde Energieeinleitung der Kopf des Rammguts bis zur Rotglut erhitzen und zum Ausbrechen des Rammguts an der Spannvorrichtung führen.

Einpressen

Da es sich hierbei um ein **fast lautloses und erschütterungsfreies Verfahren** handelt, werden Spundwandpressen in Wohngebieten oder bei erschütterungsgefährdeten Böschungen, Leitungsgräben und Schächten sowie in der Nähe von Verkehrsbauten und Eisenbahngleisen mit Erfolg eingesetzt.

Besonders geeignet für das Einpressen von Spundbohlen sind **leicht bindige Böden** wie z.B. **sandiger Lehm**, insbesondere mit ausreichender Feuchtigkeit. Schlecht geeignet sind sehr leicht gelagerte Sande und Kiese sowie sehr harte und steife Tone. Gegebenenfalls muss der **Boden durch Bohrungen oder Spülen für das Einpressen vorbereitet** werden. Zur Verminderung der Schlossreibung kann ein Gleitmittel eingesetzt werden.

Arbeitsablauf beim Einpressen auflastgestützt (Bild 6-21):

1. Setzen der Startbohlengruppe (3-6 Bohlen) mit einem leichten Vibrationshammer
2. Befestigen von drei bereits eingefädelt Spundwandbohlen an der Einpressvorrichtung.
3. Einpressen der mittleren der drei Bohlen, durch Einwirkung des Gewichts der Auflast.
4. Einpressen der beiden äusseren Bohlen durch eine Kombination aus Gewicht der Auflast und den in die mittlere bereits in eine gewisse Tiefe eingepresste Bohle übertragbaren Zugkräfte (Diese Zugkräfte werden über Mantelreibung in den Boden übertragen).
5. Einfädeln weiterer Spundwandelemente in das Schloss der bereits gesetzten Spundwandprofilgruppe.
6. Weiterführen des alternierenden Einpressvorganges bei den nächsten Spundwandbohlengruppen.
7. Alternierendes Vorwärts- und Rückwärtsschreiten über alle Spundwandbohlengruppen bis Endteufe erreicht ist.

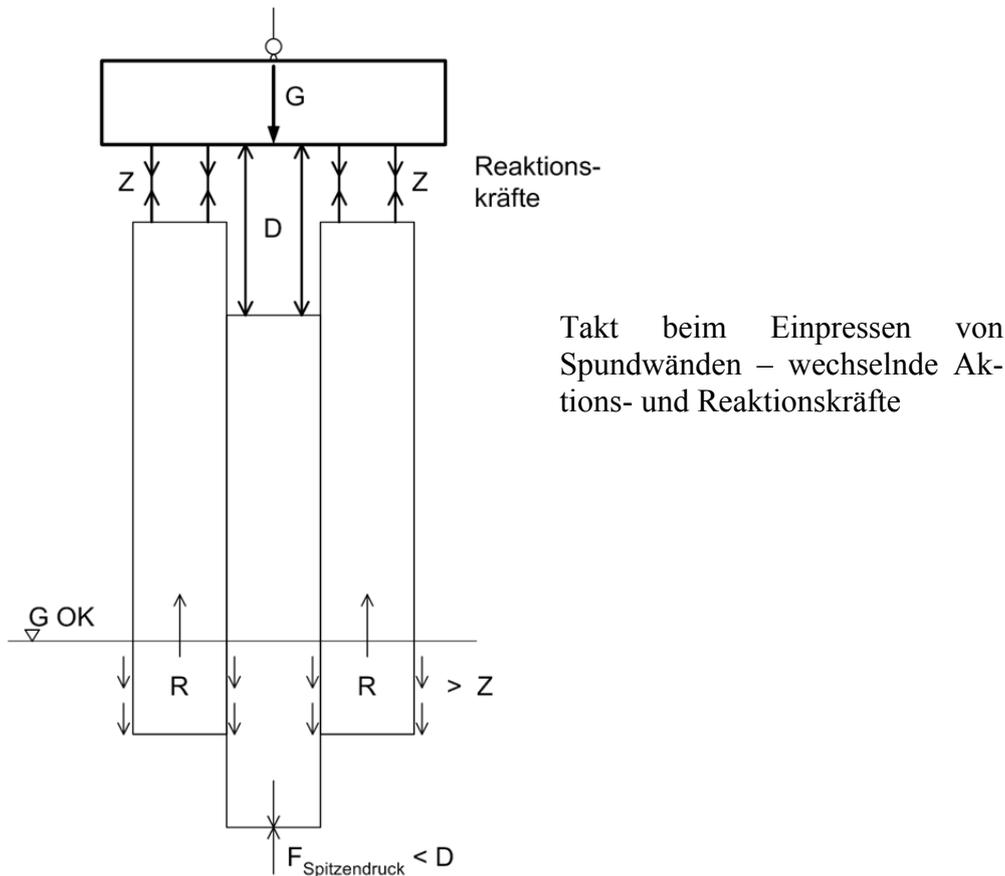


Bild 6-21: Einpressvorrichtung für Spundwände

Arbeitsablauf beim Einpressen mittels Silent Piler (Bild 6-22):

1. Befestigen des Silent Pilers an einer herstellereigenen Startplattform oder einer Startbohlengruppe (Bohle Nr. 1 - 3, Bild 6-22). Die herstellereigene Startplattform ist mit Gegengewichten ausgestattet, deren Eigengewicht die Aufnahme der zum Einpressen der Bohle Nr. 4 notwendigen Kräfte ermöglicht. Die alternativ zur herstellereigenen Startplattform erforderliche Startbohlengruppe wird mit einem leichten Vibrationshammer gesetzt.
2. Einpressen der Bohle 4. Die zum Einpressen der Bohle Nr. 4 notwendigen Druckkräfte werden durch den Silent Piler als Zugkräfte in die Bohlen Nr. 1-3 bzw. in die Startplattform eingeleitet. Die Zugkräfte werden über Mantelreibung der Bohlen 1-3 in den Boden eingeleitet.
3. Vorfahren der Presse des Silent Pilers, Einfädeln der Bohle Nr. 5 und Start des Einpressens der Bohle Nr. 5.
4. Öffnen der Zangen an den Rückhaltebohlen (Bohlen Nr. 1-3), Hochfahren und Versetzen des Silent Pilers zu Bohlen 2-4. Die bereits bis in eine gewisse Tiefe eingepresste Bohle Nr. 5 bietet die notwendige Stabilität zum Versetzen des Silent Pilers.
5. Absenken sowie Befestigen des Silent Pilers an Bohlen Nr. 2-4. Diese Bohlen dienen für den folgenden Arbeitsschritt als Rückhaltebohlen.
6. Weiteres Einpressen der Bohle Nr. 5 bis auf Endtiefe.
7. Nachfolgende Arbeitsschritte analog o.g. Ablauf

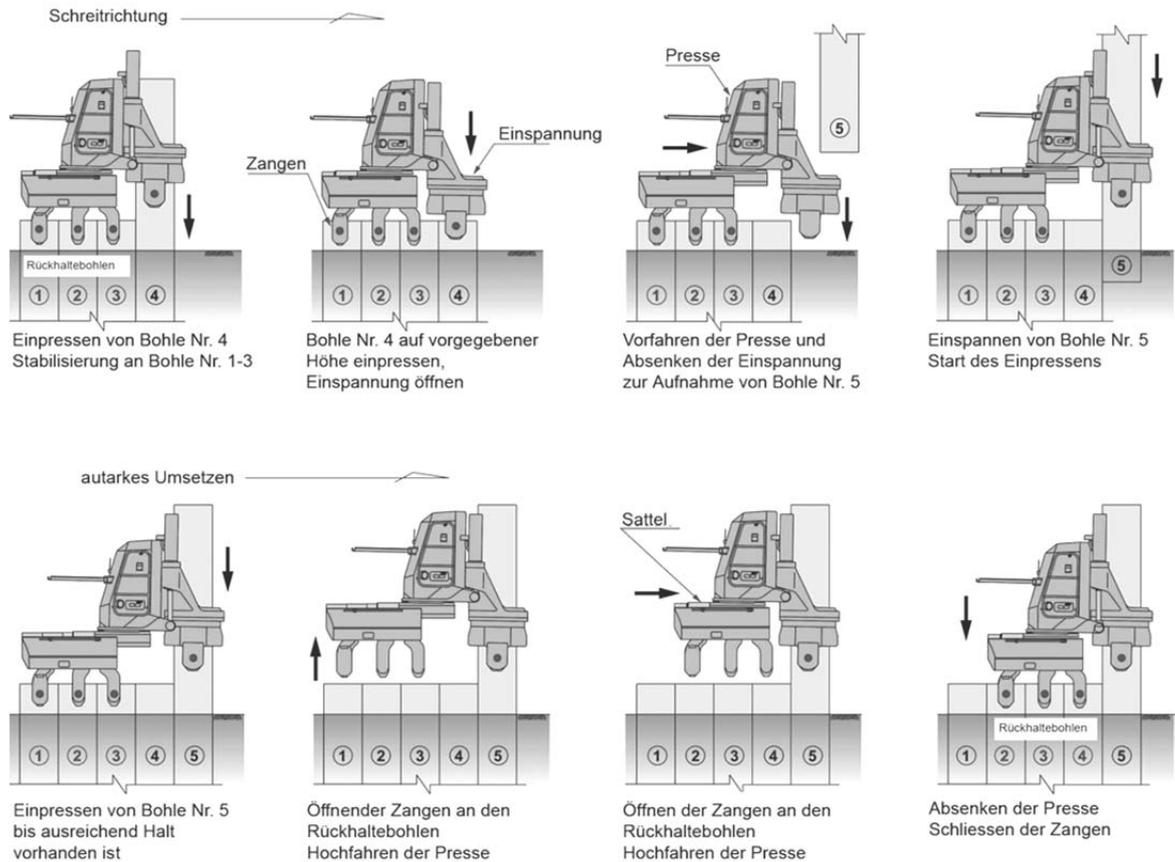


Bild 6-22: Prozessverlauf Einpressen Spundbohlen [15]

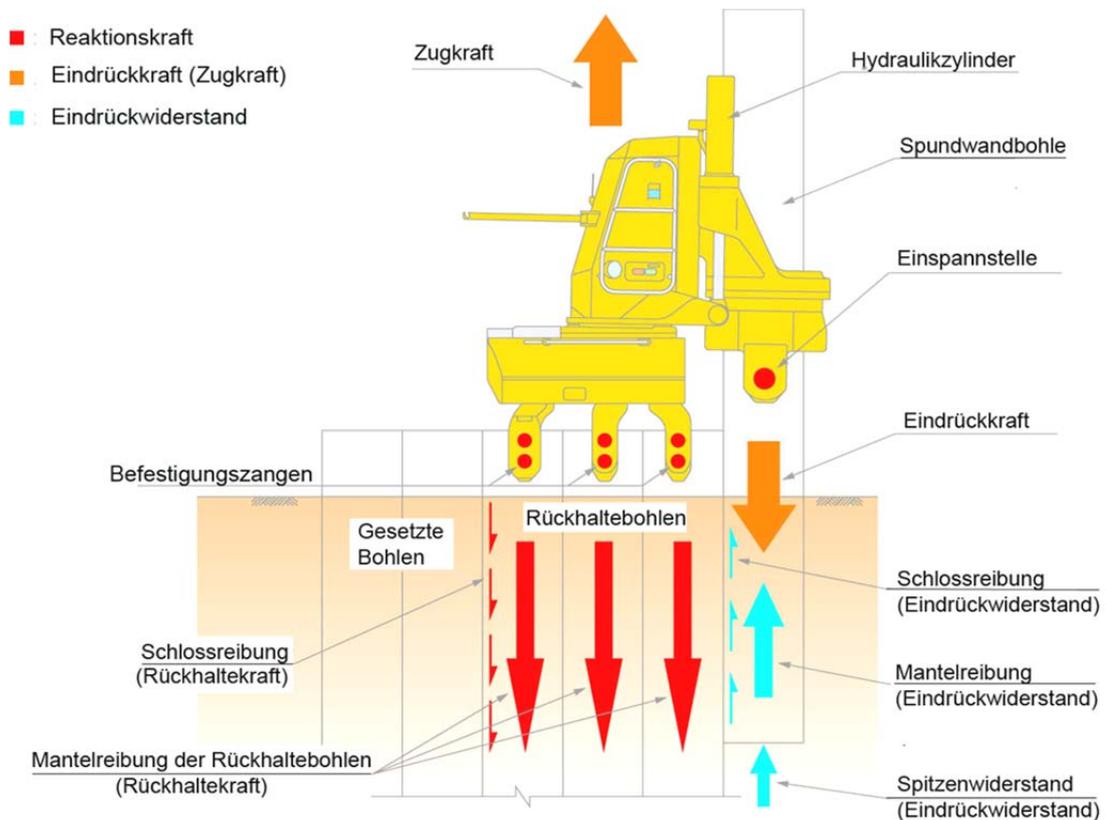


Bild 6-23: Systemskizze Spundbohlenpresse (Silent Piler) [15]

Bild 6-23 verdeutlicht als Systemskizze den Einpressvorgang und den zugehörigen Kräfteverlauf.

Mit den entsprechenden Supportsystemen (Hydraulikaggregat, Geräte zum Bohlen-transport) ist auch ein Bohlenversetzen ausschliesslich von den bereits gesetzten Bohlen aus möglich. Dies eröffnet Anwendungsbereiche in schwer zugänglichem bzw. für schwere Arbeitsgeräte nicht ausreichend tragfähigem Terrain (z.B. im Deichbau, Hafenbau und bei hangigem Gelände).

In Bild 6-24 ist eine typische Baustelleneinrichtung dargestellt.

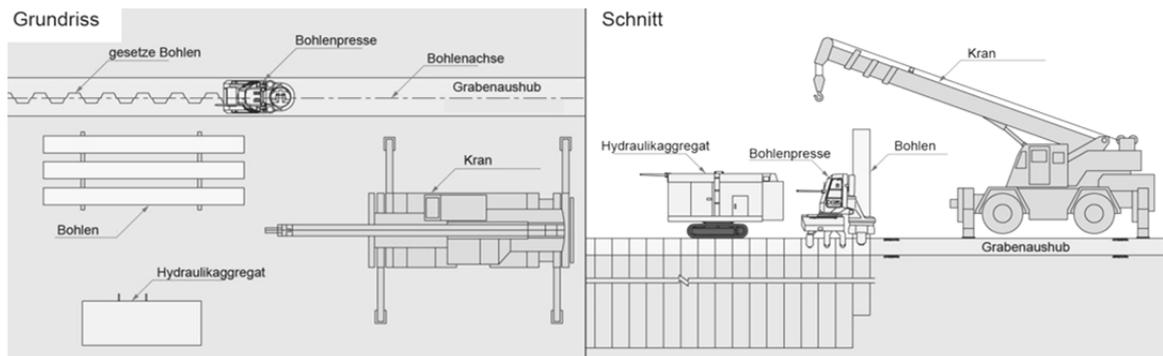


Bild 6-24: Baustelleneinrichtung Spundbohlenpresse [15]

6.4.8 Einbringen von Spundbohlen

Spundbohlen in Z- oder U-Form werden im Allgemeinen als Doppelbohlen, manchmal auch als Dreifach- oder Vierfachbohlen als Gruppe gerammt. Hierzu werden sie im Schloss punktförmig miteinander verschweisst. Die so gebildeten Module oder Gruppen lassen sich einfacher einrammen als Einzelbohlen.

Abweichen von der Soll-Lage

Damit die Spundbohlen achsenkonform in der Flucht gerammt werden können, sind horizontale Rammführungen, so genannte Zangen erforderlich.

Beim Rammen von Spundwänden besteht die Gefahr des Abweichens von der Soll-Lage, insbesondere des „**Voreilens**“ der Bohlen, d.h. die Bohlen neigen sich am Kopf nach vorn und stellen sich schräg. Dieses Voreilen wird durch folgende Umstände bewirkt: Am bereits gerammten Teil der Wand hat sich der Boden verdichtet, so dass das neu eingerammte Element hier einen grösseren Spitzenwiderstand findet. Zusätzlich wirkt sich die Schlossreibung aus, die sich mit wachsender Eindringtiefe vergrössert; auch die Mantelreibung vergrössert sich mit der Eindringtiefe, bleibt jedoch über die Fläche des Rammelements gleich (Bild 6-25).

Bei sehr harten Böden kann es auch zum **Nacheilen** kommen, d.h. die Bohlen neigen sich rückwärts in Richtung der bereits hergestellten Wand. Diese Fehlstellung wird durch das Auflockern des Bodens durch bereits eingerammten, vorhergehenden Rammeelemente ausgelöst, da das neu einzurammende Element am Rammschloss auf einen geringeren Spitzenwiderstand trifft als an der vorauseilenden Seite.

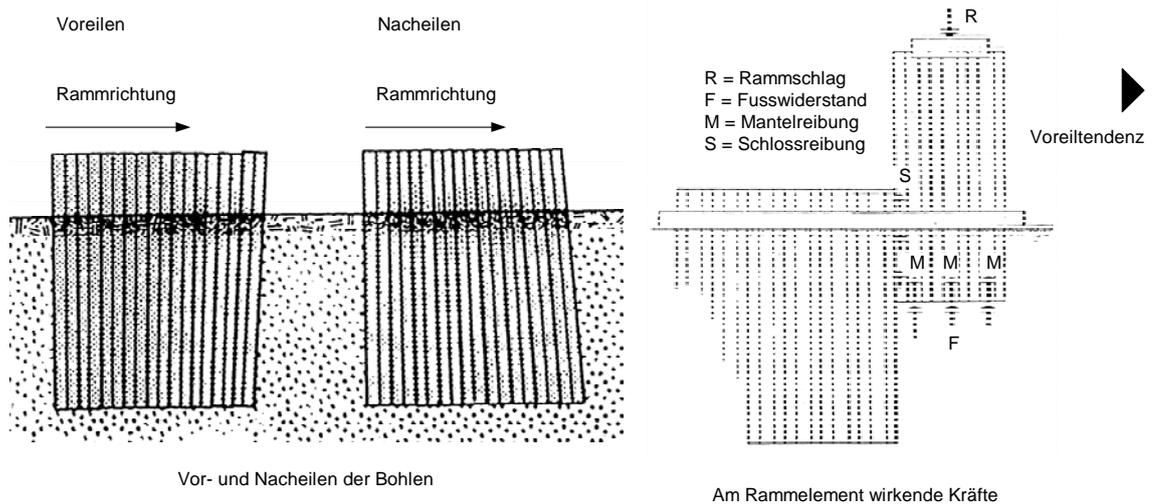


Bild 6-25: Abweichung von der Soll-Lage [3] [4]

Massnahmen gegen das Abweichen

Besonders wichtig ist das gute Führen der Rammelemente durch eine Bodenzange (achskonform) und am Mäkler (vertikal) sowie ein zentrischer Rammschlag. Im Spundwandhandbuch ARBED/KRUPP werden ausserdem folgende Empfehlungen zum Vermeiden oder Beseitigen des Voreilens gegeben:

- Staffelrammung
- exzentrische Schlagübertragung
- Aufbringen von Reibung durch Bodenzange
- Veränderung des Bohlenflusses
- Ausrichten der Bohlen durch Einleiten einer Zugkraft
- Zwangsführung am Mäkler

Die Resultierende des Rammwiderstands sollte in der Schwerachse verlaufen. Ausserdem wird eine geschweisste Führungszange in möglichst tiefer Lage mit genauer Einpassung der Soll-Lage der Tragbohlen für notwendig gehalten. Der Fuss der Tragbohle muss gleichmässige und nicht etwa einseitig verdichtete Bodenverhältnisse antreffen, da sonst ein Verlaufen unvermeidbar ist. Die Tragbohlen sollten deshalb in folgender Reihenfolge gerammt werden:

- mindestens als kleiner Pilgerschritt 1-3-2-5-4-7-6
- besser als grosser Pilgerschritt 1-7-5-3-2-4-6

Staffelrammung

Bei der Staffelrammung werden die Spundbohlen in Gruppen zusammengefasst, die jeweils nacheinander gestaffelt auf Tiefe gebracht werden (Bild 6-26). Je nach Bohlenlänge wird die Rammtiefe in 2 bis 4 Tiefenstaffeln eingeteilt, so dass die Ramme jeweils mehrfach die Wandlänge zu durchlaufen hat, bis sämtliche Fächer die volle Wandtiefe erreicht haben. Hierdurch werden die Bohlen beidseitig im Schloss geführt, so dass die im Schloss wirkenden Reibungskräfte symmetrisch angreifen und ein Voreilen vermieden wird.

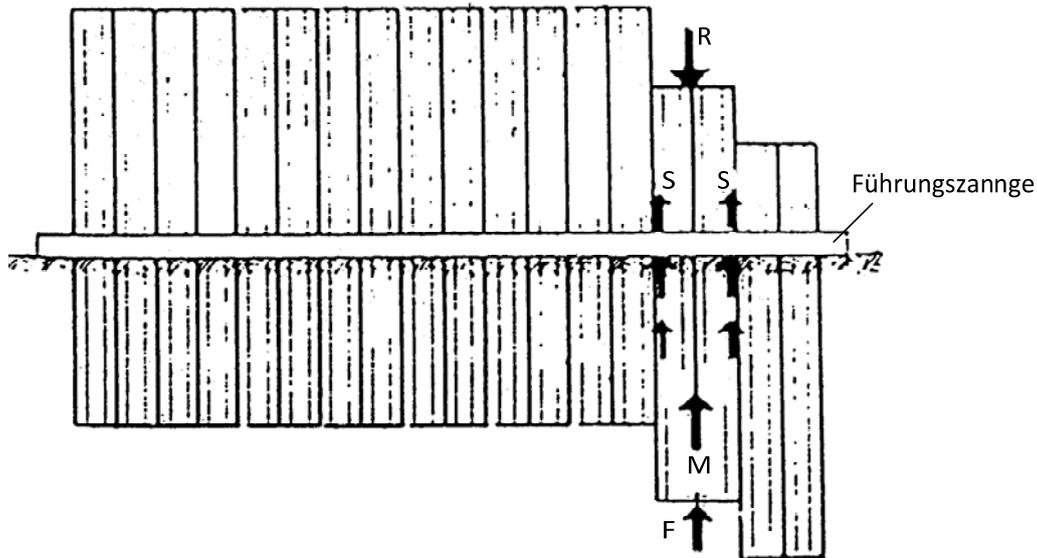


Bild 6-26: Staffelrammung [4]

Exzentrische Schlagübertragung

Hierbei wird die Rammhaube, die das Rammelement nach oben abdeckt und gegen Beschädigungen schützt, um eine Bohlenbreite (oder weniger) zum gerammten Schloss hin verschoben, so dass die einseitig wirkende Schlossreibung kompensiert wird (Bild 6-27). Beim Einsatz eines Vibrationsbären ist dieser an der Schlossbohle anzuklemmen.

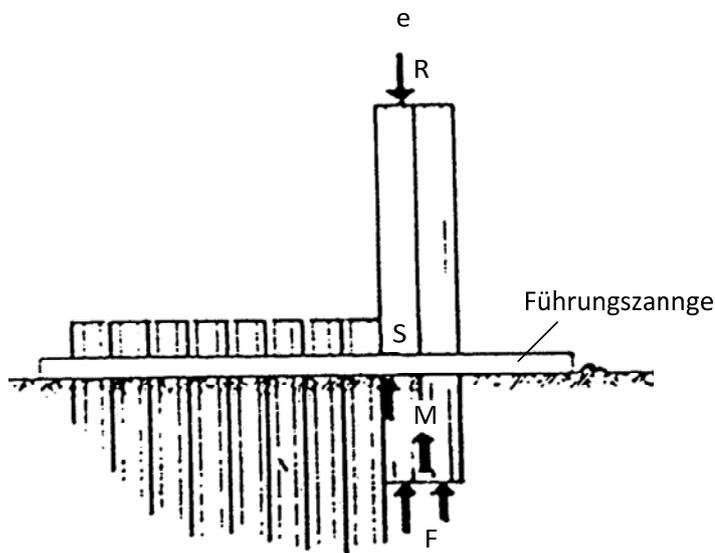


Bild 6-27: Exzentrischer Rammschlag [4]

Künstliche Reibung

Durch Zusammendrücken einer Bodenzange, die aus zwei längsseitig angeordneten I-Profilen besteht, wird mit einem Seilzug ein Holzklötz gegen eine Bohle gepresst und hierdurch künstlich eine Reibungskraft erzeugt, die symmetrisch zur Schlossreibung wirkt (Bild 6-28). So kommt es zu einem symmetrischen Kraftangriff, so dass das Voreilen vermieden wird.

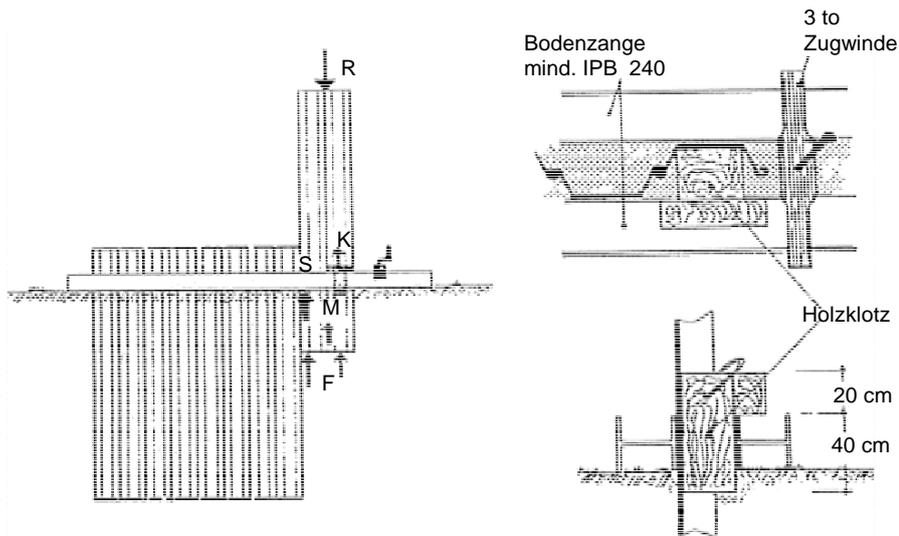


Bild 6-28: Einleitung von exzentrischen Reibungskräften [4]

Veränderungen am Bohlenfuss

Den gleichen Effekt haben Veränderungen am Bohlenfuss, der dem Rammschloss entgegengesetzt ist (Bild 6-29). So wird z.B. durch Anschweißen einer Stahlplatte oder Aufweiten des Bohlenfusses der Spitzenwiderstand vergrößert und, wie bei einer künstlich erzeugten Reibungskraft, ein symmetrischer Kraftangriff erreicht.

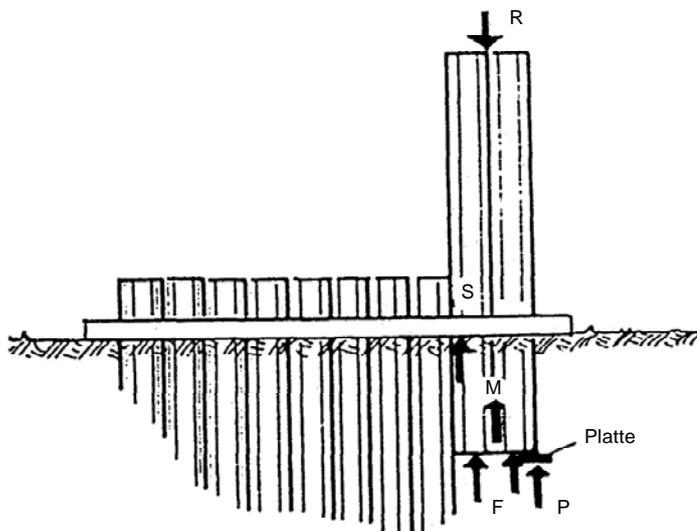


Bild 6-29: Anbringen eines zusätzlichen Fusswiderstands [4]

Einleiten einer Zugkraft

Durch Anbringen eines Seilzugs an den durch Voreilung schräg gestellten Bohlen will man diese wieder in die Senkrechte bringen (Bild 6-30). Sind die Zwangskräfte zu gross, so sprengt das schräg gestellte Element das Rammschloss. Die Gefahr besteht besonders dann, wenn der Seilzug oben an der vorgeeilten Bohle - und nicht unten - angreift, da der grosse Hebelarm ein grosses Rückstellmoment erzeugt.

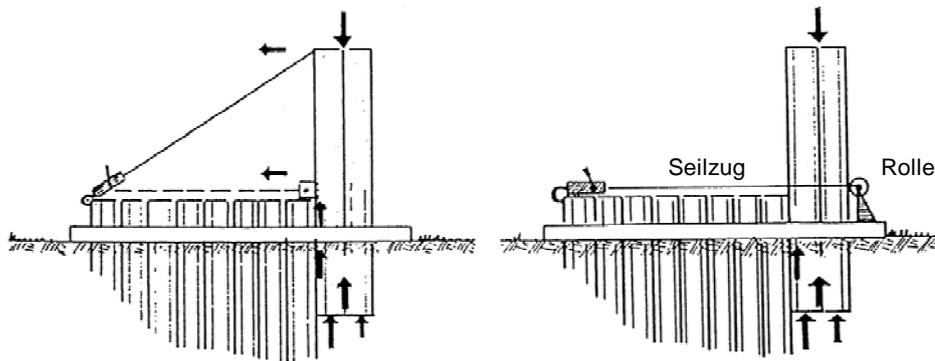


Bild 6-30: Zugkraft zur Senkrechtstellung der Bohlen [4]

Führung am Mäkler

Die Auswirkung der Führung des Rammelements am Mäkler hängt vom Kraftangriffspunkt der oberen Bohlenführung ab. Befindet sich die Bohlenführung oberhalb des Anlenkpunkts des Mäklers am Bagger, also am auskragenden Ende, so wird der Mäkler in die Richtung der voreilenden Bohle gedrückt. Befindet sich die Bohlenführung aber unterhalb des Anlenkpunkts, so wird sie dem Mäkler eine zur Voreilneigung der Bohle entgegengesetzte Schrägstellung geben. Diese Schrägstellung kann gemindert werden, wenn auf den Mäkler über einen Hubzug ständig eine Kraft wie eine zusätzliche Belastung einwirkt, so dass die über die obere Bohlenführung eingeleitete horizontale Kraftkomponente sich weniger auswirkt. Ein steifer Mäkler einer grossen Ramme wird mit Hilfe der oberen Bohlenführung die voreilende Bohle ständig in die Senkrechte zwingen. Hierdurch kann es zu einer Verformung der Bohle mit Schrägstellung des Bohlenkopfs kommen.

6.4.9 Probleme beim Einbau von Spundwandbohlen

In heterogenen Böden treten oftmals Hindernisse (Findlinge) auf, die sich durch die durch die Spundwandbohlen eingebrachte Energie nicht verdrängen oder zerstören lassen. Hier ist es erforderlich, die Spundwandbohle im Bereich des Hindernisses zurückzuziehen und diesen Bereich z.B. durch einzelne Bohrungen oder Spülungen so zu schwächen, dass das Hindernis anschliessend von der Spundwandbohle durch Vibrieren oder Rammen durchörtert werden kann (Bild 6-31).

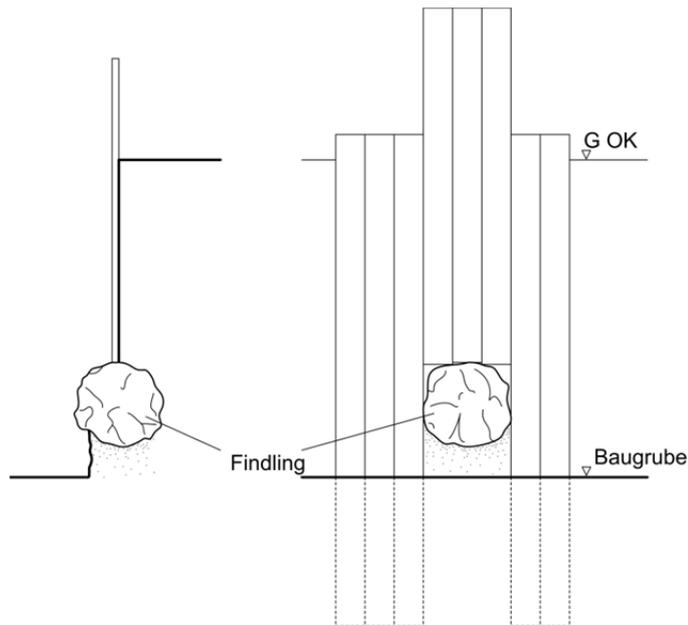


Bild 6-31: Spundwand und Findlinge

Folgende Verfahren haben sich zur Unterstützung des Rammvorgangs in schwierigen Böden bewährt:

- Bohren
- Spülen
- Sprengen
- Einrütteln mit Tiefenrüttler

Bohren

In schwer rambaren Böden (z.B. schwere Tone, Schiefer- und Sandsteinbänke, verfestigte Sandschichten etc.) hat sich das Bohren bewährt, durch das der Boden aufgelockert wird. Die Bohrlöcher sind in der Achse der Spundwand anzubringen. Sie sollten einen Durchmesser von mindestens 15 cm haben und mindestens 1 m über dem Bohlenfuß enden, um den eingerammten Bohlen die notwendige Standsicherheit zu geben. Möglich ist auch das Verfüllen der gebohrten Löcher mit Sand, der beim Einrammen der Bohlen verdichtet wird. Die Bohrungen sollten dem Rammen nicht mehr als 10 bis 12 m (horizontal) vorauslaufen.

Spülen

Eine weitere häufig angewendete Rammhilfe, die sich auch für das Einrütteln eignet, ist das Spülen, das als Hoch- oder Niederdruckspülen ausgeführt werden kann. Hierdurch wird der Eindringwiderstand am Bohlenfuß verringert, da der Boden aufgelockert und umlagerungsfähig gemacht wird.

Beim **Niederdruckspülen** haben die Spüllanzen einen Innendurchmesser von etwa 25 bis 40 mm, der sich an der Austrittsöffnung verengt. Das Spülwasser sollte am Lanzenaustritt einen Druck von etwa 10 bis 20 bar haben.

Die Spüllanzen werden beim Absenken auf und ab bewegt, um ein schnelleres Eindringen der Spüllanzen und Bohlen zu erreichen. Beim Einrütteln kann die Spüllanze auch am Fuss des Rammelements befestigt und das Spülen bei Nachlassen des Einsinkens der Bohle zugeschaltet werden. Der Wasserverbrauch liegt nach vorliegenden Er-

fahrungen bei 200 bis 500 l/min. Dem Spülwasser können zur Senkung des Wasserverbrauchs auch Gleitmittel (Bentonitsuspension) zugesetzt werden, da grosse Wassermengen zu unerwünschten Veränderungen des Bodens führen können. Das Spülen sollte etwa 1 m vor Erreichen der Solltiefe eingestellt werden, um den Bohlen die notwendige Standfestigkeit zu geben.

Beim **Hochdruckspülen** wird mit Drücken von 300 bis 600 bar gearbeitet, so dass eine Wassermenge von etwa 20 bis 40 l/min. ausreichend ist. Die Lanzen haben einen sehr kleinen Austrittsdurchmesser von etwa 1.2 bis 1.8 mm. Durch den Hochdruckwasserstrahl wird der Boden vorgeschritten und umgelagert. Ausserdem wird durch das abströmende Wasser eine Reduzierung der Mantel- und Schlossreibung erreicht. Auch hier gilt, dass der Boden auf unerwünschte Veränderungen wie z.B. Quellen oder Ausspülen überprüft werden muss.

Es wird über den Einsatz des Hochdruckspülens bei einer **Baustelle des Mittellandkanals** berichtet, bei der rund 5'000 t Bohlen mit Gewichten bis zu 175 kg/m² und Längen bis zu 16 m mit einer Diesel-Explosionsramme mit einer Rammleistung von etwa 18 bis 20 m²/h gerammt wurden. Die Hochdrucklanzen mit einem Durchmesser von aussen 25 mm und innen 10 mm und einer Düsenöffnung von 2 mm wurden an den Bohlen mit Hilfe von Blechschlaufen befestigt; der Druck von 500 bar wurde von einer mit einem Dieselmotor von rund 300 PS angetriebenen Kreiselpumpe erzeugt. Die Arbeiten wurden von der Wasserseite aus auf zwei Schiffen mit einer Rammmannschaft von nur 5 Mann durchgeführt, so dass das Spülen zu einem niedrigen Arbeitsaufwand beitrug.

Sprengen

Bei stark verdichteten Böden wie Tonstein, Felsbänken aus Kalk- oder Sandstein bis zu anstehendem Granit können Spundwände nur durch Lockerungssprengungen des Baugrunds eingebracht werden, falls eine Fussverstärkung und die Verwendung von Sonderstahl bei gleichzeitigem Einsatz schwerer Rammhären keinen Erfolg bringt.

Zur Vorbereitung des Sprengens werden in der Spundwandachse im Abstand von 0.6 bis 0.8 m Bohrlöcher mit einem Durchmesser von 90 bis 100 mm hergestellt, in die ein unten geschlossenes Kunststoffrohr eingestellt wird. In das Kunststoffrohr werden an Sprengschnüren Sprengladungen abgelassen, die unten konzentriert und oben in grösserem Abstand voneinander angebracht sind. Es werden jeweils 2 bis 6 Bohrungen nacheinander gesprengt, so dass ein schmaler aufgelockerter Graben entsteht, in den die Bohlen eingerammt werden. Beim Einrammen verdichtet sich der aufgelockerte Felsboden wieder. Bei einer Baustelle am Mittellandkanal, bei der mergeliger Tonstein anstand, wurden Bohlen aus St Sp S von 9 und 10 m Länge in einen Graben gerammt, der vorher durch Lockerungssprengungen mit einem Bohrlochabstand von im Mittel 0.8 m und einem Besatz von 3.0 bis 6.5 kg Geosit III hergestellt worden war.

6.4.10 Dichten von Spundwänden

Spundwandschlösser brauchen ein gewisses Spiel (Toleranz), damit man sie überhaupt ineinander einfädeln kann. Durch den Mehrfachgebrauch vergrössert sich dieses Spiel in den Schlössern, und Wasser kann eindringen, das mit Pumpen aus den Baugruben entfernt werden muss. Dies ist mit zusätzlichen Kosten verbunden.

In der Arbeitsdurchführung wird danach getrachtet, den Wasserandrang in der Baugrube möglichst klein zu halten. Somit versucht man, undichte Schlösser der Spundwände zu dichten. Folgende Möglichkeiten bestehen:

Dichten nachträglich von der Luftseite:

- mit Holzkeilen (nur bei Einzellöchern)
- mit Kunststoffschaum

Dichten während des Einbringens:

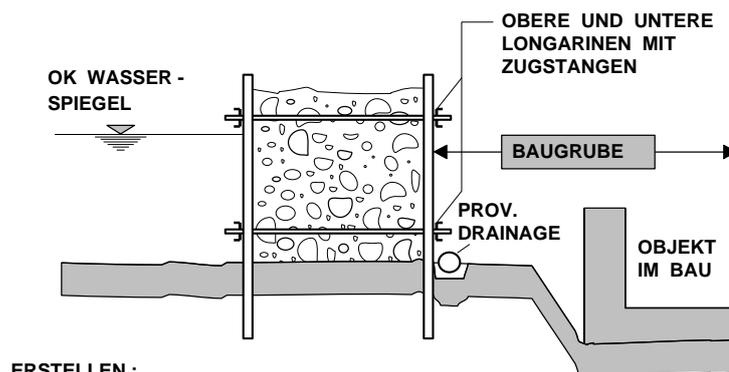
- Einfließen von Schlackenmehl in die Schlösser
- Einstreuen von Sand und Sägemehl ins gefettete Schloss

6.4.11 Baugrubenumschliessung mit Kastenfangdamm

Bei grösseren Wasserbaustellen, z.B. beim Flusskraftwerksbau, reicht meist eine freistehende Spundwand zwischen Fluss und Baustelle im Fluss nicht aus. Meist sind folgende Gründe massgebend:

- Wasserstand zur Baugrube zu hoch, um die Kräfte von der freistehenden eingespannten Wand aufgrund ihrer Widerstandsgrössen aufzunehmen
- Aussteifung der Wand aufgrund des baubetrieblichen Ablaufs in der Baugrube nicht möglich oder die Aussteifung wird unwirtschaftlich
- Rammtiefe der Spundwände zur ausreichenden Einspannung ist aufgrund der Bodenverhältnisse (Fels) zu gering

In diesen Fällen wird ein Kastenfangdamm (



ERSTELLEN :

- RAMMEN DER SPUNDWÄNDE (BEIDSEITIG)
- VERSETZEN DER LONGARINEN UND ANKERSTANGEN
 - ÜBER WASSER
 - UNTER WASSER (MIT TAUCHER)
- EINBRINGEN DER KASTENFÜLLUNG (VOR KOPF)
- ABPUMPEN DER BAUGRUBE
- EINBRINGEN DER PROV. DRAINAGE

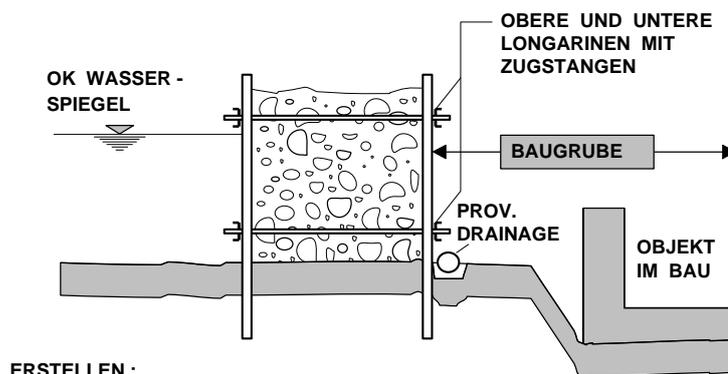
Bild 6-32) von einem Ponton gerammt. Der Arbeitsablauf ist wie folgt:

- Rammen der ersten Wand von einem Ponton
- Rammen der zweiten Wand von einem Ponton
- Brennen der Löcher für Zugstangen unter Wasser durch Taucher
- Einziehen der Zugstangen durch Taucher
- Verlegen der unteren und oberen Longarinen und Spannen der Anker durch Taucher

- Langsames lagenweises gleichmässiges Verfüllen des Kastenfangedamms zwischen den Spundwandebenen
- Absenken des Wassers in der Baugrube
- Anordnen von Längsdrainage hinter dem Kastenfangedamm in einem Graben und Anordnung von Pumpen in Pumpensäumpfen

Der Wasserumlauf unter dem Kastenfangedamm muss weitgehend eliminiert werden, dass kein hydraulischer Grundbruch entsteht bzw. nur geringe Wassermengen anfallen, die abgepumpt werden müssen.

Daher wird mindestens eine Spundwandebene bis zu einer weitgehend wasserundurchlässigen Schicht geführt.



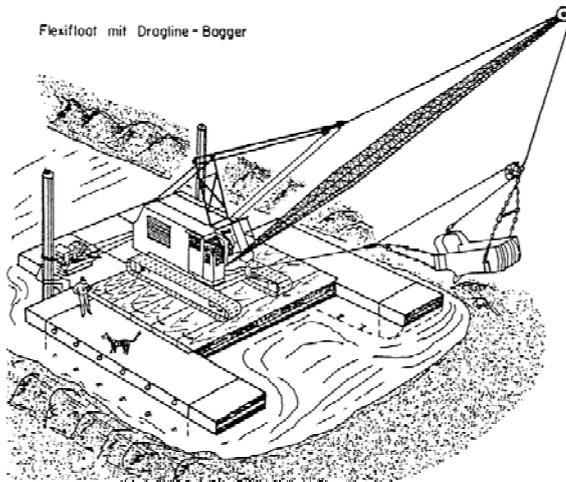
ERSTELLEN :

- RAMMEN DER SPRUNDWÄNDE (BEIDSEITIG)
- VERSETZEN DER LONGARINEN UND ANKERSTANGEN
 - ÜBER WASSER
 - UNTER WASSER (MIT TAUCHER)
- EINBRINGEN DER KASTENFÜLLUNG (VOR KOPF)
- ABPUMPEN DER BAUGRUBE
- EINBRINGEN DER PROV. DRAINAGE

Bild 6-32: Übersicht Kastenfangdamm

Zum Rammen dieser Spundwände auf dem Wasser (Seen/Flüsse) verwendet man heute Flexifloat (Bild 6-33) und Modul-Pontons (Bild 6-34), die man je nach Bedarf leicht transportieren und zusammenstellen kann.

FLEXIFLOAT CONSTRUCTION SYSTEM
(SCHIEDAM - HOLLAND)



RAKE serie		FLOATS serie		RAMP serie	
H-50	L=8	H-50, S-50, S-70		H-50, S-50, S-70	
S-50		Duo	L=2B		L=2B
S-70	L=1.5B	Tri	L=3B		
		Quadra	L=4B		

Serie		H-50	S-50	S-70
H	m	1.18	1.52	2.13
B	m	2.28	3.05	3.05

Duo	kg	3810	6580	8600
Tri	kg	5220	9300	12140
Quadra	kg	6620	12250	16120
Rake	kg	1360	2540	4760
Ramp	kg	2360	4310	6658

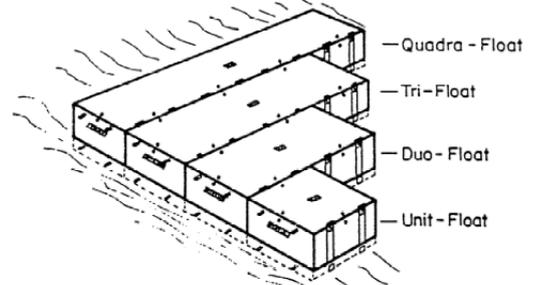
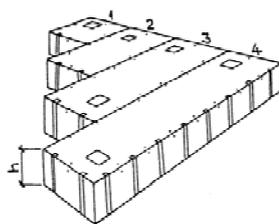


Bild 6-33: System Flexifloat [8]

SYSTEM MODULAR FLOAT
(SOILMEC CESENA - ITALY)



MC-15 = h 1,5m
MC-20 = h 2,0m

- MC - 15**
- ELR - 1/15m. 3x3
 - ELR - 2/15m. 3x6
 - ELR - 3/15m. 3x9
 - ELR - 4/15m. 3x12
- MC - 20**
- ELR - 1/20m. 3x3
 - ELR - 2/20m. 3x6
 - ELR - 3/20m. 3x9
 - ERR - 4/20m. 3x12

Size in m.	MC - 15				MC - 20			
	ELR 4/15	ELR 3/15	ELR 2/15	ELR 1/15	ELR 4/20	ELR 3/20	ELR 2/20	ELR 1/20
length	12	9	6	3	12	9	6	3
breadth	3	3	3	3	3	3	3	3
height	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2
Unitary weight with locking bars	Kg. 11.560	8680	6.050	3.380	12.690	9.770	6.890	3.850
Dead weight draft	m. 0,32	0,32	0,34	0,37	0,35	0,36	0,38	0,43
Load capacity (65% of draft)	Kg. 23.845	18.000	11.765	5.880	32.774	24.581	16.387	8.114

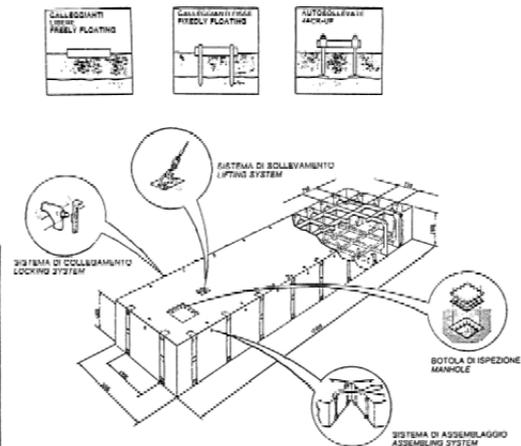


Bild 6-34: System Modular Float [8]

Kurze Einsatzzeiten: Verwendung von
(Tage/Wochen bis Monate) Flexifloat- oder Modular-Float Elementen

Lange Einsatzzeiten: Verwendung schwererer Pontonplattformen mit
(Monate bis Jahre) grösserer Tragkraft; Transport und Wässerung sind mit grösseren Umtrieben verbunden.

Sind auf schwimmenden Arbeitsbühnen Geräte zu installieren (z.B. schwere Bagger), so kann bereits deren Verladung zu Problemen führen (Bild 6-35).

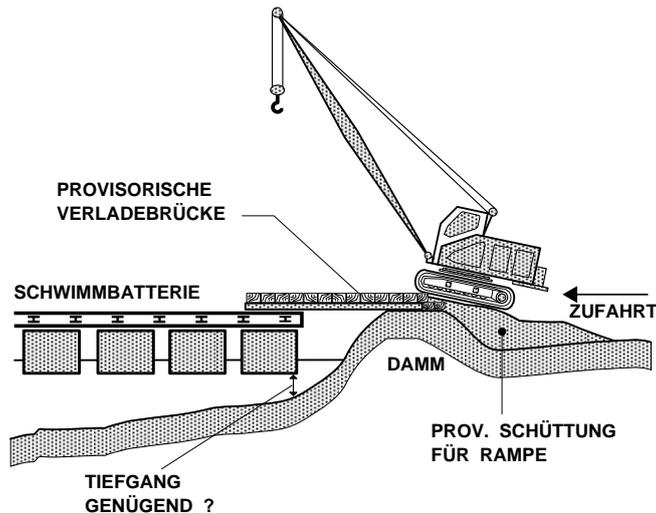


Bild 6-35: Baggerverladung auf Schwimmatterie

6.4.12 Spezielle Aspekte beim Ziehen der Spundwände

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob Spundbohlen ganz gezogen werden können oder teilweise im Boden verbleiben und abgetrennt werden müssen. Müssen sie abgetrennt werden, kann dies wie folgt geschehen:

Trennen (Schneiden) über Wasser bzw. an Land:

- Schneiden mit normaler Autogenanlage
- Leistung/Aufwand 0.5 - 1 Std./m

Trennen unter Wasser:

- Ausführung durch Taucher
- Schneiden mit Sauerstoffflanzen oder speziellen Elektroden (hohl) mit Sauerstoff
- Leistung/Zeitaufwand 2 - 2.5 Std./m

Das Ziehen der Spundwände wird durch folgende Determinanten beeinflusst:

- Sind Spundwände im Lockermaterial oder in der Endphase in den Fels eingerammt worden?
- Standen Spundwände lange Zeit im Einsatz? (Rosten der Schlösser)
- Sind Spundwände durch aussergewöhnliche Einflüsse oder durch nicht vorhergesehene Belastungen (z.B. extremes Hochwasser) stark deformiert worden?

In der Submissionsphase (Offerte/Kosten) und der Arbeitsvorbereitung sind diese Aspekte einzubeziehen, um Zeit und Kosten realitätsbezogen zu ermitteln.

Beim **Ziehen** ist grundsätzlich zu beachten, dass ein Gerät gewählt wird, bei dem mit ca. 150 kN (15 to) Netto-Vorspannkraft am Seil gezogen werden kann.

Beispiele:

Mögliche Vorspannkraft am Baggerseil	200 kN	(20 to)
Gewicht des Ziehhammers	40 kN	(4 to)
Gewicht der Spundbohle	<u>10 kN</u>	<u>(1 to)</u>

Netto-Vorspannung

150 KN (15 to)

6.5 Trägergeräte für das Rammen und Ziehen

Rammgeräte

Als Rammgeräte werden heute Hydraulikbagger und Seilbagger verwendet. Die Seilbagger (Tabelle 6-6) werden meist für schwere Rammarbeiten meistens mit Mäkler eingesetzt. Der Mäkler ist ein Führungsmast für den Rammbar bzw. -hammer und für das Rammgut (Bild 6-37).

Tabelle 6-6: Übersicht Bagger für Ramm- und Zieharbeiten (ideale Baggergrösse 120 - 140 mt)

Hersteller	Typenbezeichnung	Gewicht [kg]
Link Belt	108 HD	45 000
Weserhuetten	SW 190 H	53 800
North West	NW 50 D	56 155
Pinguely	GTL 105	52 100
Koehring	LC 107	55 300
Nick Papier	605 2 B	54 000
Liebherr	HS 840	51 200

Im Regelfall werden Seilbagger mit einem Gesamtgewicht von ca. 50 Tonnen eingesetzt. Zu beachten ist, dass diese schweren Baumaschinen auf der Strasse mit Spezialtiefladern transportiert werden müssen. Typische Seilbagger als Trägergeräte sind in Tabelle 6-6 zusammengestellt.

Seilbagger sind mit anbaubaren Zusatzgeräten als Universalträgergerät auch für andere Arbeiten im Spezialtiefbau einsetzbar:

- Rammarbeiten allgemein
- Bohrfahlarbeiten
- Schlitzwandarbeiten
- Tiefenrüttelverdichtung
- Hebezeuge

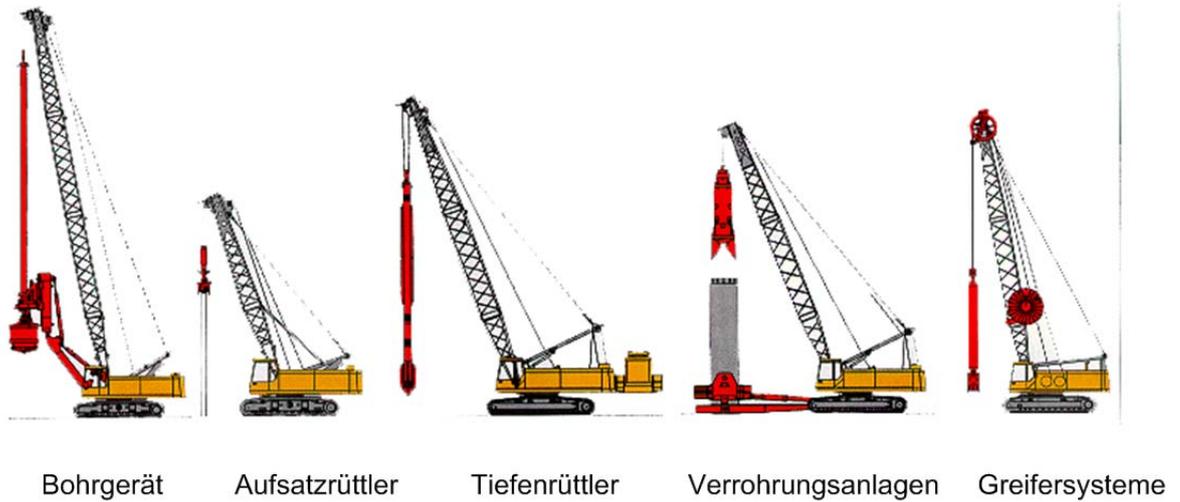


Bild 6-36: Trägergerät mit Anbauvarianten

Dadurch kann das investierte **Gerätekapital** eines Unternehmens besser **genutzt** und der Gerätepark umfassend mit besseren **Auslastungszeiten** eingesetzt werden.

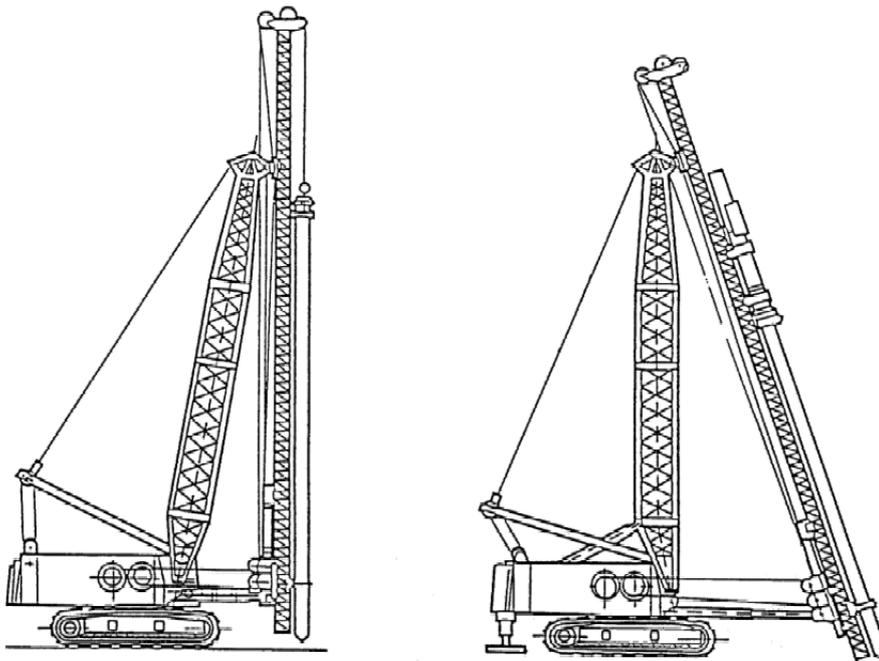


Bild 6-37: Trägergeräte mit Mäkler zur Führung des Rammelements [4]

Bei Hydraulikbaggern werden Mäkler meist nur für leichtere bis mittelschwere Rammarbeiten zur Führung des Hammers und des Rammgutes eingesetzt (Bild 6-38). Der Mäkler kann geneigt werden um das Rammgut in gewünschter Neigung zu Rammen (Bild 6-39).

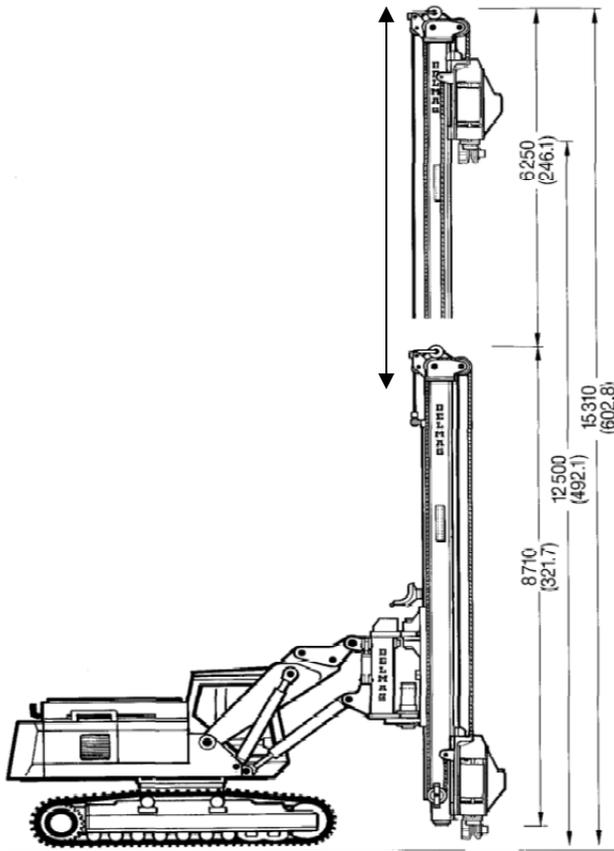
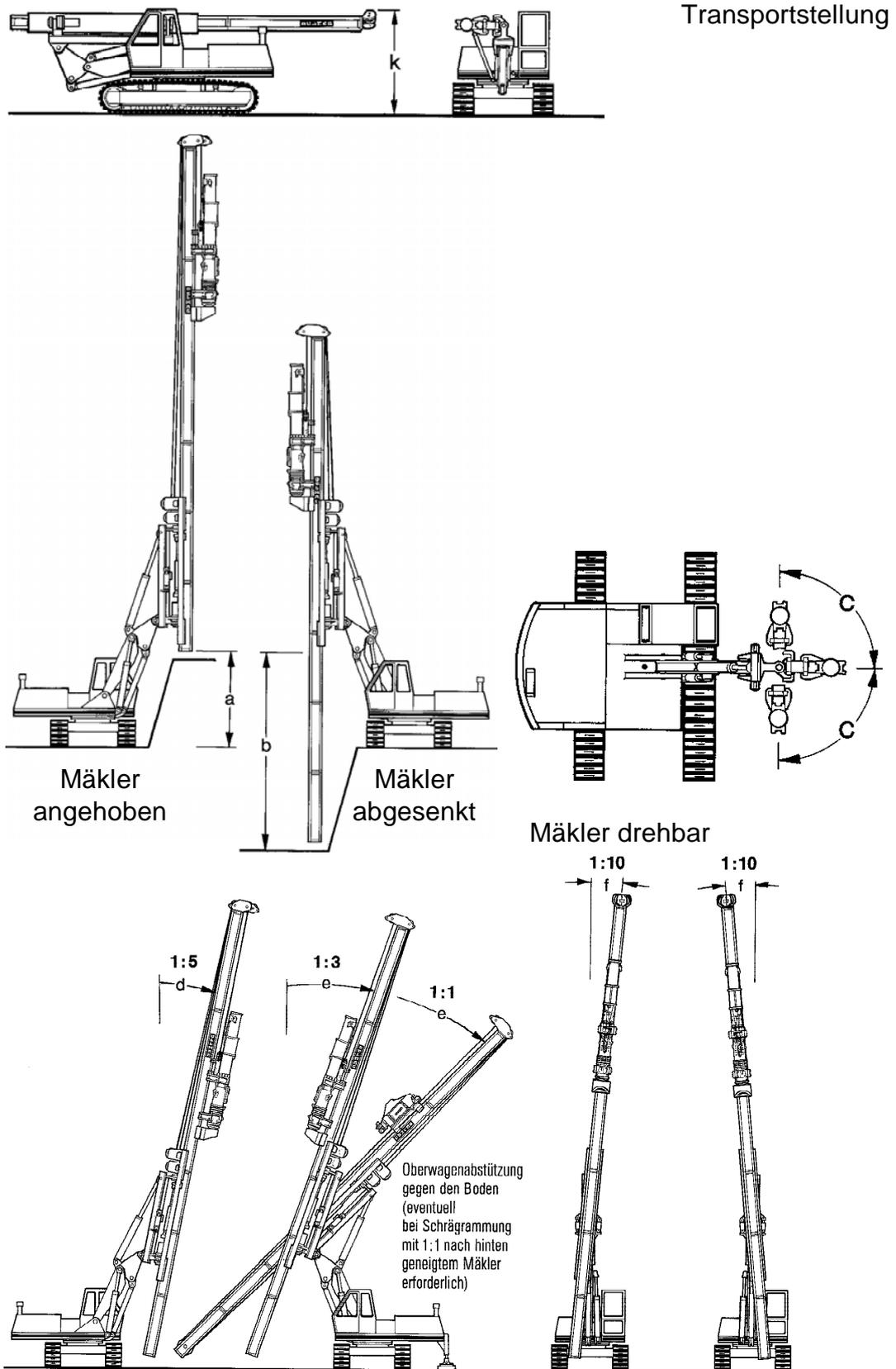


Bild 6-38: Hydraulikbagger mit Vibrohammer und teleskopierbarem Mäkler [3]



Mäkler nach vorn, nach hinten, nach beiden Seiten neigbar

Bild 6-39: Trägergerät mit Mäkler und Rammeinrichtung in verschiedenen Betriebspositionen [2]

Werden Vibrationshämmer zum Rammen von Spundbohlen eingesetzt, kann der Vibrationshammer am Seil geführt werden ohne Mäkler. Jedoch muss das Rammgut über eine Führungszange positioniert werden. Diese Führungszange sollte auch beim Mäkler benutzt werden.

Vibrationshämmer können auch am Mäkler geführt werden. Hier entsteht jedoch das Problem der Schwingungsübertragung vom Vibrationshammer auf den Mäkler und das Trägergerät. Daher bevorzugt man die reine Seilführung.

Im innerstädtischen Bereich ist meist eine Lärmemissionsbegrenzung vorgegeben. In diesen Fällen verwendet man bei Rambahären und Schnellschlaghämmern Schalldämmkamine (Bild 6-40), in denen der Hammer bzw. Bär und das Rammgut während des Rammens geführt wird.

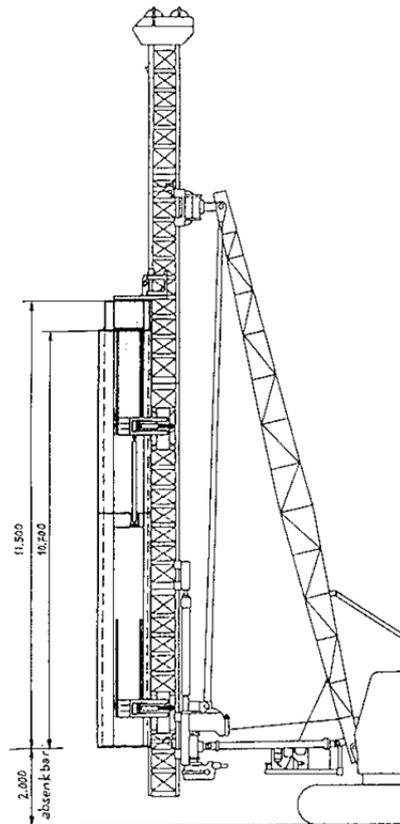


Bild 6-40: Ramme mit Schalldämmkamin [5]

Ziehgeräte

Das Ziehen von Spundbohlen, Kanaldielen oder Pfählen ist für vorübergehend eingebrachten Verbau notwendig. Bei den Pfählen handelt es sich auch um I-Träger des Träger-Bohlen-Verbau, die heute meist nicht gerammt, sondern in vorgebohrte Löcher eingesetzt werden. Als Ziehgeräte kommen vor allem Vibrationshämmer (Bild 6-42), aber auch Hydraulikpressen und Schnellschlaghämmer zum Einsatz, wobei die Schlag- oder Pressrichtung nach oben gerichtet ist. Vibrations- oder Schnellschlaghämmer werden entweder an einem Teleskopmäkler nach oben gezogen oder frei an ein Hebezeug, z.B. einen Autokran, gehängt, das den Zug ausübt (Bild 6-41 und Bild 6-42).

Beim Ziehen mit einem Vibrationsbär wird nach Herstellerangaben die Mantel- und Schlossreibung auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{10}$ reduziert.

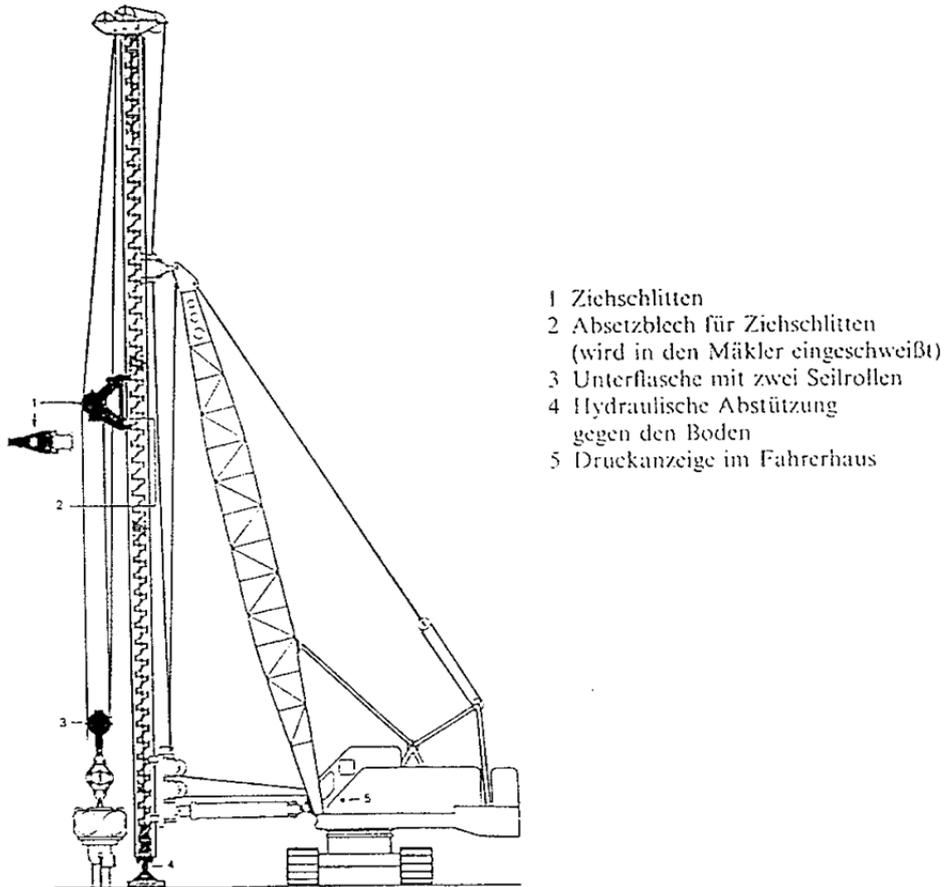


Bild 6-41: Mäkler als Ziehmast mit Ziehschlitten [2]

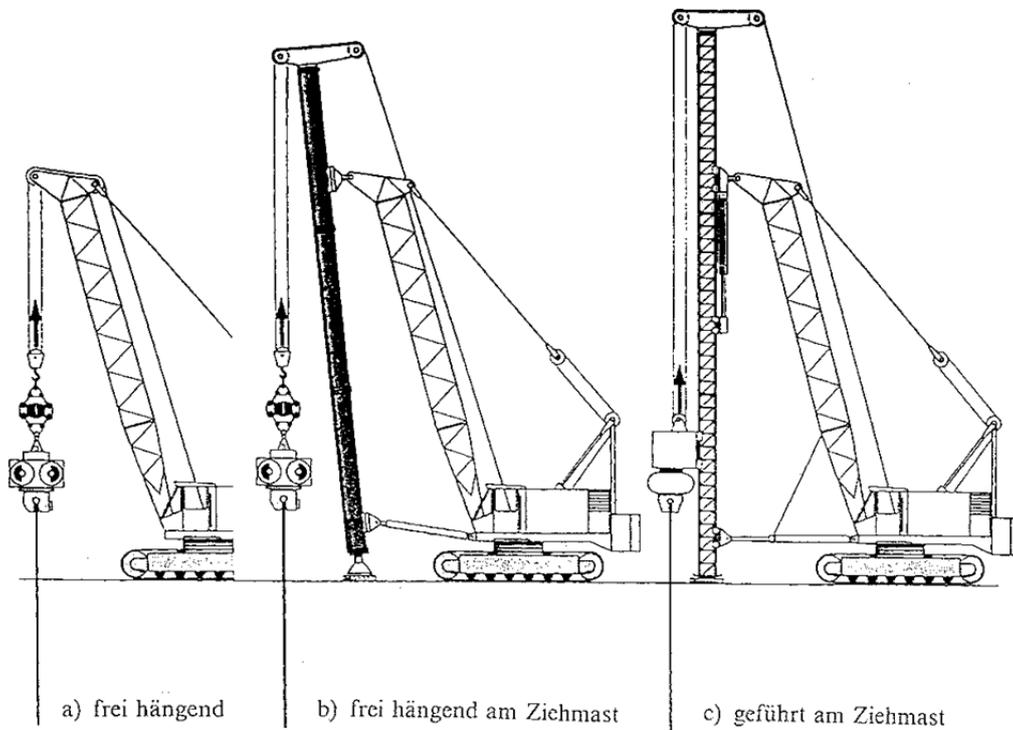


Bild 6-42: Ziehen von Spundwandbohlen [3]

6.6 Baugrubenaussteifung

Die Kriterien für Baugrubenaussteifungen bzw. Rückverankerungen (Bild 6-43) sind wie folgt:

1. Stabilitätskriterium:

Kann im Falle eines Baugrubenverbaus die Belastung aus Erd- und Wasserdruck nicht mehr allein durch die Einspannung im Baugrund abgetragen werden, so sind zusätzliche Massnahmen, wie Aussteifungen in der Baugrube oder Rückverankerungen in den anstehenden Baugrund erforderlich.

2. Verformungskriterium:

Besonders bei tieferen Baugruben ist zusätzlich zum Stabilitätskriterium das Verformungskriterium von massgebender Bedeutung für die konstruktive Gestaltung des Baugrubenverbaus. Zu grosse Elastizität des Verbaus bedingt hier zusätzliche Aussteifungs- oder Rückverankerungsmassnahmen.

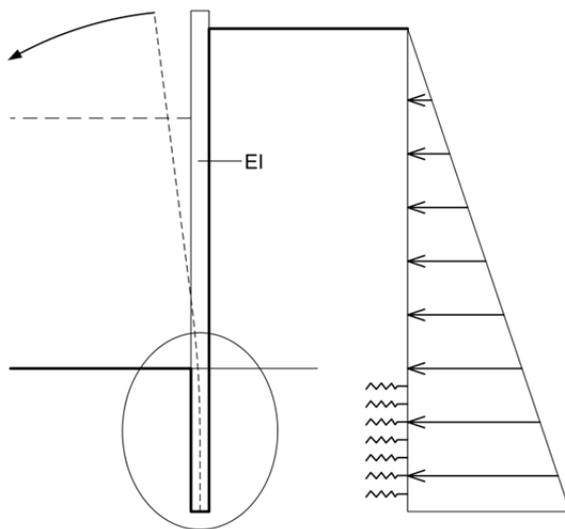


Bild 6-43: Notwendigkeit von Baugrubenaussteifungen

Konstruktive Gestaltung

Die Aussteifung von Baugrubenverbauten erfolgt meist durch Rahmenkonstruktionen aus Stahlprofilen, die durch Konsolen in der jeweiligen Aussteifungslage fixiert sind (Bild 6-44). Bei der konstruktiven Gestaltung der Rahmen ist besonderes Augenmerk auf die Zugänglichkeit der späteren Arbeitsbereiche zu legen.

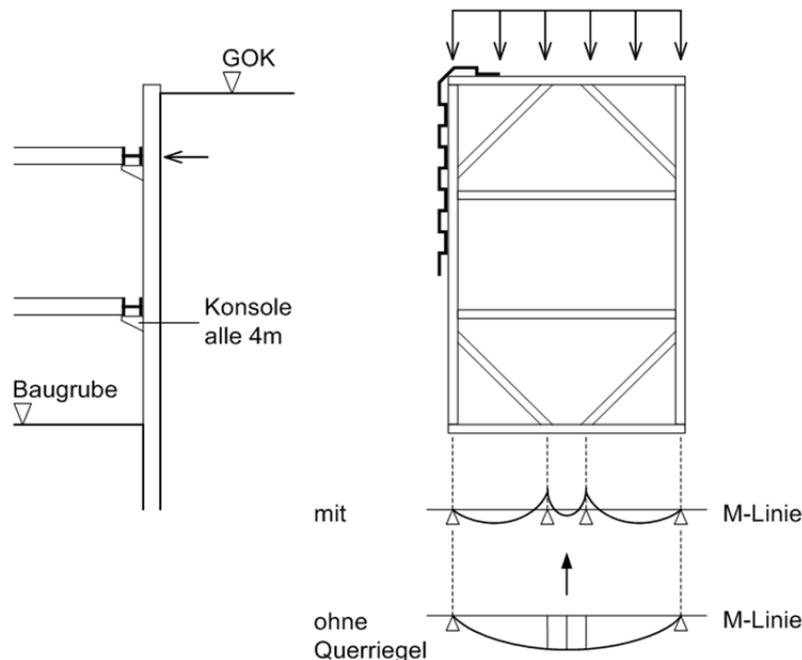


Bild 6-44: Baugrubenaussteifung: horizontaler Rahmen

Vorteile:

1. Keine Inanspruchnahme des umgebenden Baugrundes
2. Kein Risiko der Beschädigung angrenzender Leitungen und Einbauten
3. Keine im Baugrund verbleibenden Bauteile

Nachteile:

1. Behinderung der Rohbauarbeiten des Bauwerkes in der Baugrube
2. Bei grossen Baugruben, mit grossen Spannweiten, sehr schwere und aufwändige Konstruktionen, teilweise mit Unterstützungen innerhalb der Baugrube.

Bauablauf

In Baugruben mit ausgesteiftem Baugrubenverbau (Bild 6-45) ist besonders darauf zu achten, dass die Höhenlagen der einzelnen Aussteifungsrahmen auf die statischen Anforderungen und auf die vertikale Gliederung des Herstellungsablaufes des Bauwerkes abgestimmt ist, da hier eine direkte Interaktion zwischen Erstellung des Rohbaus und gleichzeitigem Rückbau der Baugrubenaussteifung besteht. Die einzelnen Arbeitsphasen bei der Herstellung des Bauwerkes innerhalb der Baugrube gliedern sich wie folgt:

1. Phase
 - Fundamentplatte herstellen
2. Phase
 1. Betonschuh kraftschlüssig zwischen Fundament und Verbau betonieren (Trennfolie anordnen).
 2. Umsteifung des untersten Aussteifungsrahmens vornehmen.
 3. 1. Betonierabschnitt (Geschosswände) betonieren.
 4. Weitere Umsteifungen im nächsten Betonierabschnitt erfolgen analog zum vorangegangenen.

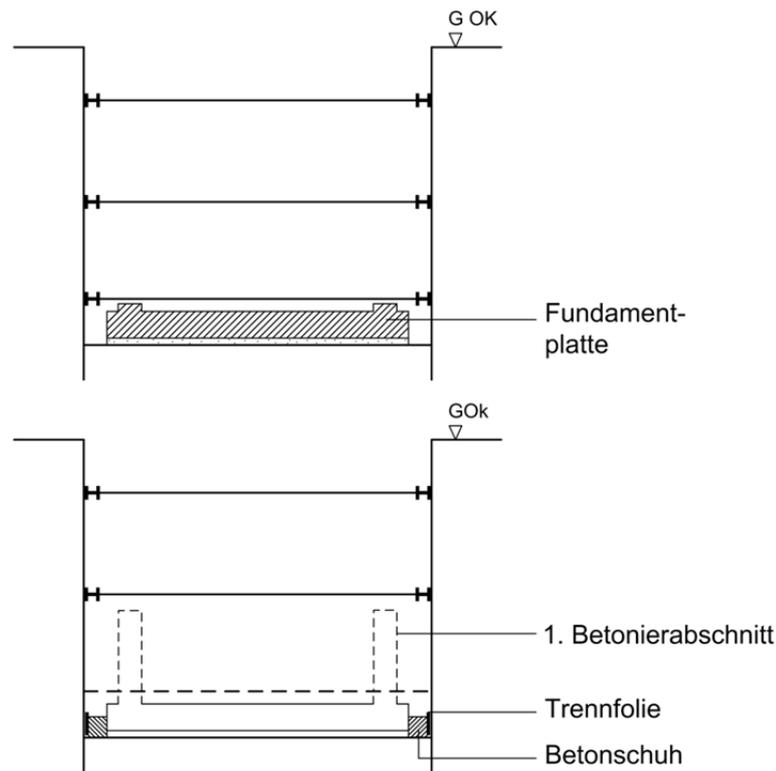
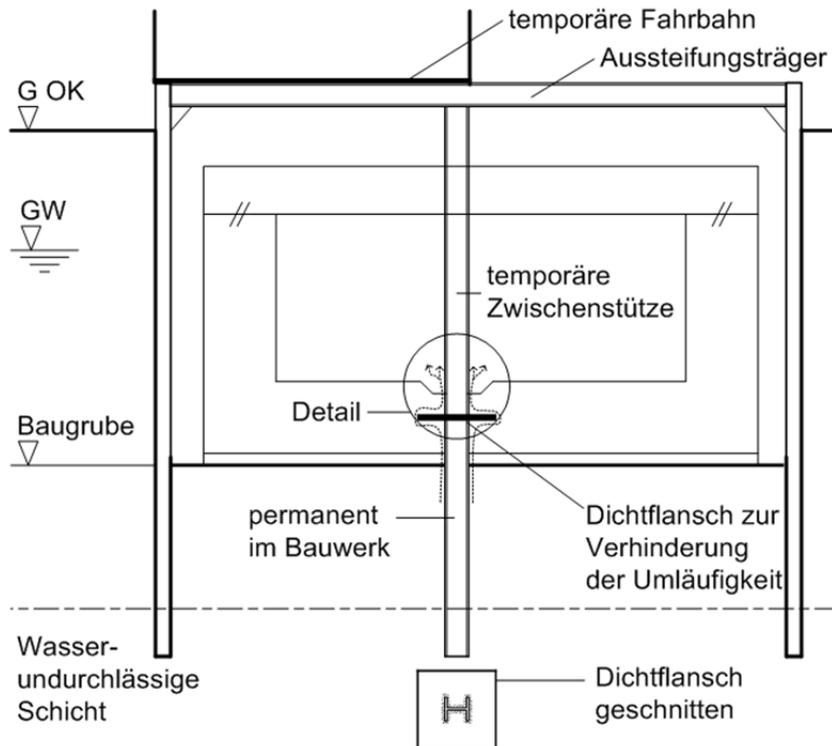


Bild 6-45: Baugrube: Aussteifung und Umsetzen der horizontalen Rahmen während des Baufortschritts

Baugrubenaussteifung einer Baugrube im Grundwasser mit im Bauwerk verbleibenden Stützen

In Fällen bei denen die Spannweite der Aussteifungsträger (Knicklänge) für eine wirtschaftliche Dimensionierung zu gross wird, bietet es sich an, den horizontalen Aussteifungsträger durch eine temporäre Stütze zu unterstützen, wodurch eine Reduktion der Knicklänge erreicht wird. Da diese Stützen erst nach Erstellung des Rohbaus entfernt werden können, sind hier an den Durchführungen spezielle konstruktive Massnahmen zu treffen (Bild 6-46). Um die Wasserdichtigkeit des Bauwerkes zu gewährleisten, sind an diesen Durchführungspunkten die Träger mit Dichtflanschen zu versehen. Diese Dichtflansche bewirken eine Verlängerung des Sickerweges und somit eine Verhinderung von Umläufigkeiten. Jene Teile der temporären Zwischenstützen, welche sich innerhalb des Bauwerkes befinden, können nach dem Ausbau der Aussteifungsträger abgetrennt werden (Bild 6-46, Detail Endzustand).



Detail: Endzustand

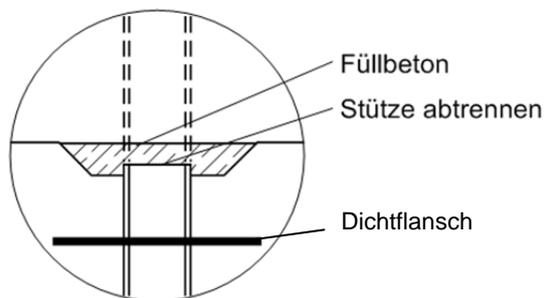


Bild 6-46: Baugrubenaussteifung in Grundwasser mit verbleibenden Stützen im Bauwerk und Dichtflansch

Lange war das Spriessen die einzige Möglichkeit zur Aussteifung von Baugruben. Erst mit dem Aufkommen der **Ankerteknik** in den **fünfziger / sechziger Jahren** begann sich das Bild zu wandeln und man konnte offene, von Spriessen freie Baugruben erstellen (Bild 6-47).

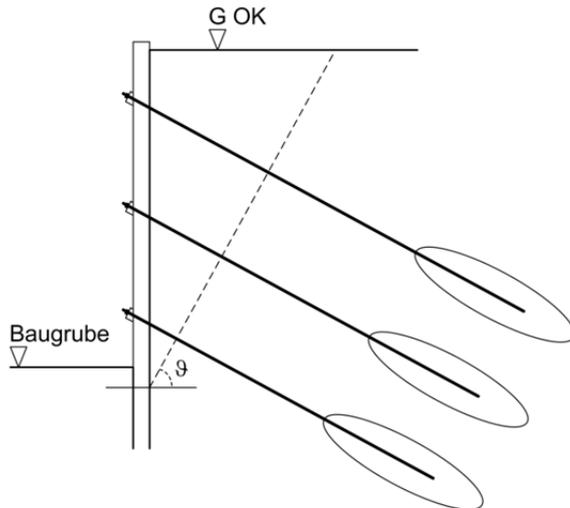


Bild 6-47: Rückverankerter Baugrubenverbau

Es sei in diesem Abschnitt auch auf die Leistungsbeschreibung des NPKs hingewiesen, und zwar auf das Kapitel 163 D/89 **Aussteifungen** (Bild 6-48). Darin werden detaillierte Angaben zu den **gegenseitigen** und **einseitigen Baugrubenaussteifungen**, zu **Baustelleneinrichtungen** und zu den Grundlagen der entsprechenden Ausschreibung gemacht.

163 D/89 

Seite **Inhalt**

Aussteifungen

3	000	Bedingungen
3	010	Vorschriften 1
5	020	Vorschriften 2
5	050	Grundlagen der Ausschreibung
7	100	Baustelleneinrichtungen
7	110	Global
8	200	Gegenseitige Baugrubenaussteifungen
8	210	Detailliert
8	220	Nach Vorschlag des Unternehmers
9	300	Einseitige Baugrubenaussteifungen
9	310	Detailliert
10	320	Nach Vorschlag des Unternehmers

Bild 6-48: NPK-Kapitel 163 D/83 Aussteifungen

Das Stauwehr Höngg soll als Beispiel dienen, wie Spriessungen in grösseren Baugruben angeordnet werden können. Das Aussteifungsraster der Spriessen ergibt sich aus

dem Arbeitsablauf des Bauwerks in der Baugrube sowie aus der Form, den Stockwerken etc. des Bauwerks, sowie aus statischen und wirtschaftlichen Gründen. Die Spriesslagen sollten auf die technischen und baubetrieblichen Bestimmungsgrößen für die Betonieretappen abgestimmt werden, um den gesamten Arbeitsablauf zu erleichtern (Bild 6-49 und Bild 6-50). Derartige Dispositionen können auch Umsprierarbeiten verhindern helfen.

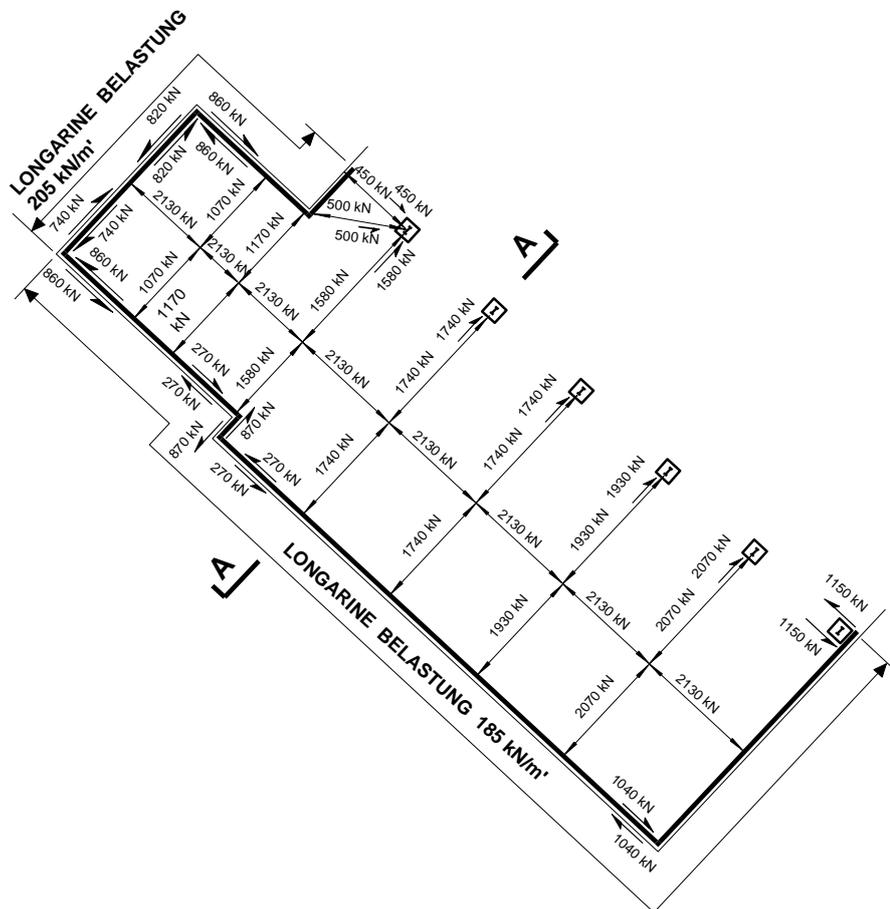


Bild 6-49: Baugrube rechtes Limmatufer (Spriess-Schema)

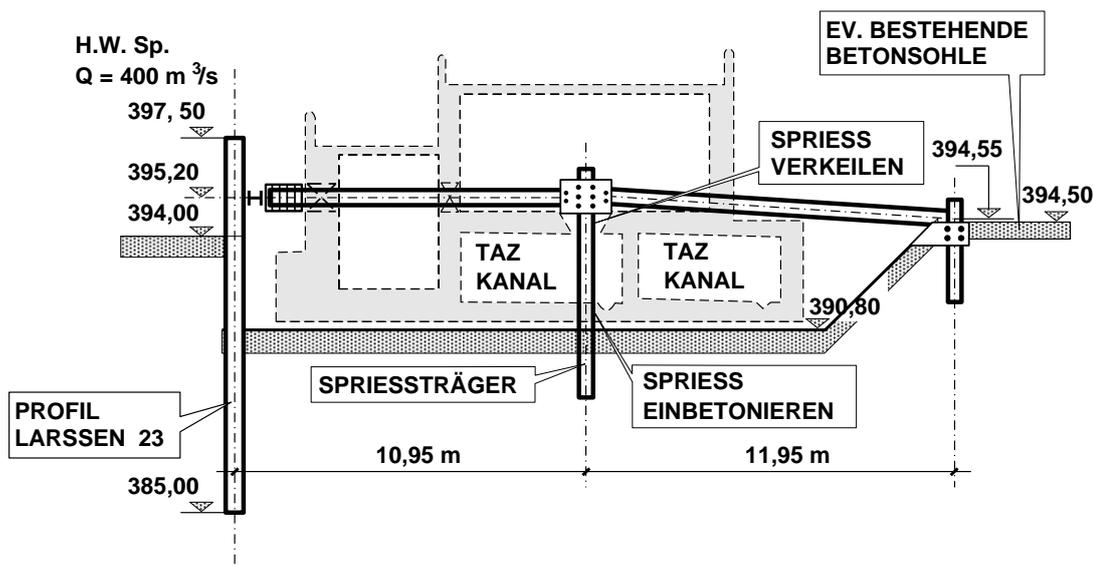


Bild 6-50: Stauwehr Hängg (Schnitt A - A)

Auch die Wehrbaugrube zeigt einen eingeteilten Raster der Spriessungen mit den entsprechenden Kräften (Bild 6-51). Im Detail 1 wird die Anschlussmöglichkeit der Spundwand an den Wehrpfeiler im Bauzustand dargestellt. Der Schnitt A - A in der Wehrbaugrube (Bild 6-52) lässt erkennen, wie man bereits im Projekt die Spriessenlage über den TAZ-Kanal gelegt hat, um die Arbeiten im Ablauf zu entflechten und einfacher zu gestalten.

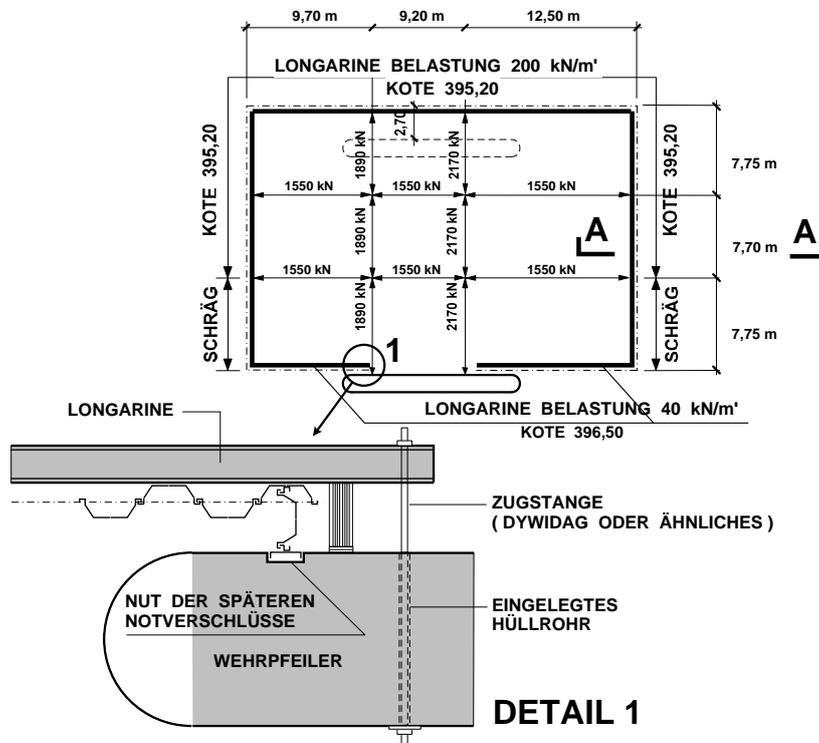


Bild 6-51: Wehrbaugrube

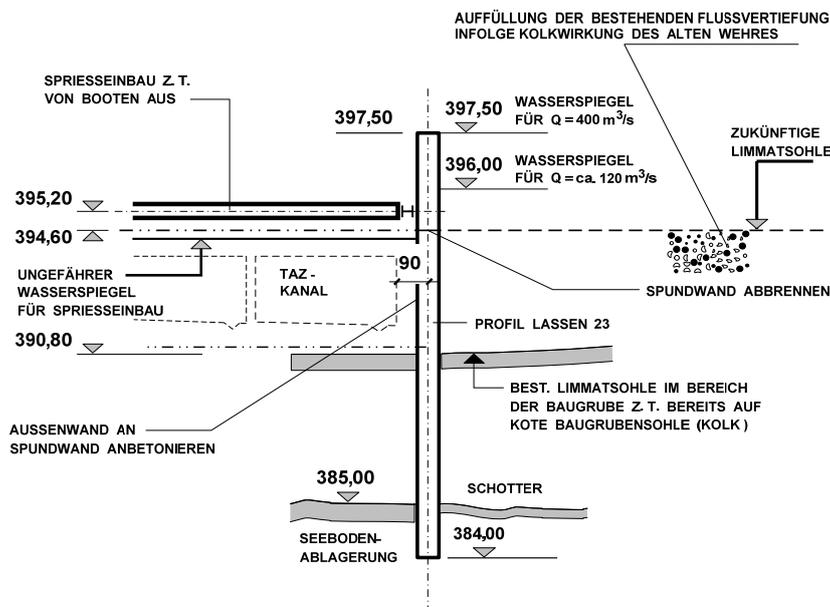


Bild 6-52: Schnitt A – A / Wehrbaugrube

Bei einer grossflächigen Baugrube müssen die Aussteifungen aufgrund der Knicklänge mit **Zwischenstützen (Hilfsstahlstützen)** unterstützt werden. Zweckmässigerweise

werden die Knoten mit vorfabrizierten Hilfelementen (Konsolen) hergestellt und auf die Spriess aufgelegt (Bild 6-53). Auch beim Anschluss der Spriessen an die Spundwandaussteifung bedient man sich der Konsolen für die Longarinen und Hilfsflaschen für den Spriesseneinbau.

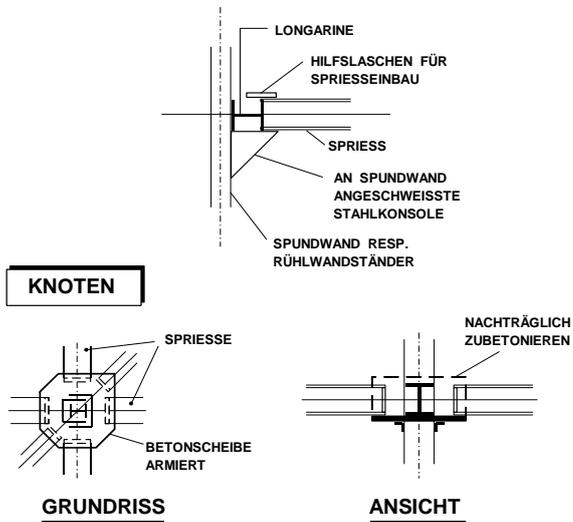


Bild 6-53: Spriessenanschluss an Spundwand resp. Spriessenknoten

Aufwandsansätze für Baugrubenaussteifungen:

Einfachere Konstruktionen:

Montage	12-20 Std. / to
Demontage	8 -15 Std. / to

Kompliziertere Konstruktion:

Montage	25-30 Std. / to
Demontage	20 Std. / to

6.7 Anker und Ankerarbeiten

Rückverankerte Baugruben erlauben ein offenes, ungehindertes Arbeiten in der Phase des Aushubs und bei der nachfolgenden Erstellung des Bauwerks (Bild 6-54).

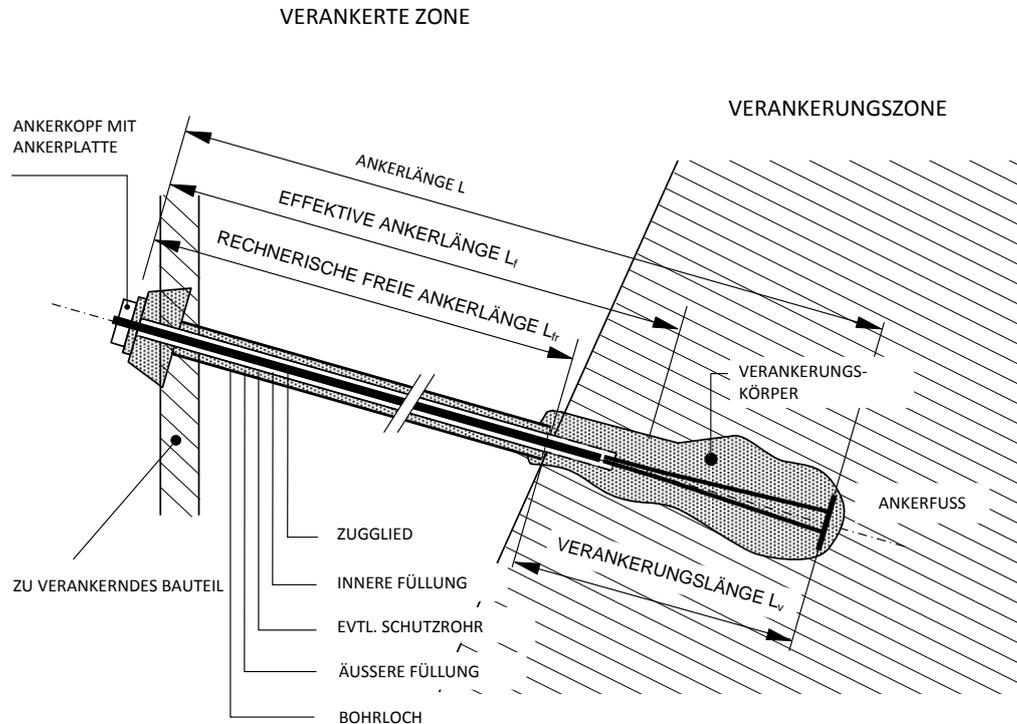


Bild 6-54: Ankeraufbau [11], S. 9

Umfangreiche Vorabklärungen in der Planung gehen diesen Ankerarbeiten voraus:

- geotechnische Vorabklärungen
- nachbarrechtliche Aspekte
- spezielle Hindernisse
- Baugrubenstatik
- Vorgehen im Bauablauf/Etappierung

Besonders die nachbarrechtlichen Aspekte können dem Bauherrn bei unsorgfältigem Planungsvorgehen unerwartet hohe Zusatzkosten verursachen. Es sind Fälle bekannt, wo die planende Instanz diese Vorabklärung unzureichend durchführte und ein Nachbar nicht bereit war, einen Anker unter seinem Grundstück zu dulden. Ankerersatz durch eine Baugrubenspriessung mit Bauverzögerung und Mehrkosten waren die Folge.

Für die Ausschreibung von Ankerarbeiten kann das NPK Kapitel 164 D/89 "Anker" zu Hilfe genommen werden.

Als Grundlage für die Ausführung der Ankerarbeiten dient die SIA-Norm "Boden und Felsanker" (Ausgabe 1977), mit der Ankerklassifizierung nach Bild 6-55.

GEFÄHRDUNGSGRADE	TEMPORÄRE ANKER		PERMANENTE ANKER	
	ANKER - KLASSE	S	ANKER - KLASSE	S
ANKER, DEREN VERSAGEN GERINGE FOLGEN HÄTTE UND DIE ÖFFENTLICHE SICHERHEIT UND ORDNUNG NICHT STÖREN WÜRDE	1	1,3	4	1,6
ANKER, DEREN VERSAGEN BETRÄCHTLICHE FOLGEN HÄTTE, ABER DIE ÖFFENTLICHE SICHERHEIT UND ORDNUNG NICHT STÖREN WÜRDE	2	1,5	5	1,8
ANKER, BEI DEREN VERSAGEN SCHWERE FOLGEN SOWIE STÖRUNG DER ÖFFENTLICHEN SICHERHEIT UND ORDNUNG ZU ERWARTEN WÄREN	3	1,8	6	2,0

S = SICHERHEITSAKTOR

Bild 6-55: Ankerklassifizierung

Im Lastbereich bis 700 KN (70 to) werden sowohl Stab- wie auch Litzenanker verwendet, über 700 KN (70 to) Tragkraft nur noch Litzenanker.

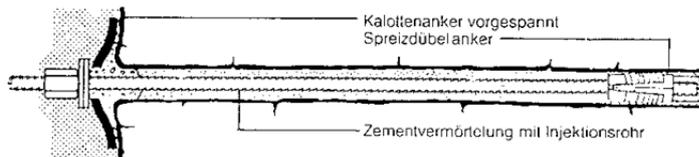
Stabanker (Bild 6-56)

- sind je nach Länge zu koppeln,
- einfach einzubauen,
- können je nach System teilweise zurück gewonnen werden.

Ankerstahl mit durchgehendem Grobgewinde		Dywidag-Gewindestahl			Swiss Gewi					Swif-Inox	
		W		W+R	16	20	25	28	32	CrNiMo (V4A) 316 N/L/TM	
Nennendurchmesser	mm	15,0	20,0	26,5	16	20	25	28	32	16	21
Stahlquerschnitt	mm ²	177	315	552	201	314	491	616	804	201	346
Stahlgewicht	kg/m	1,45	2,55	4,50	1,58	2,47	3,85	4,83	6,31	1,58	2,72
Rippendurchmesser	mm	17	23	30	18	22	29	31	36	17	23
Ankermutter	SW/H mm	30/50	41/70	46/80	30/30	32/40	41/45	46/50	50/60	30/50	41/70
Streckgrenze	R _y kN	159	283	496	100	157	246	308	402	140	240
Bruchlast	R _t kN	195	345	606	120	190	295	370	482	180	300

VERANKERUNG IM BOHRLOCH

FELS



BODEN

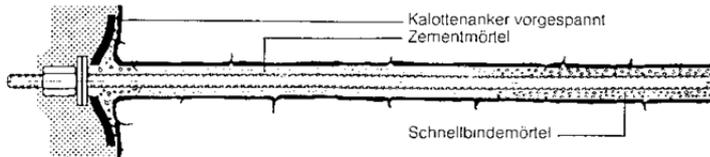


Bild 6-56: Stabanker [10]

Litzenanker (Bild 6-57)

- sind flexibler in der Handhabung,
- können nicht ausgebaut werden,
- sind in beliebigen Längen möglich.

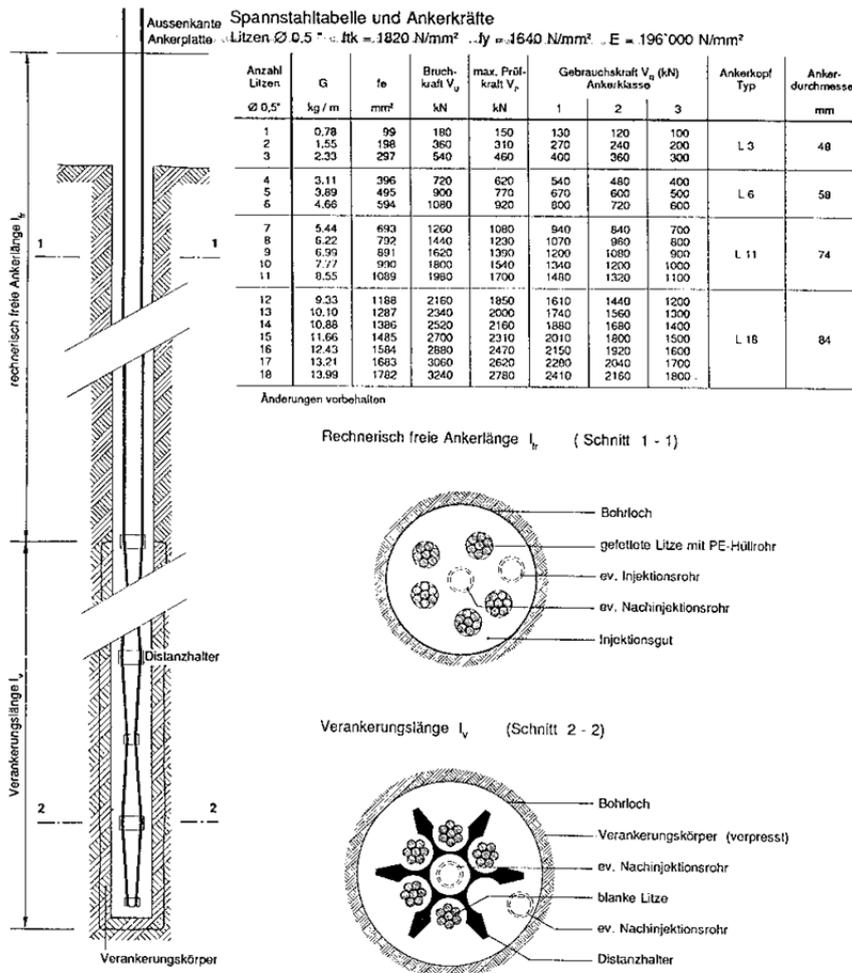


Bild 6-57: Litzenanker [9]

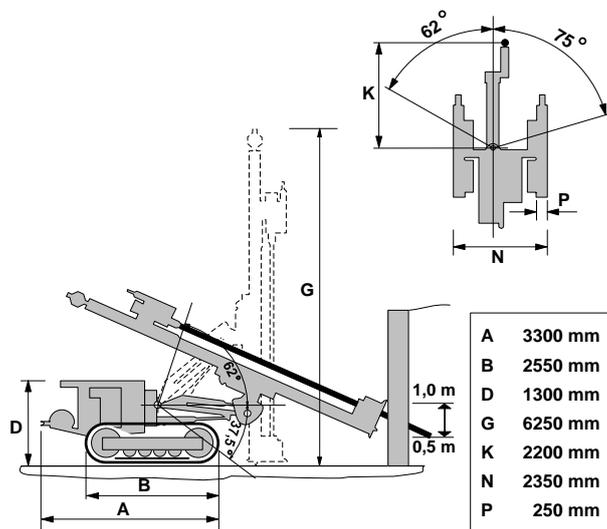


Bild 6-58: Ankerbohrgerät (Typ Tamrock)

Zum Bohren der Anker (je nach Untergrund verrohrt oder unverrohrt) werden Ankerbohrgeräte (Crawler) verwendet (Bild 6-58).

Als Bohrmaschine auf der Führungslafette verwendet man hydraulische Schlag-Dreh-Bohrmaschinen (Bild 6-59).

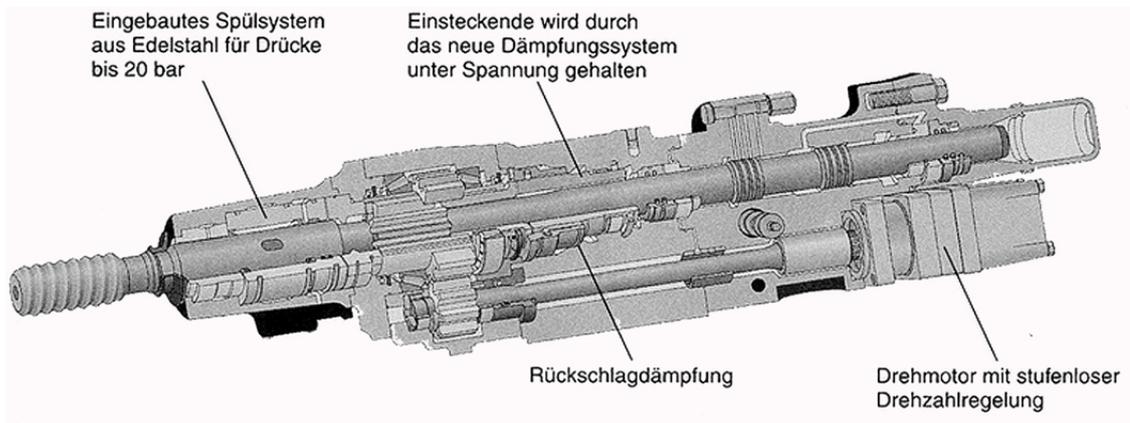


Bild 6-59: Hydraulische Schlag-Dreh-Bohrmaschine

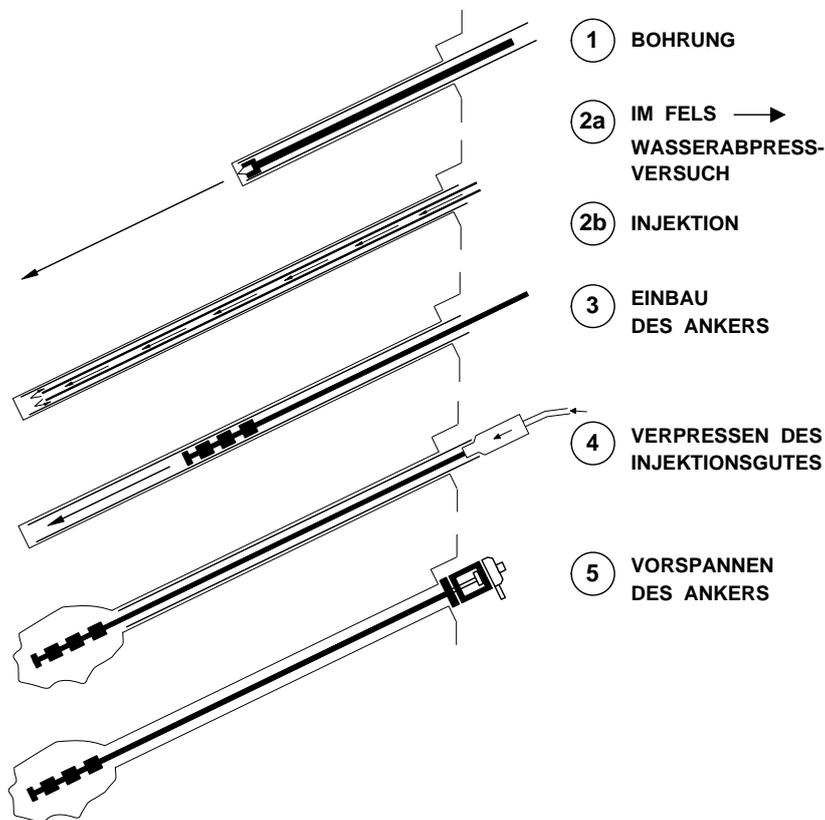


Bild 6-60: Einbauvorgang (schematisch) [12]

Die einzelnen Schritte der Ankerarbeiten sind in Bild 6-60 detailliert dargestellt.

6.8 Pfahlwände

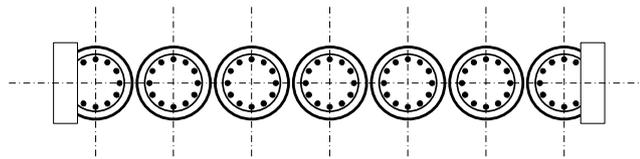
Kurzbeschreibung:

Drei verschiedene Arten von Pfahlwänden sind möglich (Bild 6-61):

- geschlossene Pfahlwände als überschnittene Wand
- geschlossene Pfahlwände als Tangentenwand
- offene Pfahlwände mit Pfahlabständen von ca. 2 - 4.5 m

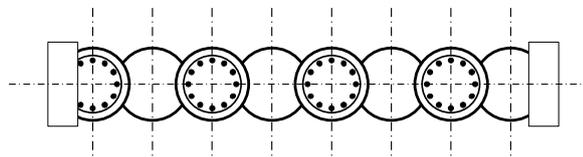
Bei den offenen und Tangentenwänden werden alle Pfähle, bei den überschnittenen Pfahlwänden jeder zweite Pfahl armiert, d.h. die Pfähle Nr. 1, 3, 5, ... sind unarmiert, die Pfähle Nr. 2, 4, 6, ... armiert.

TANGENTEN - BOHRPFAHLWAND



ÜBERSCHNITTENE BOHRPFAHLWAND

(GESCHLOSSENE
BOHRPFAHLWAND)



AUFGELÖSTE BOHRPFAHLWAND

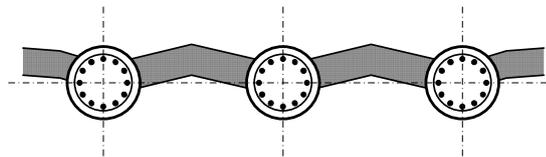


Bild 6-61: Bohrpfahlwände

Des Weiteren ist zwischen **verrohrter** und **unverrohrter Pfahlherstellung** zu unterscheiden. Die **Pfahldurchmesser** betragen bei solchen Wänden in der Regel **80-100 cm**. Der Herstellungsablauf ist in Bild 6-62 dargestellt.

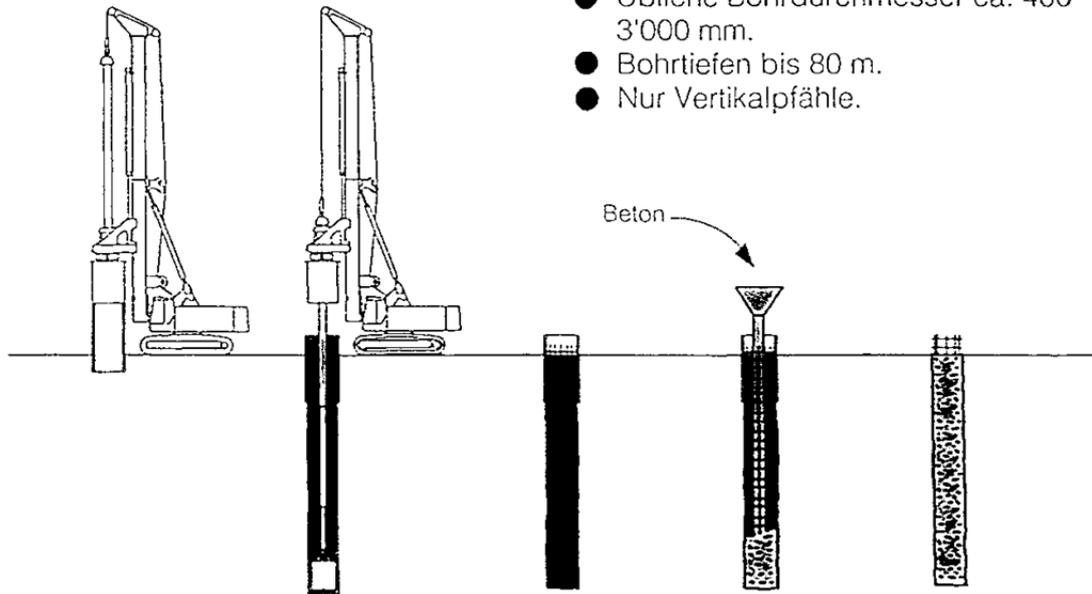
mit Kellybohrgeräten

Hauptanwendungsmerkmale:

- In allen Bodenarten, bei großen Pfahldurchmessern
- und Pfahliefen.

Besonderheiten:

- Stabilisieren der Bohrlochwände durch Stützflüssigkeiten wie Bentonit- und Polymersuspensionen.
- Übliche Bohrdurchmesser ca. 400 - 3'000 mm.
- Bohrtiefen bis 80 m.
- Nur Vertikalpfähle.



Eindreihen oder Einvibrieren des Standrohres

Aushub mit Bohrer unter dem Schutz der Stützflüssigkeit

Einbau des Bewehrungskorbes nach Reinigen der mit Boden aufgeladenen Suspension

Betonieren mit Schüttröhren bei gleichzeitigem Verdrängen der Suspension

Fertiger Pfahl

Bild 6-62: Drehbohren suspensionsgestützt [13]

Um bei Bohrpfahlwänden die obersten ca. 2 Metern der Terrainoberfläche für spätere Werkleitungen frei zu halten, werden diese obersten Teilstücke als Rühlwand mit Holzausfachung ausgeführt. Die Stahlträger werden direkt bei der Pfahlherstellung in die Pfähle eingestellt (einbetoniert).

Bohrpfahlwände sind sehr steif und können damit Setzungen in der Umgebung reduzieren. Bohrpfahlwände als Baugrubenabschluss eignen sich in sandigen und tonigen Böden. Durch die mögliche Verrohrung können auch sehr durchlässige Böden durchörtert werden. Zudem lassen sich Findlinge durch die Verrohrung kontrolliert, ohne abdriften des Bohrwerkzeugs, zerstören.

Dichtigkeit / Herstellungstoleranz überschnittener Bohrpfahlwände

Häufig kommen Bohrpfahlwände auch bei Baugruben im Grundwasser zur Anwendung. Dafür sind besondere Anforderungen an die Dichtigkeit der Bohrpfahlwand zu erfüllen. Erreicht wird diese durch einen entsprechenden Überschchnitt der einzelnen Pfähle (Bild 6-63). Das Mass des Überschchnitts ist abhängig von der Baugrubentiefe und der erreichbaren Herstellungsgenauigkeit (vertikale Bohrtoleranz). Achtung, das errechnete Mass ist mit 2 zu multiplizieren, da sich im ungünstigsten Fall zwei benachbarte Pfähle voneinander wegneigen können.

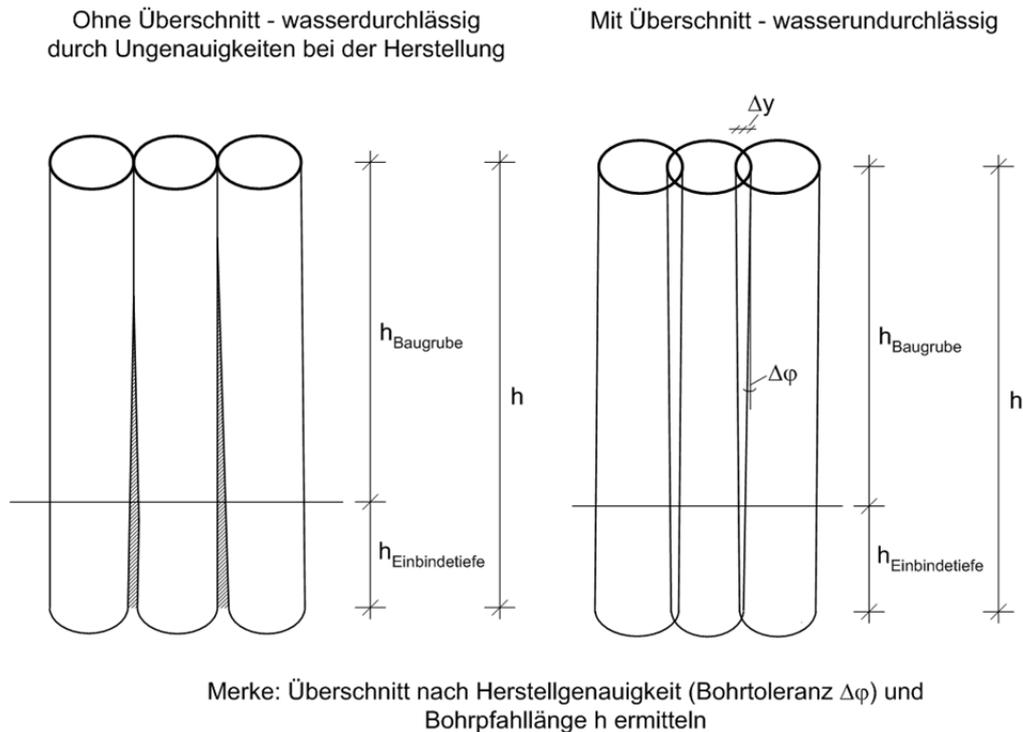


Bild 6-63: Bohrpfahlwand: Dichtigkeit / Herstelltoleranz

Ausfachung einer offenen Bohrpfahlwand

Offene Bohrpfahlwände kommen in Baugruben oberhalb des Grundwasserspiegels zur Anwendung (Bild 6-64). Nach Herstellung der Bohrpfähle wird der dazwischen liegende Bereich mit Spritzbeton gesichert. Diese Spritzbetonsicherung wird im Zuge des etappenweisen Baugrubenaushubs eingebracht. Im Grundriss gesehen werden so zwischen den Pfählen Spritzbetongewölbe mit einem geringem Stichmass hergestellt. Somit erfolgt hier die Lastabtragung über das Spritzbetongewölbe, welches bogenförmig zwischen zwei Bohrpfählen gespannt ist. Diese übernehmen die vertikale Lastabtragung und können entweder nur eingespannt, oder aber abhängig von der Baugrubentiefe ein- oder mehrfach rückverankert sein.

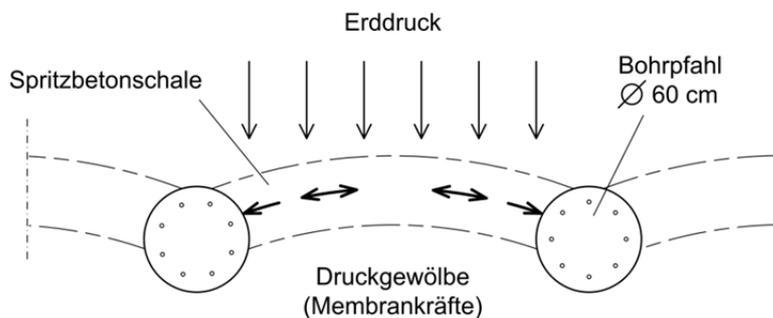


Bild 6-64: Offene Bohrpfahlwand

6.9 Schlitzwände

Kurzbeschreibung:

Für Baugruben im Grundwasser ohne Absenkmöglichkeit, sowie für Baugrubenumschliessungen mit hoher Steifigkeit zur Minimierung von Verformungen und Verhinderung von Nachbarsetzungen eignen sich besonders Schlitzwände (Bild 6-65). Ferner können sie als tragendes Element im vorgesehenen Objekt einbezogen werden.

Die Schlitzwandbaumethode erlaubt eine an bestehende Bauten angrenzende Herstellung. Es ist eine lärmarme Baumethode, die bis in Tiefen von mehreren zehn Metern ausgeführt werden kann.

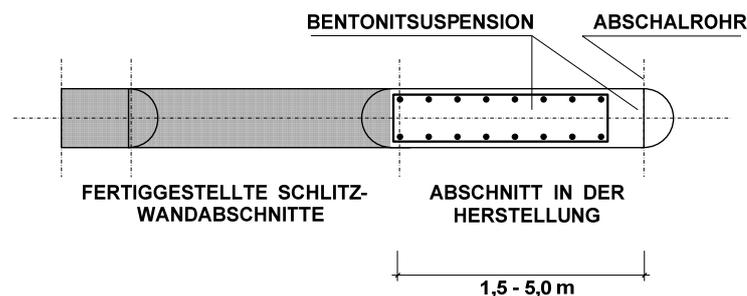
Zur Stützung des ausgehobenen Wandkörpers wird eine Bentonitsuspension als thixotrope Flüssigkeit verwendet. Die Wandstärken betragen 50-120 cm, die Schlitzwandetappen 3 - 5 m (je nach verfügbaren Geräten).

Schlitzwände können in sandigen und tonigen Böden eingesetzt werden. Schwierigkeiten ergeben sich bei Findlingen sowie bei sehr durchlässigen Böden (Suspensionsverlust). Schlitzwände haben gegenüber den Pfahlwänden den Vorteil, dass sie weniger Fugen aufweisen.

Nach dem Versetzen der Armierungskörbe wird der Beton nach dem Kontraktorprinzip eingebracht. Dabei wird das mit Beton gefüllte Schüttrohr durch die Bentonitsuspension auf UK-Schlitzwand eingeführt und die Wand hochbetoniert unter ständigem Einschütten des Betons in das Rohr und Verdrängen der Suspension nach oben. Das Schüttrohr muss während des Betoniervorgangs immer im Beton stecken, sonst sind Suspensionseinschlüsse im Schlitzwandbeton unvermeidbar (Bild 6-66).

Die Herstellung erfolgt meist im Pilgerschrittverfahren (Bild 6-67), wobei zuerst die Primärelemente hergestellt werden und nachfolgend der Lückenschluss durch die Sekundärelemente erfolgt. Vor dem Betonieren der Primärelemente werden Abschalungrohre oder Abschalungselemente in den Schlitz eingestellt, um einen wasserdichten Anschluss nach Herstellung der Sekundärelemente zu gewährleisten.

NORMALAUSFÜHRUNG



SONDERAUSFÜHRUNG (HOLZMANN - PATENT)

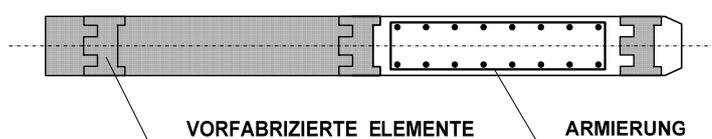


Bild 6-65: Schlitzwände

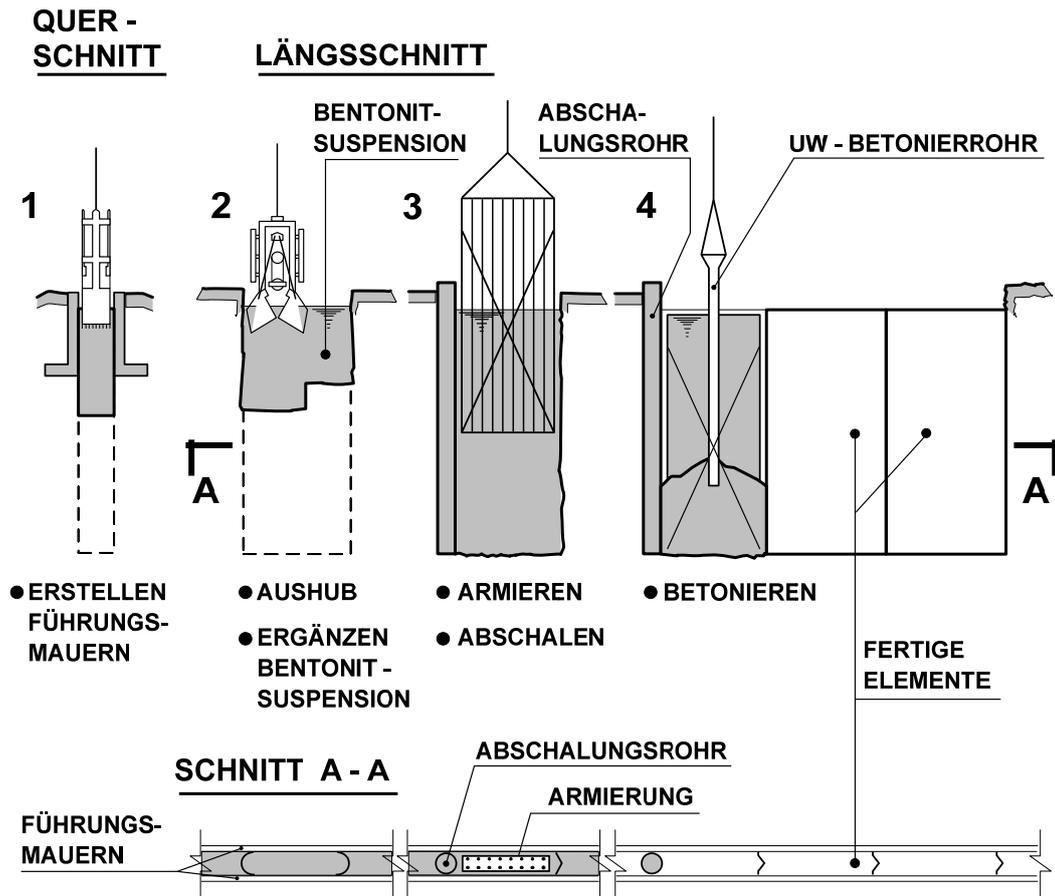
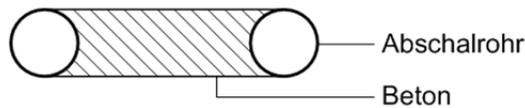


Bild 6-66: Ablauf der Schlitzwandherstellung

1. Herstellen des Primärelements



2. Herstellungsablauf

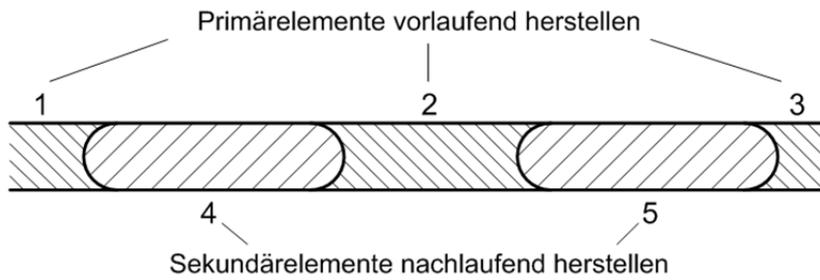


Bild 6-67: Herstellung einer Schlitzwand

Achtung: Die Pfahl- und Schlitzwände werden in der Vorlesung Spezialtiefbau behandelt.

6.10 Mixed-in-Place-Wände

Kurzbeschreibung:

Unter dem Begriff „Mixed-in-Place“ - kurz "MIP-Verfahren" - versteht man die Vermischung und Vermörtelung des anstehenden Bodens durch Nassmischung mit Bindemitteln, insbesondere mit Zement- oder Bentonit-Zementsuspensionen an Ort und Stelle. Das Verfahren hat sich als besonders wirtschaftliche Variante zur Herstellung von Baugrubenumschliessungswänden und unterirdischen Dichtungswänden in dafür geeigneten Böden erwiesen (Sand- und Kiesböden).

Hierfür wurde ein Maschinenmodul mit Dreifach-Bohrschnecken entwickelt, das an die Grossbohrgeräte angebaut wird. Durch die Wahl eines Überschneidungsmasses von >10 cm wird die Herstellung von zusammenhängenden Scheibenelementen sichergestellt. Die Firma Bauer hat das Verfahren patentrechtlich geschützt (Bild 6-68).

Anwendungsspektrum des Verfahrens:

Das MIP-Verfahren wurde für unterschiedliche Bauaufgaben erfolgreich angewendet:

- für statisch belastete Baugrubenwände, wobei Kombinationen von Bohrpfählen und Injektionsankern, eingestellten Trägern und Injektionsankern oder vernagelte MIP-Wände möglich sind
- für unterirdische Dichtungswände

Herstellungsablauf:

- Zunächst wird das Bohrgerät am Bohransatzpunkt eingerichtet.
- Die Dreifach-Schnecke wird bis auf Endteufe abgebohrt. Dabei wird durch die Seilenrohre der Schnecken kontinuierlich Zement-Suspension zugegeben.
- Beim Ziehen der Schnecken - wobei diese in einer oder beiden Richtungen gedreht werden können - erfolgt eine Homogenisierung und intensive Durchmischung des anstehenden Bodens mit dem Bindemittel.

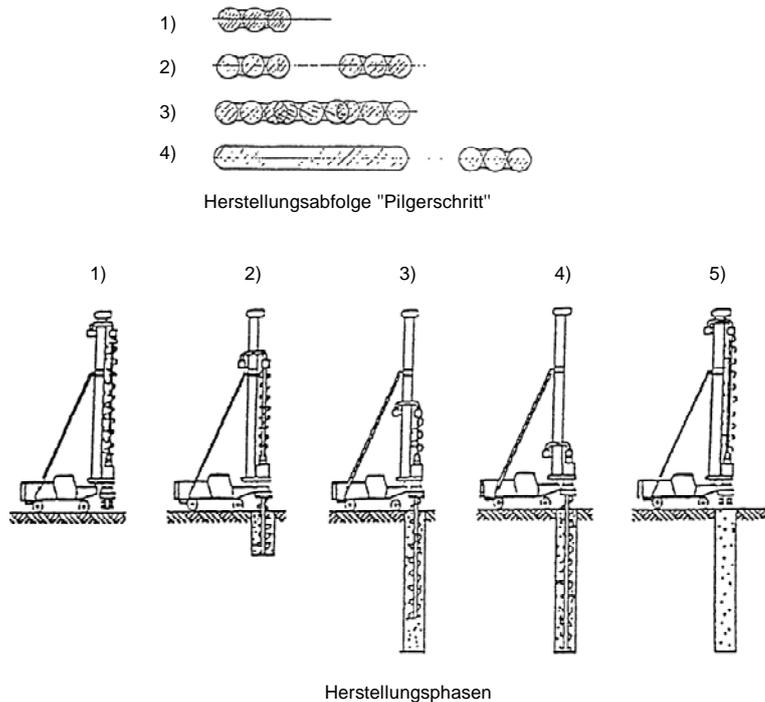


Bild 6-68: Mixed-in-Place-Pfahlwand [13]

Eignung verschiedener Bodenarten:

Gut geeignet sind Böden, die überwiegend aus Grobschluff, Sand, Kies und Steinen bis etwa Faustgröße bestehen. Ungeeignet für das MIP-Verfahren sind dagegen feinkörnige Bodenarten von Ton bis Mittelschluff und Fels.

Generell lässt sich die Eignung der verschiedenen Böden für das MIP-Verfahren mit Hilfe herkömmlicher bodenmechanischer Kennwerte nur unzureichend beschreiben. In Zweifelsfällen werden daher Mischbarkeit und Qualität der fertigen Vermörtelung anhand von Bodenproben im Labor ermittelt

Suspensionsrezepturen:

Eine wesentliche Voraussetzung für die Qualität der MIP-Wände ist die richtige Rezeptur der eingebrachten Suspension. Sie hängt von der Funktion der Wand und der Zusammensetzung des anstehenden Baugrunds ab. So wird bei einer statisch beanspruchten Baugrubenwand die Druckfestigkeit der Bodenvermörtelung massgeblich sein, für eine Dichtungswand dagegen ihre möglichst geringe Durchlässigkeit.

Ökologische Vorteile:

Beim MIP-Verfahren wird der anstehende Boden in-situ mit umweltfreundlichen Bindemitteln vermischt und als Zuschlagstoff in die Wand integriert, d.h. es wird der natürliche Baustoff Boden verwendet; dadurch werden andere Ressourcen geschont. Auch eine Umweltbelastung durch Transporte von Bodenmaterial und Zuschlagstoffen entfällt.

Technische und wirtschaftliche Vorteile:

Beim Vergleich des neuen MIP-Verfahrens mit konventionellen Methoden ergeben sich folgende Gesichtspunkte:

Als Dichtungswände

- Alternative zur Schlitzwand: wirtschaftlicher, erschütterungsärmer, kein Bohr- oder Fräsgutanfall
- Alternative zur Schmalwand: widerstandsfähiger gegen chemische Angriffe, problemloses Einbinden in stauende Horizonte, problemloses Durchteufen von bindigen Schichten und Hindernissen, erschütterungsärmer, geringere Baustelleneinrichtungskosten.

Als Baugrubenwand

- Alternative zur Bodenvernagelung: lagenweiser Erdaushub entfällt, wirtschaftlicher
- Alternative zur Spundwand: erschütterungsärmer, geringere Verformung, wirtschaftlicher, sofern die Wand im Boden verbleibt
- Alternative zur Trägerbohlwand: geringere Verformung, wirtschaftlicher als verlorener Verbau, lagenweiser Erdaushub entfällt

6.11 Gefrierwände/Injektionswände

Injektions- und Gefrierwände können in Sonderfällen als Baugrubenumschliessung eingesetzt werden. Die Gefriermethode in Form einer Gefrierwand ist in der Schweiz noch nie ausgeführt worden. Sie ist aus Kanada und Deutschland bekannt.

Die Gefriermethode kann man allenfalls als Zusatzmassnahme bei undichten Wänden anwenden. Im Tunnel- und Stollenbau kann sie, wenn Injektionen nicht zum Ziel führen, unter Umständen eine Methode zur Durchörterung schwierigster Zonen mit Wasser sein. Dieses Verfahren beschränkt sich auf Spezialfälle.

Achtung: MIP-Verfahren, Injektions- und Gefrierverfahren werden vertieft im Spezialtiefbau behandelt.

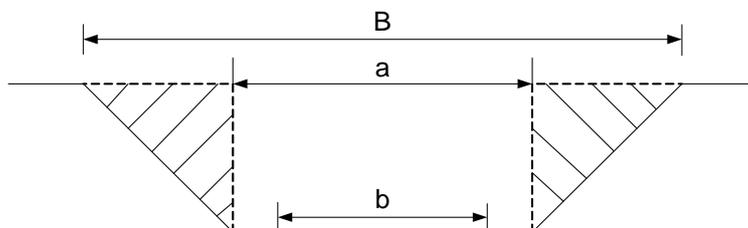
6.12 Auswahlkriterien für Baugrubenumschliessungen

In den vorigen Kapiteln wurden die technischen Möglichkeiten, Baugrubenumschliessungen herzustellen, erläutert. Die Wahl des „richtigen“ Verfahrens wird jedoch von folgenden Faktoren beeinflusst:

- umwelttechnische Faktoren aufgrund der hydrologischen und geologischen Voraussetzungen
- umweltkonforme Faktoren aufgrund der Anforderungen der Nachbarn bzw. Nachbarbebauungen, wie z.B. Lärmbegrenzung, vorhandene künstliche Hindernisse, Setzungsbegrenzungen, rechtliche Anforderungen
- maschinentechnische Faktoren aufgrund von Platzbedarf, Tragfähigkeit des Untergrunds und der Zufahrten für Produktionsgeräte
- erstellungstechnische Faktoren aufgrund von Platzbedarf für die Materialaufbereitung, An- und Abtransport von Materialien, Hilfsbetrieben, Lagerplätzen und Hilfseinrichtungen

Ferner weisen die verschiedenen Verfahren unterschiedliche Technisierungsgrade auf und stellen damit unterschiedliche bauverfahrenstechnische Ansprüche an das ausführende Unternehmen. Daher sollen nachfolgend die verschiedenen Arten der Baugrubenumschliessung bezüglich ihrer Vor- und Nachteile zusammenfassend qualitativ beurteilt werden. Aufgrund dieser vergleichenden qualitativen Kriterien kann mittels projektspezifischen quantitativen Grössen die optimale technische, umweltgerechte und wirtschaftliche Lösung entwickelt werden.

Geböschte Baugruben:



- B - Baugrubenbreite
- a - Baugrubenlichtraummass
- b - Bauwerksbreite

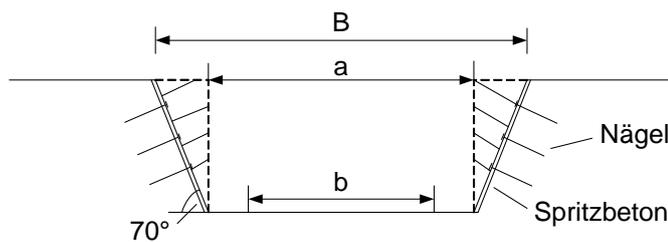
Bild 6-69: Geböschte Baugruben

Vorteile:

Das seitliche Abböschen ist die bauverfahrenstechnisch einfachste Lösung, eine Baugrubenumschliessung herzustellen. Zur Herstellung sind im Regelfall nur standardisierte Baugeräte wie Bagger, Radlader und LKWs erforderlich. Eine Baugrube mit einem geböschten Baugrubenabschluss kann somit von jedem nicht spezialisierten Bauunternehmen ausgeführt werden.

Nachteile:

Der Platzbedarf einer Baugrube mit geböschtem Abschluss ist gross ($B > a$). Aufgrund des geböschten Abschlusses muss erheblich mehr Material ausgehoben und anschliessend wieder verfüllt werden. Das bedeutet, dass neben dem erhöhten Platzbedarf für die Baugrube selbst zusätzlicher Platzbedarf für die Zwischenlagerung des rückzufüllenden Materials für den Bereich der Böschungskeile anfällt und/oder es entstehen zusätzliche Transportkosten für eine externe Zwischenlagerung des Rückfüllmaterials. Ferner entstehen durch die Veränderung des Geländes der Baugrube Setzungen, die parabelförmig von der Baugrube ausgehen, möglicherweise bis zur Nachbarbebauung, da kein aktiver Verbau der Baugrube vorhanden ist. Falls Grundwasser vorhanden ist, muss eine Wasserabsenkung bis etwa 50 cm unterhalb der Aushubsohle durchgeführt werden.

Vernagelte Böschung:

- B - Baugrubenbreite
- a - Baugrubenlichtraummasse
- b - Bauwerksbreite

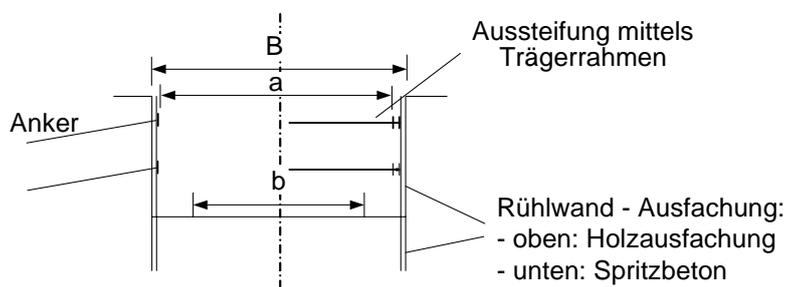
Bild 6-70: Vernagelte Böschung

Vorteile:

Vernagelte Böschungen lassen sich mit relativ einfachen baubetrieblichen Mitteln herstellen. Neben den standardisierten Aushub- und Transportgeräten (Bagger, Radlader, LKW) sind jedoch zur Vernagelung der seitlichen Böschungswände zusätzlich Bohrergeräte und zur Versiegelung mittels Spritzbeton eine Spritzbetonmaschine erforderlich. Der Vorteil gegenüber dem geböschten Baugrubenabschluss besteht darin, dass die Böschung aufgrund der Vernagelung sehr steil ausgeführt werden kann, so dass nur geringe zusätzliche Aushub- und Verfüllmassen anfallen, die nachträglich im Bereich der Böschungskeile wieder verfüllt werden müssen. Diese Art der Böschungssicherung mit sehr steilen Böschungswänden ist sehr wirtschaftlich, da auf weitere technische Verbaumassnahmen mittels Spund-, Rühl-, Schlitz- und Bohrpfehlwänden meist verzichtet werden kann. Die Vernagelung erfolgt meist mittels Stabankern ohne besonderen Korrosionsschutz, da die Stabanker nur für temporäre Zwecke genutzt werden.

Nachteile:

Die Vernagelung der Böschung bewirkt, dass eine permanente Bewehrung im Untergrund verbleibt. Die Böschungsnägel bzw. -anker bedeuten für zukünftige Bauarbeiten möglicherweise zusätzliche Behinderungen und Risiken; bei ihrer Verwendung muss daher sorgfältig vorab geklärt werden, ob sie nicht in den Bereich zukünftiger Bau-massnahmen zu liegen kommen. Solche Hindernisse können bei der Herstellung von unterirdischen Rohrleitungsvortrieben zu erheblichen Problemen beitragen, ja sogar zum Scheitern führen. Auch muss beim Setzen der Anker darauf geachtet werden, dass sie nicht in Nachbargrundstücke hereinragen, andernfalls muss eine entsprechende Genehmigung eingeholt werden. Wenn Grundwasser vorhanden ist, muss auch hier eine Grundwasserabsenkung bis etwa 50 cm unter Aushubsohle über die gesamte Bauzeit der geöffneten Baugrube erfolgen.

Rühlwand:

- B - Baugrubenbreite
- a - Baugrubenlichtraummass
- b - Bauwerksbreite

Bild 6-71: Rühlwand

Zur Herstellung der Baugrube sind ausreichend leistungsfähige Rammgeräte zum Rammen der Rühlwandträger erforderlich. Bei Auftreten von Findlingen oder bei verhärteten Bodenschichten ist eine Vorbohrung notwendig, damit die Träger auf die erforderliche Einbindetiefe gerammt werden können. Der Herstellablauf nach Rammen der Rühlwandträger ist sequentiell in die folgenden Schritte gegliedert:

- Aushub ca. 2 m
- Ausfachen der Zwischenräume zwischen den jeweiligen Rühlwandträgern mittels Holzplanken oder Spritzbeton

Zur Aussteifung des Baugrubenabschlusses ist eine seitliche Verankerung notwendig oder es müssen Aussteifungsrahmen eingebaut werden. Die Aussteifungsrahmen bedeuten im Regelfall eine Behinderung des Bauablaufs. Die Verankerung dagegen ermöglicht einen uneingeschränkten Bauablauf bei der Herstellung des Bauwerks innerhalb der Baugrube.

Vorteile:

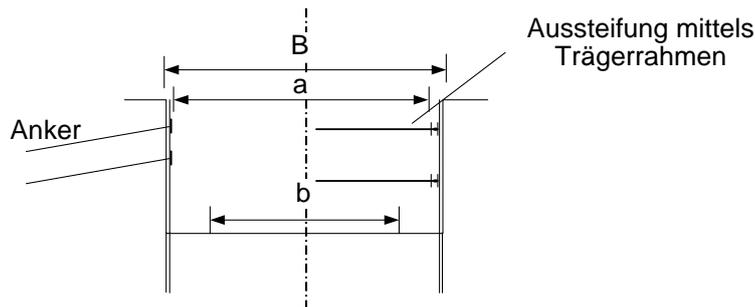
Durch die senkrechte Bauweise der Baugrubenumschliessung wird der notwendige **Aushub** von Baugrund stark **reduziert** ($B \approx a$).

Nachteile:

Voraussetzung für dieses Verfahren ist, dass der Baugrund **frei von Grundwasser** ist; andernfalls muss eine Grundwasserabsenkung bis ca. 50 cm unter der Aushubsohle er-

folgen. Die Aussteifung der Baugrube mittels Trägerrahmen führt oft zu Behinderungen der Bauabläufe innerhalb der Baugrube, einerseits beim Aushub und andererseits bei der Herstellung der Stahlbetonkonstruktion. Die Behinderungen bei der Herstellung der Stahlbetonkonstruktion beziehen sich auf das Umsetzen der Schalung bzw. die Begrenzung möglicher Betonierabschnitte. Ferner müssen die Trägerrahmen während des Bauprozesses umgesetzt werden, damit ein möglichst effizienter Ablauf bei der Schalungsstellung und beim Betonieren erreicht werden kann. Bei der Aussteifung der Baugrube mittels Anker, die entweder zwischen zwei U-Träger eines Rammträgers gesetzt oder an einer zusätzlichen, in Längsrichtung der Baugrube geführten Longarine bzw. einem Aussteifungsträger befestigt werden, gilt es, die Beeinträchtigung möglicher Nachbarbebauungen sowie unterirdischer Infrastrukturen zu beachten. Die Setzungen im Umkreis der Baugrube können hier aktiv durch die Verankerung bzw. Aussteifung der Baugrube gesteuert werden. Aufgrund des sequentiellen Herstellablaufs, der dazu führt, dass zuerst über ca. 2 m die Baugrube ausgehoben werden muss und dann erst die entsprechende Sicherung zwischen den Rühlwandträgern eingebaut werden kann, sind gewisse Setzungen jedoch unvermeidlich. Durch das Rammen der Rühlwände im Abstand von ca. 2 bis 2.5 m sind Erschütterungen unvermeidbar. Besonders in der Nähe von sehr sensiblen Einrichtungen wie z.B. Krankenhäusern oder Druckereien ist das Verfahren möglicherweise nicht anwendbar.

Spundwand:



- B - Baugrubenbreite
- a - Baugrubenlichtraummasse
- b - Bauwerksbreite

Bild 6-72: Spundwand

Zur Herstellung der Spundwand sind spezielle Träger und Rammwerkzeuge sowie spezifisches Know-how zur möglichst gleichmässigen Führung und Rammung der Spundwände erforderlich. Sind Findlinge oder Zwischenschichten von sehr hartem Bodenmaterial zu erwarten, ist oft ein Vorbohren im Bereich des Rammschlitzes erforderlich. Der Bauablauf nach Rammen der Spundwand erfolgt sequentiell bzw. der Aushub kann kontinuierlich erfolgen, während in den entsprechenden Höhen die erforderlichen Aussteifungen gesetzt werden. Als Aussteifungen kommen entweder Trägerrahmen oder Anker zur Ausführung. Hier sind die gleichen Hinweise zu beachten wie bei der Rühlwand.

Vorteile:

Spundwände sind aufgrund ihrer "Schlossverbindungen" seitlich gegen anstehendes Grundwasser dicht. Damit können Spundwände zur Herstellung von dichten Baugruben verwendet werden, besonders dann, wenn der Spundwandfuss in eine wasserun-

durchlässige Schicht eingebunden werden kann, damit keine Umläufigkeit entsteht bzw. von unten kein Wasser in die Baugrube eindringen kann.

Die Setzungen bei der Verwendung von Spundwänden sind sehr gering; da die Wand geschlossen ist, kann der umliegende Boden während des Aushubs nicht nachsacken.

Nachteile:

Das Rammen der Spundbohlen ist mit starkem **Lärm** und **Erschütterungen** verbunden. Die Nachteile bezüglich der Aussteifungsvarianten Anker und Trägerrahmen sind analog wie bei der Rühlwand beschrieben. Setzungen können nur infolge von Durchbiegungen durch die relativ weiche Spundbohlenwand erfolgen sowie durch Verformungsausgleich der nicht präzise geschlagenen Spundbohlen bis zur Kraftschlüssigkeit an den Ankern bzw. an den Längsaussteifungsträgern.

Schlitzwände / Bohrfähle:

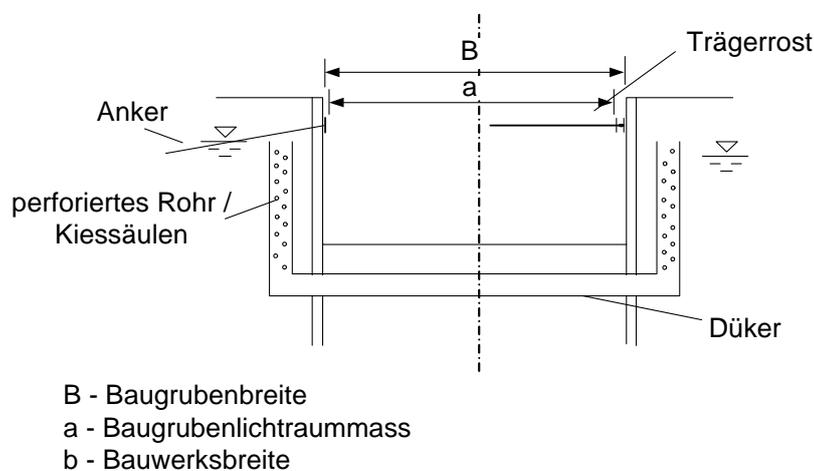


Bild 6-73: Schlitzwand / Bohrfahlwand mit Düker

Vorteile:

Schlitz- und Bohrfahlwände kennzeichnen sich durch ihre hohe Biegesteifigkeit. Bei ausreichender Aussteifung werden Setzungen, z.B. an Nachbargebäuden, minimiert, so dass man die Baugruben sogar direkt an einem bestehenden Gebäude erstellen kann. Zudem sind beide Baugrubenabschlüsse wasserundurchlässig und können daher auch im Grundwasser ohne Grundwasserabsenkung eingesetzt werden, falls die Schlitz- bzw. Bohrfahlwände in einen entsprechenden, undurchlässigen Untergrund eingebunden werden können. Diese Baugrubenumschliessungen können **permanent** als Wand oder Fundament in das Bauwerk **integriert** werden; falls die funktionalen und qualitativen Anforderungen des Bauherrn bzw. der späteren Nutzer dies zulassen, kann das Bauwerk sehr kostengünstig erstellt werden. Die an und für sich sehr teure Baugrubenumschliessung mit Schlitz- und Bohrfahlwänden kann so optimal ökonomisch genutzt werden. Bei der Erstellung der Schlitz- bzw. Bohrfahlwand ist nur mit **minimalen Erschütterungen** zu rechnen. Die Aussteifung durch Trägerrahmen oder Anker kann aufgrund der hohen Steifigkeit der Wände in grösseren Abständen erfolgen als bei Rühl- und Spundwänden. Bohrfahlwände eignen sich besonders in Baugruben mit Potential an Findlingen und "zementierten" Sandschichten, da diese dann mit den entsprechenden Werkzeugen zertrümmert und durchörtet werden können. Der Vorteil der Schlitzwände gegenüber den Bohrfahlwänden besteht darin, dass sie nur eine geringe Anzahl vertikaler Fugen aufweisen.

Nachteile:

Wird die Baugrubenumschliessung nicht in das Bauwerk integriert, so ist diese Variante die teuerste. Die erstellten Wände stellen ein permanentes Hindernis im Baugrund dar (Grundwassersperre). Im Tunnelbau in offener Bauweise und in Grundwasserhorizonten mit entsprechenden Fliessvorgängen müssen in die permanente Grundwassersperre Düker eingebaut werden, um ein Kommunizieren der Grundwasserhorizonte zwischen der Grundwassersperre durch die permanenten Schlitzwände sicherzustellen. Schlitzwände sollten nicht bei Baugruben eingesetzt werden, bei denen Findlinge zu erwarten sind, da diese mit den Schlitzwandgeräten (Greifer bzw. Fallmeissel) nur sehr schwer zertrümmert werden können. "Zementierte" Sandschichten lassen sich mit entsprechenden Meisseln durchhörern, allerdings kann auch hier die Gefahr eines Abdriftens des Schlitzwandgreifers in solchen Schichten mit entsprechend grossen Toleranzen bezüglich der Vertikalität der Lamellen entstehen. Da die Schlitzwände mit Bentonitsuspension gestützt werden, kann es bezüglich der Schlitzwandstabilität bei lokaler extremer Durchlässigkeit der Bodenschichten zu lokalen Einbrüchen kommen, die möglicherweise auch zum Verschütten des Greifers führen. In solchen Fällen bestehen bei der Schlitzwandherstellung nur geringe Dispositionsmöglichkeiten, u.a. kann durch vorgängiges Injizieren dieser Schichten von oben ihre Durchlässigkeit reduziert und dadurch das Abfliessen der Stützsuspension verhindert werden. Bei Bohrpfehlwänden kann diesem Problem durch entsprechende Verrohrung oder durch seitliche Injektionen begegnet werden. Der Nachteil der Bohrpfehlwände gegenüber den Schlitzwänden ist, dass sie eine Vielzahl von Fugen aufweisen. Durch das Überschneiden in die beiden Nachbarpfähle (überschnittene Bohrpfehlwand) wird die Dichtigkeit im Grundwasser sichergestellt. Jedoch besteht bei tieferen Bohrpfehlwänden die Gefahr, dass sich die überschrittenen Fugen, die an und für sich sehr dicht sind, durch Abdriften der benachbarten Bohrungen aufweiten und es zu Wassereinbrüchen kommen kann. Dies kann jedoch durch entsprechende Wahl von Bohrgestänge und Kellysystem und durch entsprechende Ausrichtung und Vertikalitätskontrolle des Mäklers weitgehend vermieden werden.

MIP – Mixed in Place Wall:**Vorteile:**

Bei MIP-Wänden (mixed in place walls) wird das vorhandene Bodenmaterial (Sand etc.) mit Zementsuspension durchgemischt; dadurch fällt bei diesem Baugrubenabschluss kein Abtransport von Bodenmaterial bei der Herstellung an. Die an und für sich unbewehrte Wand kann durch entsprechende, eingestellte Träger verstärkt werden.

Nachteile:

Das MIP-Verfahren kann nur in sandigen und kiesigen Böden angewendet werden. Die Lastaufnahmefähigkeit dieser Wände ist relativ gering, kann jedoch, wie schon erwähnt, durch Einstellen von Trägern erhöht werden. Die Aussteifung der MIP-Wände kann einerseits durch Anker oder andererseits durch entsprechende Trägerrahmen erfolgen.

HDI-/Gefrierwände:

Die Vor- und Nachteile dieser speziellen Ausführungsart von Baugrubenumschliessungen werden in der Vorlesung Spezialtiefbau behandelt.

6.13 Ausführungsbeispiele

6.13.1 Querung einer bestehenden Rohrleitung durch eine Rühlwand

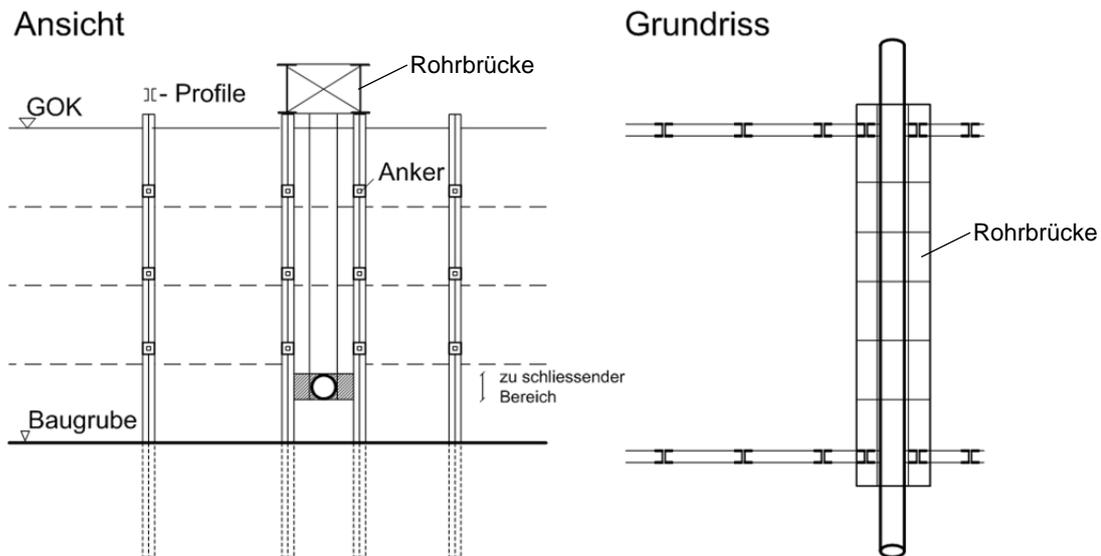


Bild 6-74: Querung einer bestehenden Rohrleitung durch eine Rühlwand

Können Rohrleitungen, welche die Baugrube queren, für die Dauer der Baumassnahme nicht stillgelegt werden, so sind entsprechende technische Lösungen zu finden, wie diese unbeschadet weiter betrieben werden können. Da diese Rohrleitungen meist in einer gewissen Höhe über der Baugrubensohle verlaufen, bietet es sich an, im Querschnittsbereich eine Rohrbrücke zu errichten. Diese kann aus Stahlprofilen, oder bei grösseren Spannweiten aus Stahlfachwerken bestehen, an denen die Rohrleitung mittels Abhängungen befestigt ist (Bild 6-74). Besteht der Baugrubenverbau aus einer Rühlwand, so ist es sinnvoll die Rühlwandträger so anzuordnen, dass diese gleichzeitig auch als Auflager für die Rohrbrücke dienen können. Da die Ausfachung der Rühlwand horizontal gespannt ist, kann diese zwar über und unter der Rohrleitung an diese herangeführt werden, jedoch sind für die Sicherung der Bereiche seitlich der Rohrleitung zusätzliche Massnahmen, wie z. B. Injektionen erforderlich.

6.13.2 Querung einer bestehenden Rohrleitung durch eine Spundwand

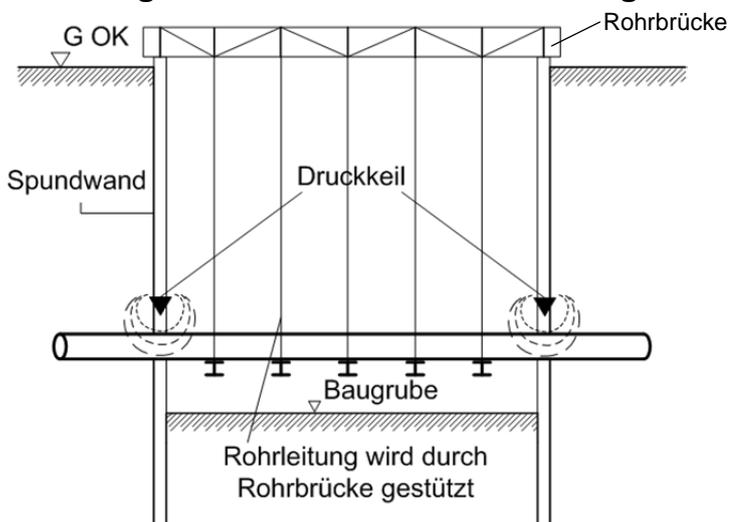
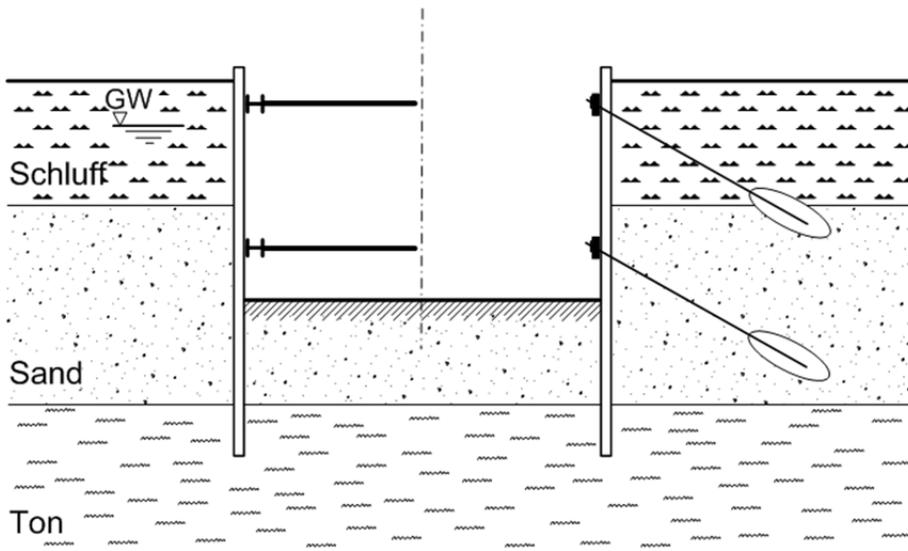


Bild 6-75: Querung bestehender Rohrleitungen durch eine Spundwand

Die Ausgangslage ist hier ähnlich wie unter 6.13.1, jedoch ist hier als Baugrubenverbau eine Spundwand vorgesehen (Bild 6-75). Zu beachten ist hierbei, dass die Spundwandbohlen im Durchführungsbereich über dem Rohr nur bis zu einem gewissen Sicherheitsabstand zum Rohr gerammt werden dürfen. Grund hierfür ist, dass beim Rammen oder Einpressen der Spundwandbohlen sich in der Umgebung der Schneide der Bohle zusätzlicher Druck aufbaut, der bei ungenügendem Sicherheitsabstand zur Rohrleitung zu Schäden an dieser führen kann.

6.13.3 Baugrube im Grundwasser – Einbindung der Baugrubenumschliessung

Fall 1



Fall 2

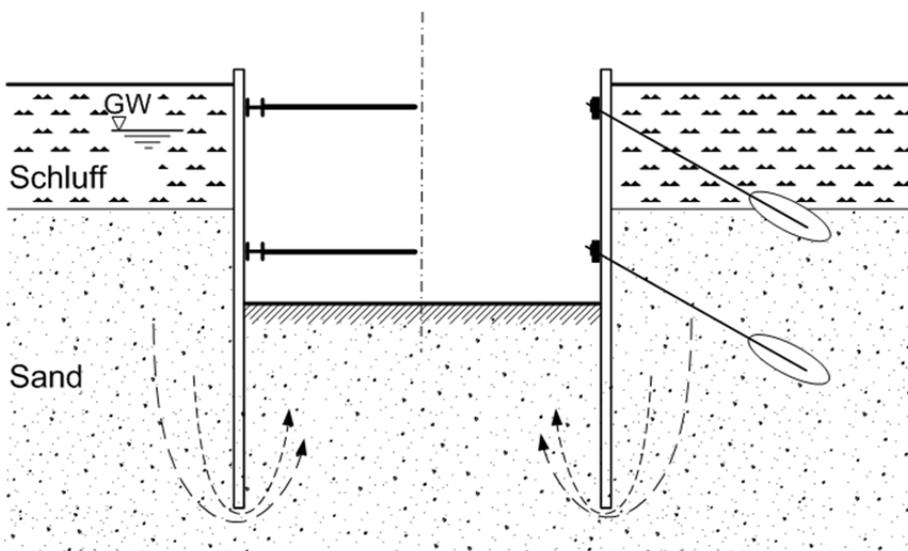


Bild 6-76 Baugrube im Grundwasser - Einbindung der Baugrubenumschließung

Bei Baugruben im Grundwasser ist neben dem Standsicherheitsnachweis für den Baugrubenverbau weiters der Nachweis für die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch zu führen. Hydraulischer Grundbruch entsteht durch den Strömungsdruck, wel-

cher sich im Bereich unterhalb der Baugrubensohle, durch von unten nach oben gerichtete Stromlinien aufbaut. Auslösend für dieses Phänomen ist der Potentialunterschied zwischen dem Grundwasserspiegel ausserhalb der Baugrube und der Baugrubensohle. Abhängig vom geologischen Aufbau des Untergrundes bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten an, konstruktiv die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch sicherzustellen.

1. Fall:

Steht in erreichbarer Tiefe eine dichte Schicht (Schluff oder Ton) an, so bietet sich an, den Baugrubenverbau in diese einzubinden. Hierbei erfolgt der Potentialabbau weitestgehend im Einbindebereich in diese dichte Schicht.

2. Fall:

Besteht keine Möglichkeit der Einbindung des Baugrubenverbaus in eine dichte Schicht, so ist dieser entsprechend tief auszuführen, so dass der Potentialabbau hier über einen entsprechend längeren Strömungsweg erfolgen kann.

Literaturverzeichnis

- [1] Kühn G.: Der maschinelle Tiefbau, Teubner, Stuttgart, 1992.
- [2] Delmag GmbH & Co. KG, Esslingen, Produktinformation.
- [3] Kümmel, F.: DELMAG Handbuch. Delmag GmbH & Co. KG, Esslingen.
- [4] N.N.: ARBED – Spundwandprogramm, Krupp Hoesch International GmbH, Frankfurt.
- [5] Mahling, S.: Lärminderung an Rammen. bd Baumaschinenendienst, Heft 11, November 1981.
- [6] Heuer H., Gubany J., Hinrichsen G.: Baumaschinentaschenbuch – Ratgeber für die Baupraxis. Bauverlag, 1994, Verweis auf Liebherr.
- [7] Liebherr-Hydraulikbagger GmbH Kirchdorf/Iller, Produktinformation.
- [8] Robishaw Engineering, Inc., Produktinformation Flexifloat.
- [9] Stahlton AG Zürich, Produktinformation.
- [10] Spannstahl AG Hinwil, Produktinformation.
- [11] SIA 191: Vorgespannte Boden- und Felsanker, Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1995.
- [12] Stump Bohr AG Zürich, Produktinformation.
- [13] BAUER Spezialtiefbau GmbH, Schrobenuhausen, Produktinformation.
- [14] N.N.: BGL Baugeräteliste 2001: Technisch-wirtschaftliche Baumaschinendaten. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, Bauverlag Wiesbaden, 2001.
- [15] Giken Seisakusho Co., Produktinformation
http://www.giken.com/int/dl/press_in_method.pdf, 09.03.2006

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 7: Bauverfahren des Tiefbaus - Erdbau und Aushub

Inhaltsverzeichnis

7	Bauverfahren des Tiefbaus – Erdbau und Aushub	397
7.1	Bodenuntersuchungen.....	399
7.1.1	Eigenschaften des Bodens.....	399
7.1.2	Abbaubarkeit des Bodens	399
7.1.3	Hydrologie	401
7.1.4	Standfestigkeit und Gebrauchstauglichkeit.....	401
7.2	Maschinenarten und Maschineneinsatz	402
7.2.1	Geräteeinsätze bei engen und steilen Verhältnissen.....	403
7.2.2	Geräteeinsatz in offeneren Verhältnissen.....	404
7.3	Gerätewahl.....	425
7.4	Erstellen des Planums	425
7.5	Schütten und Verdichten	425
7.5.1	Verdichtungsgeräte	429
7.5.2	Statisch wirkende Verdichtungsgeräte	431
7.5.3	Vibrierende Geräte	432
7.5.4	Stampfende Vibrations-Geräte	435
7.5.5	Geräteanwendungsbereich	435
7.5.6	Organisation der Verdichtungsarbeiten	437
7.5.7	Ausführung von Schütt- und Dammbauarbeiten.....	437
7.5.8	Bodenverbesserungs-Massnahmen	438
7.6	Arbeiten mit Kulturerde	440
7.7	Aushub von Gräben	442
7.7.1	Allgemeines	442
7.7.2	Verbaumethoden	442
7.7.3	Herstellungsprozess.....	444
7.8	Aushub von Baugruben	446
7.8.1	Allgemeines	446
7.8.2	Baugrubenerstellung und Ankersetzen.....	447
7.8.3	Herstellungsprozess mit Einfahrtsrampe	448
7.8.4	Herstellungsprozess mit mehrstufigem Baggerbetrieb	450
	Literaturverzeichnis	452

7 Bauverfahren des Tiefbaus – Erdbau und Aushub

Als **Erdbau** wird der Herstellungsprozess des Unterbaus für Strassen, Eisenbahntrassen, Dämmen und Flughafenpisten bezeichnet. Dies ist einer der Modulprozesse (Tragwerk Strasse, E+M-Einrichtungen, etc.) der Bauproduktion dieser Bauwerke und wird untergliedert in die Elementarprozesse Bodenabtrag, Transport, Einbau und Verdichtung.

Als **Aushub** bezeichnet man die Herstellung von Baugruben für Rohrleitungsgräben, Baugruben und Schächte. Der Aushub ist ein Modulprozess des Hauptprozesses Baugrubenherstellung. Der Modulprozess Aushub besteht aus den Elementarprozessen Aushub, Transport und Deponieren/Recyceln.

Bei der Durchführung von Erdarbeiten (Aushub/Abtrag/Transport/Schütten) sind die in Bild 7-1 dargestellten Teilprozesse durchzuführen.

Die Art des Bodenmaterials und die lokalen Verhältnisse (offene oder eingeeengte Situationen, Gebirgszonen oder Flachland etc.) determinieren den Gerätetyp und die Gerätegrösse für den Einsatz. Daher sind bei Erdarbeiten zuerst Bodenuntersuchungen durchzuführen um folgende Determinanten zu ermitteln:

- Art und Charakteristiken des Bodens
- Lage des Grundwasserhorizontes
- Wassergehalt des Bodens
- Vorkommen und Ausmass von Findlingen
- Abbaufähigkeit des Bodens

Modulprozess	Elementarprozess	Bedingungsgrößen	Geräteinsatz	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Erdbauprozess</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Aushubprozess</div> </div>	Lösen	<ul style="list-style-type: none"> • lose gelagertes Material • leicht bindiges Material 	Bagger, Radlader, Laderaube, Scraper	
		<ul style="list-style-type: none"> • stark bindiges und verkittetes Material 	Hydr. Bagger, Laderaube	
		<ul style="list-style-type: none"> • leichter Fels • mittlerer Fels • fester Fels 	Hydr. Bagger, Hydraulik Hammer, Sprengen	
	Laden	<ul style="list-style-type: none"> • lose gelagertes Material • leicht bindiges Material 	<ul style="list-style-type: none"> • stark bindiges und verkittetes Material 	Geräteinsatz wie unter Lösen! Lösen und Laden in einem Arbeitsgang
		<ul style="list-style-type: none"> • leichter Fels • mittlerer Fels • fester Fels			• Hydraulik-Hochlöffel oder mit Klappschaufel • oder Rad- oder Laderaube
		<ul style="list-style-type: none"> • offene grosse Baugrube 	<ul style="list-style-type: none"> • LKW und Rampe 	
		<ul style="list-style-type: none"> • enge Baugrube 	<ul style="list-style-type: none"> • mit Seilbagger • Hydraulikbagger im getrepten Stufeneinsatz und LKW 	
		<ul style="list-style-type: none"> • lange Tunnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydraulik-Hochlöffel, Laderaube und Radlader 	
		Transport	<ul style="list-style-type: none"> • auf Erdbaustellen grosse mengen innerhalb der Baustelle 	<ul style="list-style-type: none"> • LKW, Dumper, Scraper
	<ul style="list-style-type: none"> • auf Lager und Deponien ausserhalb der Baustelle 		<ul style="list-style-type: none"> • LKW • Gleis- und Schiffs-transport 	
	<ul style="list-style-type: none"> • aus Tunneln auf Deponien und Wiederaufbereitungsanlagen 		<ul style="list-style-type: none"> • LKW • Gleistransport • Förderband 	
	Abladen	<ul style="list-style-type: none"> • auf Deponie 	<ul style="list-style-type: none"> • lagenweise • Wagenschüttungen 	
		<ul style="list-style-type: none"> • Wiederverwendung als Baumaterial 	<ul style="list-style-type: none"> • Dammschüttung lagenweise • Wiederaufbereitung in Boxen und Silos 	
	Wieder-einbau	<ul style="list-style-type: none"> • lagenweise und verteilen • verdichten 	<ul style="list-style-type: none"> • mit LKW schütten (lagenweise) • verteilen mit Planier-raube und/oder Grater • statische und dynamische Walzen 	

Bild 7-1: Aushub- und Erdbauprozesse sowie Bedingungsgrößen für den Geräteinsatz

7.1 Bodenuntersuchungen

7.1.1 Eigenschaften des Bodens

Damit die Prozesse und der Geräteeinsatz für den Erdbau und Aushub richtig geplant werden können, sind Bodenuntersuchungen notwendig. Diese sollen Aufschluss geben über die Eigenschaften des Bodens hinsichtlich:

- Abbaufähigkeit
- Tragfähigkeit
- Gleichmässigkeit
- Frostgefährdung
- Verdichtbarkeit
- Setzungsempfindlichkeit

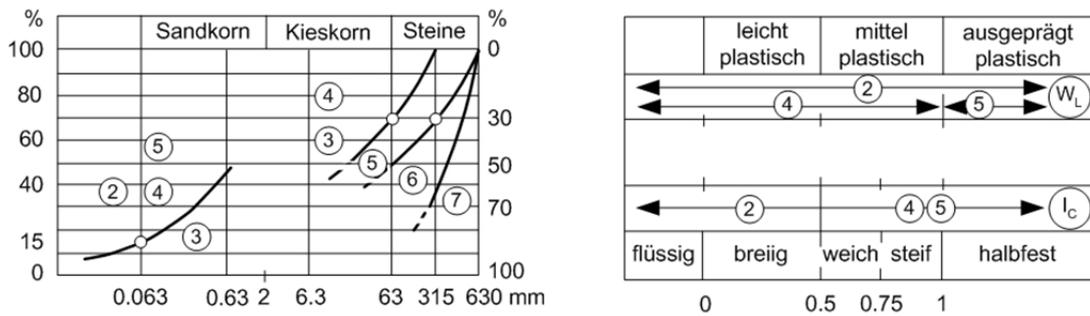
Es geht dabei um die Beurteilung des abzutragenden Bodenmaterials in der Trasse, sowie um die Beurteilung des Materials zur Wiederverwendung im Unter- bzw. Überbau. Dabei wird wie folgt unterschieden:

- Material, das für Schüttung und Oberbau ungeeignet ist. Dieses wird abtransportiert und deponiert oder für Auffüllungen von Baugruben etc. verwendet.
- Material, **das für den Unterbau**, nicht aber für den Oberbau verwendet werden kann
- Material, das **für den Oberbau** verwendet werden kann

7.1.2 Abbaubarkeit des Bodens

Bezüglich der Abtragsarbeiten werden verschiedene Bodenarten unterschieden (Bild 7-2), die grob wie folgt eingeteilt werden können:

- **normal baggerfähiges** Material
- **schwer baggerfähiges** Material z.B. Pickelfels, harte Moräne (bei dem ein 20 to-Bagger mit 600 l Hochlöffel $Q_N < 30 \text{ m}^3/\text{Std.}$).
- **nicht baggerfähiges** Material, als solches wird Fels bezeichnet. Für den Abbau kommen auch Sprengen, Schrämen oder Meisseln in Frage.



Klasse DIN 18 300	Gruppe DIN 18 196	Merkmale: Körnung, Plastizität, Konsistenz
1) Oberboden	--	Mutterboden und Rohhumus; mineralische Bodenkörner gemischt mit humosen Stoffen und Bodenlebewesen
2) fließende Bodenarten	F, HZ, HN OZ, OH, OT, OU TA, TM, TL, UM, UL S \bar{T} , G \bar{T} , S \bar{U} , G \bar{U}	Wasserhaltende organische Böden, feinkörnige bindige Böden und gemischtkörnige starkbindige Böden in flüssig-breiiger Konsistenz $I_c < 0.5$
3) leicht lös-bare Bodenarten	GE, GW, GI SE, SW, SI GU, SU, GT, ST HN	Grobkörnige nicht bindige Böden und gemischtkörnige schwachbindige Böden mit höchstens 30% Steinanteil 63-315 mm \emptyset ; standfeste, im Trockenem aushebbare Torfe
4) mittel-schwer lös-bare Bodenarten	G \bar{U} , S \bar{U} , G \bar{T} , S \bar{T} UL, UM, TL, TM OU	Gemischtkörnige starkbindige Böden und leicht- bis mittelplastische Böden $w_L \leq 50\%$ von weicher bis fester Konsistenz $I_c > 0.5$ mit höchstens 30% Steinanteil 63-315 mm \emptyset
5) schwer lös-bare Bodenarten	GE, GW, GI SE, SW, SI GU, SU, GT, ST G \bar{U} , S \bar{U} , G \bar{T} , S \bar{T} UL, UM, TL, TM OU, HN, TA, OT	Alle grobkörnigen, gemischtkörnigen und leicht- bis mittelplastischen feinkörnigen Böden mit mehr als 30% Steinanteil 63-315 mm \emptyset und höchstens 30% Grobsteinen 315-630 mm \emptyset ; ausgeprägt plastische Tone $w_L > 50\%$ von weicher bis fester Konsistenz $I_c > 0.5$
6) leicht lösbarer Fels	--	Felsarten mineralisch gebunden, jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig, verwittert; vergleichbare verfestigte Bodenarten; Böden mit mehr als 30% Grobsteinen 315-630 mm \emptyset
7) schwer lösbarer Fels	--	Felsarten, mineralisch fest gebunden, nur wenig klüftig oder verwittert; Schlackenhalde; Steinblöcke über 630 mm $\emptyset = 0.13 \text{ m}^3$ Volumen

Bild 7-2: Einteilung der Boden und Felsklassen nach Abbauschwierigkeitsgrad [1]

7.1.3 Hydrologie

Bei Erdarbeiten sollten mindestens folgende hydrologische Erkundungen durchgeführt werden:

- Grundwasserhöhen
- Spiegelschwankungen im Grundwasser
- Wasseraustritte
- nasse Stellen

Diese Beobachtungen dienen der Planung und Durchführung spezieller Bauverfahren und Baumassnahmen

7.1.4 Standfestigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Mit den Baugrunduntersuchungen und den ermittelten Resultaten wird man die Neigung von Böschungen und die Lastannahmen für den Baugrubenverbau festlegen.

Ebenfalls Probleme der Standsicherheit ergeben sich beim Schütten von Dämmen auf schlecht tragfähigem Untergrund. In diesen Fällen müssen Massnahmen getroffen werden, um die Standfestigkeit und Setzungsempfindlichkeit zu verbessern (Bodenverbesserung, Bodenaustausch etc.).

7.2 Maschinenarten und Maschineneinsatz

Nachfolgend werden die Bedingungsgrößen und Charakteristiken für den Einsatz der verschiedensten Gerätetypen gegeben. Es sei in diesem Zusammenhang aber auf die zahlreichen Technischen Merkblätter der Maschinenlieferanten hingewiesen.

Die Aushub- und Erdbaugeräte erfüllen oft multifunktional Teilprozesse des Aushub- und Erdbauprozesses. Da diese verschiedenen Teilprozesse unterschiedlich effizient je nach Geräteart ausgeführt werden, müssen die Geräte systemgerecht eingesetzt werden. Die meisten Erdbaugeräte erfüllen folgende Teilprozesse:

- Lösen des Materials
- Laden und Transportieren durch Drehen/Wenden und Auslegen/Verfahren

Die Geräte haben einerseits unterschiedliche Löse- und Ladefähigkeit hinsichtlich des Energieeinsatzes und der abhängigen Determinanten:

- Volumen des Lösens bei einem Spiel
- Reiss- und Lösekraft.

Andererseits sind die Geräte hinsichtlich der Transporteffizienz sehr unterschiedlich. Daher ist der systemgerechte Einsatz hinsichtlich der Transportentfernung (Bild 7-3) neben der Löse- und Ladeeffizienz (Bild 7-4) von grösster Bedeutung.

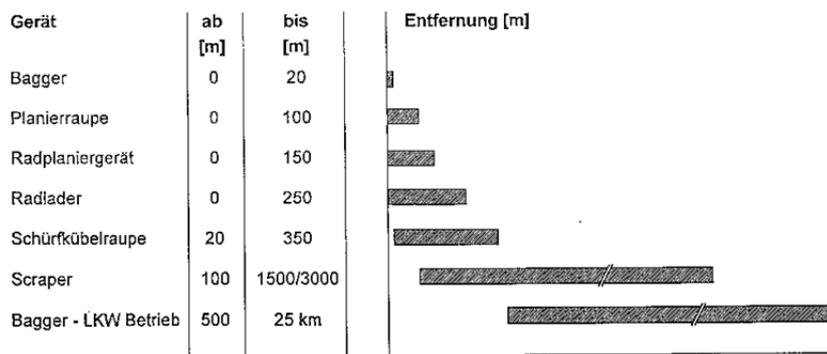


Bild 7-3: Systemgerechter Einsatzbereich von Erdbaugeräten in Abhängigkeit wirtschaftlicher Transportentfernungen

Einsatzbereiche	leichter Boden	mittelschwerer Boden	bindiger mittelschwerer Boden	schwerer Boden	leichter Fels	schwerer Fels
Grader	■	■				
Planierdraupe	■	■	■			
Schaufellader	■	■				
Schürfkübeldraupe	■	■	■	■		
Schürfkübelanhänger	■	■	■	■		
Motorschürfwagen	■	■	■	■		
Greifbagger	■	■	■	■		
Eimerkettenbagger	■	■	■	■	■	
Hoch- & Tieföffelbagger	■	■	■	■	■	■

Bild 7-4: Systemgerechter Einsatzbereich von Erdbaugeräten in Abhängigkeit von der Bodenart

In Bild 7-5 ist die Systematik der Löse- und Ladegeräte im Erdbau wiedergegeben. Dabei werden die Gerätesysteme in Standgeräte und Fahrgeräte unterteilt und die Arbeitsweise in kontinuierliche und diskontinuierliche Abläufe gegliedert. Es werden zudem die Werkzeuge der Geräte angegeben.

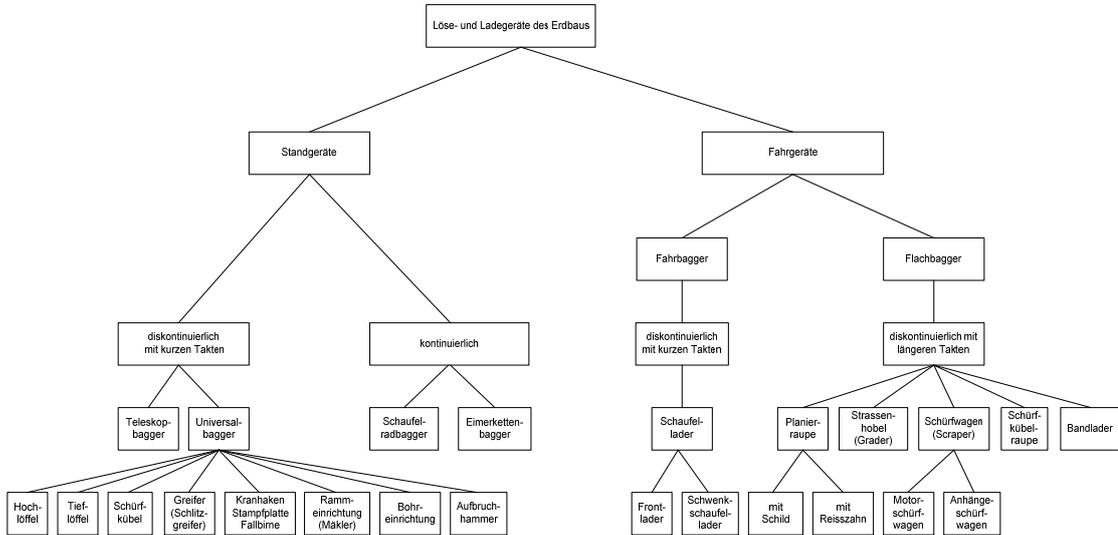


Bild 7-5: Löse- und Ladegeräte des Erdbaus

7.2.1 Geräteeinsätze bei engen und steilen Verhältnissen

Bei engen Verhältnissen in Baugruben oder Vertikalschächten kommen oft Kleinbagger zum Einsatz.

Mit diesen Kleinbaggern wird der Kleinmengen-Aushub mechanisiert. Man rechnet, dass man durch **einen Kleinbagger ca. 2 - 3 Arbeiter einspart**.

Zum Transport des Aushubmaterials aus der engen Baugrube verwendet man klappbare Spezialkübel bis ca. 1500 l Inhalt (Bild 7-6).

SCHUTTKÜBEL, SELBSTENTLEEREND

INHALT IN m ³	A IN mm	B IN mm	C IN mm	GEWICHT LEER (kg) *	GEWICHT GEFÜLLT (kg) *
0,550	1400	750	600	145	1300
0,750	1400	1000	600	165	1740
1,000	1700	1000	700	197	2297
1,500	1800	1350	780	330	3480

* = SPEZIFISCHES GEWICHT SCHUTT 2,1 to/m³

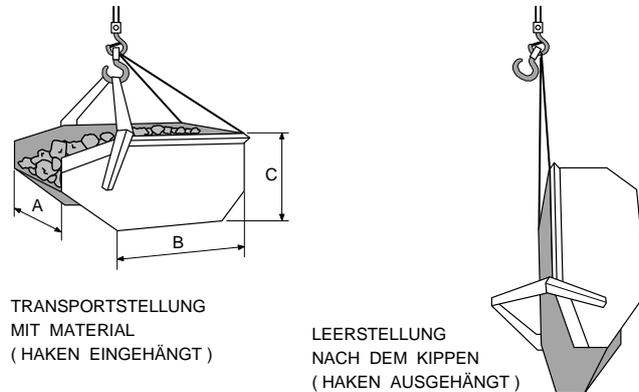


Bild 7-6: Spezialkübel für Aushub

In steilen Hängen verwendet man einen Schreitbagger, der in seiner Arbeitsstellung der Hangneigung angepasst werden kann. Die Fortbewegung dieses Schreitbaggers erfolgt mit seiner mechanisch-hydraulischen Schreiteinrichtung am Fahrgestell (Bild 7-7).

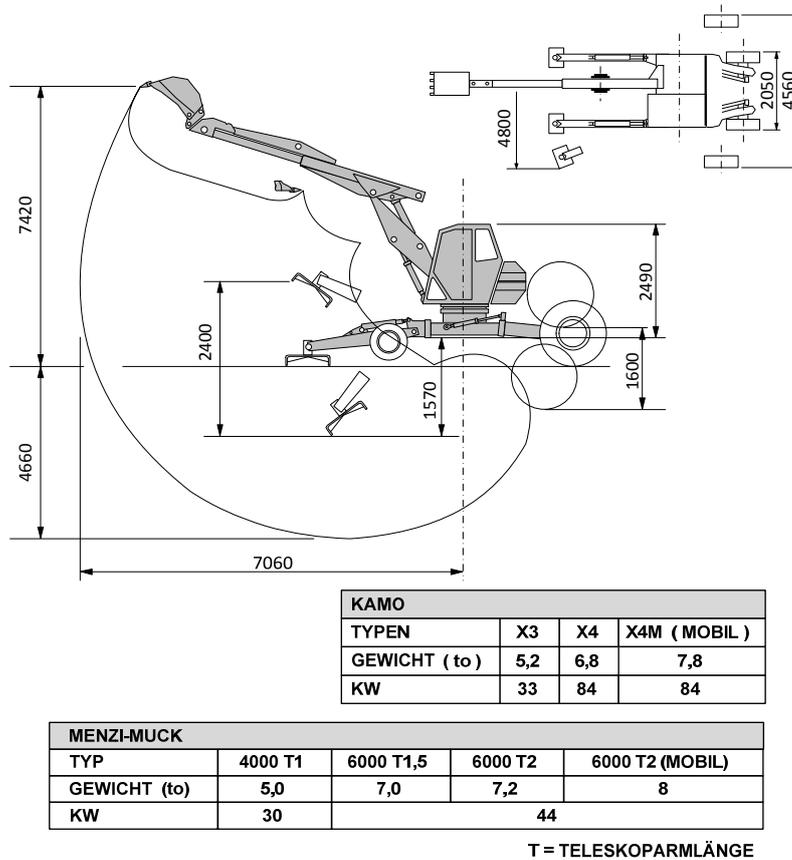


Bild 7-7: Menzi und KAMO-Bagger [2] [3]

Zudem kann man einen solchen Schreitbagger oberhalb seines Einsatzbereiches durch ein Seil sichern, das an einem Felsanker (Stabanker) angehängt wird. In der Praxis wurden solche Geräte bei Hangneigungen von 70-100 %, bzw. im steilsten Stück bis 140 % eingesetzt. Spezielle Baggersicherungen durch Einsatz einer Seilwinde an der Baggersrückseite (Baggersrückhaltevorrichtung) wurden verwendet.

7.2.2 Geräteeinsatz in offeneren Verhältnissen

Für weitgehend offene Geländebeziehungen bzw. bei grossen Baugruben kommen alle Normalgeräte mit hoher Leistung und ohne besondere Grössenbeschränkung zum Einsatz. Zu diesen Geräten zum Lösen, Laden und Transportieren im Erdbau gehören:

- Rad- und Raupenlader
- Rippergeräte und Schubraupen
- Bagger
- Schürfgeräte/Scraper
- LKWs

a) Raupenlader

ART	SCHAUFELINHALT Lit.	MOTORLEISTUNG KW	MASCHINEN- GEWICHT to
RAUPENLADER	600	40	6.0
	1000	65	11.0
	1500	100	15.0
	2200	150	24.0
	3200	220	38.0
FABRIKATE	CATERPILLAR / DRESSER / FIAT-ALLIS KOMATSU / LIEBHERR / USW.		
PNEULADER	1000	50	6
	1500	75	9
	2300	105	14
	3000	155	18
	4770	300	36
	6500	380	48
FABRIKATE	CATERPILLAR / DRESSER / FIAT-ALLIS KOMATSU / LIEBHERR / MICHIGAN / O & K / VOLVO / USW.		

Bild 7-8: Übersicht Raupenlader / Radlader

Einige technische Daten für Lader sind in Bild 7-8 gegeben.

Laderraupen sind geeignet unter folgenden Einsatzbedingungen (Bild 7-4):

- weicher, nasser Untergrund, der durch Pneus weiter aufgeweicht wird
- weicher, gering tragfähiger Untergrund (Raupenflächen haben eine geringe Boden-druckbeanspruchung)
- rauer harter Fels

Die Laderwege sollten auf Grund der geringen Fahrgeschwindigkeit 30m nicht wesentlich überschreiten (Bild 7-3).

Raupenlader können **mit Reisszähnen**, sogenannten **Ripperzähnen** ausgerüstet werden.

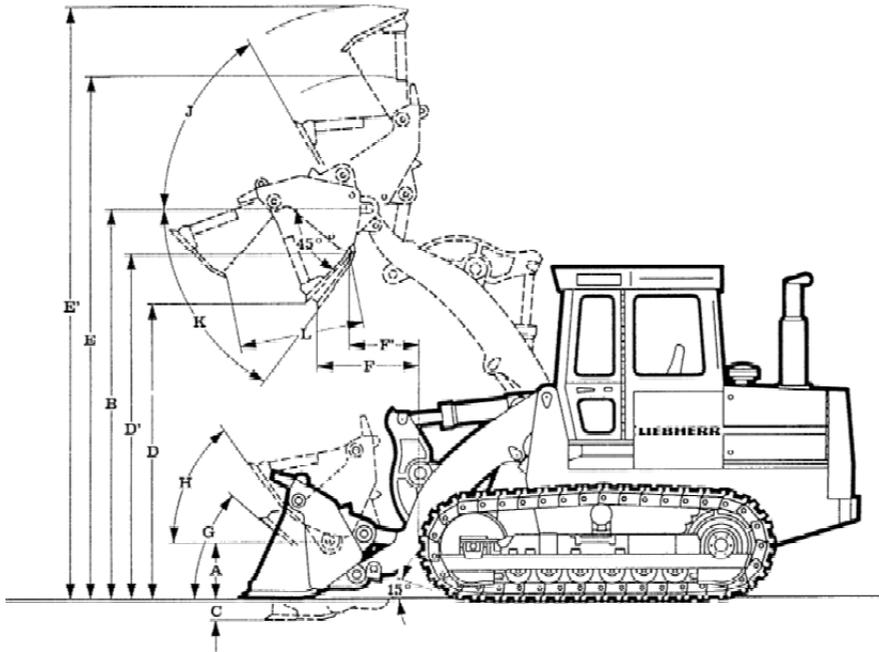


Bild 7-9: Laderaube [4]

b) Radlader

Radlader sind geeignet für den Einsatz unter weniger harten Verhältnissen. Besonders geeignet sind sie zum Laden von Lockermaterial wie Kies, Sand etc. (Bild 7-4). Die Lade- bzw. Transportwege sollten 250m nicht überschreiten, liegen aber bei 50m im wirtschaftlichen Bereich (Bild 7-3). Werden die Radlader mit Ketten als Pneuschutz ausgerüstet, so werden sie sehr effizient z.B. im Tunnelbau zum Laden von gesprengtem Fels eingesetzt.

Radlader werden auf Grund der relativ hohen Fahrgeschwindigkeit und der damit verbundenen Leistungsfähigkeit eingesetzt und meistens den Kettenladern vorgezogen.

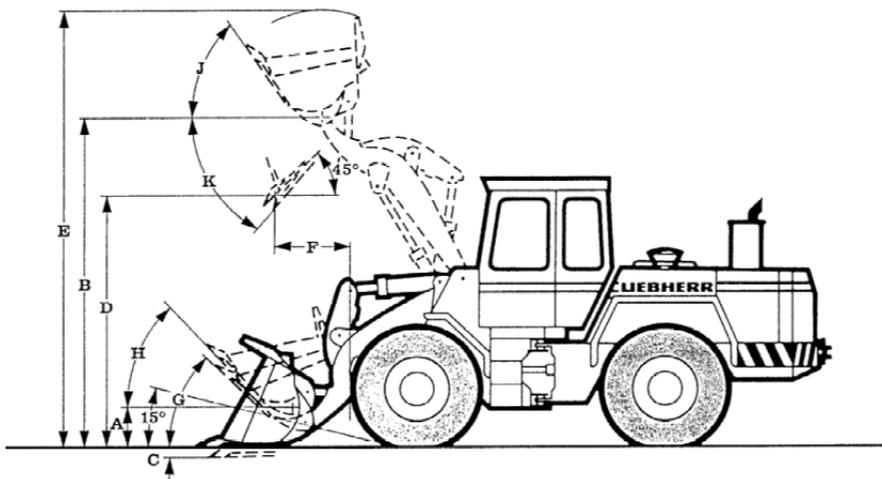


Bild 7-10: Radlader [4]

Der optimale Einsatz eines Lader-LKW-Betriebs ist in Bild 7-11 dargestellt.

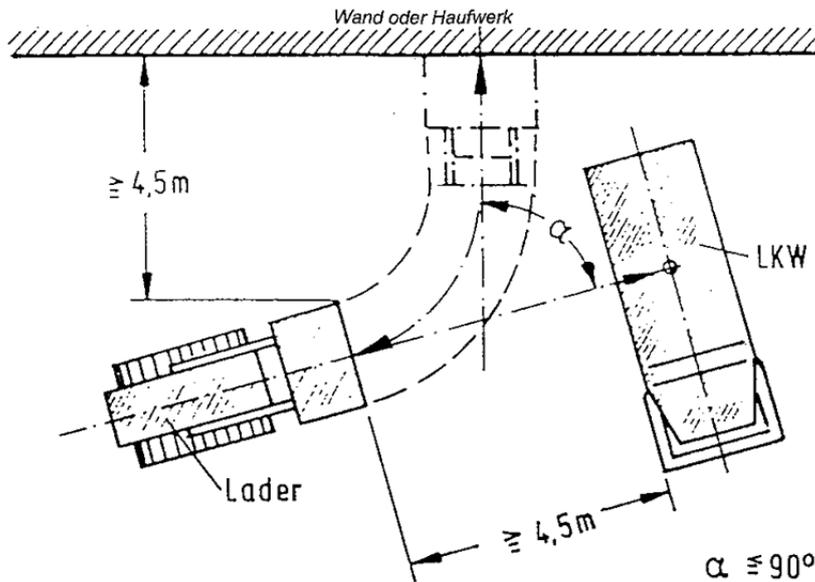
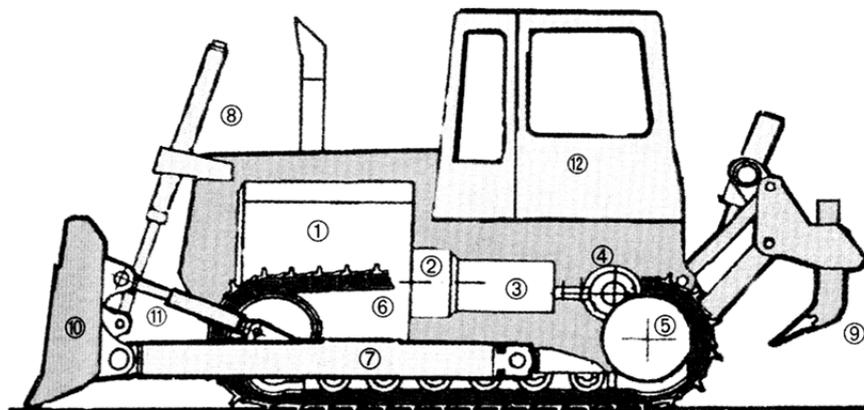


Bild 7-11: Optimaler Rad-/ Raupenlader -LKW Betrieb [5]

c) Planiertrauben

Der allgemeine Aufbau einer Planiertraube ist in Bild 7-12 dargestellt.



- ① Antriebsmotor, ② hydrodynamischer Drehmomentwandler, ③ Lastschaltgetriebe, ④ Lenkkupplung und -bremse, ⑤ Antriebsturas, ⑥ Kette, ⑦ Schubrahmen, ⑧ Hubzylinder, ⑨ Heckaufreißer, ⑩ Schild, ⑪ mechanische oder hydraulische Verstellung des Schildes, ⑫ Kabine

Bild 7-12: Aufbau einer Planiertraube [18]

Neben der in Bild 7-12 dargestellten Form des Standardlaufwerkes mit gleich grossen Turassen vorn und hinten und somit einer annähernd parallelen Kettenführung ist die Form des Deltalaufwerkes gebräuchlich (Bild 7-13). Bei einem Deltalaufwerk befinden sich die Antriebsturasse ausserhalb der Schmutzzone.



Bild 7-13: Planierraupe mit einem Deltalaufwerk [18]

Durch die Auswahl der Breite der Kettenglieder lässt sich die spezifische Bodenbelastung den Erfordernissen anpassen. Gummiketten ermöglichen eine besonders schonende Arbeit auf befestigten Flächen.

In Bild 7-14 sind unterschiedliche Schildformen dargestellt. Der gerade Schild (Brustschild) ist am gebräuchlichsten und wird meist etwas quer zur Fahrtrichtung der Raupe angebracht. Zur Verringerung des Abfließens des geschobenen Bodens können Seitenbleche angebracht werden. Beim U- Schild bzw. dem Semi- U- Schild sind die äusseren Ecken etwas eingezogen, so dass sich die Stabilität und die Aufnahmekapazität des Schildes erhöhen. Bei dem Mehrwegeschild sind alle Stellbewegungen über Hydraulikzylinder während der Arbeit veränderbar, wodurch jedoch zusätzliche Kräfte in den Schubrahmen einleitet werden.

Die Schneide (Unterkante des Schildes) unterliegt einer grossen Belastung und ist als Verschleissteil auswechselbar gestaltet.

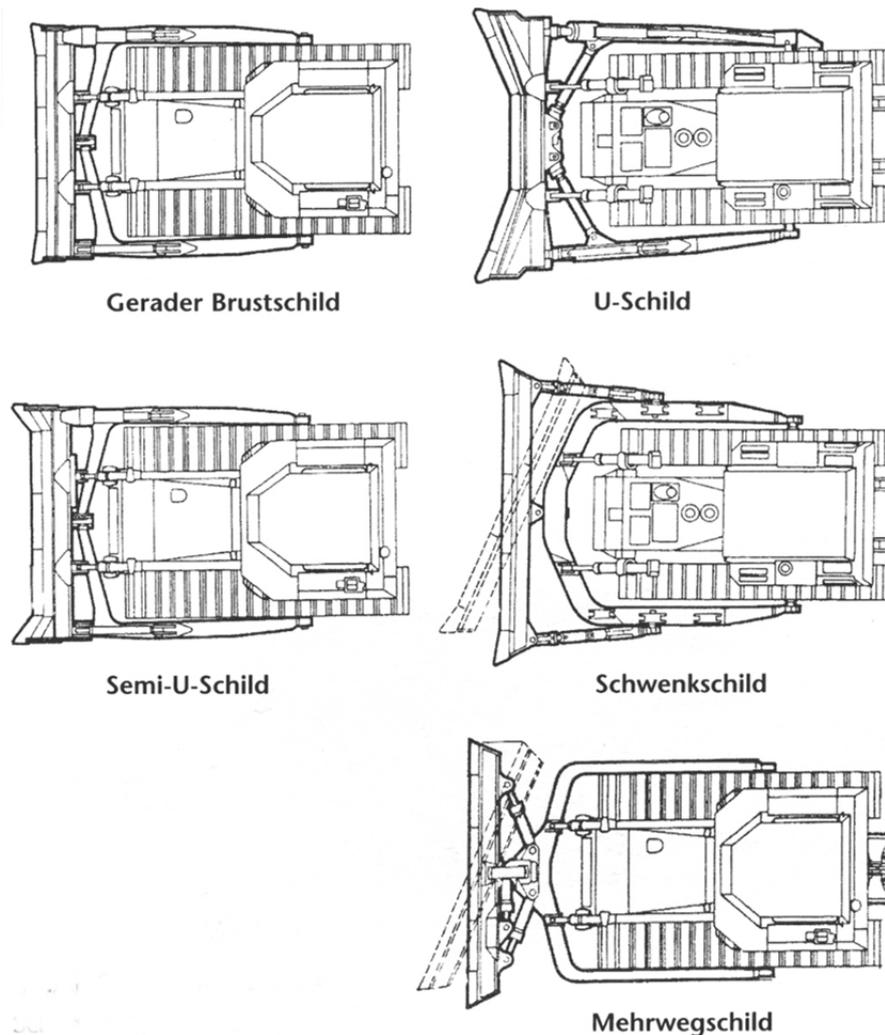


Bild 7-14: Verschiedene Schildarten [18]

Die Schildkapazität oder der Schildinhalt bezeichnet das Volumen des Bodenwalls, den der Schild vor sich herschiebt. Er ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Bodenart, Bodenfeuchte und Lagerungsdichte des Bodens,
- Schildgrösse und Schildform,
- Neigung und Länge des Verschiebeweges,
- Schürf- und Schiebegeschwindigkeit der Raupe,
- Verhältnis der Schürf- zur Verschiebestrecke.

Arbeitsweise und Einsatzbereich

Planierraupen (Bild 7-15) werden eingesetzt, um grössere Materialmengen auf kürzeren Strecken zu verschieben, zu trassieren oder zu planieren (Bild 7-16, Bild 7-17).

Planierraupen werden bei leichtem (Sand/Kies) bis mittelschweren Böden (mittelsteifer Ton) eingesetzt (Bild 7-4). Der Schuboperationsweg sollte 100m nicht überschreiten (Bild 7-3).

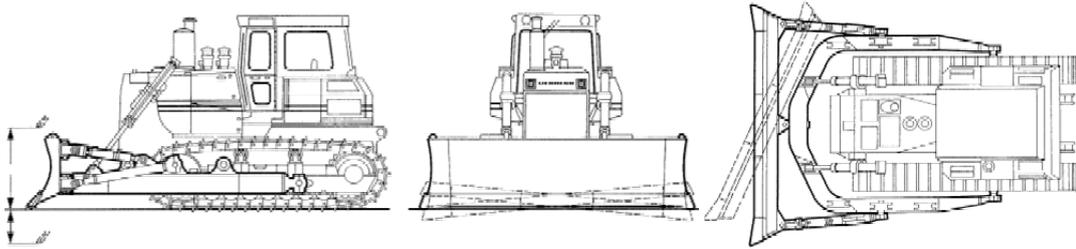


Bild 7-15: Planierraupe [4]

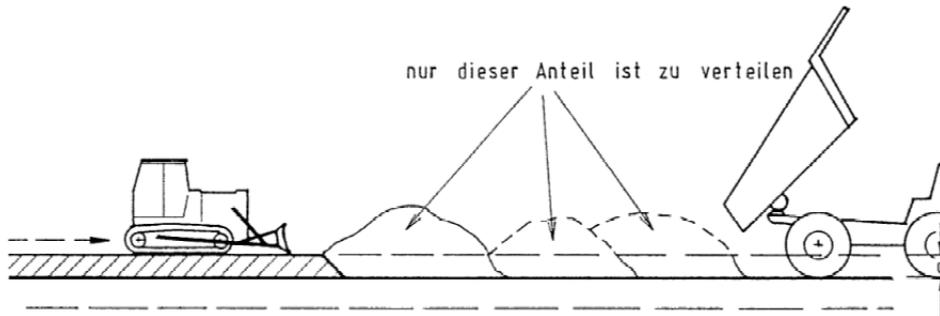
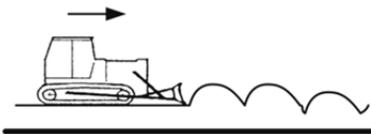
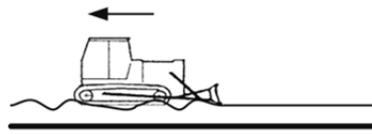


Bild 7-16: Lagenweiser Bodeneinbau mit Planierraupe [5]

Arbeitsweise



Kippmaterial einebnen

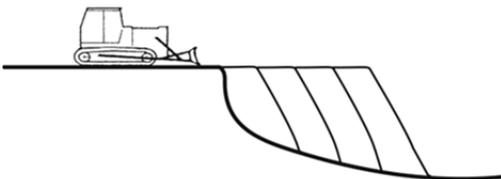


Oberfläche glätten

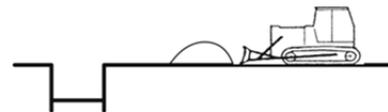
Einbauschema



1. Lagenweiser Einbau



2. Tiefkippe mit Kopfschüttung



3. Grabenrückfüllung

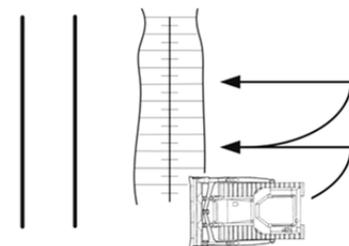
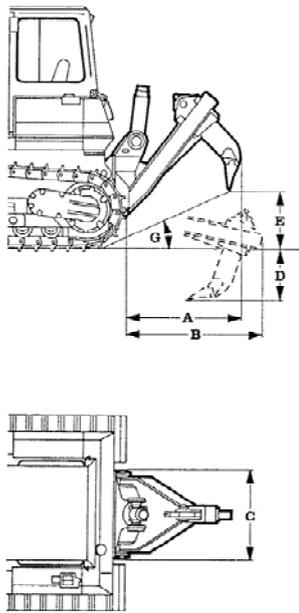


Bild 7-17: Arbeitsweise und Einbauschemata einer Planierraupe

Planiererraupen werden oft mit einer Ripperrüstung zum Lösen bzw. Reißen von leichtem bis mittelschweren Fels eingesetzt (Bild 7-18).

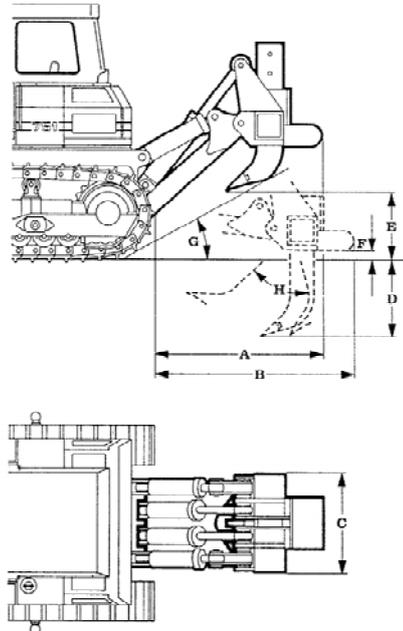
Wird die Felsoberflächen mit Ripperrauen gerissenen, muss das Material zum Laden mit Planiererraupen zusammengeschoben werden (Bild 7-15).

PR 732 B - PR 742 B



Radialaufreisser

PR 751



Radialaufreisser mit hydraulischer Schnittwinkelverstellung und hydraulischem Bolzenzieher

Bild 7-18: 1-Zahn-Heckenaufreisser [4]

In Bild 7-19 ist der Einsatzbereich von Ripperrauen dargestellt in Abhängigkeit der Felsart und Festigkeit sowie Schichtungsintensität. Letzteres (Festigkeit und Schichtigkeit) wird durch die seismische Wellengeschwindigkeit dargestellt.

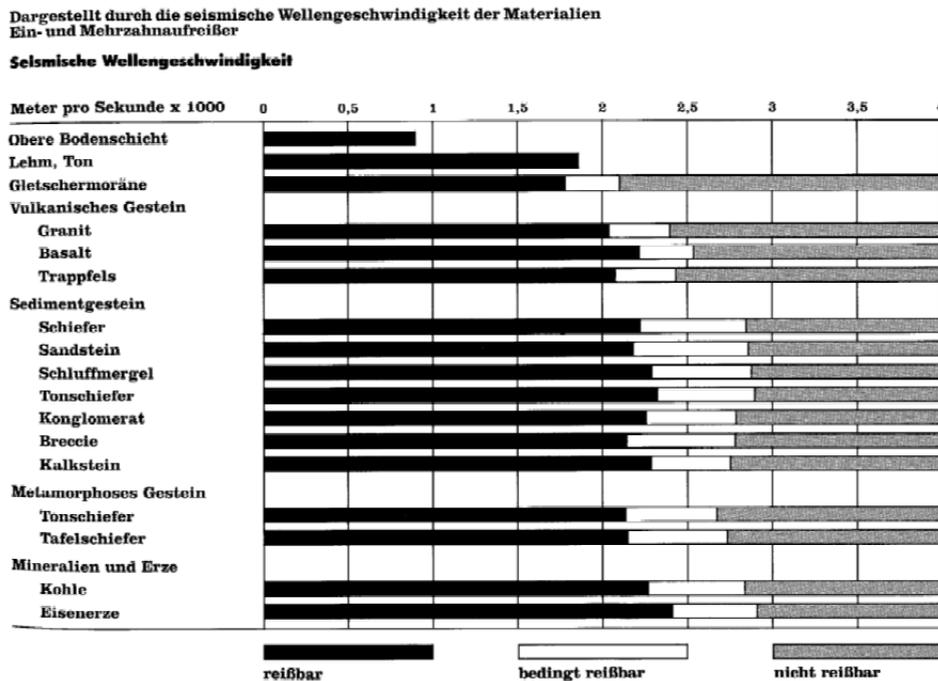


Bild 7-19: Reissbare Materialien (PR751) [4]

d) Hydraulikbagger

Der Hydraulikbagger mit Ketten- bzw. Radfahrwerk gehört zu den Standard-Aushub- und Ladegeräten. Hydraulikbagger werden zum Lösen und Laden von (Bild 7-4)

- kiesigen Böden,
- sandigen Böden,
- tonigen Böden und
- leichtem Fels

eingesetzt.

Um den Einsatzbedingungen besonders effizient gerecht zu werden, werden Hydraulikbagger mit verschiedenen Löse-, Ladeschaufeln und Werkzeugen wie Abbauhammer oder Abbruchzange ausgerüstet.

Hydraulikbagger sind leistungsfähig auf Grund ihrer schnellen, robusten und kraftvollen Hydraulik.

Die Fahrwerke der Hydraulikbagger werden gemäss folgenden Kriterien gewählt:

- Kettenfahrwerk bei schweren Baggergeräten und bei weitgehend stationärem Einsatz (Bild 7-3)
- Radfahrwerk bei leichten Baggergeräten und bei weitgehend mobilem Einsatz (z.B. Kanalbaustellen/Gräben)

Folgende Löse- und Ladewerkzeuge werden bei Hydraulikbaggern verwendet:

Tieflöffel (Bild 7-20):

- für Aushub ab der Standfläche des hydraulischen Baggers **nach unten**
- Einsätze rückwärtsschreitend für Gräben und Baugruben

Hochlöffel (Bild 7-21):

- Ladearbeiten von unten nach oben
- Einsatz vorwärtsschreitend

Greifer (Bild 7-22):

- Einsatz im Schachtbau
- bei Gräben mit Spriessungen, d. h. überall dort, wo von oben ein gezieltes Einfädeln der "Aushubschaufel" notwendig wird

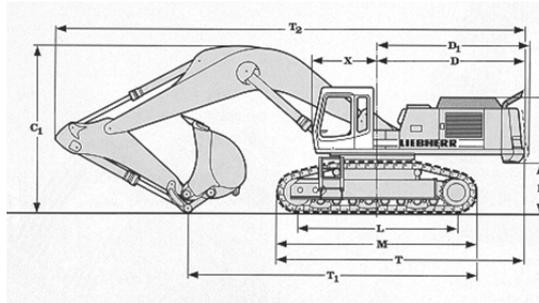


Bild 7-20: Tieflöffel [4]

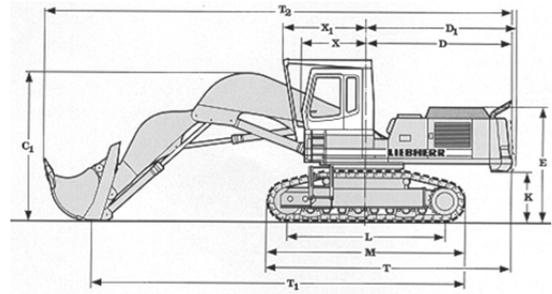


Bild 7-21: Hochlöffel [4]



Bild 7-22: Hydraulikbagger mit Schalengreifer

Die verschiedenen Anbauschaufeln für Hydraulikbagger sind in Bild 7-23 dargestellt. Diese Auswahl von Werkzeugen dient der effizienten material- bzw. aufgabenorientierten Erfüllung der Aushubarbeiten.

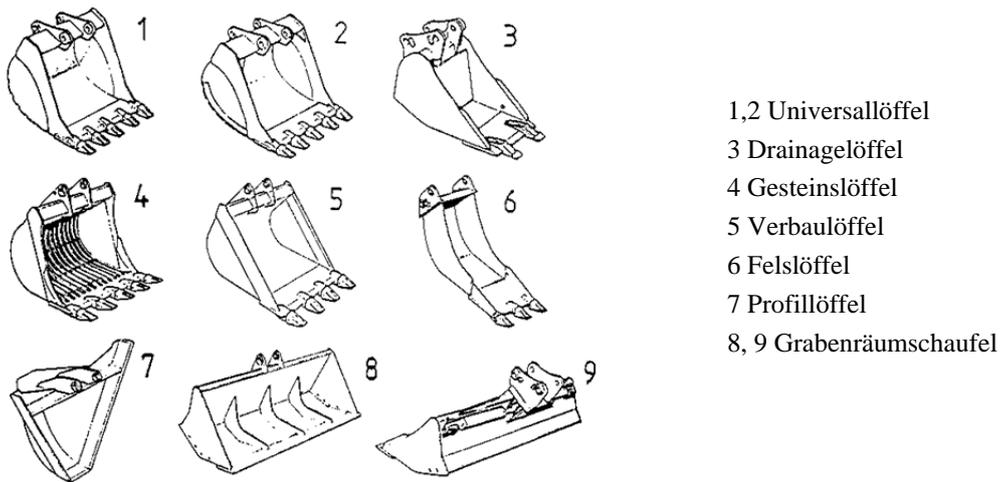


Bild 7-23: Baggerschaufelauswahl

Die Leistungsfähigkeit der Hydraulikbagger mit Hoch- bzw. Tieflöffel ist in Bild 7-24 wiedergegeben.

Leistungsfähigkeit von Baggern

Baggermodell	Hochlöffel				Tieflöffel			
Löffelinhalt in Litern	300	500	1000	1500	300	500	1000	1500
Dienstgewicht in Tonnen	10-15	20-25	40-45	50-55	10-15	20-25	40-45	50-55
Motorenstärke in PS	25-30	50-55	95-105	130-150	25-30	50-55	95-105	130-150
Leistung pro Stunde in Kubikmetern								
leicht lösbarer Boden	15-25	30-40	55-65	75-85	10-20	20-30	40-50	60-70
schwer lösbarer Boden			30-40	40-50	5-10	10-20	20-30	30-40
Baggermodell	Schleppkübel			Greifer				
Löffelinhalt in Litern	500	1000	1500	300	500	1000		
Dienstgewicht in Tonnen	20-25	40-45	50-55	10-15	20-25	40-45		
Motorenstärke in PS	50-55	95-105	130-150	25-30	50-55	95-105		
Leistung pro Stunde in Kubikmetern								
leicht lösbarer Boden	20-30	45-55	65-75	5-15	15-25	30-40		
schwer lösbarer Boden			30-40					
Schüttgut				10-20	20-30	40-50		

Bild 7-24: Leistungsfähigkeit von Bagger

e) Teleskop-Bagger

Bei diesen Baggern ist der Baggerarm teleskopierbar. Je nach Grösse des Gerätes kann der **Teleskopierarm** eine Länge von 3-10 m erreichen. Zusätzlich lässt sich die Baggerschaufel meist **schwenken**. Der Schwenkbereich kann bis 360° betragen.

Teleskopbagger sind besonders geeignet bei Böschungen und für die Herstellung des Planums (Bild 7-25).



Bild 7-25: Teleskopbagger bei der Herstellung eines Böschungsplanums

f) Seilbagger

Seilbagger sind sehr **universell einsetzbare Trägergeräte**. Durch die Möglichkeit der Ausleger-Verlängerung sind je nach Grösse der Basismaschine extreme Einsätze möglich. Mit zahlreichen Anbau-Hilfen stehen sie ausserdem im Spezialtiefbau der verschiedensten Arten von Arbeiten (Spundwände rammen und ziehen, Bohrpfähle und Schlitzwände herstellen) im Einsatz. Bild 7-26 zeigt die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Seilbagern als Trägergeräte.

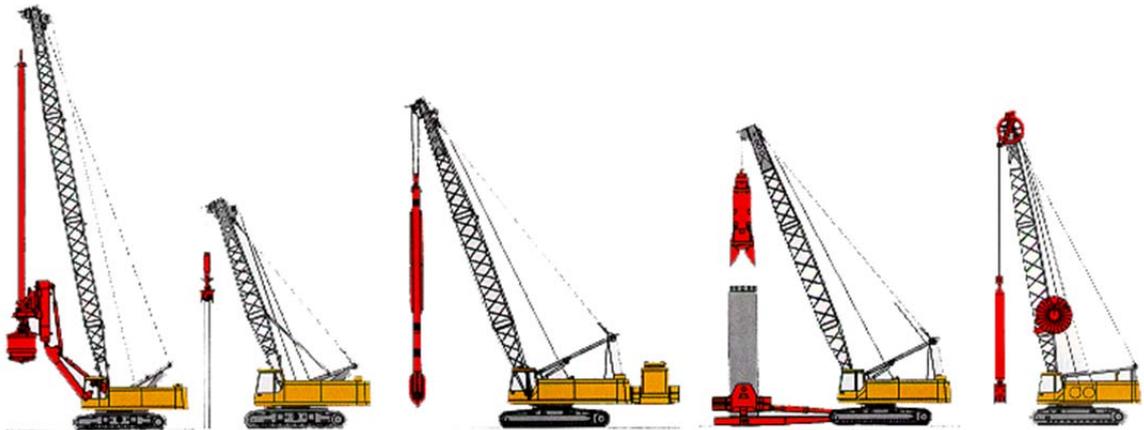


Bild 7-26: Seilbagger als Trägergerät für Anbauvarianten

Seilbagger werden im Erdbau heute meist nur noch mit Schleppkübelausrüstung (Dragline-Ausrüstung) oder Greifer eingesetzt.

Seilbagger werden meist mit $1\text{-}2\text{m}^3$ -Greifer ausgerüstet. Damit können sie z.B. in tieferen und grösseren Baugruben, die nur von oben/seitlich zugänglich sind, sehr effizient eingesetzt werden.

Der Seilbagger mit Schleppkübelausrüstung (Bild 7-27) steht auf dem ursprünglichen Terrain (z.B. auch Flussufer). Der Schleppkübel wird ausgeworfen und füllt sich beim Zurückziehen gegen die Basismaschine mit Material. Kein Einsatz in harten Bodenarten. Solche Einsätze sind für grosse Reichweiten möglich, der Ausleger muss nur entsprechend lang sein. Grosse Leistungen können erreicht werden. Die Aushubtiefen sind praktisch unbeschränkt.

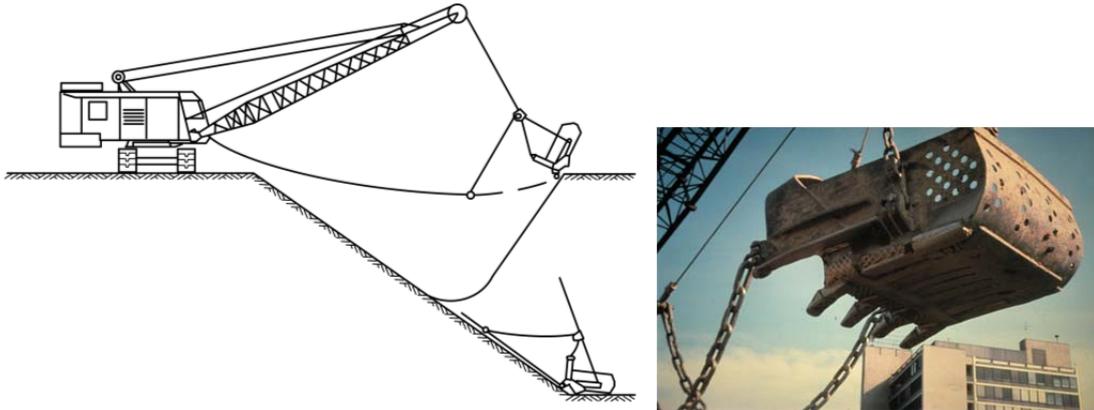


Bild 7-27: Seilbagger mit Schleppkübelausrüstung

Die Wasserbaggerung wird meist mit gelochtem Schleppkübel durchgeführt. Bei engen und tiefen Baugruben verwendet man Seilbagger mit Greiferausrüstung. So auch bei grossen Baugruben zum Abtrag der Rampe für die LKWs nach Erreichen der Aushubtiefe.

g) Scraper

Bauarten von Scrapern

Scraper bestehen aus einem Kübel, einer oder mehreren Transportachsen sowie den Bedien- und Antriebselementen (Bild 7-28). Der Kübel ist an der Hinterachse so gelagert, dass er zum Befüllen abgesenkt werden kann.

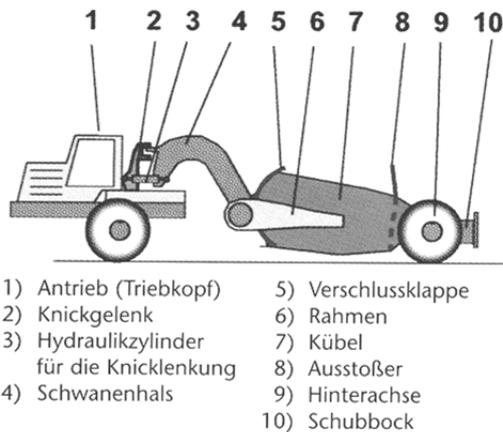


Bild 7-28: Aufbau eines Scrapers [19]

Entsprechend ihrer Bauart und der spezifischen Ausrüstung werden Scraper in Motor- und Anhängerscraper unterschieden (Bild 7-29 und Bild 7-30).

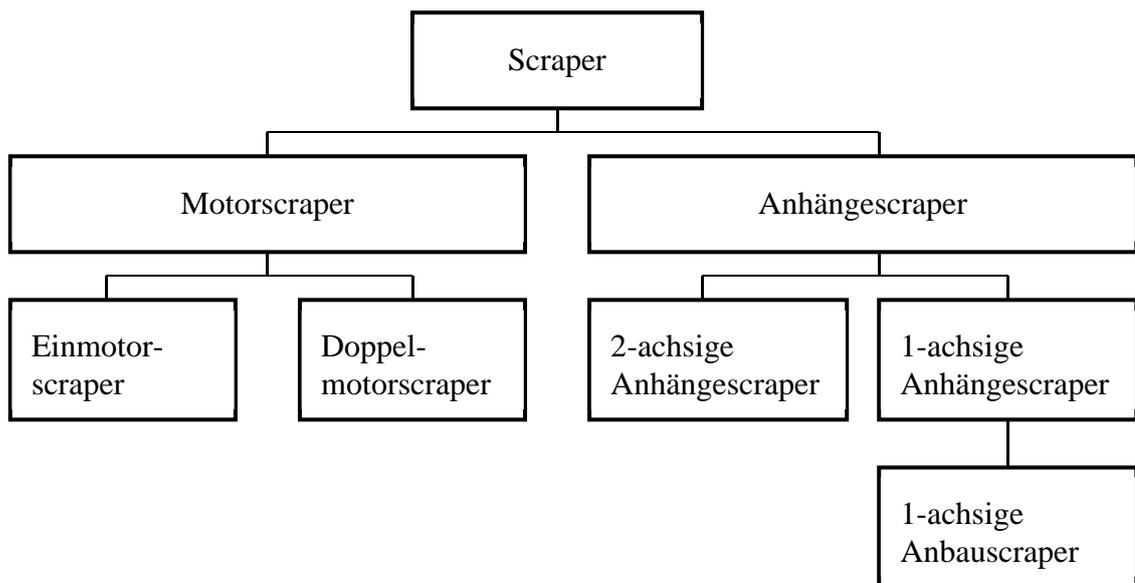
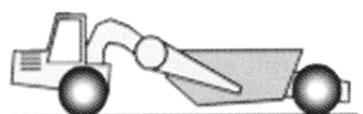


Bild 7-29: Arten von Scrapern [19]

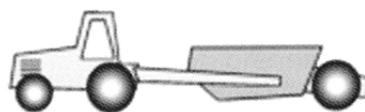
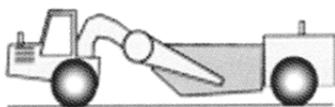
Bei Einmotorscrapern ist der Küssel zwischen einer schwenkbaren, angetriebenen Achse und einer nichtangetriebenen Achse angeordnet. Die Verbindung zwischen dem Antrieb und dem Küssel ist ein sogenannter Schwanenhals, der Scraper wird durch das Knicken des Gelenkes am Schwanenhals gelenkt.

Doppelmotorscraper haben zwei angetriebene Achsen, sind jedoch ansonsten wie Einmotorscraper aufgebaut.

Anhängescraper verfügen über keine eigenen Antriebsachsen und werden von anderen Zugmitteln (Zweiachsschlepper, Rad- oder Kettentraktor) gezogen. Die Steuerung des Scrapers erfolgt von der Zugmaschine aus. Je nach Anzahl der (nicht angetriebenen) Achsen des Scrapers unterscheiden sich die Scraper in 1- oder 2-achsige Anhängescraper. Einachsige Anhängescraper werden auch als Anbauscraper bezeichnet (Bild 7-30). Eine Drehgabelkupplung eines Anhängescrapers ist in Bild 7-31 dargestellt.



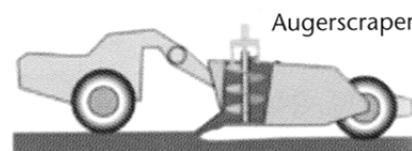
Motorscraper mit einem Antrieb

Anbauscraper an einem Radtraktor,
1-achsiger Anhängescraper

Doppelmotor-Scraper



Elevatorscraper

2-achsiger Anhängescraper
an einem Kettenschlepper

Augerscraper

Bild 7-30: Bezeichnung von Scrapern nach Art der Ausrüstung und Bauart [19]

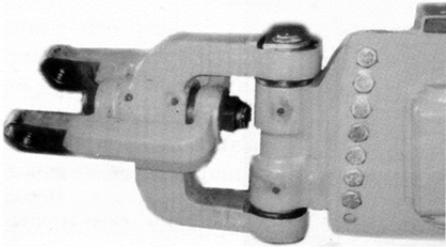


Bild 7-31: Drehgabel- Kupplung [19]



Bild 7-32: Zwei einachsige Anhängescraper, gezogen von einem Raupentraktor [19]

Arbeitsweise von Scrapern

Die Funktionen Befüllen (Schürfen), Transport sowie der Einbau werden von Scrapern in einer Maschine vereint (Bild 7-33).



Bild 7-33: Arbeitsweise des Scrapers [19]: Befüllen (Schürfen), Transport, lagenweiser Einbau, Leerfahrt, erneutes Schürfen

Der Abbau des Bodenmaterials erfolgt durch hydraulisches Absenken des Schürfkübels (Bild 7-34). Der Schürfkübel ist mit einer Schneide, die oft mit Baggerzähnen bestückt ist, ausgerüstet. Dabei kann das Gerät Bodenschichten von 20 – 30 cm, im Einzelfall bis zu 60 cm abbauen. Durch die Fahrbewegung wird das geschürfte Material in den abgesenkten Transportbehälter gedrückt, bis dieser gefüllt ist. Wenn der Schürfkübel gefüllt ist, wird der Schürfkübel mit dem Hubzylinder hochgezogen. Dabei schliesst sich die Schürfschürze. Zur Erhöhung des Füllgrades des Kübels sind einige Scraper mit Ladehilfen (Elevator oder Auger) ausgerüstet (Bild 7-30). Bei Elevatorscrapern wird der gelöste Erdstoff durch Stahlprofile an endlosen Ketten (analog Förderband) in den Kübel befördert. Augerscraper haben als Ladehilfe eine Förderschnecke.

Nach dem Ladevorgang erfolgt der Materialtransport über Entfernungen von einigen hundert Metern bis zu 3 km zur Entladestelle.

Am Entladeort wird der Kübel leicht nach vorn gekippt und/oder das Material wird mit einer Entladehilfe (Ejektor) ausgestossen (Bild 7-34). Der Entladevorgang findet während der Fahrt des Scrapers statt. Die Kübelstellung und der Ejektor sind steuerbar, so dass eine schichtweise Schüttung vollzogen werden kann (Bild 7-35). Durch die Überfahrt der Schichten wird gleichzeitig eine Vorverdichtung erreicht.

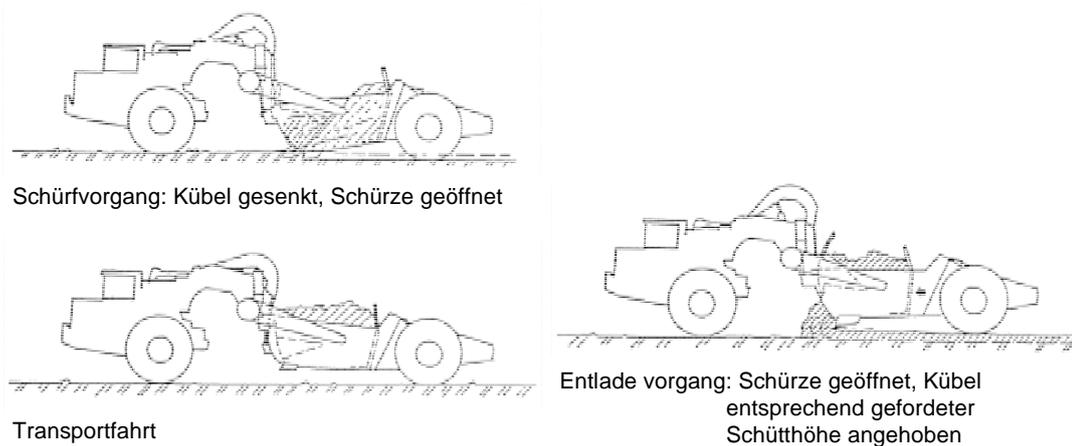


Bild 7-34: Arbeitsablauf Scraper [6]

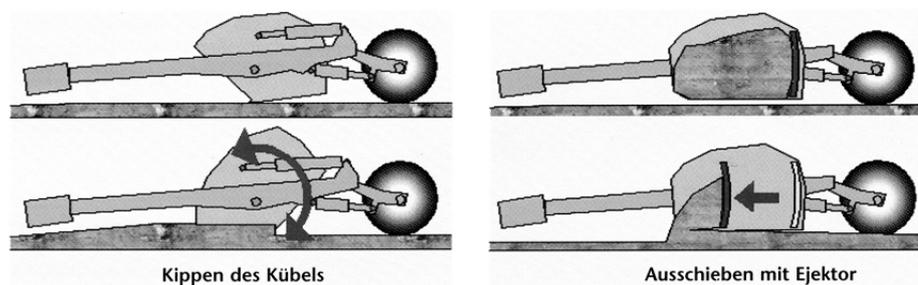


Bild 7-35: Entleeren des Scrapers [19]

Einsatzbereich und Arbeitsorganisation

Durch die Realisierung der drei Arbeitsschritte Schürfen, Transportieren und Entladen in einer Maschine ergeben sich folgende Vorteile:

- Das Lösen, Laden und Transportieren erfolgt während der Fahrt der Maschine, so dass sich kürzere Beladezeiten ergeben.
- Rangierfahrten entfallen.
- Das Entladen erfolgt in flachen Lagen, wodurch das nachträgliche Verteilen des Erdreichs mittels anderer Maschinen entfällt.

Da alle Arbeiten von einer Arbeitskraft auf einer Maschine erledigt werden, arbeiten Scraper mit einem geringen spezifischen Arbeitsaufwand (gemessen in Arbeitszeit pro m^3 Erdreich)

Scraper können im Wesentlichen bis mittelschweren Boden (Sand bis festerer Ton) abbauen (Bild 7-4). Bei entsprechenden Schneiden und Zähnen sind auch sehr harte Böden abbaubar.

Scraper werden eingesetzt, wenn sie kontinuierlich zwischen Gewinnungs- und Einbaustelle fahren können. Verschiedene Einsatzschemen sind in Bild 7-36 und Bild 7-37 dargestellt.

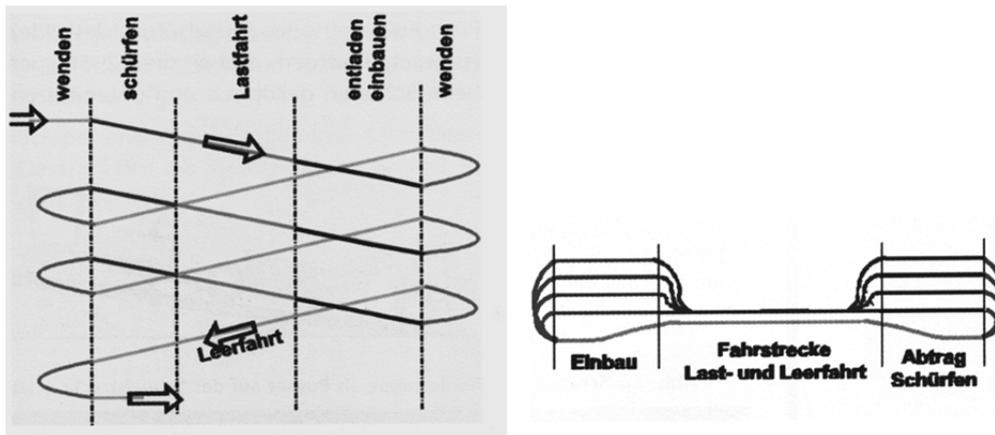


Bild 7-36: Einsatzschemen von Scrapern [19]:
links: kurze nebeneinanderliegende Fahrstrecken
rechts: lange wiederholt befahrene Fahrstrecke

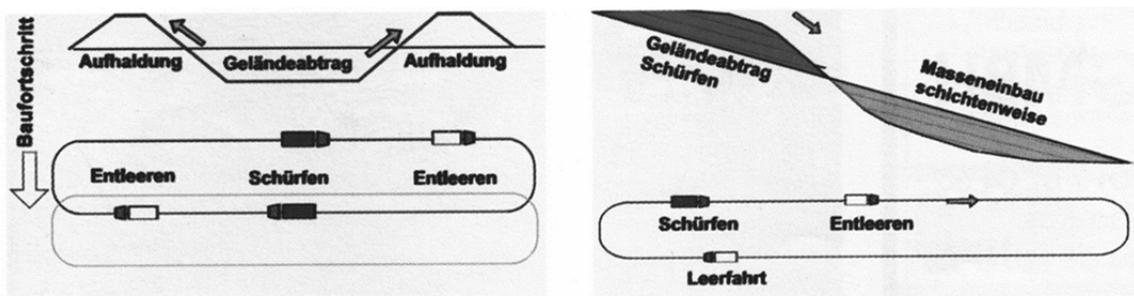


Bild 7-37: Einsatzschemen von Scrapern [19]:
links: Flächenabtrag
rechts: Massenausgleich

Zu beachten ist, dass für einen wirtschaftlichen Einsatz von Scrapern

- die Fahrstrecke zwischen Schürf- und Entladeort bei Anhängerscrapern 600 m und bei Motorscrapern 2500 m nicht überschreiten sollte,
- die Schürfstrecke sowie die Transportstrecke bergab verlaufen sollten, und
- die Schürfbahn und die Auftragsstrecken etwa 10 bis 30 m lang und 2 bis 4 m breit sind.

Zur Erhöhung der Leistung von Scrapern auf der Schürfstrecke können Scraper entsprechend der Schub- sowie der Push- Pull- Methode unterstützt werden. Bei der Schubmethode wird der Scraper zusätzlich durch eine den Scraper schiebende Planier- raupe unterstützt (Bild 7-38). Da diese Unterstützung nur auf der Schürfstrecke erfolgt, ist der Einsatz einer Planier- raupe auf ca. 3 Scraper wirtschaftlich. Die Push-Pull- Methode wird bei Doppelmotorscrapern auch angewendet. Hierzu werden jeweils 2 Doppelmotorscraper kraftschlüssig miteinander verbunden: zunächst schiebt der hintere Scraper den vorderen und unterstützt so den Schürfprozess des ersten; bei der zweiten Überfahrt zieht dann der vordere den hinteren Scraper zusätzlich zu dessen eigener Schubkraft (Bild 7-39).

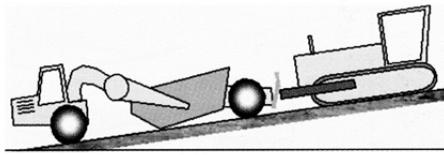


Bild 7-38: Schub- Methode [19]

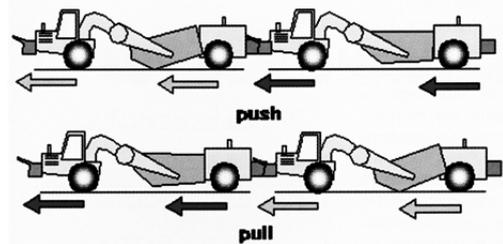
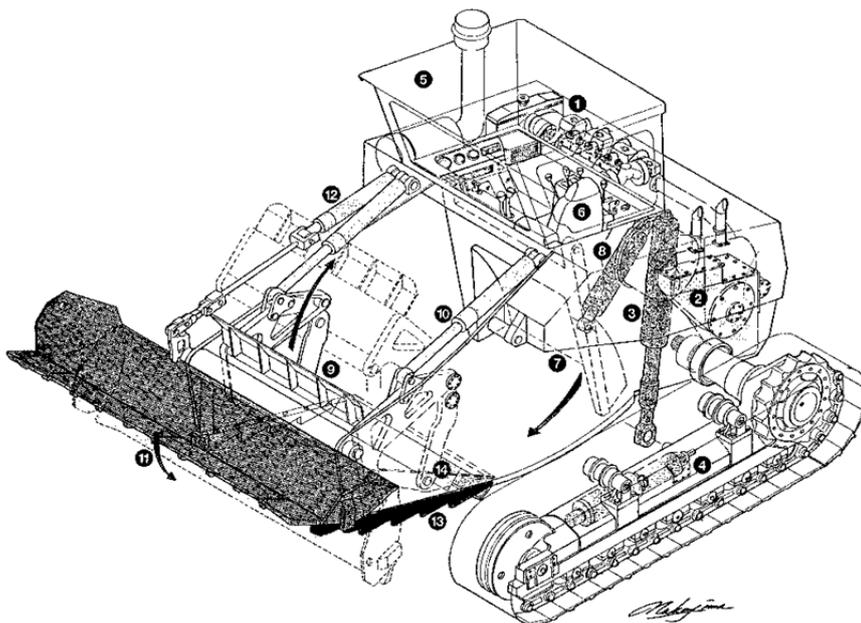


Bild 7-39: Push- Pull- Methode [19]

h) Schürfkübelraupe

Die Funktionsweise dieses Gerätes ist mit der des Scrapers vergleichbar (Bild 7-40). Be- und Entladevorgang werden analog vollzogen, d. h. Abschälen des Untergrundes und nach dem Transport schichtweises Anlegen des Materials (Bild 7-41). Das Gerät ist mit einem Raupenfahrwerk ausgerüstet. Dadurch ist das Gerät für schlechten Untergrund geeignet. Die Transportstrecken sollten, bedingt durch das Raupenfahrwerk, 350m nicht überschreiten (Bild 7-3).

Das Gerät ist in leicht sandigen bis mittelschwer tonigen Böden einsetzbar (Bild 7-4).



- | | |
|--|--------------------------|
| 1. NISSAN DIESEL V8-Doppelturbo-Motor | 8. Rückwandzylinder (2) |
| 2. Lastschaltgetriebe mit getrenntem vorgeschaltetem Wandler | 9. Klappe |
| 3. Hubzylinder (2) mit Speicherbehälter | 10. Klappenzyylinder (2) |
| 4. Raupenspannzylinder (2) mit Speicherbehälter | 11. Brustschild |
| 5. ROPS-Kabine kippar | 12. Schildzylinder |
| 6. Benutzerfreundlicher, komfortabler Fahrerraum | 13. Seitenscheider |
| 7. Rückwand | 14. Kübelschneiden |

Bild 7-40: Querschnitt/System Schürfkübelraupe [7]

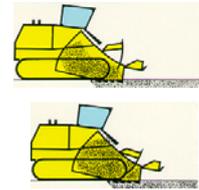
Schürfbeginn

Durch das Senken des Kübels wird dessen Schneide bis zur gewünschten Schürftiefe in das abzutragende Material vorgetrieben.



Schürfvorgang

Im 1. oder 2. Vorwärtsgang wird der Kübel gefüllt. Die Schürfstrecke beträgt je nach Schürftiefe und Materialbeschaffenheit ca. 10-25m und dauert rund 20 Sekunden. Dabei ist die Auflockerung des Materials geringer als bei üblichen Methoden.



Transport

Der Kübel wird nach Ende des Schürfvorganges leicht angehoben und das Material bis zu einer Transportdistanz von 500m, unter besonderen Verhältnissen auch weiter, mit einer Geschwindigkeit bis zu 14.5 km/h zum gewünschten Ziel gefahren.



Entleeren

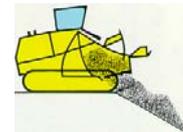
1. Materialauftrag: Das Material wird in gewünschter Stärke in Vor- oder Rückwärtsfahrt bei entsprechender Öffnung der Klappe mit der Rückwand ausgestossen und aufgebracht, ohne dabei das Material mit dem Raupenfahrwerk zu verdichten.



2. Schüttung: Örtlich oder auf Halde, bis 1.8m in einem Entleervorgang.



3. Böschungskante normal: Das Material wird direkt über die Böschungskante ausgestossen.



4. Böschungskante extrem: Das Material wird in einigem Abstand vor der Böschungskante ausgestossen und im nächsten Arbeitsspiel mit dem Schild hinuntergeschoben.

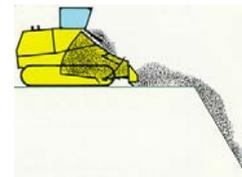


Bild 7-41: Sequenz Schürfkübelraupe [7]

i) Transportgeräte

Je nach Art und Grösse der Erdbaustelle werden für den Aushubtransport folgende Geräte verwendet:

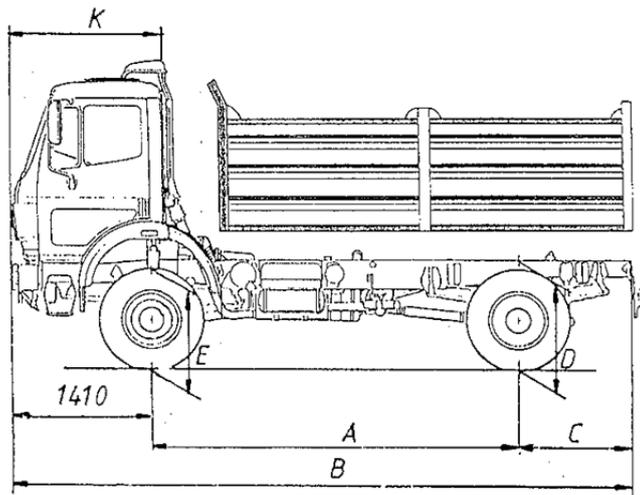
- Lastwagen (LKW) - Bild 7-42 und Bild 7-43
- Dumper - Bild 7-44
- Muldenkipper (SKW) - Bild 7-45
- Scraper - Bild 7-28

Der LKW-Einsatz auf Baustellen ist dann besonders systemgerecht:

- wenn die Transportentfernungen zwischen 500m und 25km liegen (Bild 7-3),
- wenn anschliessend der Transport auf öffentlichen Strassen fortgesetzt werden muss und

- wenn man günstige Subunternehmer mit baustellengängigen Standard-LKWs einsetzen kann.

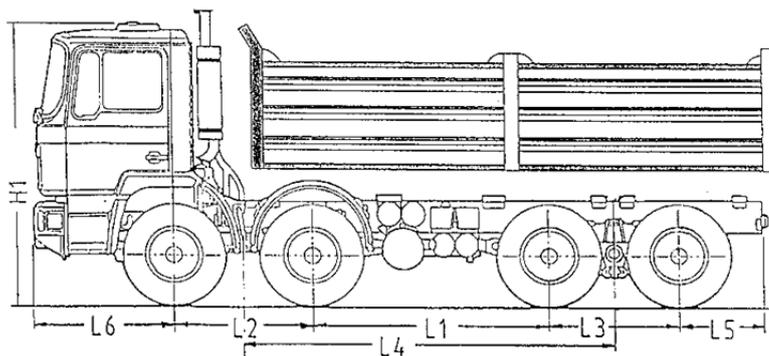
Die Baustellenwege müssen allerdings für einen effizienten Einsatz lückenlos befahrbar sein (s. a. Baustelleneinrichtung).



Muldeninhalt	6 m ³
Leistung	259 KW
Zul. Gesamtgewicht	19 to
Radstand	A = 3800 mm
Fahrgestelllänge	B = 6385 mm
Rahmenüberhang hinten	C = 1175 mm
Rahmenhöhe	D = 1283 mm
Radhöhe	E = 1178 mm
Führerhauslänge Standard	K = 1570 mm

Mercedes Benz 1935, 4x4, Allrad-Kipper [8]

Bild 7-42: LKW mit 2 Achsen [8]



Muldeninhalt	7 m ³
Leistung	309 KW
Zul. Gesamtgewicht	28 to
Radstand	L1 = 2000 mm
Radstand 1. bis 2. Achse	L2 = 1500 mm
Radstand 3. bis 4. Achse	L3 = 1350 mm
Technischer Radstand	L4 = 4025 mm
Rahmenüberhang hinten	L5 = 725 mm
Fahrzeugüberhang vorne	L6 = 1525 mm
Höhe über Führerhaus unbelastet	H1 = 3056 mm

MAN 32.422, 8x4, Kipper [9]

Bild 7-43: LKW mit 4 Achsen [9]

Dumper werden heute im Tunnelbau und innerhalb von Erdbaustellen eingesetzt. Diese Fahrzeuge sind aufgrund ihrer kinematischen Verdrehbarkeit und des Allradantriebes auch im Gelände ohne Baustellenbefestigung effizient einsatzfähig (Bild 7-44). Sie werden bei Transportentfernungen von 350m bis 20km eingesetzt.

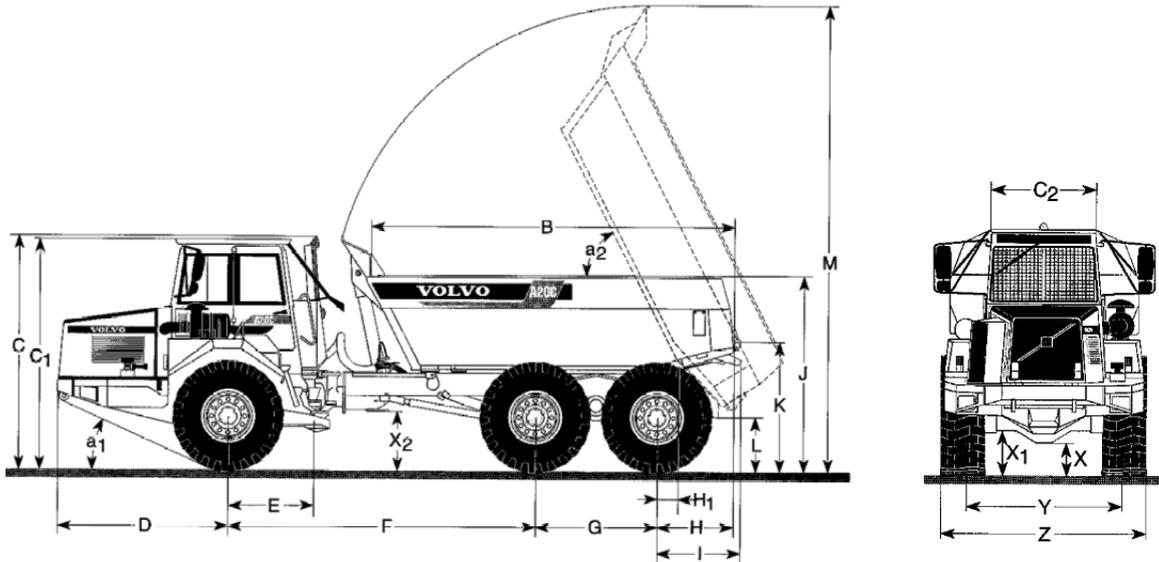
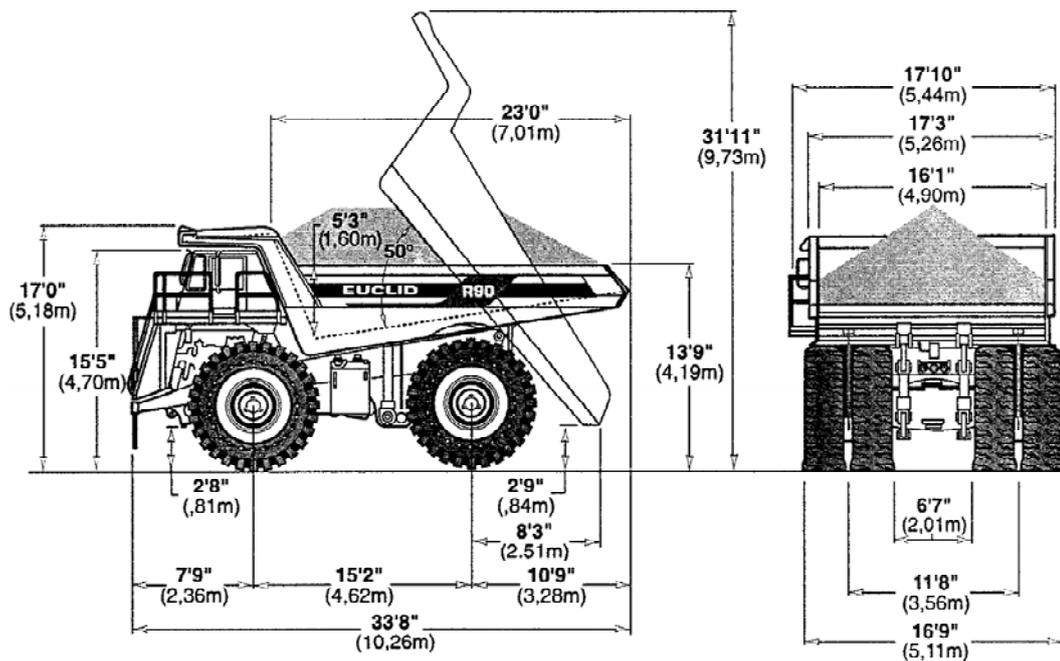


Bild 7-44: Dumper/Muldenkipper [10]

SKW-Muldenkipper werden nur auf sehr grossen Damm- und Erdbaustellen eingesetzt (Bild 7-45). Oft haben diese Fahrzeuge ein Gewicht im beladenen Zustand von über 60 to. Für diese Fahrzeuge müssen die Baustrassen besonders befestigt sein. Die Transportentfernung sollte mindestens 500m betragen.



Euclid R90

Bild 7-45: SKW-Muldenkipper für Erdtransport auf Grossbaustellen [11]

7.3 Gerätewahl

Sind Aushub- oder Abtrag-Arbeiten zu planen, so muss das Aushub-/Ladegerät auf die Transportgeräte abgestimmt werden.

Als günstiges **Verhältnis** zwischen **Ladefäss** (Schaufelinhalt) und Transportgefäss (Grösse der Lademulde) gilt eine Grössenordnung von **1 : 4**.

Zur Leistungsbestimmung sind verschiedene Daten des anstehenden Materials und der zu wählenden Geräte notwendig, um eine optimale Arbeitsweise festzulegen. Es sind dies:

- Auflockerung des Materials
- Füllfaktor je nach Material
- Spielzeit des Gerätes

Siehe hierzu das Leistungsermittlungshandbuch [16].

7.4 Erstellen des Planums

Beim Abtrag von Material für den Trasse- und Pistenbau, sowie für flächenhafte Fundationen wird der grösste Teil (je nach Aushub-/Abtragsflächen) mit grösseren Geräten bis auf das **Rohplanum** d. h. **30 - 100 cm über dem definitiven Planum** ausgeführt. Damit vermeidet man, dass das definitive Planum unnötigerweise von Grossgeräten zerfahren und durchfurcht wird, was besonders bei regnerischen Verhältnissen starke Lagerungsstrukturveränderungen des Bodens auslöst, was die Tragfähigkeit des Untergrunds reduziert.

Der Restabtrag sollte dann schonend mit Planierraupen erfolgen, sodass das definitive Planum entsprechend der ursprünglichen Bodenbeschaffenheit ansteht.

7.5 Schütten und Verdichten

Das Planum einer Dammschüttung sollte:

- dicht sein und den Dammkörper vor Wassereindringung schützen und ein Quergefälle von 4% aufweisen, damit Regenwasser zügig abgeführt wird.
- Verdichtung und Tragfähigkeit sollten den Wert $Me = 15 \text{ N/mm}^2$ (150 kg/cm^2) erreichen, dies wird mit Lastplattenversuchen geprüft.

Heute werden an das Planum erhöhte Anforderungen gestellt, im Besonderen für die feste Fahrbahn der Schnellfahrstrecken der Bahnen. Da die festen Fahrbahnen nicht oder nur sehr schwierig nachgerichtet werden können, ist eine einwandfreie flächige Verdichtung notwendig. Die Verdichtung wird kontinuierlich während der Überfahrt der Walze mittels Beschleunigungsmesser ermittelt. Diese werden mittels Lastplattenversuchen geeicht.

Planumsschichten werden oft, wenn sie feucht sind oder nicht ausreichend Festigkeit bzw. Tragfähigkeit aufweisen, mit Kalk oder Zement stabilisiert.

Proctorkurven werden zur Beurteilung der Verdichtbarkeit in Abhängigkeit von Raumgewicht und Wassergehalt aufgestellt. Die Eignungskriterien für Schüttmaterial können aus Bild 7-46 und Bild 7-47 entnommen werden. Beim Einbau des Schüttma-

terials spielt die Frostempfindlichkeit eine grosse Rolle. Die Beurteilung kann aus Bild 7-48 entnommen werden.

Die Verdichtung bzw. Verdichtbarkeit von Schüttmaterial wird mittels Proctorkurve (Bild 7-49) bestimmt.

a) Gebrochenes Felsgestein

Felsgestein ist prinzipiell als Dammschüttmaterial gut geeignet, wenn es wasser- und witterungsbeständig ist, beim Verdichten nicht splittert und ausreichende Druckfestigkeit, Rauigkeit und Verzahnung aufweist. Günstig sind kompakte, unregelmäßig gebrochene Steine, ungünstig ist schieferiges, schmieriges Gestein. Bei Steindämmen sind dicke Schüttlagen und schwere Baugeräte erforderlich.

b) Grobkörnige, rollige Böden

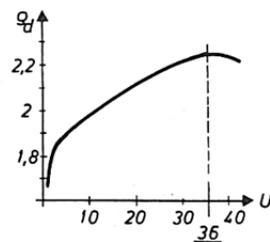
Das Verdichtungsmaß ist stark vom Ungleichförmigkeitsgrad abhängig: $\rho_d = f(U)$, die FULLERparabel mit $U = 36$ gibt das Hohlraumminimum an.

Kies weitgestuft: gut verdichtbar, wenig verformbar

Sand weitgestuft: mittlere Güte

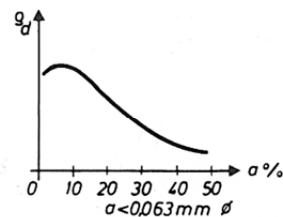
Sand enggestuft: nur unvollständig verdichtbar, Verkehrsbelastung bewirkt ungünstige Nachverdichtung, Wasserempfindlichkeit besonders bei feinen Sanden.

Tendenz-Skizzen:



c) Gemischtkörnige, rollig und bindige Böden

Kies-Sand-Gemische mit etwas bindigen Kornanteilen sind am höchsten verdichtbar, da der kleinste Hohlraumanteil möglich ist. Mit steigendem bindigen Gehalt nimmt die Bodendichte wieder ab: $\rho_d = f(a < 0,063 \text{ mm } \phi)$. Mergelige und grobschluffige Böden sind wasserempfindlich.

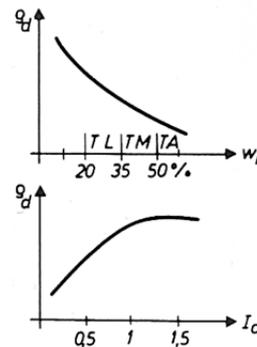


d) Feinkörnige, bindige Böden

Die Verdichtbarkeit bindiger Böden ist vom Bindigkeitsgrad und der Bodenkonsistenz abhängig. Die Bindigkeit ist über die ATTERBERGSche Fließgrenze deutbar: $\rho_d = f(w_L)$, die Konsistenz ist nach DIN definiert (s. Tafel 3/4): $\rho_d = f(I_c)$.

Je bindiger und je weicher ein Boden ist, desto geringer sind Verdichtbarkeit, Tragfähigkeit und Standfestigkeit.

Für ausreichende Dichte sind halbfeste Konsistenz $I_c > 1$ und Luftanteile von höchstens $n_a \leq 12\%$ notwendig, da sonst nachträgliche Aufweichungen möglich sind.



e) Organische Böden

Organisch-sandige -tonige Mischböden wie humoser Sand, Schlack, Klei u. a. sind nur mäßig verdichtbar, da sie federnd und schwammig wirken. Stark organische Böden wie Faulschlamm, Seekreide und Torf sind als Schüttmaterial ungeeignet.

Bild 7-46: Schüttmaterial; Eignung und Verdichtbarkeit [1]

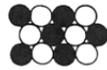
a) Kornlagerung



Theoretische Maximaldichte: Kornfestmasse, hohlraumfrei
 $\bar{\rho}_d = \rho_s = 2,66 \text{ g/cm}^3$ für Quarzmineral



Praktisch größte Dichte bei schwachbindigem, ungleichförmigem Kies
 $\bar{\rho}_d \leq 2,25 \text{ g/cm}^3$ nach Proctor verdichtet beim optimalen Wassergehalt
 günstigste Körnung nach der FULLERparabel $a = \sqrt{d/\max d}$ mit $U = 36$



Dichteste Kugellagerung
 $\rho_d = 1,97 \text{ g/cm}^3$ für Quarzmineral



Dichte Lagerung von hochplastischem Ton in halbfestem Zustand
 $\rho_d \geq 1,5 \text{ g/cm}^3$ nach Proctor verdichtet beim optimalen Wassergehalt



Lockerste Kugellagerung (unstabil)
 $\rho_d = 1,39 \text{ g/cm}^3$ für Quarzmineral



Lockere Lagerung von weichen bindigen Böden
 $\rho_d < 1,0 \text{ g/cm}^3$ $w \gg w_{\text{optimal}}$; Wabenstruktur

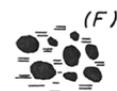
b) Mischbodentheorie von FLOSS/SIEDECK/VOSS [56]



(G) Grobkornwirkung:
 Grobkörner bilden Korngerüst,
 die Feinteilchen sind dazwischen eingelagert

$$\rho_{dM} = \frac{\rho_{dG}}{a_G} \cdot \frac{\text{Trockendichte Grob}}{\text{Anteil Grob}}$$

ρ_{dM} = Trockendichte Mischboden

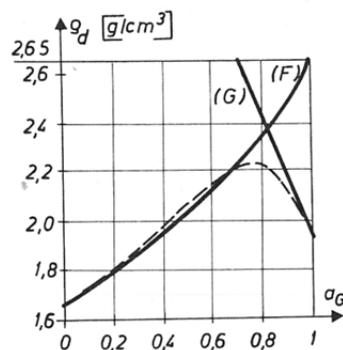


(F) Feinkornwirkung:
 Feinkörner als Hauptmasse,
 die Grobkörner sind lose darin eingelagert

$$\rho_{dM} = \frac{\rho_{dF} \cdot \rho_{sG}}{\rho_{sG} - a_G(\rho_{sG} - \rho_{dF})}$$

ρ_{dF} = Trockendichte Fein
 ρ_{sG} = spez. Korndichte Grob

c) Beispiel



Steiniger Kies, tonig: $\rho_{sG} = 2,65$; $\rho_{dG} = 1,95$;
 $\rho_{dF} = 1,65 \text{ g/cm}^3$

a_G	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
(G)	∞	9,75	4,9	3,25	2,45	1,95
(F)	1,65	1,8	1,95	2,1	2,35	2,65

Die Dichtekurve der *Kornmischung* liegt etwa zwischen den theoretischen Linien (G) und (F).

Bild 7-47: Bodendichte; Trockendichte als Gütemass [1]

a) Frostproblem

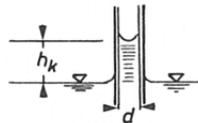
Frostschaden: Bodenhebung

Tauschaden: Bodeneinbruch



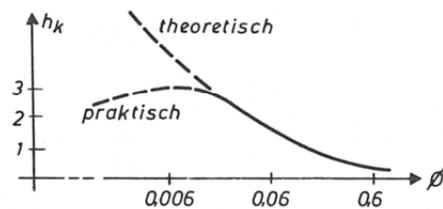
Besonders frostempfindlich sind schwach durchlässige Böden mit hoher Kapillarität: schluffig-tonige Sande und Kiese, Feinsand-Grobschluff-Böden (Löß, Mehlsand, Schwemmsand) und leichtplastische feinkörnige Böden.

b) Kapillarität



Der Wasseranstieg in den Porengängen des Bodens ist ähnlich dem Wasseranstieg in einem Kapillarröhrchen. Die kapillare Steighöhe h_k wächst mit kleiner werdendem Durchmesser d . Der Anstieg ist nach KÉZDI [92] begrenzt, da bei $h_k > 10$ m die Wassersäule infolge der Zugspannungen im Kapillarwasser

abreißt und außerdem die zu engen Porengänge der stark plastischen Böden keine freie Wasserbewegung mehr zulassen. Nach Messungen von [97], [120], [98], [32] u. a. nimmt die kapillare Steighöhe vom Kies über Sand zum Grobschluff zu und fällt vom Feinschluff zum tonigen Feinkorn wieder ab in etwa folgender Größenordnung:



Boden	Korn \varnothing [mm]	h_k [m]
Grobsand	2,00–0,40	0,15
Feinsand	0,40–0,06	1
Grobschluff	0,06–0,01	3
Feinschluff	0,01–0,002	2,5

c) ZTVE-Klassifizierung

Die Bodenreihenfolge in der Tab. von GW bis GÜ gibt den Grad der Empfindlichkeit an.

F1	nicht frostempfindlich	GW, GI, GE SW, SI, SE
F2	gering bis mittel frostempfindlich	TA OT, OH, OK TM ST, GT SU, GU
F3	sehr frostempfindlich	TL UL, UM OU ST̄, GT̄ SÜ, GÜ

Die Klasse F1 kann als Baustoff für Frostschutzschichten verwendet werden, wenn folgende Körnungsbedingungen erfüllt sind:

höchstens 5% Korn $\varnothing \leq 0,063$ mm
höchstens 7% Korn $\varnothing \leq 0,063$ mm nach Einbau

mindestens 20% Korn $\varnothing \leq 2$ mm
höchstens 30% Korn $\varnothing \geq 20$ mm in den oberen 20 cm

Die Böden ST, GT, SU, GU können in Klasse F1 eingeordnet werden, wenn der Kornanteil 0,063 mm

bei $U \geq 15$ unter 5% und
bei $U \leq 6$ unter 15% liegt

Bild 7-48: Frostempfindlichkeit des Schüttmaterials [1]

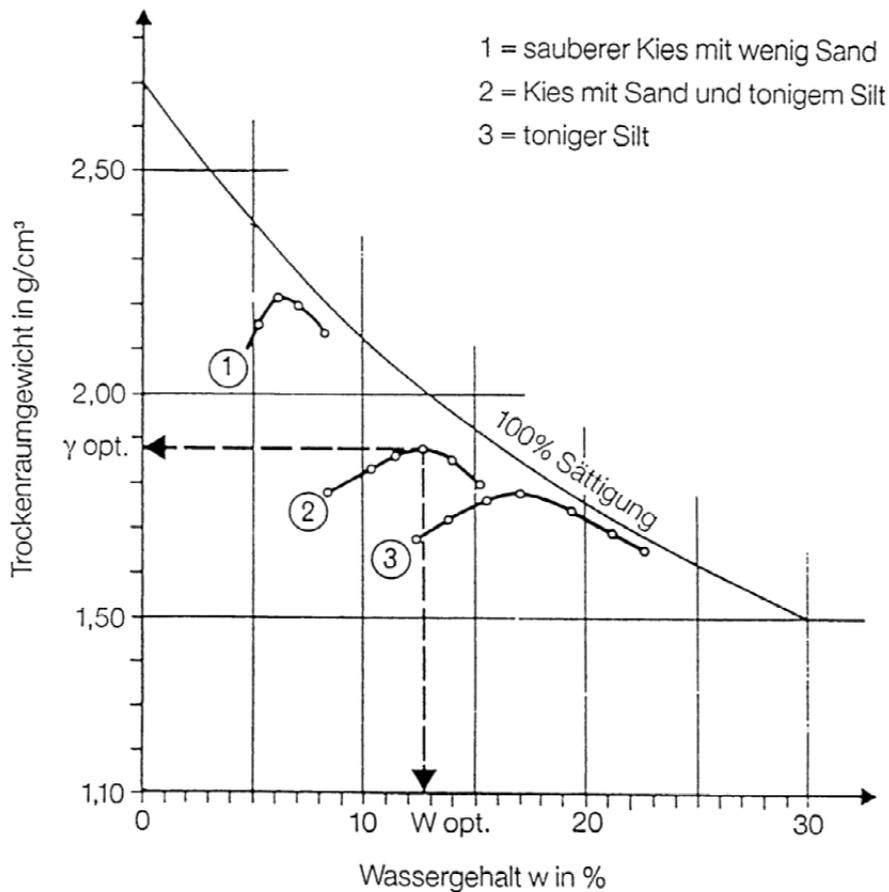


Bild 7-49: Proctorkurven verschiedener Böden nach [12]

7.5.1 Verdichtungsgeräte

Als **Verdichtungsgeräte** können je nach den vorhandenen Untergrundverhältnissen bzw. den geschütteten Materialien folgende Gerätearten zum Einsatz kommen (Bild 7-50):

- statisch wirkende Geräte (drückend und knetend wirkend)
- vibrierende Geräte
 - Einplattenvibratoren bis 3,5 t
 - Vibrationswalzen selbstfahrend 0,5 - 8 t
 - Anhängewalzen 3 - 13 t
 - stampfende Geräte

Die Eignungsbereiche und technischen Daten von verschiedenen Verdichtungsgeräten sind in Bild 7-51 dargestellt.

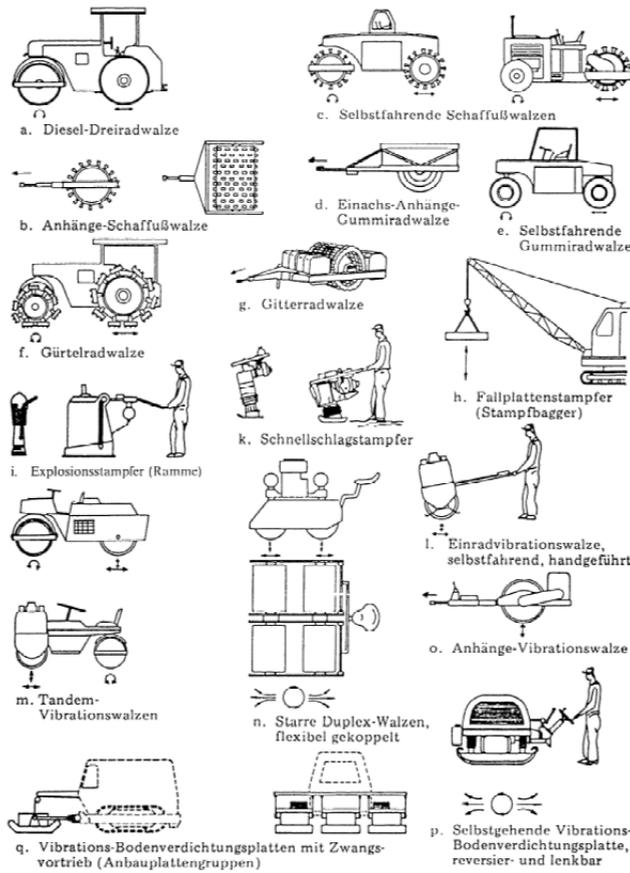


Bild 7-50: Verdichtungsgeräte [13]

Statische Glatzwalzen (Dreiradwalzen)					
Eignungsbereich	Nicht bindige bis leicht bindige Böden				
Betriebsgewicht	t	2,5-4,5	4,5-7,0	7,0-10	10-15
Arbeitsbreite	m	1,00-1,50	1,45-1,75	1,50-1,95	1,80-2,10
Motor	PS	10-16	16-30	22-36	30-55
Arbeitsgeschwindigkeit	km/h	1,5-3,0	1,5-3,0	1,5-3,0	1,5-3,0
Verdichten:					
Schichtstärke, lose	cm	10	15	20	25
Arbeitsgänge	Anzahl	4-8	4-8	4-8	4-8
Gitterwalzen					
Eignungsbereich	Nicht bindige bis leicht bindige Böden				
Betriebsgewicht	t	15			
Leergewicht	t	6			
Trommel	m	1,70			
durchmesser	m	1,70			
Arbeitsbreite	m	1,75			
(Doppelwalze)	m	1,75			
Bodenpressung	kg/cm ²	bis 55			
Arbeitsgeschwindigkeit	km/h	2,4-4,8 (mit Raupentaktor)			
Verdichten:					
Schichtstärke, lose	cm	20-40			
Arbeitsgänge	Anzahl	4-8			
Breitfuß-, Igel- und Schafffußwalzen					
Eignungsbereich	Breitfußwalzen		Igel- und Schafffußwalzen		
Eignungsbereich	Nicht bindige bis bindige Böden		Leicht bindige bis bindige Böden		
Betriebsgewicht	t	18	2,4	8,3	
Leergewicht	t	8,5	1,5	3,5	
Trommel	m	1,70	1,00	1,50	
durchmesser	m	1,70	1,00	1,50	
Arbeitsbreite	m	1,75	1,22	1,50	
(Doppelwalze)	m	1,75	1,22	1,50	
Füße pro Rolle	Anzahl	90	112	112-120	
Kontaktfläche	cm ²	135	39-45	39-45	
pro Fuß	cm ²	135	39-45	39-45	
Bodenpressung	kg/cm ²	10-20	9,5-10,5	28-35	
Arbeitsgeschwindigkeit	km/h	2,4-4,8	2,4-4,8	2,4-4,8	
Verdichten:					
Schichtstärke, lose	cm	20-40	20-25	20-30	
Arbeitsgänge	Anzahl	4-8	8-16	8-16	

Vibroglatwalzen	Selbstfahrende Walzen Doppel	Tandem	Anhänge- walzen		
Eignungsbereich Nicht bindige Böden					
Betriebsgewicht	t 1-1,5	6,5	1-2	2,5-5	3-5
Arbeitsbreite	cm 90	200	80-90	90-110	140-190
Motor	PS 12	50	8-12	12-20	25-50
Vibration	Frequenz/sec 40	40	65	40	25
Arbeits- geschwindigkeit	km/h 1-2	1-2	1-2	1-2	1-3
Verdichten:					
Schichtstärke, lose	cm 20-30	30-50	20-30	20-40	30-50
Arbeitsgänge	Anzahl 2-4	2-4	2-4	2-4	2-4
Pneuwalzen					
Selbstfahrende Pneuwalzen		Anhänge- Pneuwalzen			
Eignungsbereich Nicht bindige bis bindige Böden					
Betriebsgewicht	t 8-15	15-30	27	45-55	90
Leergewicht	t 3-7	8-15	5-8	13	17
Anzahl Pneus	vorne 3-5	3-5	4	4	4
	hinten 4-6	4-6			
Arbeitsbreite	m 1,70-2,20	2,20-2,40	1,80	2,85	3,20
Pneudruck	kg/cm ² 2,0-8,0 var.	2,0-8,0 var.	2,0-8,0 var.	2,0-8,0 var.	2,0-8,0 var.
Motor	PS 35-90	70-130	-	-	-
Arbeits- geschwindigkeit	km/h 3,0-9,0	3,0-9,0	1,8-6,0	1,8-6,0	1,8-6,0
Verdichten:					
Schichtstärke, lose	cm 15-30	20-40	30-50	35-70	40-80
Arbeitsgänge	Anzahl 4-8	4-8	3-6	3-6	3-6
Einplattenvibratoren					
Eignungsbereich Nicht bindige Böden					
Betriebsgewicht	t 0,2-0,45	0,5-0,6	1,5-1,8	2,5	
Arbeitsbreite	m 0,50-0,70	0,60-0,70	1,00-1,20	1,00	
Grundfläche	m ² 0,25-0,50	0,50-0,70	0,80-1,90	1,00	
Bodenpressung					
statisch	kg/cm ² 0,05-0,10	0,09-0,12	0,08-0,22	0,25	
dynamisch	kg/cm ²	ca. 0,55	ca. 0,55	28	
Motor	PS 6-8	6-11	10-16	28	
Vibration	Frequenz/sec 35	35	25	30	
Arbeits- geschwindigkeit	km/h 0,4-1,2	bis 0,6	0,5-1,2	1,0-1,4	
Verdichten:					
Schichtstärke, lose	cm 15-20	15-30	20-50	25-60	
Arbeitsgänge	Anzahl 2-4	2-4	2-4	2-4	
Mehrplattenvibratoren		mit Pneufahrwerk		mit Raupenfahrwerk	
Eignungsbereich Nicht bindige Böden					
Betriebsgewicht	t 3,5-6,0			8,0	
Maximale Arbeitsbreite	m 4,00			4,00	
Vibroplatten	Anzahl 2-6			4-6	
Vibrationsantrieb	elektrisch	hydraulisch	elektrisch	Keilriemen	
Vibration	Frequenz/sec bis 70	bis 35	bis 45	bis 40	
Antriebsmotor	PS bis 60	bis 80	40-100	40-100	
Arbeits- geschwindigkeit	km/h 0,2-2,0	0,2-2,0	0,2-2,0	0,2-2,0	
Verdichten:					
Schichtstärke, lose	cm 25-50	20-40	25-50	20-40	
Arbeitsgänge	Anzahl 2-4	2-4	2-4	2-4	

Bild 7-51: Eigenschaften von Verdichtungsgeräten und Eignungsbereiche nach [15]

7.5.2 Statisch wirkende Verdichtungsgeräte

Statisch wirkende Verdichtungsgeräte verdichten Böden von der Oberfläche durch die Druckeinwirkung des Verdichtungsgerätes oder durch Kneten des Bodenmaterials. Der Verdichtungseffekt wird dabei durch das Gewicht der eingesetzten Walze und gegebenenfalls durch die eingesetzten Knetwerkzeuge erzielt.

Die **Glattradwalze** wird zum Verdichten von nicht bindigem (kiesig-sandigem) bis leicht bindigem Material eingesetzt. Da sich das Gewicht der Walze auf die ganze Walzenbreite verteilt, ist der spezifische Bodendruck, und damit auch die Tiefenwirkung, relativ gering. Bei einer 15 t-Walze dürfen z.B. die losen Schichten nicht mehr als 25 cm betragen, um eine gute Verdichtung zu erreichen (Bild 7-52).

Schaffuss- und Igelwalzen wirken sowohl auf Grund ihres Gewichtes, als auch auf Grund der Form der Walze, die ein Durchkneten des Bodens bewirkt, verdichtend. Sie eignen sich zum Verdichten von **leicht bindigem bis bindigem** Material und gestatten lose Schichtstärken von bis zu 30 cm zu verdichten (Bild 7-52).

Pneuwalzen wirken durch ihr Gewicht wie aber auch durch die **knetende, walkende Bewegung** der Gummiräder. Sie kommen bei nichtbindigen und bindigen Böden zum

Einsatz. Die Variation des Innendrucks der Pneu und des Gewichtes der Walze ermöglichen einen breiten Einsatzbereich von Pneuwalzen.

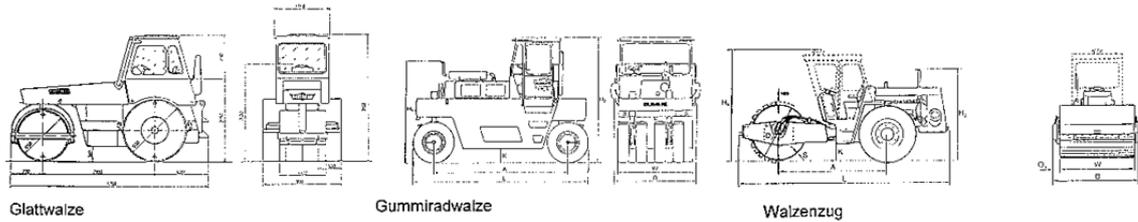


Bild 7-52: Verdichtungsgeräte – statische Walzen [14]

Die Erhöhung des Reifeninnendrucks bewirkt eine verringerte Aufstandsfläche, wodurch schliesslich der Druck auf den zu verdichtenden Boden erhöht wird. Die Erhöhung des Walzengewichtes bewirkt bei konstantem Reifeninnendruck eine vergrösserte Aufstandsfläche. Bild 7-53 zeigt die damit verbundene vergrösserte Tiefenwirkung der Pneuwalze.

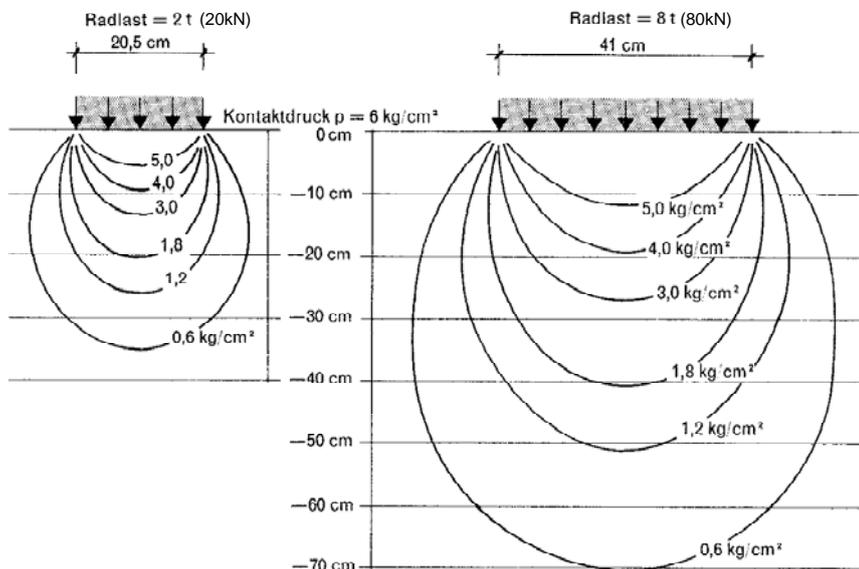


Bild 7-53: Tiefenwirkung Pneuwalze bei unterschiedlicher Radlast

Pneuwalzen mit Betriebsgewichten bis 30 t können lose Schüttungen bis 40 cm verdichten. Anhängerpneuwalzen gibt es bis zu Betriebsgewichten von 90 t.

7.5.3 Vibrierende Geräte

Vibrierende Verdichtungsgeräte wirken durch ihre statische Last in Kombination mit einer erzeugten Schwingung. Die Schwingungen rütteln das Korngefüge des zu verdichtenden Materials und lagern es um. Das Porenvolumen wird kleiner und das Bodenmaterial damit verdichtet. Die vibrierenden Verdichtungsgeräte eignen sich besonders gut für kiesig-sandiges Bodenmaterial (Bild 7-56).

Durch **Veränderung von Frequenz** (Schwingungszahl) und Amplitude lässt sich für ein bestimmtes Material die **Verdichtung optimieren**.

Wirkungsweise der Unwuchten

Um eine kontrollierte Verdichtung zu erzielen ist der paarweise Einsatz von Unwuchten erforderlich. Dabei ist durch gegenseitiges Drehen der Unwuchten die Elimination

der Horizontalkomponenten der Fliehkraft möglich, wodurch eine definierte Vibration in Vertikalrichtung erzeugt werden kann (Bild 7-54).

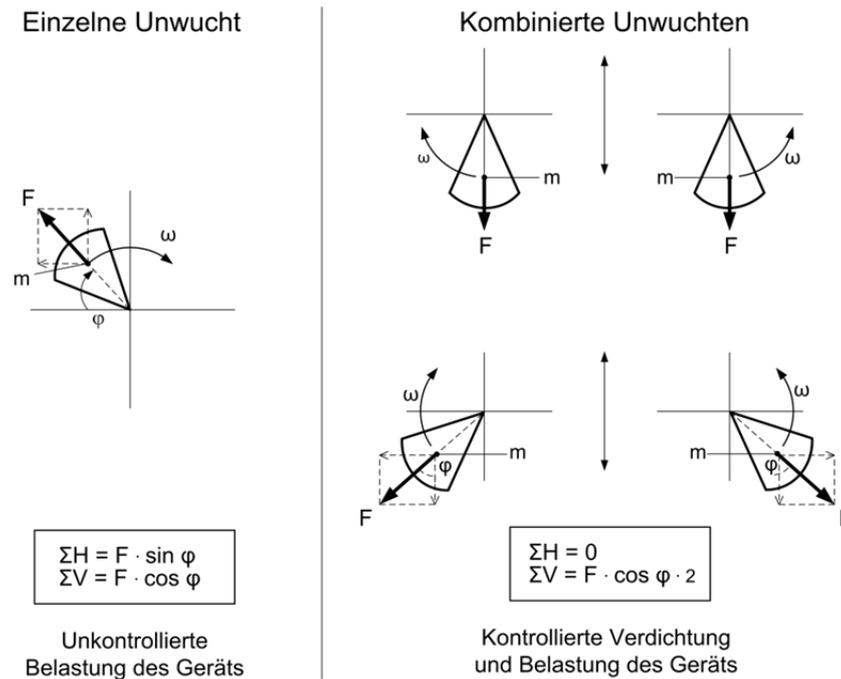
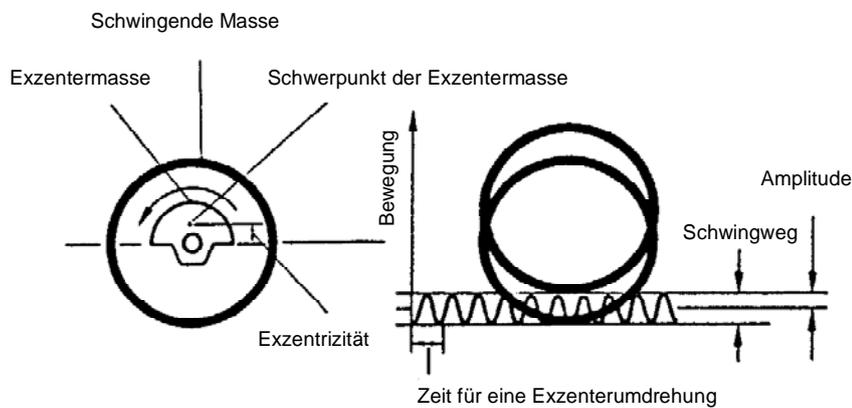


Bild 7-54: Wirkungsweise der Unwuchten bei Vibrationswalzen

Die Abhängigkeit von Schwingfrequenz der Exzentermassen und der Fahrgeschwindigkeit auf die Schichtverdichtungshomogenität ist in Bild 7-55 dargestellt.

Vibrationserzeugung durch rotierendes Extendergewicht



Geschwindigkeit und Vibrationsabstand

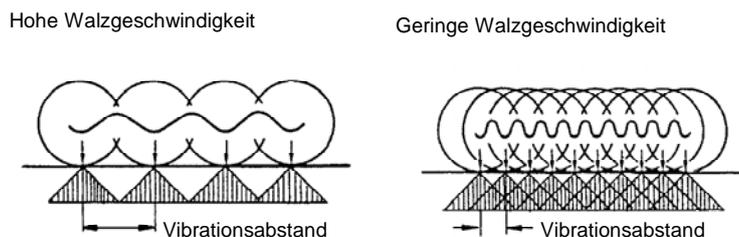


Bild 7-55: Vibrationsverdichtung [5]

a) Einplatten-Vibratoren

Diese Geräte mit **Gewichten bis 2,5 t** lassen sich bei bis zu **30 cm losen Schichtstärken** einsetzen. Infolge der begrenzten Plattengröße eignen sie sich zur Verdichtung von nichtbindigem Material auf kleineren Baustellen, wenn die Schüttungen örtlich begrenzt sind.

b) Vibrationswalzen

In der selbstfahrenden Version haben sie Betriebsgewichte von 0,5 - 8 t (Bild 7-56), in der angehängten Version sind es Gewichte von 3 - 13 t (Bild 7-57).

Vibrationsverdichtung bei nichtbindigen Böden (Kies / Sand / Felsausbruchmaterial) erfolgt durch das Eindringen von Druckwellen ins Gefüge des Materials. Die einzelnen Körner werden in Bewegung versetzt, die innere Reibung wird reduziert und die Materialkörner so umgelagert, dass sie eine dichtere Lagerung annehmen (Reduktion des Porenvolumens).

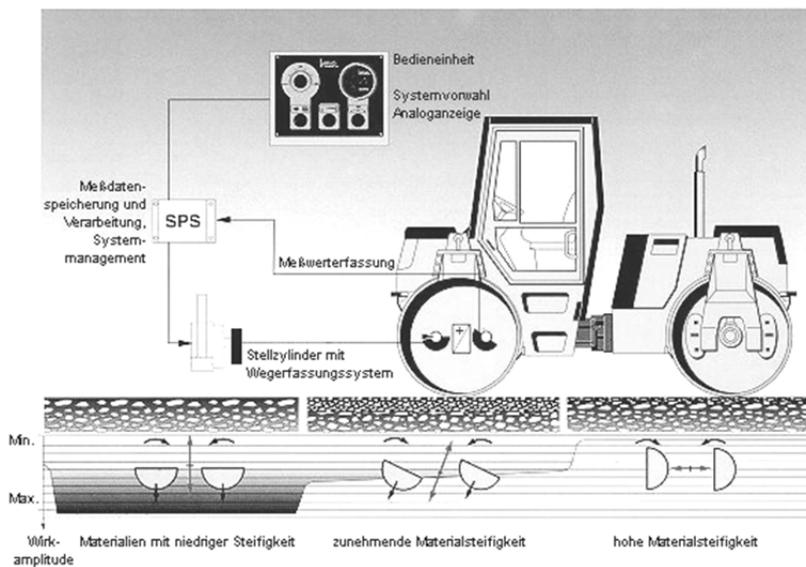


Bild 7-56: Vibrationswalze mit automatische Verdichtungskontrolle [14]

Bei bindigen Böden muss die Kohäsion im Verdichtungsprozess überwunden werden. Dies geschieht dadurch, dass im Schwingungszustand Schub- und Druckkräfte kombiniert werden. Dabei werden diese Kräfte statisch durch das Gewicht des Verdichtungsgerätes und dynamisch durch die Druckwelle des Rüttlers erzeugt.

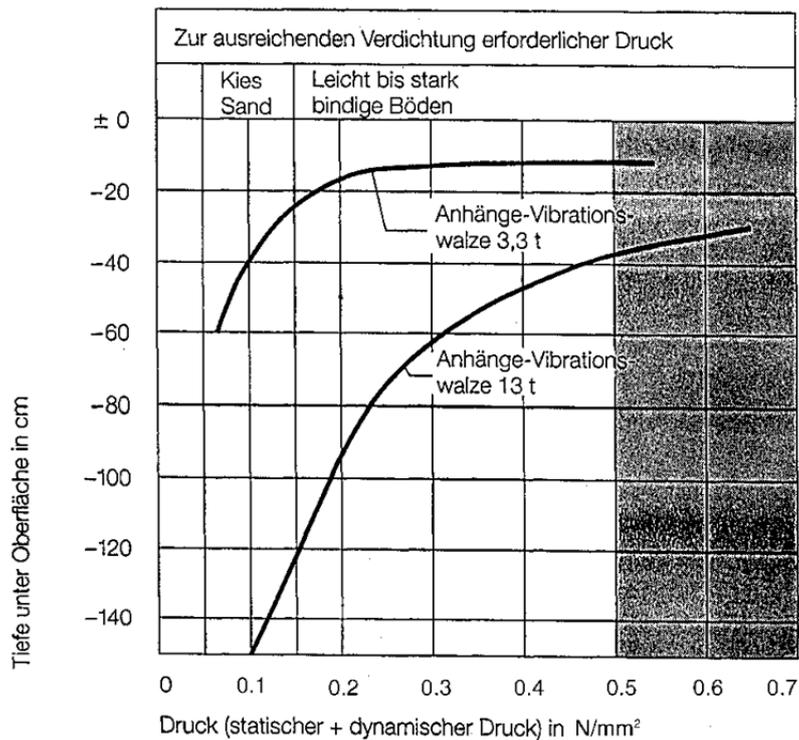


Bild 7-57: Anhängewalzen und Verdichtungstiefe

Wird bei bindigen Böden eine gute Verdichtung angestrebt, so ist bei wachsender Kohäsion ein grösserer Druck erforderlich.

Aus der Erfahrung kann gesagt werden, dass bei **kiesig-sandigen Böden** mit einer **Druckbelastung von 0,05-0,1 N/mm² (0,5 - 1 kg/cm²)** durch das Vibrieren eine gute Verdichtung erzielt werden kann. Bei **stark bindigen tonigen Böden** sind hingegen **0,5-0,8 N/mm² (5-8 kg/cm²)** für eine gute Verdichtung notwendig.

Das Bild 7-57 zeigt, dass eine 3,3 t Vibrationswalze 50 cm Kiessand verdichten kann, jedoch nur 10 cm bindigen Boden. Für die 13 t Vibrationswalze sind es 150 cm bzw. 40 cm.

7.5.4 Stampfende Vibrations-Geräte

Zu den stampfenden Geräten gehören Stampfplatten, Explosionsstampfer ("Frösche") und Druckluftstampfer. Diese Geräte werden nur für kleinere Arbeiten wie Hinterfüllungen, Verdichten von Gräben etc. verwendet.

7.5.5 Geräteanwendungsbereich

Das Einsatzspektrum der verschiedenen Verdichtungsgeräte kann qualitativ aus Bild 7-58 entnommen werden.

In Bild 7-59 sind qualitative und quantitative Angaben zur Verdichtung verschiedener Bodenarten zu finden.

Ton	Silt	Sand	Kies	Fels	Verdichtungswirkung
Statische Glattmantelwalze					Statischer Druck
Schaffussswalze					Statischer Druck, Kneten
Selbstfahrende Pneuwalze					Statischer Druck, Kneten
Schwere Anhängewalze					Statischer Druck, Kneten
Selbstfahrende Vibrationswalze					Statischer Druck, Vibration
Schwere Vibrations-Anhängewalze					Statischer Druck, Vibration
Vibrations-Schaffussswalze			Vibr. Tam-pingwalze		Statischer Druck, Vibration, Kneten

Bild 7-58: Übersicht Anwendungsbereich von Verdichtungsgeräten

Geräteart	Lockergestein			Lockergestein			Lockergestein			Fels			Baustellenbedingungen			
	grobkörnig, nicht bindig			feinkörnig (bindig), bindige Sande			gemischtkörnig (bindig, schwach steinig)			Steine und Blöcke bis 400 mm nicht bindig			Arbeitsfläche		Bauwerks-hinterfüllung	Leitungs-gräben
	E	[cm]	n [-]	E	H	Ü	E	H	Ü	E	H	Ü	eng	frei		
statisch																
Glattmantelwalze	+	10-20	4-8	+	10-20	4-8	+	10-20	4-8				+	+		
Schaffussswalze				++	20-30	8-12	+	20-30	8-12				+	++		
Gummiradwalze				++	20-30	6-10	++	20-30	6-10				+	20-30	8-12	
				++	30-50	6-10	++	30-40	6-10				++	++		
Gürtelradwalze				++	20-30	6-8	++	20-30	6-8				++	++		
Gitterradwalze				+	20-30	6-10	++	20-30	6-10				+	30-40	8-12	
dynamisch																
Fallplatte				+	50-70	4	++	50-70	4	++	50-80	4	++	+		
Explosionsstamper	+	20-50	3-5	++	20-40	3-5	+	20-50	3-5	+	30-50	3-5	++	+		+
Schnellschlagstamper	+	20-40	2-4	+	10-20	2-4	+	20-30	2-4				+			++
Anhängewalze				++	30-50	3-5		20-40	3-5				+	++		++
				++	40-60	3-5	+	20-30	3-4	++	30-50	3-5	+	40-60	4-6	
				++	50-80	3-5	+	30-40	3-4	++	40-60	3-5	++	50-100	4-6	
Doppelvibrationswalze				++	20-40	4-6	+	10-20	5-8	+	20-30	5-8	++	++		+
				++	30-50	4-6	+	10-30	5-8	++	20-40	5-8	+	30-50	5-8	++
Vibrationstamperwalze				++	20-40	4-6							++	++		+
				++	30-50	4-6							++	++		+
Vibrations-schaffussswalze				+	30-50	3-5	++	20-40	6-10	++	20-40	6-10	++	30-50	6-10	+
Rüttelplatten				++	20-40	5-8				+	10-20	5-8	++	+		++
				++	30-60	4-6				+	20-40	4-6	++	30-50	4-6	++

Legende: E Eignung, g Schütthöhe, n Anz. Übergänge, ++ empfohlen, + meist geeignet

Bild 7-59: Systemgerechter Einsatz von Verdichtungsgeräten [13]

7.5.6 Organisation der Verdichtungsarbeiten

Folgende Aspekte müssen für die **Wahl der Verdichtungsgeräte** beachtet werden:

- Eigenschaften und Art des zu verdichtenden Materials
- Geräteeignung für vorhandenes Material
- Geräteverfügbarkeit in der Firma, in der ARGE oder bei externen Vermietern
- Menge des zu verdichtenden Materials
- Erforderliche Leistungskapazität in den Elementarprozessen Abtrag, Transport, Schütten und Verdichten
- Geometrische Abmessungen der Schüttungen

Nach Auswahl der Geräte erfolgt die **Einsatzplanung** in folgenden Schritten:

- Festlegen der Anforderungen an die vorgesehenen Geräte bzgl. Der Operationsparameter Ballast, Pneudruck, Amplitude und Frequenz der Vibrationen
- Festlegen der Schütthöhe (lose) und der Anzahl Übergänge
- Detailplanung der Abläufe der gesamten Baustelle.

Die Abbau-, Transport- und Einbauleistung muss aufeinander abgestimmt werden. Damit kann das Zwischendeponieren umgangen und gleichzeitig können Kosten gespart werden. Sind bei den Abtrags- und Schütтарbeiten **Kunstabauten** (Bsp. grössere Brücken oder Tunnels) zu erstellen, so sind die Kunstabauten terminlich vorzuziehen.

7.5.7 Ausführung von Schütt- und Dammbauarbeiten

Die folgenden Hinweise sind beim Schütten zu beachten:

- Das Verdichten, speziell bei bindigen Böden, ist stark **vom Wassergehalt abhängig**. Trockenes Material lässt sich schlecht verdichten, zu nasses Material kann überhaupt nicht verdichtet werden.
- Mit den gebräuchlichsten Geräten lassen sich nur Schichten von bis zu 30/40 cm verdichten. Diese Schichten vermögen jedoch oft die schlechtere Tragfähigkeit des Unterliegermaterials nicht zu überbrücken.

Folgende Regeln und Hinweise bei Schütt- und Verdichtungsarbeiten sollten beachtet werden:

- Bei der Verarbeitung von bindigem Schüttmaterial sollte der Wassergehalt nicht mehr als $\pm 2\%$ vom Optimalen abweichen.
- Trockenes Material kann befeuchtet werden (mit Tankfahrzeug).
- Nasses Material muss austrocknen. Durch Aufreissen mittels Scheibenegge oder Ripper bzw. durch Beigabe von gebranntem Kalk oder Zement kann das Wasser gebunden und die Schicht verfestigt werden.
- Material muss entsprechend seiner Güte eingebaut werden: schlechteres Material unten, besseres Material oben (Dammverbreiterung von oben nach unten)
- Abwalzen der Schüttstellen vor Gewittern und Arbeitsunterbrüchen.
- Vorverdichten des Unterliegermaterials vor Beginn der Schütтарbeiten.

- Bei Vorliegen von grobblockigem Moränenmaterial aus Felsausbruch werden zweckmässigerweise Gitter- oder Tampingwalzen, Stampfplatten oder Anhängewibrowalzen verwendet.
- Grobblockiges Material mit feinerem überschütten oder mischen.
- Anschlüsse an Bauwerke müssen besonders gut verdichtet werden (mehrere Arbeitsdurchgänge) oder es müssen Schlepp-Platten vorsehen werden.
- Der Damm sollte je Seite um 1m breiter geschüttet werden, damit sich die ganze Dammbreite gut verdichten lässt. Nach der Verdichtungsarbeit ist die Überschüttung abzutragen. Das Material kann dann zur Dammfussausrundung verwendet werden.

7.5.8 Bodenverbesserungs-Massnahmen

Folgende Bodenverbesserungs-Massnahmen können geplant und durchgeführt werden:

a) Homogenisierung

Nachverdichten: Oft genügt es, die weniger tragfähigen Schichten nochmals mit den Verdichtungsgeräten zu überarbeiten

Trocknen und Verdichten: Sollte Wasser stehen bleiben, sich ansammeln oder nasses Material stellenweise eingebaut worden sein, so muss dieser Bereich durch Einsatz von Scheibenegge, Ripper an Trax und Einstreuen von gebranntem Kalk getrocknet werden.

Materialersatz: Lokale Stellen oder Schichten mit geringer bzw. begrenzter Mächtigkeit aber mit geringer Bodenfestigkeit und hoher Setzungsempfindlichkeit wird man meist ausheben und durch definiert qualitatives Material ersetzen.

b) Verhütung von Setzungsschäden

Vorbelastung: Etappenweise Schütten der Dämme mit grösseren zeitlichen Abständen.

Breiter Schütten: Unteren Schüttetappen breiter Anlegen zur Erweiterung des Dammfusses, um seitliches Aufwölben zu verhindern.

Sanddrains Es werden 3-5 m lange Textilstreifen in einem Raster von 2 m vertikal in den Boden eingepresst. Die verlorene Pfahlspitze bleibt im Boden.

c) Bodenstabilisierung

Unter Bodenstabilisierung wird das Einmischen von Fremdmaterial in den Boden zwecks Verbesserung der bodenmechanischen Eigenschaften (Tragfähigkeit, Frost- und Wasserempfindlichkeit) verstanden. Die Eignung des Bodens für eine Stabilisierung wird aufgrund der Bodenart beurteilt (SN 640 500).

Mit der **Bodenstabilisierung** kann folgendes erreicht werden:

- **Verminderung der Empfindlichkeit** gegen **Wasser** und **Frost** (Verbesserung der Frosteigenschaften des Bodens)

- **Verfestigung des Bodens** und damit **Erhöhung der Tragfähigkeit** (Dimensionierung nach höherer Bodenklasse)
- **Hohe Gleichmässigkeit** (Stabilisierter Boden ist homogener als der natürliche Boden)
- **Trennung zwischen Unterbau** (Untergrund) **und Oberbau**

Zur **Bodenstabilisierung** werden die folgenden Bindemittel verwendet:

Bodenstabilisierung mit Kalk

- Kalkhydrat (gelöschter Weissfeinkalk)
- Branntkalk (ungelöschter Weisskalk)

Mit der Beimengung von Kalkhydrat bzw. Branntkalk kann der **Wassergehalt im Boden 4 - 7 % reduziert** werden. Branntkalk entzieht dem Boden mehr Wasser als Kalkhydrat (chemische Bindung des Wassers unter Wärmeentwicklung).

Jedes Gewichts- % an Branntkalk senkt den Wassergehalt im Boden um **1-2 %**.

Bodenstabilisierung mit Zement

Zur Bodenstabilisierung wird meist **Portlandzement** verwendet.

Durch **Einmischen des Zementes** und das anschliessende Verdichten wird das Korngefüge **vermörtelt**. Damit entsteht eine gegen Frost und Wasser widerstandsfähige Schicht, diese wirkt zudem lastverteilend. Die Festigkeitszunahme ist grösser als bei der Kalkstabilisierung.

Stark tonige Böden lassen sich mit Zement **nicht stabilisieren**. Die Anwendung beschränkt sich auf leicht tonige Silte, tonige Sande, Silte und siltige Sande. Können Sande oder Kiese in natürlichem Zustand nicht ausreichend verdichtet werden, so kann es mit einer Zementstabilisierung gelingen. Meist werden die **obersten 15-20 cm** des Untergrundes stabilisiert. Vorversuche sind im Labor frühzeitig vorzunehmen, um die Anwendung richtig planen zu können.

Als **Richtwert für die Zement-Bindemitteldosierung** gilt:

- | | | |
|--|-------|---------|
| • Kiese ohne oder mit leicht bindigen Feinstanteilen | 3-6 | Masse % |
| • Sande | 5-8 | Masse % |
| • Silte / siltige Sande | 8-12 | Masse % |
| • tonige Sande / tonige Silte | 12-20 | Masse % |

7.6 Arbeiten mit Kulturerde

Die Kulturerde ist der Träger der Vegetationsschicht. Diese steht oberflächlich meist in einer Schichtstärke von ca. 20cm und mehr an. Sie setzt sich zusammen aus **Humus, Ton und Sand**. Humus ist jener Teil der aus **organischem Material** (Rückstände von Pflanzen und Tieren) besteht. Meist liegt die Kulturerde auf einem feinkörnigen, vielfach von Steinen durchsetzten Bodenmaterial, das ebenfalls noch Humus enthält und das in der Praxis "**wilde Erde**" genannt wird.

Abtrag von Kulturerde

Je nach Wiederverwendungszweck wird die Abtragstärke der Kulturerde variiert. Es werden meist nur die obersten 20-40 cm verwendet. Humus und "wilde Erde" werden separat zwischendeponiert.

Der Abtrag erfolgt in **flachem Gelände mit Planierraupen oder Raupenladern** (Trax).

Bei stark geneigten Hängen erfolgt der Abtrag meist mit Hydraulik- oder Teleskop-Baggern.

Zwischendeponien

Bei Zwischendeponien muss folgendes beachtet werden:

- Schutthöhe von Kulturerde-Deponien soll nicht grösser als 3 m sein. (Ansonsten ersticken die Lebewesen in den zuunterst gelagerten Schichten)
- Humusdeponien sind mit leichten Geräten (Raupengeräte/Moorraupe etc.) zu planieren und dann anzusäen. Mähen ist vorzusehen, damit kein Unkraut entsteht.
- Humus soll nicht in nassem Zustand deponiert werden, sonst lässt er sich nicht lagern.

Wiederandecken

Die Kulturerde wird in folgenden Schichtstärken angedeckt:

- landwirtschaftlich genutzte Flächen 30 - 40 cm
- Böschungen, Rasenflächen 5 - 10 cm

Haben die anzudeckenden Flächen wenig bis gar kein Gefälle, so ist der Untergrund vor dem Anlegen der Kulturerde **aufzureissen** (mit Ripper des Trax), sonst besteht die Gefahr der Bildung von Wasserlachen. Damit wäre ein **rasches Versumpfen** von Kulturland vorprogrammiert.

Frisch mit Kulturerde angelegte Flächen sollten **nicht mit schweren Geräten** (Pneufahrzeugen) befahren werden. Der Antransport der Kulturerde sollte über spezielle Fahrpisten erfolgen, dann rückwärts abgekippt und mit Planierraupen oder Baggern mit breitem Kettenfahrwerk verteilt werden.

Treten **im Gelände Nass-Stellen** auf, so sind diese auszubessern oder entsprechende **Drainagen** zu erstellen.

Bei Böschungen wird der Humusboden von oben mit Teleskop-Bagger verteilt. Der Humusboden soll nicht angedrückt oder verdichtet werden, sollte jedoch sofort eingesät werden. Um das Abschwemmen bei Regen und Gewitter zu vermeiden, werden oft Geotextilien verschiedenster Art eingelegt.

Begrünung

Erdbaustellen wie Dämme und Böschungen sollten nach der Herstellung umgehend begrünt/bepflanzt werden, um Erosion zu vermeiden.

a) Ansäen

Samenmischungen müssen den örtlichen Verhältnissen angepasst werden. Beste Saatzeit ist März-Mai; Sommersaaten sind speziell vor dem Austrocknen zu schützen. Im Schweizer Mittelland ist der September der späteste Zeitpunkt zum Ansäen. Im Gebirge sollte im Herbst nicht mehr angesät werden.

b) Rasenziegel

Für eine intensive Begrünung (Strassenbankette/Grabensohlen) können Rasenziegel verwendet werden. Dies ist auch bei steilen Böschungen angezeigt. Es kann aber auch eine Kombination aus Rasenziegeln und Ansäen gewählt werden.

c) Hydraulische Saat

Diese moderne Methode gestattet rasche Arbeitsfortschritte und hat sich für grössere Flächen technisch und wirtschaftlich bewährt.

Die Auftragsmethode ist nicht nur auf Kulturerde beschränkt, sondern kann auch bei Rohböden und Felsböschungen angewendet werden.

Der Auftrag erfolgt mit einer **hydraulischen Sämaschine**. Diese sprüht eine Mischung aus **Samen, Wasser und Dünger** auf die zu begrünende Fläche.

In einem zweiten Durchgang wird **Mulch** aufgebracht, d. h. es wird **Strohhäcksel mit Bitumenemulsion** vermischt auf die mit Hydrosaat belegte Fläche aufgeblasen.

Dem Mulch kommt dabei die Funktion des **Erosionsschutzes** zu und bietet gleichzeitig **Schutz** vor Vogelfrass, Sonne, Wind. etc. Die Austrocknung des Bodens wird reduziert und die Mulchzersetzung ergibt zusätzliche Nährstoffe.

7.7 Aushub von Gräben

7.7.1 Allgemeines

Zur Verlegung von Kabel, Leitungen und Kanälen ist die fachgerechte Erstellung von längsorientierten Baugruben mit geringer Breite erforderlich. Die Tiefe dieser Gräben richtet sich nach den Trassierungsrandbedingungen für den zu verlegenden Strang und der Topographie. Weiter ist der Arbeitsbereich des Aushubgerätes, meist Tieflöffelbagger, zu berücksichtigen. Somit ergibt sich eine, für die Herstellung in offener Bauweise, maximale Aushubtiefe von ca. 6 m. Müssen aufgrund bestehender Zwangspunkte Stränge über längere Strecken tiefer verlegt werden, so bietet sich als wirtschaftliche Alternative die Installation eines Rohrvortriebes oder bei entsprechend kleinen Durchmessern das Microtunneling-Verfahren an [17].

Die Grabenwände können in einfachster Ausführung, bei Gräben mit geringer Tiefe, geböscht ausgeführt werden. Meist jedoch erlauben die örtlichen Verhältnisse, bedingt durch die begrenzten Platzverhältnisse, keine geböschten Grabenwände. Hier ist es erforderlich die Grabenwände entsprechend zu sichern. Dies geschieht mit speziellen Grabenverbaumethoden, die nachfolgend beschrieben werden.

7.7.2 Verbaumethoden

7.7.2.1 Geböschte Baugrubenwände

Für geböschte Baugrubenwände, die tiefer als 1.25 m bzw. 1.75 m ausgehoben werden, können folgende maximale Böschungswinkel ohne rechnerischen Nachweis erstellt werden:

Bodenart	Böschungswinkel β [°]
nichtbindig und weich bindig	45
mindestens steif bindig	60
Fels	80

7.7.2.2 Grabenverbau mit Kanaldielen

Zum Grabenverbau verwendet man vertikale Einzelelemente (Kanaldielen), die in einem Abstand d offen oder direkt nebeneinander in Längsrichtung je Grabenseite angeordnet werden (Bild 7-60). Diese sind ähnlich wie Spundwandprofile gestaltet, weisen im Unterschied zu diesen aber geringere Blechstärken und Profiltiefen, sowie einfacher gestaltete Verbindungsschlösser, die nicht wasserdicht sind, auf. Da diese Profile bereits vor dem Aushub gerammt werden können, müssen hier im Zuge des Aushubs nur die Aussteifungsriegel und Spriesse eingebaut werden.



Bild 7-60: Grabenverbau mit Kanaldielen

7.7.2.3 Gleitschienen- Grabenverbaugeräte mit Stützrahmen

Da Leitungsgräben möglichst schnell und wirtschaftlich hergestellt und auch wieder geschlossen werden sollten, spielt der Zeitfaktor für die Verbauarbeiten eine entscheidende Rolle. Überlegungen diese zeitlich überproportional lange Verbauphase zu verkürzen, führten zur Entwicklung der Grabenverbaugeräte.

Bei den Gleitschienen-Verbaugeräten werden die Verbauplatten in den Führungsnuten der Stützrahmen, entsprechend dem Aushubfortschritt, nach unten gedrückt (Bild 7-61). Dabei werden zunächst die Stützrahmen, dann die Verbauplatten, danach die nächsten Stützrahmen usw. mit Aushubfortschritt gesetzt.

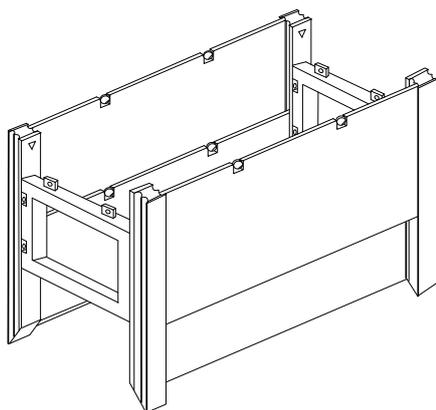


Bild 7-61: Gleitschienen-Verbaugeräte

7.7.2.4 Randgestützte Grabenverbaugeräte

Eine weitere Variante der Grabenverbaugeräte sind randgestützte Grabenverbaugeräte. Hierbei handelt es sich um massive Grabenverbauplatten mit festem Rahmen, die unten Schneiden besitzen, die das Eindringen in den Baugrund erleichtern. Diese Grabenverbauplatten sind an ihren beiden Rändern fix auf Rahmen montiert, die es erlauben, mittels Spindelstreben, die beiden gegenüberliegenden Grabenverbauplatten satt gegen den anstehenden Baugrund zu pressen (Bild 7-62).

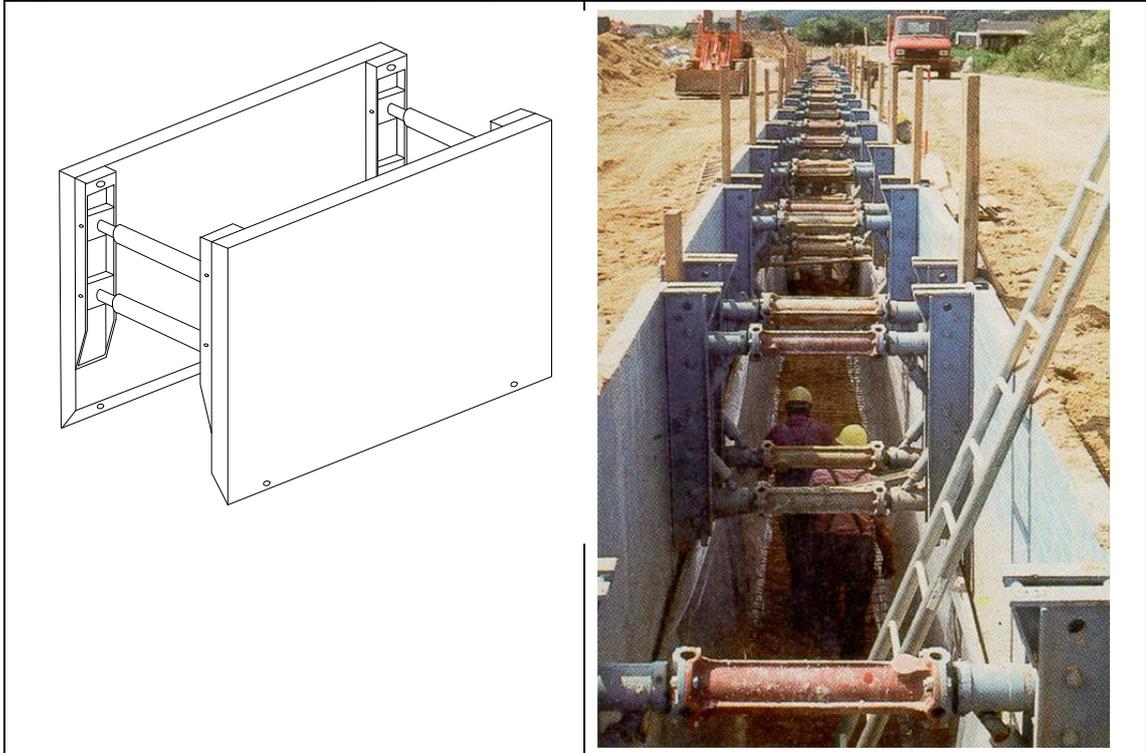


Bild 7-62: Randgestützte Grabenverbaugeräte

7.7.3 Herstellungsprozess

Der Herstellungsprozess für die Erstellung eines Leitungs- oder Kanalstrangs gliedert sich in folgende Teilprozesse:

- Aushub und Verbau
- Rohrverlegung
- Verfüllung und Rückbau

Der gesamte Herstellungsprozess ist detailliert für den Kanaldielenverbau in Bild 7-63 und für den Verbau mittels randgestütztem Grabenverbau in Bild 7-64 dargestellt.

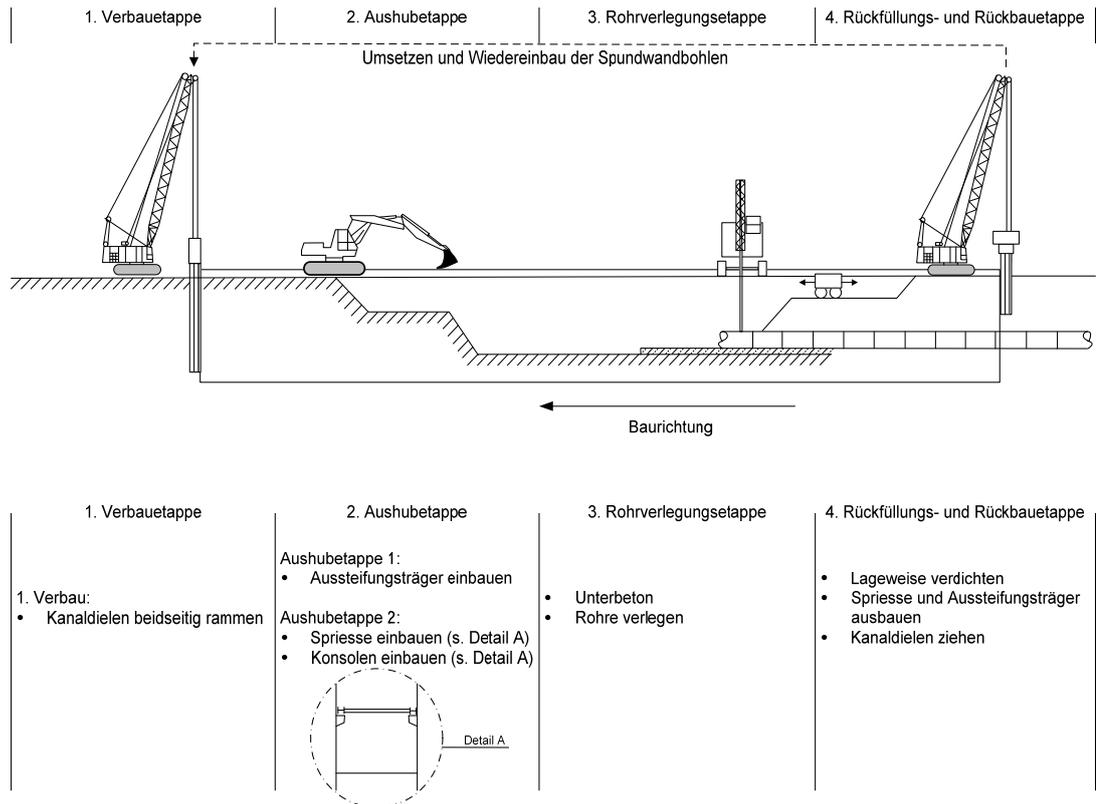


Bild 7-63: Verbau mit Kanaldielen – Herstellungsphasen

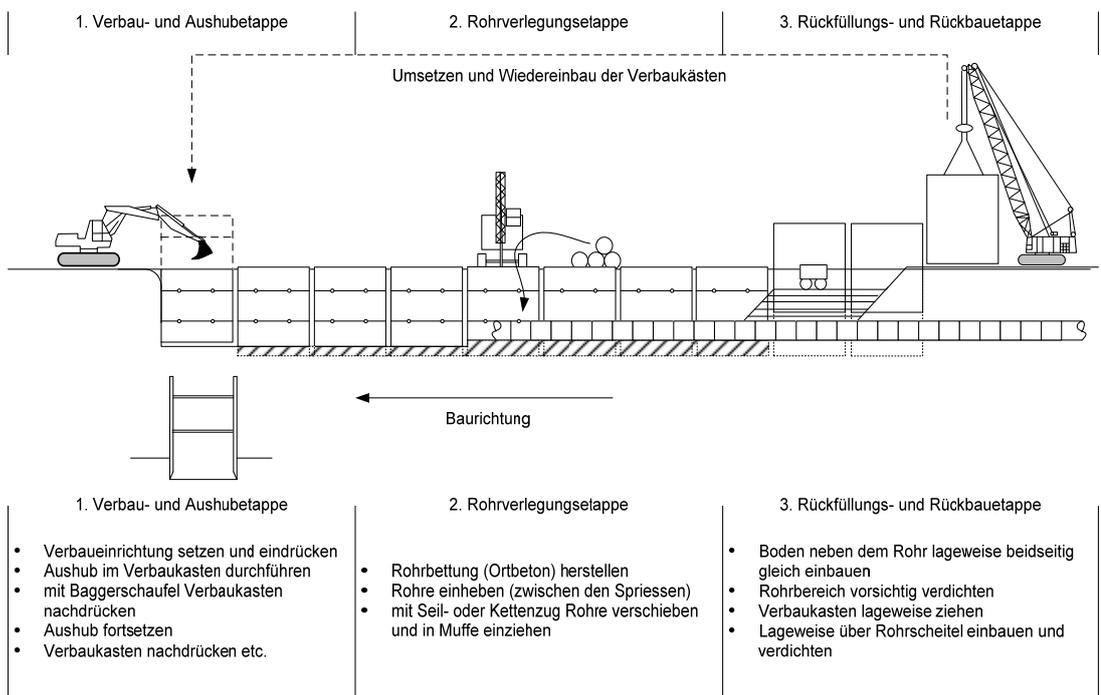


Bild 7-64: Verbau mit Grabenverbaugerät – Herstellungsphasen

7.8 Aushub von Baugruben

7.8.1 Allgemeines

Der Herstellungsprozess einer Baugrube mit den Haupt- und Modulprozessen ist in Bild 7-65 dargestellt. In diesem Bild sind die interaktiven Prozesse innerhalb der Planung sowie der Herstellung der Baugrube dargelegt.

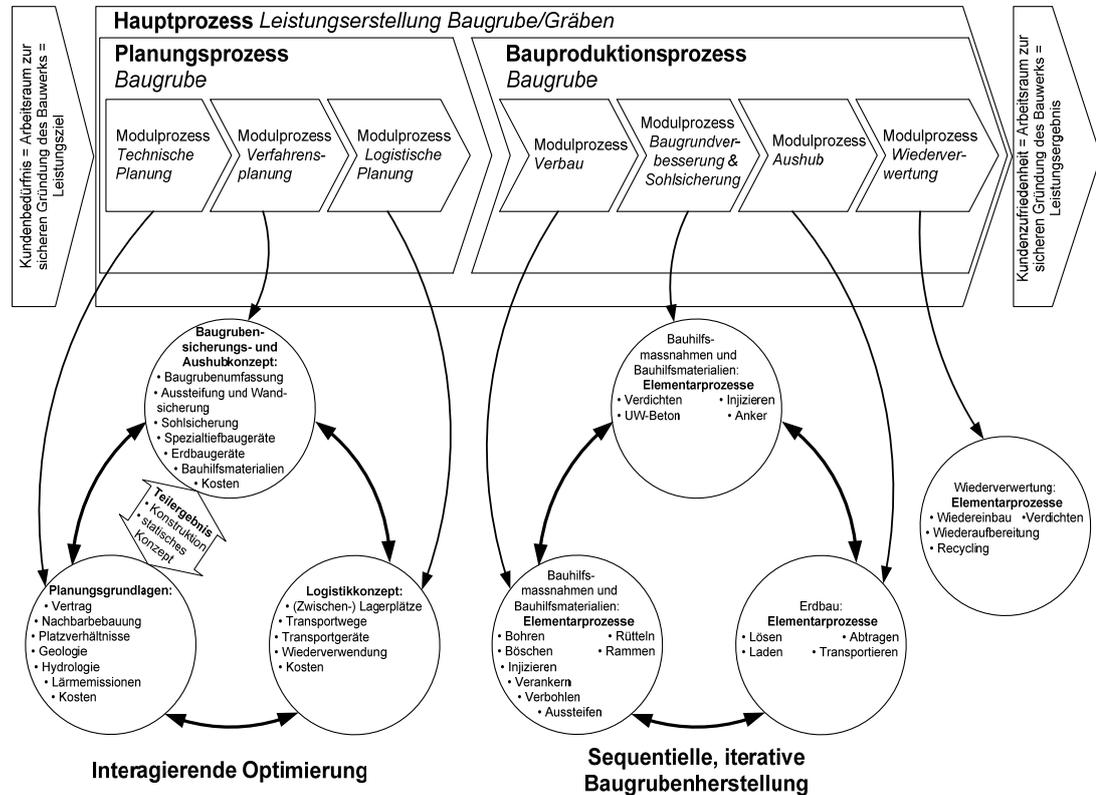


Bild 7-65: Herstellungsprozess Baugrube: Einflussgrößen auf die Planung und die Bauproduktionsprozesse

Mit der Herstellung der Baugrube beginnen, nach der Baustelleneinrichtung, die eigentlichen Bauarbeiten für die Errichtung eines Bauwerkes. Die Grundrissabmessungen einer Baugrube werden durch den Bauwerksgrundriss und den um das Bauwerk erforderlichen Arbeitsraum festgelegt. Die Tiefe richtet sich nach der erforderlichen Gründungstiefe des Bauwerkes. Zusätzlich ist meist Aushub für eine Sauberkeitsschicht sowie im Falle ungünstiger geologischer Verhältnisse Aushub für einen eventuellen Bodenaustausch erforderlich.

Das Aushubkonzept, und damit verbunden die Gerätewahl wird primär von der Geometrie der Baugrube bestimmt. Folgende grundsätzlichen Fälle werden dabei unterschieden:

- Kleine Baugruben geringer Tiefe
- Kleine, tiefe Baugruben
- Grosse, tiefe Baugruben

Kleine Baugruben geringer Tiefe werden meist mittels Hydrauliktieflöffelbagger, die am Baugrubenrand positioniert werden, ausgehoben. Limitierendes Kriterium für einen derartigen Aushub ist die Grabkurve des Aushubgerätes. Überschreiten die Dimensionen der Baugrube die Möglichkeit, den Aushub mit dem gewählten Aushubgerät aus Aufstellungspositionen auf Geländeneiveau zu bewerkstelligen, so sind zusätzliche Massnahmen, wie Ein-Ausfahrtsrampen oder ein mehrstufiger Baggerbetrieb erforderlich.

7.8.2 Baugrubenerstellung und Anker setzen

Abhängig von der Baugrubentiefe und dem gewählten Baugrubenverbau ist es notwendig, eine Rückverankerung des Baugrubenverbaus im angrenzenden Erdreich vorzunehmen. Das Setzen dieser Anker ist parallel zum Aushub der Baugrube durchzuführen (Bild 7-66).

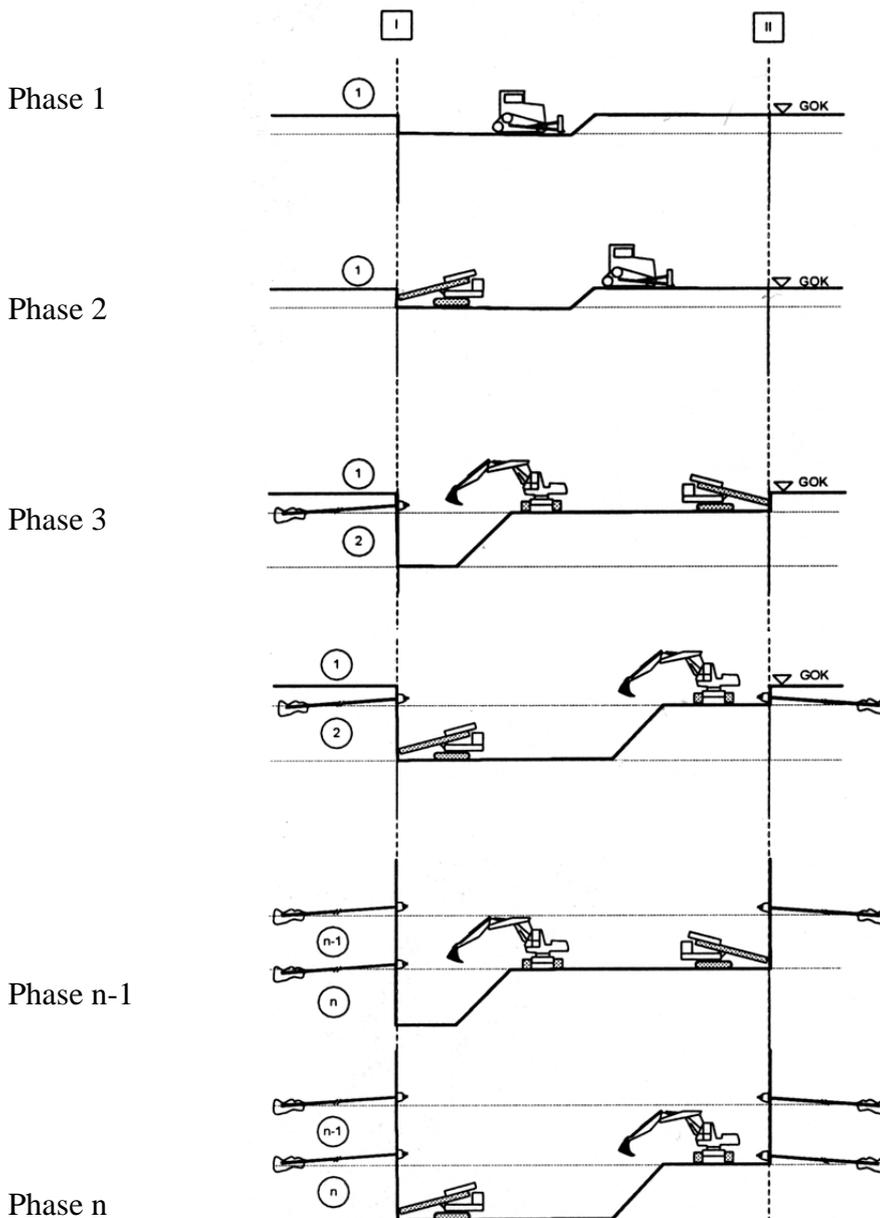


Bild 7-66: Baugrubenaushub und Anker setzen

In Phase 1 wird die Oberflächenerde auf Seite I, Ebene 1 abgeschoben. Schon während dem nachfolgenden Abschieben der Oberflächenerde in Ebene 1, Seite II wird in Ebene 1 Seite I der Baugrubenverbau rückverankert (Phase 2).

Die Verankerung der Ebene 1, Seite II wird gesetzt, wenn der Baugrubenaushub der Seite I, Ebene 2 erfolgt. Die dortige Rückverankerung erfolgt während des Baugrubenaushubes Ebene 2, Seite II (Phase 3).

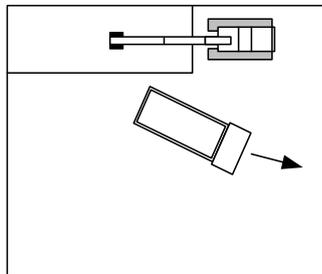
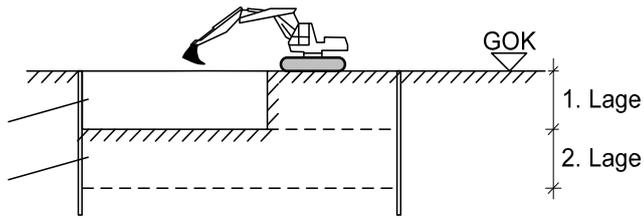
Die zeitlich parallele Ausführung des Baugrubenaushubes auf der einen Seite der Baugrube und die des Ankersetzens auf der anderen Seite der Baugrube wird solange fortgesetzt, bis die notwendige Baugrubentiefe erreicht ist (Phase n-1 und Phase n).

Mit zunehmender Baugrubentiefe vergrößert der Kräfteintrag in die einzelnen Verankerungslagen.

Selbstverständlich ist dafür zu sorgen, dass die Arbeitsgeräte wieder aus der Baugrube entfernt werden können. Ist dies nicht mittels geeigneter Krane möglich (vgl. auch zulässige Verkehrslasten in der Nähe des Baugrubenverbau), so ist die Baugrube mit einer Einfahrtsrampe auszubilden. Auf diese Variante wird in dem nachfolgenden Absatz näher eingegangen.

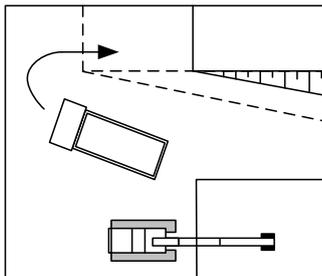
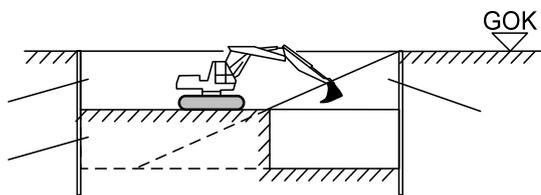
7.8.3 Herstellungsprozess mit Einfahrtsrampe

Bei grösseren Baugruben, bei denen der Aushub nicht mehr von Aufstellungspositionen am Baugrubenrand aus erfolgen kann, erfolgt die Ein-Ausfahrt in die Baugrube über eine temporäre Rampe. Über diese Rampe wird das Ladegerät in die Baugrube gefahren, sowie das Aushubmaterial mit den Transportfahrzeugen aus der Baugrube abgefahren. Nach erfolgtem Aushub der Hauptmassen ist diese temporäre Rampe rückzubauen. Bei Baugruben mit geringer Tiefe (im Bereich der Grabtiefe eines Tief-
löffelbaggers), kann dies einfach vom Baugrubenrand aus durch einen entsprechenden Hydrauliktieflöffelbagger erfolgen. Ist die Baugrube jedoch tiefer, erfordert dies den Einsatz eines Seilbaggers. Die einzelnen Aushubphasen einer Baugrube, die über eine Rampe erschlossen wird sind in Bild 7-67 beschrieben.



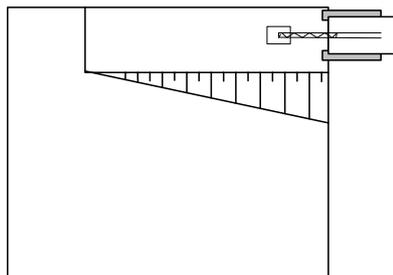
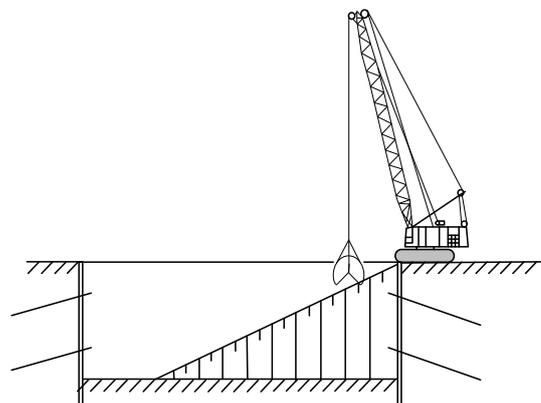
Phase I:

- Aushub der 1. Lage
(Ladegerät auf Geländeniveau)



Phase II:

- Aushub der 2. Lage
(Ladegerät auf Niveau der 1. Aushublage)
- Ausfahrt über temporäre Rampe



Phase III:

- Abbau der temporären Rampe mit Hilfe des Seilbaggers

Bild 7-67: Baugrubenherstellung mit Einfahrtsrampe (3 Phasen)

7.8.4 Herstellungsprozess mit mehrstufigem Baggerbetrieb

Besteht aufgrund des zu ungünstigen Verhältnisses zwischen möglicher Rampenlänge und Baugrubentiefe keine Möglichkeit eine Ein-Ausfahrtsrampe mit entsprechender Neigung (max. 12%) herzustellen, bietet es sich an, einen mehrstufigen Baggerbetrieb einzurichten. Dabei wird das Aushubmaterial durch Hydrauliktieflöffelbagger, die nacheinander auf unterschiedlichen Niveauflächen positioniert sind, von der Baugrubensohle auf Geländeneiveau gebaggert. Dabei ist ein mehrmaliges Aufnehmen des Materials (auf jeder zweiten Stufe) erforderlich. Der mehrstufige Baggerbetrieb ermöglicht im Vergleich zum Aushub mittels Seilbagger eine wesentlich höhere Aushubleistung, bedingt jedoch einen entsprechend höheren Geräteinsatz. Die durch die Hydrauliktieflöffelbagger nicht zu beseitigenden Stufen erfordern den Einsatz eines Seilbaggers. Die einzelnen Aushubphasen sind in Bild 7-68 bis Bild 7-71 dargestellt.



Bild 7-68: Laden des Aushubmaterials auf Stufe 1



Bild 7-69: Position des Ladegeräts auf Stufe 2



Bild 7-70: Zwischendeponieren des Aushubmaterials auf Stufe 3

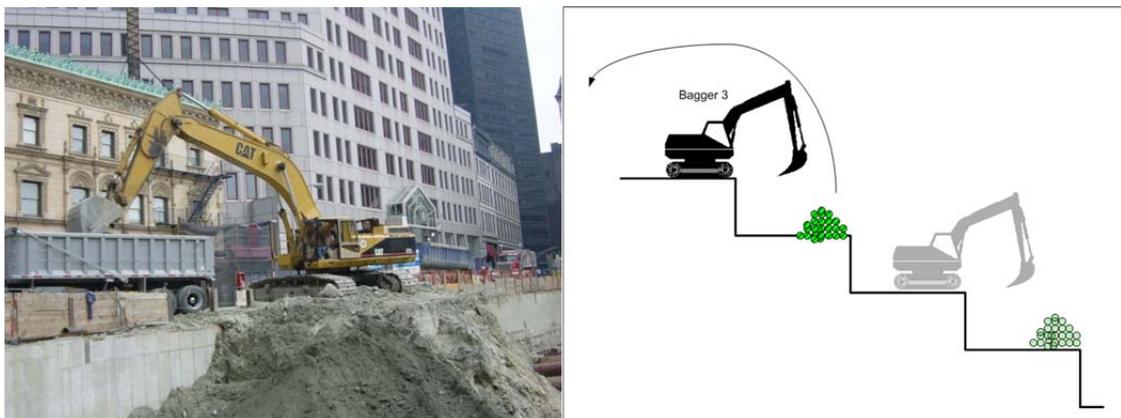


Bild 7-71: Aufnehmen des Aushubmaterials auf Stufe 3 und Beladen des Transportfahrzeuges

Literaturverzeichnis

- [1] Türke, H.: Statik im Erdbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1984.
- [2] Menzi Muck AG, Widnau, Produktinformation.
- [3] KAMO (inzwischen aufgekauft von Kaiser, Schaanwald, FL), Produktinformation.
- [4] Liebherr-Hydraulikbagger GmbH Kirchdorf/ Iller, Produktinformation.
- [5] Bauer, H.: Baubetrieb1, Einführung, Rahmenbedingungen, Bauverfahren. 2., neu bearbeitete Auflage, Springer- Lehrbuch.
- [6] Caterpillar Tractor Co., USA, Produktinformation.
- [7] Nissan, Produktinformation.
- [8] Mercedes Benz AG, Schlieren, Produktinformation.
- [9] MAN Nutzfahrzeuge, München, Produktinformation.
- [10] VOLVO Construction Equipment, Produktinformation.
- [11] EUCLID-Hitachi Heavy Equipment Inc, Cleveland, Ohio, Produktinformation.
- [12] SN 670 330, Schweizerische Normen-Vereinigung.
- [13] Arz P., Schmidt H. G., Seitz J., Semprich S.: Grundbau. Ernst & Sohn, Berlin, 1991.
- [14] BOMAG-MENK GmbH, Boppart, Produktinformation.
- [15] SNV 640 588, Schweizerische Normen-Vereinigung.
- [16] Girmscheid, G.: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse, Springer/vdf., Berlin, Zürich, 2003
- [17] Girmscheid, G.: Bauverfahren des Spezialtiefbaus, Skript zur Vorlesung „Bauverfahren des Spezialtiefbaus“ des Instituts für Bauplanung und Baubetrieb an der ETH Zürich, Zürich 2005
- [18] Lemser, D.: Flachbagger (Teil 1). In Tiefbau, Heft 10/2004, Seite 629 - 644
- [19] Lemser, D.: Flachbagger (Teil 2). In Tiefbau, Heft 12/2005, Seite 726 - 734

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 8: Bauverfahren des Tiefbaus - Richtpreise für Baugrubenum- schliessungen und Erdbauarbeiten

8 Bauverfahren des Tiefbaus – Richtpreisgrößen für Baugrubenumschliessungen und Erdbauarbeiten

Richtpreisgrößen für Baugrubenumschliessungen und Erdbauarbeiten sind in Tabelle 8-1 wiedergegeben.

Tabelle 8-1: Richtpreise/Übersicht

ZUSAMMENSTELLUNG EINIGER RICHTPREISE FÜR DIE KALKULATION EINER BAUGRUBE
--

Stand 1993

SPUNDWÄNDE		Profil 2/3	Profil 4/5
Antransport	Fr./to	60.--	60.--
Rammen	Fr./m ²	36.--	42.--
Vorhalten = Miete	Fr./to Mte	24.--	24.--
Ziehen	Fr./m ²	26.--	32.--
Abbrennen	Fr./m ⁴		
+ Wand freistehend		80.--	85.--
+ gegen Erdreich		120.--	125.--

SPRIESSUNG		Träger leicht	Träger schwer
Liefern			
(An- und Abtransport)	Fr./to	100.--	100.--
Einbau	Fr./to	850.--	950.--
Vorhalten	Fr./to Mte	30.--	40.--
Ausbau	Fr./to	450.--	550.--
Abschr./Verschnitt	Fr./to	650.--	650.--

ANKER (Bohren, Versetzen, Spannen)		Fr./m
Traglast	250 KN	130.--
	500 KN	160.--
	1000 KN	250.--

AUSHUB	Fr./m ³
In offener Baugrube bis 2 m Tiefe	6 – 8.--
Zwischen Spriessung bis 4 m Tiefe	15 – 20.--
Schlitze, Kanäle	30 – 40.--
Transport auf Deponie einschl. Deponiegebühr	25 – 30.--

RÜHLWÄNDE gebohrt (Fr./m ²) ohne Verankerung		440.--
PFÄHLE		Fr./m
Ortbetonpfähle	Ø 60 cm	340.--
	Ø 90 cm	440.--
	Ø 120 cm	610.--
	Ø 130 cm	700.--
Rammpfähle Traglast	650 KN	150.--
	1000 KN	180.--

Es wird aber ebenso auf den Richtpreiskatalog des SBV (Schweizerischer Baumeisterverband / grünes Buch) hingewiesen, dem ein Grossteil der wichtigsten Preise entnommen werden kann. Es handelt sich dabei um Richtpreise und nicht um konjunkturbezogene Marktpreise oder Wettbewerbspreise.

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 9: Bauverfahren des Tiefbaus - Leistungsermittlung und Geräteauswahl im Erdbau

siehe hierzu:

Girmscheid, G.: Leistungsermittlung für
Baumaschinen und Bauprozesse.
Springer/vdf, Berlin, Zürich, 2010



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 10: Bauverfahren des Stahlbetonbaus - Schalungssysteme und Schalungstechnik

Inhaltsverzeichnis

10 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Schalungssysteme und Schalungstechnik.....	469
10.1 Einleitung	469
10.2 Voraussetzungen für die Schalungsarbeiten	472
10.3 Schalungsaufbau	474
10.3.1 Einleitung.....	474
10.3.2 Schalungselemente	477
10.3.3 Systemschalungen	481
10.4 Schalungssysteme.....	485
10.4.1 Beurteilungskriterien.....	485
10.4.2 Wandschalungen.....	485
10.4.3 Stützen- und Säulenschalung.....	494
10.4.4 Deckenschalungen.....	498
10.4.5 Randschalungen.....	511
10.4.6 Schalungen für Unterzüge.....	511
10.4.7 Vorsatzschalungen	513
10.4.8 Verlorene Schalung	514
10.5 Die Rüstung	516
10.6 Spezial-Schalverfahren.....	519
10.6.1 Gleitschalung.....	519
10.6.2 Kletterschalung.....	522
10.6.3 Schachtbühnen mit Schachtschalungen.....	529
10.6.4 Kletterplattformschalung.....	533
10.6.5 Tunnelschalung	541
10.6.6 Brückenschalungen	543
10.7 Der Schalungsdruck.....	545
10.7.1 Schalungsdruck nach SBA Baupraxis und Erfahrungswerten	545
10.7.2 Ermittlung des Schalungsdrucks nach DIN 18218 und CIRIA-Report 108	547
10.8 Schalungsgenauigkeiten.....	551
10.9 Schalungsfehler	551
10.10 Kriterien zur Selektion des projektspezifischen Schalungssystems	552
10.11 Schalungskennzahlen.....	556
10.12 Schalungskosten.....	556

10.13 Systembetrachtung der Stahlbetonkonstruktionen im Hochbau.....	557
10.14 Herstellungssequenzen für Hochhäuser.....	560
10.15 Anwendungsbeispiel Schalungssysteme im Hochbau	566
10.15.1 Grundsätze der Schalungsplanung	566
10.15.2 Vorauseilende Bauweise – Millennium Tower Wien	566
10.15.3 Stockwerkbauweise – Wochentakt für ein Hochhaus mit Regelgeschossen	575
Literaturverzeichnis	583

10 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Schalungssysteme und Schalungstechnik

10.1 Einleitung

Die Rohbaukonstruktion der heutigen Gebäude werden als

- Stahlbetonkonstruktionen,
- Stahlbaukonstruktionen,
- Mauerwerkskonstruktionen und
- Holzbaukonstruktionen

hergestellt.

Die **Stahlbetonkonstruktionen** haben bei mittleren und grösseren Gebäuden den Hauptmarktanteil auf Grund der weitgehend industrialisierten Herstellung auf der Baustelle und der damit erzielbaren Kostenvorteile.

Stahlbaukonstruktionen werden hauptsächlich bei Industrie- und Verkaufshallen, sowie bei Hochhäusern über 150m Höhe eingesetzt. Stahlkonstruktionen sind Fertigteilkonstruktionen, die individuell vorgefertigt werden. Hinsichtlich der Vorfertigung lassen sich hohe Rationalisierungsmassnahmen mit teilautomatisierter Vorproduktion umsetzen, sodass der hohe Materialpreis wettbewerbsmässig kompensiert werden kann gegenüber Stahlbetonkonstruktionen. Nur die Montage erfolgt nach der Gründung auf der Baustelle.

Die Entscheidung zwischen Stahlbeton- und Stahlbaukonstruktionen ist eine Kostenfrage unter Beobachtung der Herstell- und Unterhaltskosten über die beabsichtigte Nutzungszeit. Hinsichtlich der statisch-konstruktiven Vorteile sind sie weitgehend gleichwertig.

Mauerwerkskonstruktionen sind heute immer noch handwerkliche Konstruktionen die einen hohen Lohnanteil für das Versetzen der kleinteiligen Elemente enthalten. Mauerwerkskonstruktionen werden hauptsächlich bei kleinen Gebäudeeinheiten z.B. Einfamilienhäusern eingesetzt. Trotz Entwicklung immer neuer Mauersteinelemente hat sich die Bauverfahrenstechnik auf der Baustelle in den letzten 200 Jahren kaum weiterentwickelt. Rationalisierungsmassnahmen einzelner Hersteller die Effizienz der Bauverfahrenstechnik zu verbessern, z.B. Hebel mit speziellen leichten und leicht bearbeitbaren Grosselementen, haben sich auf Grund der fragmentierten Branchenstruktur bei den KMU nur partiell durchgesetzt.

Die **Holzbaukonstruktionen** gewinnen heute im Verdrängungswettbewerb mit dem Mauerwerksbau Marktanteile. Gründe für den Erfolg in einem stagnierenden Markt sind:

- ökologische Gründe – Holz wächst nach und hat geringe Energiekosten
- produktionstechnische Gründe – industrialisierte teilautomatisierte Vorproduktion, nur die Montage erfolgt auf der Baustelle
- terminliche/zeitliche Gründe – schnelle industrielle Produktion und Montage

- finanzielle Gründe – Gebäude sind oft in den Investitionskosten günstiger als Mauerwerkskonstruktionen, jedoch der Unterhalt kann aufwendiger sein

Holzbaukonstruktionen werden hauptsächlich im Einfamilienhausbau und Hallenbau eingesetzt.

Auf Grund des heutigen Marktanteils und des Industrialisierungspotentials von Stahlbetonkonstruktionen, werden wir die Bauverfahren des Stahlbetonbaus vertieft betrachten.

Die Hauptprozesse der Stahlbetonrohbauherstellung sind in Bild 10-1 dargestellt. Das Bild 10-1 zeigt, dass die Konstruktionswahl interaktiv mit der Bauverfahrenswahl zusammenhängt. In dieser Interaktion wird deutlich, dass auch planende Ingenieure die Potentiale der Bauverfahren innerhalb der Bauproduktion kennen müssen, um effiziente Ingenieurkonstruktionen zu entwickeln.

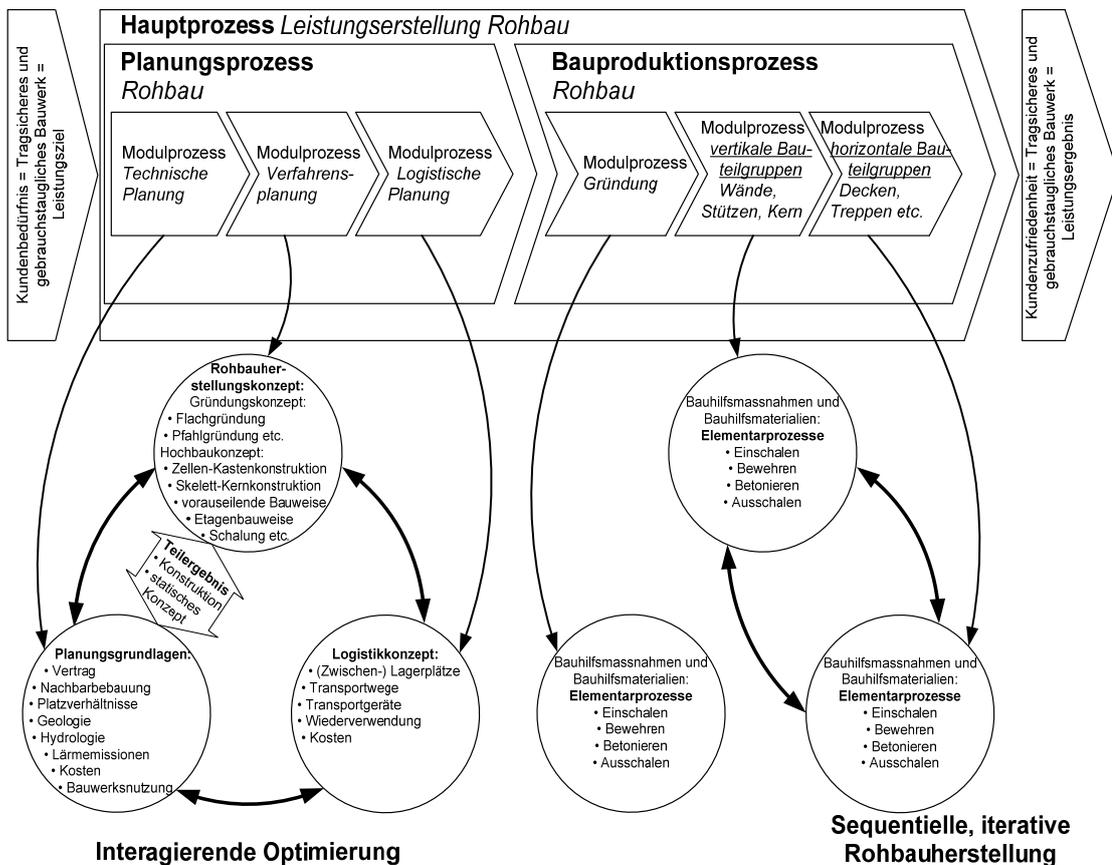


Bild 10-1: Herstellungsprozess Rohbau: Einflussgrößen auf die Planung und die Bauproduktionsprozesse

Der Herstellprozess eines Stahlbetonbauwerks lässt sich in die Elementarprozesse (Bild 10-2)

- Schalen,
 - Bewehren,
 - Betonieren und
 - Ausschalen
- untergliedern.

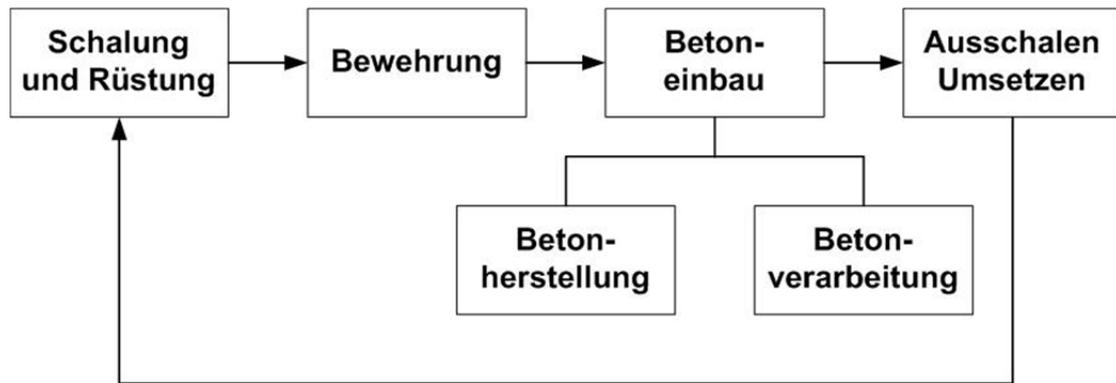


Bild 10-2: Elementarprozesse zur Herstellung von Bauteilen im Stahlbetonbau

Da ein Stahlbetonbauwerk im Regelfall nicht monolithisch hergestellt werden kann, wird jedes Bauwerk je nach Grösse und Komplexität in Etappen ausgeführt. Die Arbeitsvorbereitung gliedert das Bauwerk nach arbeitstechnischen Gesichtspunkten (Leistung, Taktzeiten) in Bauwerksabschnitte und Betonier- bzw. Herstell etapen. Die Herstell etapen werden nach technischen und wirtschaftlichen Überlegungen gestaltet. Die Determinanten dieser Überlegungen bzw. Arbeitsvorbereitungsplanungen sind:

- Wochentakt
- Auslastung der Arbeitsgruppen, Inventar und Bauhilfsmaterialien
- Leistung der Gruppen
- maximal zulässige Gewerkebauzeit

Dabei müssen verschiedene situative und prinzipielle Randbedingungen nach **konstruktiven** und/oder **ausführungstechnischen Gesichtspunkten** berücksichtigt werden.

Folgende Forderungen könnten z.B. gestellt werden:

Konstruktive Randbedingungen:

- Möglichst keine Etappengrenze, d.h. möglichst keine Arbeitsfugen in Zonen grosser Beanspruchung
- Begrenzung der Betonierabschnitte um Hydratationsrisse zu begrenzen
- Arbeitsfugen- bzw. Dehnfugenraster um Anfangsschwinden durch nachträgliches Ausbetonieren zu kompensieren

Ausführungstechnische Randbedingungen:

- Trennung Fundamentfuss von aufgehenden Wänden (damit keine schwimmenden Schalungen notwendig sind)
- Begrenzung der Etappenhöhen der Schalung bei vertikaler Konstruktion, um Betonieren und Verdichten kontrolliert durchzuführen
- Armierungslängen (Eisenlängen) wählen, die ein effizientes Arbeiten zulassen (besonders bei vertikalen Konstruktionen wie Wände und Pfeiler)
- Betonieretappengrössen so wählen, dass ein kontinuierliches Frisch- in Frischbeton möglich ist. Damit werden „Kaltfugen“ vermieden. Ferner sollte die Etappengrösse (Betonierzeit) auf Schichtzeit abgestimmt sein (nur in besonderen Ausnahmefällen davon abweichen)

Man erkennt, dass nicht alle Randbedingungen erfüllt werden können. Das liegt daran, dass einige komplementär und andere wiederum konkurrierend sind. Der Baustellenchef muss mit dem Bauleiter und Ingenieur eine projektspezifische, technisch richtige und wirtschaftliche Lösung herausarbeiten.

10.2 Voraussetzungen für die Schalungsarbeiten

Zur Vorbereitung der Schalungsarbeiten sind die Schal- und Bewehrungspläne für das Bauwerk erforderlich.

PROJEKTIERUNG	VOM BAUHERRN BEAUFTRAGTES ING. BÜRO	<ul style="list-style-type: none"> - GRUNDLAGENPLÄNE - SUBMISSION - STATIK / AUSFÜHRUNGSPLÄNE <ul style="list-style-type: none"> ⇒ SCHALUNGSPLÄNE ⇒ ARMIERUNGSPLAN + EISENLISTE
BAULEITUNG	PROJEKTKOORDINATION ZWISCHEN INGENIEURBÜRO UND AUSFÜHRENDEM UNTERNEHMER	<ul style="list-style-type: none"> - PLANLIEFERUNGEN - AUSFÜHRUNGSÜBERWACHUNG / KONTROLLE - ABRECHNUNG
UNTERNEHMER	AUSFÜHRUNG DER BAUARBEITEN	<ul style="list-style-type: none"> - ERSTELLEN PLANLIEFERUNGSPROGRAMM (BASIS: DETAILLIERTES BAUPROGRAMM) - DETAILPLANUNG DER SCHALUNG (EVTL. MIT SPEZIALIST) - ERSTELLEN DER SCHALUNG (WERKHOF ODER BAUSTELLE) <ul style="list-style-type: none"> ⇒ BEREITSTELLEN SCHALMATERIAL (KAUF ODER MIETE) ⇒ FERTIGUNG DER SCHALUNG - AUSFÜHRUNG DER SCHALARBEITEN

Bild 10-3: Vorbereitende Aktivitäten für Schalungsarbeiten

Die interaktive Wechselwirkung (Bild 10-3) von Projektdetailplanung und Ausführungsvorbereitung setzt eine intensive Zusammenarbeit zwischen Planer und Arbeitsvorbereitung in der Vorphase vor Arbeitsbeginn voraus. Das Unternehmen **braucht Zeit**, um die Schalung vorzubereiten und bereitzustellen. Die dazu erforderliche Vorlaufzeit wird von den Projektierenden oft unterschätzt.

Es ist erforderlich das die projektierenden Ingenieurbüros die Schalungspläne für die vorbereitenden Arbeiten des Unternehmers frühzeitig bereitstellen. Dies sollte in zwei Phasen erfolgen:

- Die Entwurfspläne dienen in der AVOR-Vorbereitung zur Ermittlung des Umfangs der Schalarbeiten und des Schalsystems sowie der Einsatzplanung, Abschnittsplanung.
- Die Ausführungspläne dienen zur Anfertigung der Schalung für die spezifischen Abschnitte.
- Nach der Genehmigung kann das Aufstellen der Elemente und das Einpassen von Einbauteilen und Aussparungen erfolgen.

Eine seriöse Terminplanung der Planlieferung, die auf die Terminplanung der Ausführung abgestützt ist, ist erforderlich. Diese muss auf den Bauablaufplan der einzelnen Bauteile mit einer Vorlaufzeit abgestellt sein. Diese Planung muss monatlich überprüft werden und ist auf die Veränderungen des Bauablaufs anzupassen. Zudem muss bei der Terminplanung der Planlieferung die Prüfung der Pläne berücksichtigt werden. Bei den endgültigen Schal- und Bewehrungsplänen muss darauf geachtet werden, dass die Planung für Heizung und Lüftung soweit abgeschlossen ist, dass die Aussparungen am richtigen Ort und in der richtigen Grösse vorgegeben werden. Das ist sehr wichtig, da die grösseren Aussparungen zusätzliche Bewehrung erhalten müssen.

Die Anforderungen an die Schalungsarbeiten sind meist in den **allgemeine und spezielle technischen Vertragsbedingungen** eines Projektes enthalten.

Heute bedient man sich meist der **Standardformulierungen des NPK-Bau** (Bild 10-4), bzw. der **SIA-Normen** (Bild 10-5) und Bedingungen, die aufeinander abgestimmt sind.

Seite	Inhalt
Beton- und Stahlbetonarbeiten	
3 000	Bedingungen
3 010	Vorschriften
4 020	Informationen
5 100	Beton (1)
5 110	Vorarbeiten
12 120	Magerbeton
15 130	Beton für Fundamente, Bodenplatten und Leitungskanäle
20 140	Schwüldigen
21 150	Beton für Wände und Stützmauern
26 160	Beton für Stützen
31 200	Beton (2)
31 210	Beton für Treppen
32 230	Beton für Decken, Brüstungen und Riegel (1)
39 240	Beton für Decken, Brüstungen und Riegel (2)
43 260	Beton für besondere Dachformen
43 280	Beton für freistehende Konstruktionen
44 300	Beton (3)
44 310	Anderer Grössenkorndurchmesser
44 320	Dosierungsänderung
45 330	Zuschläge
45 340	Betonzusätze
46 350	Oberflächenbehandlungen
48 360	Sichtbetonflächen mit besonderen Strukturen
49 370	Schutzmassnahmen
51 400	Schalungen (1)
52 410	Schalungen für Fundamente, Bodenplatten, Gruben, Leitungskanäle, Stützen, Abschaltungen, (mit Negativformen) (1)
55 420	Schalungen für Fundamente, Bodenplatten, Gruben, Leitungskanäle, Stützen, Abschaltungen, (mit Negativformen) (2)
57 450	Schalungen für Wände und Stützmauern (1)
63 460	Schalungen für Wände und Stützmauern (2)
65 480	Stützenschalungen
81 500	Schalungen (2)
81 510	Tropfenschalungen
84 530	Schalung für Decken, Unterzüge, Brüstungen, Riegel und dgl. (1)
90 540	Schalung für Decken, Unterzüge, Brüstungen, Riegel und dgl. (2)
97 550	Schalung für Decken, Unterzüge, Brüstungen, Riegel und dgl. (3)
102 560	Spezielschalungen
103 600	Schalungen (3)
103 610	Abschaltungen
103 650	Einklagen (1)
113 660	Einklagen (2)
113 670	Einklagen (3)
129 700	Bewehrung
129 710	Betonstäbe und Bewehrungsnetzwerke und verlegen zusammen
133 720	Spezielle Bewehrung und Bewehrungszubehör liefern und verlegen zusammen
139 750	Betonstäbe und Bewehrungsnetze, Isolier- und Vorlagen getrennt
142 800	Stahlkonstruktionen
142 810	Stahlkonstruktionen, mit Lieferung
143 830	Stahlkonstruktionen, ohne Lieferung
144 860	Eingliedern oder Untergliedern von Stahlkonstruktionen
147 900	Vorspannung
148 910	Liefern des vom Projektverfasser gewählten Systems
151 920	Verlegen des vom Projektverfasser gewählten Systems
153 930	Liefern des vom Unternehmer gewählten Systems
157 940	Verlegen des vom Unternehmer gewählten Systems
159 950	Lieferung nach Vorausbeschreibung
159 960	Verlegen nach Vorausbeschreibung

Bild 10-4: NPK 313 D/92 [2]

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein		SIA Norm	220
Schweizerische Normen		Norme suisse	Norma svizzera
Basel		Basel	Basel
1972		1972	1972
Betonbauten – Leistungen und Ausmass			
INHALT			
0	Geltungsbereich		Seite
0 1	Abgrenzung		3
0 2	Mächtigende Bestimmungen		3
1 - 6 *			
7	Leistungen und Ausmass		4
7 1	Ausschreibung und Angebot		4
7 2	Inbegriffene Leistungen		5
7 3	Nicht inbegriffene Leistungen		6
7 4	Ausmass		7
Anhang			
A1	Definitionen zu den Ausmassvorschriften		9
A2	Erläuterungen zu den Ausmassvorschriften		10
A3	Oberflächenbeschaffenheit geschalteter Betonflächen		13
A4	Oberflächenbeschaffenheit geschalteter Betonflächen		14
A5	Publikationen		15
Genehmigung und Inkrafttreten			16
* Diese Kapitel des SIA-Normenaufbaus werden in dieser Norm nicht verwendet.			

Bild 10-5: Inhalt SIA Norm 220, Betonbauten, Leistungen und Ausmass [1]

10.3 Schalungsaufbau

10.3.1 Einleitung

Schalungen dienen zum Formen und Erstellen von Betontragwerken. Die Schalung setzt sich aus folgenden Grundelementen zusammen:

- Schalhaut: Formgebung mittels Schalbrettern, Schalplatten oder Schaltafeln
- Unterbau der Schalung: Trägerrost aus Kanthölzern, Systemschalungsträgern, Kassettenrosten
- Rüstung: Stützung aus Spindel- und Rüststützen sowie Gerüsttürmen

Man unterscheidet folgende Schalungsmaterialien:

- Holz
- Stahl
- Gemischte Systeme, z.B. Schalhaut und Unterbau aus Holz und die Rüstung aus Stahl
- Kunststoff (selten)

Holzschalungen

Bis zu Beginn der 60-iger Jahre wurden praktisch nur Holzschalungen im Hoch- und Tiefbau verwendet.

Man unterscheidet heute folgende Holzschalungen:

- Konventionelle Holzschalungen mit Einzelschalbrettern und Kanthölzer
- Schaltafeln mit Holzprofilsystemträger
- Grossflächenschalungen mit Holzprofilsystemträger

Eine konventionelle Holzschalung ist meist wie folgt aufgebaut:

- Schalbretter in der Stärke von 20-30 mm
- Kanthölzer mit Querschnitten von 6/10 - 12/16cm im Abstand von 50 – 80 cm

Die einzelnen Schalungselemente werden mehrfache verwendet. Entsprechend den Etappen des Bauwerkes werden die Flächengrößen solcher Schalungen konzipiert. Mitbestimmend für die Größe der zusammengesetzten Schalungseinheiten ist die Tragkraft des Hebeegerätes. Es kann mit Gewichten von 60 - 120 kg je m² Schalfläche gerechnet werden.

In den letzten 25 Jahren haben sich unter dem Aspekt der **Rationalisierung im Schalungsbereich** (Auffangen der steigenden Arbeitslöhne) Systemkonzepte durchgesetzt.

Anstelle der Kanthölzer traten **Holz-Profilsystemträger, die als Gitter- und Vollwandträger ausgebildet sind**, mit Längen von 2 - 5 m oder Stahl- bzw. Aluminiumträger in aufgelöster Konstruktion (Profile mit gestanzten Löchern im Steg).

Anstelle der Einzelbretter für die Schalhaut traten Schalplatten, mehrschichtige, verleimte, speziell imprägnierte Holzkonstruktionen, mit verschiedenen Standardabmessungen (Bsp. 50 x 150; 50 x 200; 50 x 250 cm), die ein rationelleres Montieren der Schalplatten in den Schaletappen zulassen.

Ergänzt wurde das Sortiment durch Grossflächentafeln (Bsp. 2 x 5 m). Diese Platten-schalungen weisen nach Wunsch auch Strukturen auf.

Die Produktpalette ist sehr vielfältig, so dass praktisch jedes Schalungsproblem gelöst werden kann. Die technischen Unterlagen der Lieferantenfirmer sind heute klar und gut zusammengestellt, so dass der einzelne Betrieb leicht die Lösungsvarianten für das gestellte Schalungsproblem bearbeiten kann. Zudem werden von den Schalungsherstellern CAD-Schalungsplanungsprogramme zur Verfügung gestellt.

Die Tendenz im Schalungseinsatz geht heute auch dahin, dass Schalungslieferfirmen (Bsp. DOKA, PERI etc.) ganze Systeme für ein Objekt anbieten und vermieten. Die Bauunternehmung kann sich damit die Schalungsinvestitionskosten ersparen und zahlt den Mietpreis nur für die Nutzungszeit und kann zudem projektspezifisch das effizienteste Schalungssystem einsetzen.

Stahl- und Aluminiumschalungen

Aus Kostenüberlegungen eignet sich der Einsatz von Stahlschalungen nur dort, wo ein **vielfacher Einsatz** gewährleistet ist. Prädestiniert ist daher der Bereich der **industriellen Fertigung** oder der **Vorfabrikation grosser Stückzahlen auf einer Baustelle**.

Der Schalungsaufbau ist ähnlich wie bei der Holzschalung und zwar:

- Schalhaut Stahlblech 3 - 6 mm
- Tragrost aus kassettenartigen Versteifungs- und Tragrippen aus Stahlprofilen (L-Profile, U-Profile, T- Profile etc.)

Die Stahlschalung hat grosse Vorteile z.B. bei langen Tunnelbaustellen aufgrund ihres meist hundertfachen Einsatzes. Durch ihre Robustheit kann sie dann ohne Richtarbeiten über die gesamte Tunnellänge eingesetzt werden. Damit wird sichergestellt, dass die Qualität der Betonschale die durch die Stahlschalung beeinflusst wird, über die Tunnellänge annähernd konstant ist. Die hohe Steifigkeit und Stabilität der Schalung ermöglicht einerseits die Erzielung einer geringen Massabweichungstoleranz und andererseits kann die Schalung mit einklappbaren Gelenken ausgestattet werden, die die mechanisierte Handhabung verbessert und zur Leistungssteigerung beiträgt.

Anforderungen an Schalungen

Je nach Einsatzort in einem Objekt haben Schalungen unterschiedlichen Ansprüchen zu genügen. Aufgrund dieser Anforderungen unterscheiden sich die Qualität der Schalungssysteme, der Arbeitsaufwand für das Stellen/Richten (Schalen und Ausschalen) und damit natürlich auch der Schalungspreis.

Für die verschiedenen Bauteile gelten folgende Anforderungen an die Schalung:

- Fundamente:

An Fundamente die im Untergrund verbleiben und nicht sichtbar bleiben, werden nur geringe Anforderungen hinsichtlich der Oberflächenstruktur und Massgenauigkeit gestellt. Daher ist meist eine einfache, aber effiziente rohe Brettschalung ausreichend. Jedoch werden zur Minimierung der Lohnkosten oft Systemschalungen eingesetzt.

- Wände:

Es kommen für diese Konstruktionsteile **gehobelte oder beschichtete, einhäuptige oder doppelhäuptige** Schalungen in Frage (Bild 10-6). Die Qualität der Oberflächenstruktur ist davon abhängig, ob die Wand sichtbar bleibt.

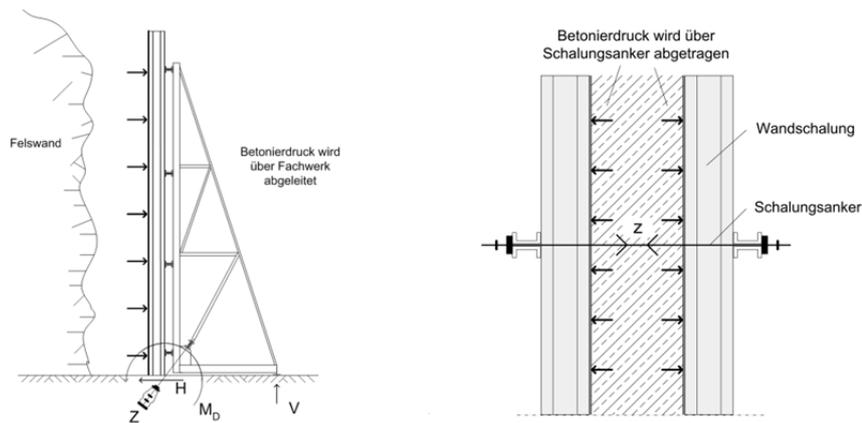


Bild 10-6: Wandschalungen (einhäufig, doppelhäufig, etc.)

- Decken:

Für diesen Zweck sind **gehobelte oder beschichtete, flächenhafte Schalungen** vorzusehen. Für die Einsatzplanung ist zu berücksichtigen, dass diese Schalungen je nach Spannweite der Decke erst nach 1 - 2 Wochen ausgeschalt (entfernt) werden dürfen bzw. eine temporäre Abstützung erforderlich ist.

- Unarmierte Abschaltungen von Arbeitsfugen:

Um das **Aufrauen** nach dem Ausschalen zu erleichtern, wird die Schalung mit einem Spezialmittel (Bsp. Rugasol) präpariert. Damit wird das Abbinden des Betons oberflächlich verzögert, so dass nach dem Ausschalen die Zementhaut mit einem Druckwasserstrahl abgewaschen werden kann.

- Armierte Abschaltungen von Arbeitsfugen:

Einschalen mit Holz ist äusserst aufwendig, ebenso das Ausschalen nach dem Betonieren. Daher wird bei armierten Abschaltungen vielfach Streckmetall verwendet, zu dessen Stützung eine einfache, aufgelöste Holzschalung (Einzelbretter) verwendet wird. Seit einigen Jahren werden armierte Abschaltungen auch mit Kunststofffolien, welche zwischen Abschaltbrettern fixiert sind, ausgeführt. Aufwand und Kosten können dabei minimal gehalten werden.

- Nuten, Aussparungen und Einbauteile:

In fast allen Objekten sind **Nuten** und **Aussparungen** zu schalen, um nachträgliches, lohnintensives stemmen zu verhindern.

Nuten: Diese müssen mit Spezialschalungen geformt werden oder es werden Einbauteile in die Schalung eingelegt, wie z. B. Dammbalkennuten in den Pfeilern eines Stauwehrs und die Schwellennuten für die Schütze eines Wehrs.

Aussparungen: Diese sind erforderlich um in Decken, Wänden und Stützen Durchführungen für Kanäle und Leitungen zu bilden. Zudem werden Aussparungen für Maschinenfundamente gebildet, um die Anker nachträglich zu setzen und zu vergiessen. Die Aussparungen werden aus Holzkästen, Styroporklötzen etc. gebildet.

Einbauteile: Diese werden für permanente Konstruktionen direkt in die Schalung gesetzt um eine monolithische Verbindung mit der Stahlbetonkonstruktion zu bilden. Bei allen Einbauteilen muss auf den Toleranzspielraum für die spätere Verwendung geachtet werden. Werden hohe Genauigkeiten verlangt, ist eine Ausspa-

rung mit nachträglichem Einbau des Einbauteils möglicherweise günstiger zur Erzielung höherer Genauigkeiten. Jedoch steigt der Lohnanteil bei Aussparungen für das Setzen von Einbauteilen.

Kernbohrungen: Für kleinere Rohr- oder Leitungsdurchführungen werden heute meist nachträglich Kernbohrungen durchgeführt. Dies ermöglicht ein genaues Anpassen der Rohrdurchführung an die lokale Leitungsführung.

Schalungskosten

Untersuchungen der Bauwirtschaft haben ergeben, dass im Stahlbetonhochbau die Schalkosten ca. 30% der Gesamtbaukosten betragen und der Schallohn am Gesamtrohbaulohn einen Anteil von ca. 50% hat. Daraus ergibt sich, dass durch gezielte Arbeitsvorbereitung in Bezug auf die Schalungsarbeit wesentliche Einsparungen möglich sind. Die Schalkosten werden gegliedert in Lohn- und Stoffkosten. Die Stoffkosten betragen im Mittel ca. 20 - 25% der Gesamtkosten. Es ist daher in der Regel zu untersuchen, ob durch Verwendung von hochwertigerem Material und Systemschalungen die Lohnkosten gesenkt werden können, um eine Reduktion der Gesamtkosten zu erzielen.

10.3.2 Schalungselemente

10.3.2.1 Schalhaut - Formgebung

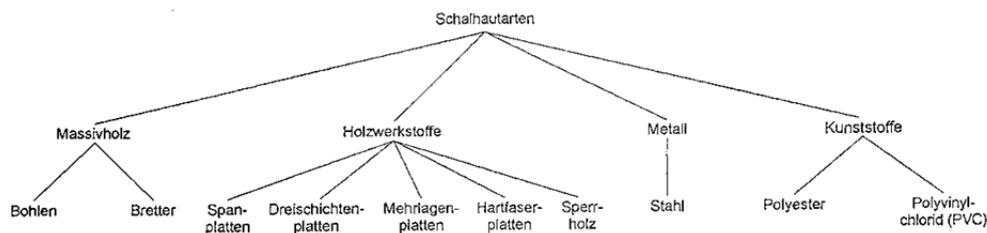


Bild 10-7: Schalhautarten [3]

Vollholzschalung:

Brettschalung

Die Brettschalung besteht aus aneinander gelegten Brettern. Diese können ungehobelt 3 - 5 mal und gehobelt ca. 8 mal zum Einsatz kommen.

Schalplatten

Das Standardmass der Schalplatte ist 0.50 * 1.50 m. Sie ist aus einzelnen Brettern bzw. aus dreischichtigen Brettlagen (Bild 10-8) zusammengefügt und hat an den Enden einen Stahlkantenschutz. Je nach Güte werden diese 15 bis 40 mal verwendet.

Mehrschichtenschaltafeln

Diese Tafeln bestehen aus mehrlagig kreuzweise verleimten Brett- oder Furnierholzlagen. Man unterscheidet folgenden Tafelaufbau:

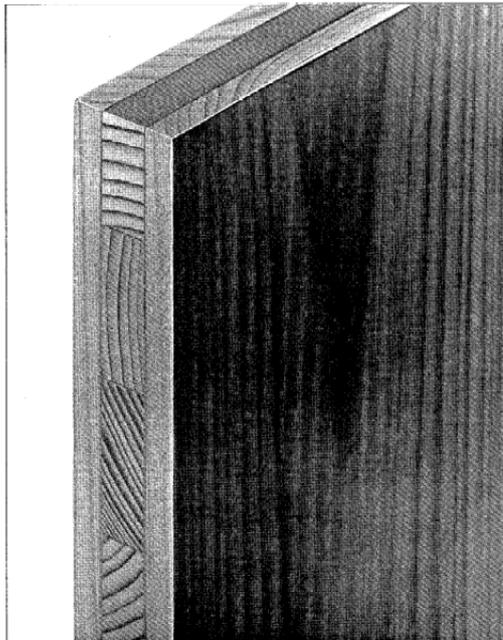
- Dreischichtenschaltafeln aus drei gleichdicken Nadelholzbrettlagen
- Dreischichtenschaltafeln aus einem Kern aus Stab- oder Sperrholzstäben mit auf beiden Seiten aufgeleimten Funierschichten mit oder ohne Kunststoffbelag (Bild 10-8)
- Vielschichten-Schalungstafeln aus mehr als drei Funierlagen (Bild 10-9)

Diese Mehrschichtentafeln bestehen aus mehreren kreuz und quer verleimten Sperrholzschichten und erreichen dadurch eine hohe Festigkeit. Sie werden in Grössen von 2.00 * 3.00 m oder 2.50 * 3.00 m geliefert. Die Durchbiegungen sind bei gleicher Stützweite wesentlich geringer als bei Brettern. 15-20 -facher Einsatz ist möglich. Die Feuchtigkeitseinwirkungen (Quellen und Schwinden) sind bedingt durch die Kunststoffoberflächenschichtung gering.

Doka-Schalungsplatten

Plywood
Panneaux de coffrage

9



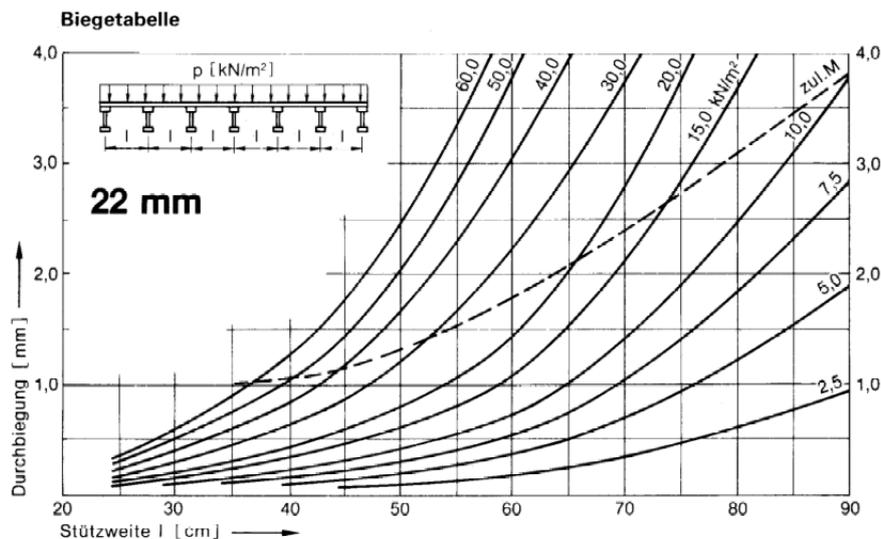
Doka-3-SO-Dreischichtenplatte, 22 mm

Dreischichtige Weichholzplatte, koch- und wetterfest verleimt, mit hochdruckverpreßten Kunstharzoberflächen. Wirtschaftliche Schalungsplatte für alle Schalungsaufgaben.

Gewicht: 10,5 kg/m²

Normalformate:

100/ 50 cm	Art.Nr. 186007
150/ 50 cm	Art.Nr. 186008
200/ 50 cm	Art.Nr. 186009
250/ 50 cm	Art.Nr. 186011
300/ 50 cm	Art.Nr. 186012
350/ 50 cm	Art.Nr. 186028
400/ 50 cm	Art.Nr. 186013
450/ 50 cm	Art.Nr. 186029
500/ 50 cm	Art.Nr. 186014
600/ 50 cm	Art.Nr. 186027
100/100 cm	Art.Nr. 186015
150/100 cm	Art.Nr. 186016
200/100 cm	Art.Nr. 186017
250/100 cm	Art.Nr. 186018
300/100 cm	Art.Nr. 186019
350/100 cm	Art.Nr. 186030
400/100 cm	Art.Nr. 186020
450/100 cm	Art.Nr. 186031
500/100 cm	Art.Nr. 186021
600/100 cm	Art.Nr. 186024



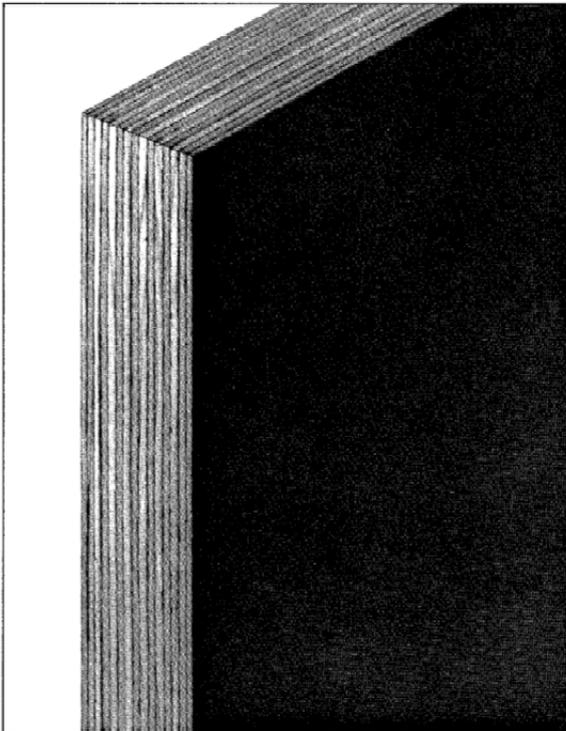
Die Durchbiegewerte wurden aus Versuchen nach 24-stündiger Wasserlagerung ermittelt. Die Faserrichtung der Deckschichten liegt senkrecht zu den Unterstützungen.

Bild 10-8: Schalungsplatte [4]

9

Doka-Schalungsplatten

Plywood
Panneaux de coffrage



Dokaplex - Schalungsplatte, 21 mm

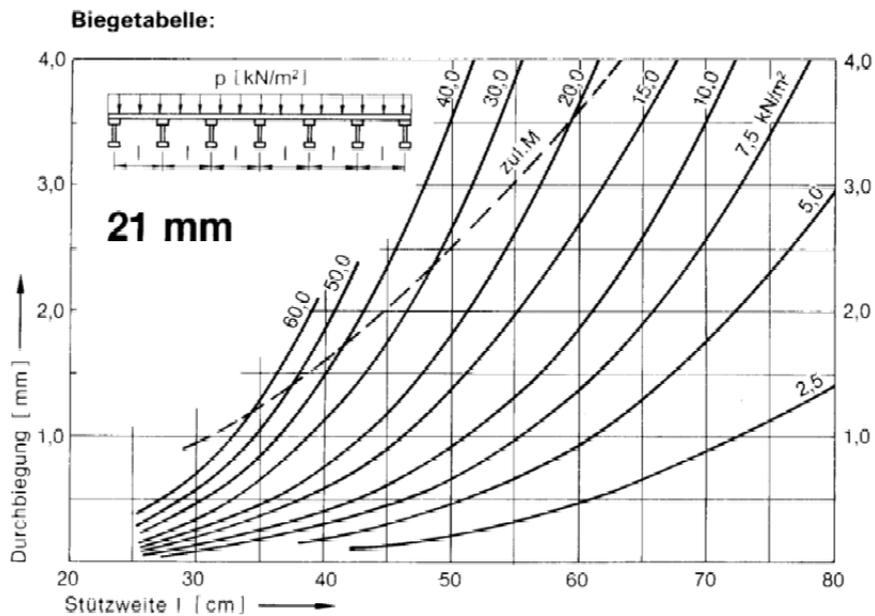
Filmbeschichtete finnische Sperrholzplatte, koch- und wetterfest verleimt. Geeignet als Schalungsplatte mit hohen Einsatzzahlen zur Herstellung von glattem Sichtbeton.

Bitte beachten:
Schnittflächen durch Versiegelungslack schützen.
Rüttler mit Gummikappen vermeiden Beschädigungen der Plattenoberfläche.

Gewicht: 15,0 kg/m²

Lieferformate:

150/250 cm Art.Nr. 185002
150/300 cm Art.Nr. 185003



Verformungswerte bei 27% Feuchtigkeitsgehalt
Faserrichtung der Deckfurniere senkrecht zu den Unterstützungen

Bild 10-9: Schalungstafel [4]

Holzfasерplatten/-tafeln

Sie bestehen in ihrem Grundstoff aus Holz. Holzabfälle aus der Sägeindustrie werden zerkleinert, zerfasert und unter starkem Druck bei hohen Temperaturen zu Platten gepresst. Die Holzfasern liegen somit nicht mehr in einer Richtung. Die Tragwirkung ist in allen Richtungen gleich. Sie besitzen dadurch in keiner Achse eine besondere Tragfähigkeit. Die Wasseraufnahmefähigkeit ist sehr hoch, was zu Quellerscheinungen führt. Daher ist die Einsatzhäufigkeit selbst bei Kunststoffbeschichtung auf ca. 5 Einsätze beschränkt, weshalb sie kaum eingesetzt werden.

Stahl

Stahlschalung wird wegen hohem Gewicht und hohen Kosten nur begrenzt eingesetzt und nur dort, wo vielfacher Einsatz möglich ist, z.B. bei Tunnelschalung, bei Stützen oder Säulen von Hochstrassen, die oft vorkommen, sowie bei der Forderung hoher Massgenauigkeit. Einsatzzahl über 100.

Kunststoff

Harte Kunststoffschalung kann bis 100 mal eingesetzt werden. Kunststoffbeschichtungen werden wegen den hohen Stoffkosten nur bei Spezialschalungen, z.B. für Sichtbetonflächen mit Struktur, verwendet.

Verbindungsmittel

Als Verbindungsmittel werden hauptsächlich Nägel, Bolzen, Dübel, Rödeldrähte, Holzkeile, Spindeln, Spannschlösser, Spannanker mit Spannplatten und Verschraubungen sowie Spanndrähte in ST I \varnothing 8 und Abstandhalter (Konen) verwendet.

10.3.2.2 Unterbau der Schalung - Trägerrost

Heute werden folgende Schalungsträger verwendet:

- Kanthölzer (nur noch selten - zum Beischalen)
- Holz-Systemschalungsträger als Zweipunktequerschnitt aus Fachwerk- oder Doppel-T-Vollwandträger
- Aluminium-Systemschalungsträger

Die Kanthölzer werden nur noch für untergeordnete Zwecke eingesetzt.

Heute verwendet man weitgehend die Holz-Systemschalungsträger. Diese werden konventionell eingesetzt mit weiteren Systemelementen, wie Schaltafeln oder –platten, Spindelstützen mit Gabelköpfen, Stapeltürmen/Deckentischen oder bei Wandschalungen mit Abstützböcken.

Aluminium Systemschalungsträger werden einerseits als kombinierbare Elemente wie die Holz-Systemschalungsträger eingesetzt. Um die Schalungstafeln bzw. –platten auf die Stege auf zu nageln wird in den Obergurt eine Holzleiste in den Aluträger eingesetzt. Für Decken wurden spezielle Alu-Deckenschalungssysteme entwickelt. Diese bestehen aus:

- Alu-Kassettenelementen
- Alu-Längsträger
- Stützen mit Fallköpfen

Als integriertes Modulschalungssystem - bestehend aus Schalhaut und Unterkonstruktion - wird die Rahmentafelschalung bezeichnet. Die Rahmentafelschalung besteht aus einem integrierten Aufbau, bestehend aus Schalhaut und einer Rahmenkassette als Unterkonstruktion. Diese Kassetten werden in verschiedenen Modulgrößen angeboten.

10.3.2.3 Rüstung - Stützung

Die Rüstung der Schalung besteht heute weitestgehend für den Normaleinsatz aus Systemelementen. Nur bei extrem grossen Lasten werden stahlbaumässige Lösungen eingesetzt. Die Standardelemente der Deckenrüstung sind:

- Spindelstützen zum Absenken mit Gabel- oder Fallköpfen
- Gerüsttürme oder auch Stapeltürme genannt
- Deckentische

Die Standardelemente der Wandrüstung sind:

- Abstützböcke
- Kletterkonstruktionen

10.3.2.4 Grundelemente des konventionellen Schalens

Als konventionelle Schalung bezeichnen wir Schalungen die aus einzelnen Elementen auf der Baustelle während des Einschalens zusammengebaut werden. Diese Elemente sind während des Zusammenbaus frei variierbar. Der Aufbau erfolgt nicht nach einem System. Man kann die konventionelle Schalung unterteilen in:

- Gezimmerte Schalungen – Bretter, Kanthölzer, etc.
- Aus Systemeinzeelementen zusammengesetzte Schalungen: Schaltafeln, Systemträger, Gerüstspindel/Stapeltürme/Abstützböcken

Entstehen bei Systemschalungen Lücken, so werden diese konventionell beigelegt. Zudem werden gezimmerte Schalungen heute für spezielle Formen eingesetzt die man mit Systemeinzeelementen, bedingt durch den hohen Verschnitt, nicht abbilden kann. Als Beispiel können Einlauftrumpeten bei Wasserkraftwerken genannt werden. Für diesen Zweck verwendet man Schnittholzquerschnitte. Diese sind als Vorratshölzer meist genormt. Man beschränkt sich auf einige wenige Standardmasse. Bretter von 24 mm Rohdicke haben sich als Schalhaut allgemein durchgesetzt. Bei den Bohlen ist die gängige Grösse 5 cm (doppelte Normalbrettstärke). Die Bohlen werden meist zur Herstellung von Querspannten bei Bogenschalungen verwendet. Die DIN 4071 bezeichnet Holzdicken bis 35 mm als Bretter, ab 40 mm als Bohlen. Die gängigen Abmessungen für Kanthölzer liegen:

z.B. 8/8-24 10/10-24 12/12-24 [cm]

Hieraus können die Trag- und Stützkonstruktionen für die üblichen Schalungen hergestellt werden.

10.3.3 Systemschalungen

Als Systemschalungen bezeichnet man vorgefertigte, systematisierte und standardisierte Schalungen, die weitgehend verwendbar sind. Systemschalungen werden je nach

Integrationsgrad der Konstruktionselemente Schalhaut, Unterbau und Rüstung unterteilt in:

- Elementschalungssysteme
- Modulschalungssysteme
- Grossflächenschalungssysteme

Bei den **Elementschalungssystemen** sind die einzelnen Elemente für die Schalhaut, den Unterbau und die Rüstung standardisiert und vereinheitlicht. Die Elemente sind für den Zusammenbau optimal abgestimmt. Zudem werden die Elemente so konzipiert, dass sie variabel für verschiedenste Bauaufgaben verwendet werden können.

Bei den **Modulschalungssystemen** sind verschiedene Elemente zu einem Modul zusammengefasst. Beispiele hierzu sind:

- Kassettenplatten- und Rahmentafelschalungen, bei denen Schalhaut und Unterbau in einer Konstruktion vereinigt sind
- Gerüsttürme, bei denen die Stützen und Horizontalaussteifung in einem Modul vereinigt sind

Bei **Grossflächenschalungssystemen** sind meist die Elemente Schalhaut, Unterbau und Rüstung zu Grossflächeneinheiten vereinigt. Typische Grossflächenschalungssysteme sind:

- Schaltische, bei denen die Schalhaut, Trägerrost und Stützung in einer Grosseinheit vereinigt sind
- Wandschalungssysteme, bei denen die Schalhaut, Unterbau/Trägerrost, sowie die Abstellstützenkonstruktion vereinigt ist.

10.3.3.1 Elementschalungssysteme

Heute verwendet man meist Schalungen aus Systemeinelementen. Die oben genannten Systemeinelemente werden auf der Baustelle gemäss den individuellen, geometrischen Anforderungen nach den Angaben der AVOR zusammen gebaut. Der konventionelle Zusammenbau auf der Baustelle erfolgt bei Projekten mit geringem oder keinem Wiederholungseffekt.

Der Vorteil der Systemeinelemente besteht darin, dass diese standardisiert sind in Bezug auf:

- Statische Belastbarkeit
- Elementlängen und Querschnittsabmessungen
- Kompatibilität der einzelnen Elemente zueinander

Um die Einsatzhäufigkeiten der Elemente optimal auszuschöpfen sollten die Einzelemente (Schaltafeln, Schalungsträger, Unterstützungskonstruktionen) nie angepasst werden. In manchen Fällen müssen Randbereiche der Schalhaut „beigeschalt“ werden, da die Systemstandardabmessungen der Elemente und deren multiple Masse meist von den gewählten Bauwerksabmessungen abweichen. Dazu verwendet man:

- Bei der Schalhaut werden Brettschalungen oder alte Schaltafeln in den Randbereichen angepasst.

- Bei den Schalungsträgern werden die Randträger versetzt überlappt angeordnet ohne dass ein Träger angeschnitten wird
- Die Unterstüztungskonstruktion besteht aus Stahl- oder Alu-Stützen oder aus Stapeltürmen, diese sind meist höhenverstellbar, daher werden diese nicht mittels Schneidbrenner oder Säge angepasst.

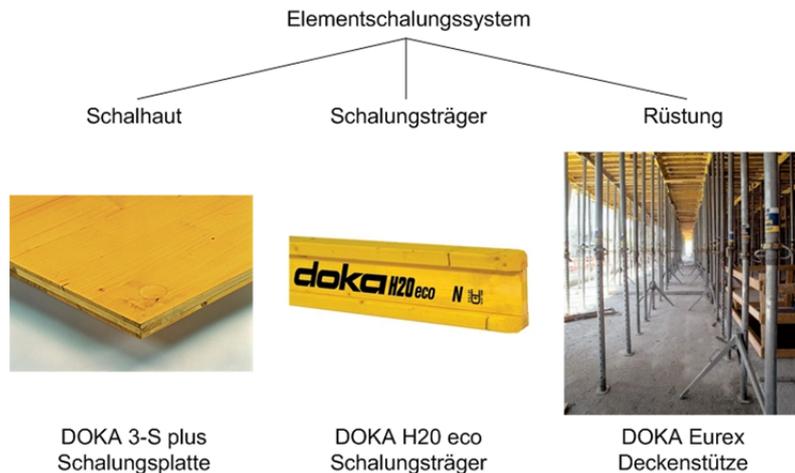


Bild 10-10: Elementschalungssystemkomponenten [4]

10.3.3.2 Modulschalungssysteme

Eine der wichtigsten industriellen Rationalisierungsmöglichkeiten ist die Aufteilung von Werkstücken in einzelne Module. Die Folge eines solchen Prozesses ist oft die Entstehung von Baukastensystemen.

Die Rahmenschalung besteht aus einzelnen Rahmentafeln, d.h. aus einzelnen Holz- oder Metallrahmen, auf die eine Schalhaut aufgeschraubt ist. Die Rahmentafelschalungen werden aneinandergesetzt und miteinander durch Schnellkuppelungen an den Rahmen verbunden (Bild 10-11).



Bild 10-11: Rahmentafelwandschalung

Analog zur Rahmentafelwandschalung dient das Fallkopfkassettenschalungssystem als effizientes Modulsystem zum Schalen von Decken (Bild 10-12 und Bild 10-13).

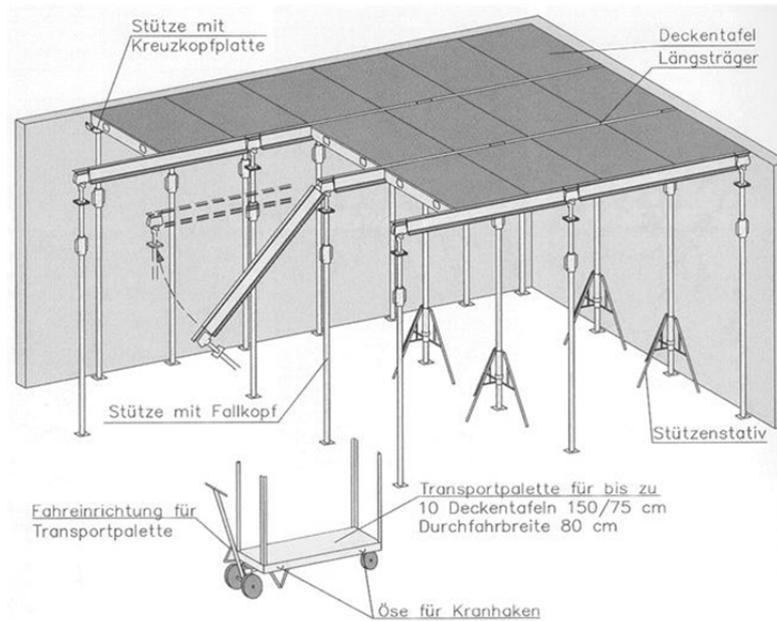


Bild 10-12: Fallkopfkassettenschalung

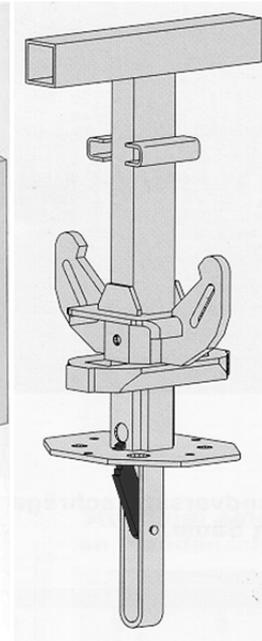


Bild 10-13: Fallkopf [4]

10.3.3.3 Grossflächenschalungssysteme

Grossflächenschalungssysteme sind grossflächige Einheiten, bei denen Schalhaut, Unterkonstruktion und die Stützung zu grossflächigen Einheiten zusammengefügt werden. Dies führt bei repetitiv herzustellenden Bauteilen, bei denen die Systeme ohne Veränderung verwendet werden können, zu einer hohen Rationalisierung und Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger Senkung der Lohnkosten pro Nutzung. Allerdings sind die Fixkosten zur Herstellung bzw. Vorbereitung der Grossflächenschalungssysteme zu beachten.

Die Elemente werden in einer Zimmerei zu Grossflächenschalungssystemen transportfähig zum mehrmaligen Umsetzen (Wiederverwendung) hergerichtet und zusammengebaut. Dadurch wird bei mehrmaligem Umsetzen der Schalung eine hohe Wirtschaftlichkeit mit geringen Einheitsschalzeiten erreicht.

Beispiele für Grossflächenschalungssysteme sind:

- Deckenuntertische, die zusammengesetzt sind aus den Systemelementen Schalhaut und Unterbau, sowie Stützelement
- Wandschalungssysteme, die zusammengesetzt sind aus den Element- oder Modulsystemen der Schalhaut und des Unterbaus, sowie Modulsysteme für die Abstützung (Abstützblöcke)
- Stützenschalung, die zusammengesetzt ist aus der Schalhaut, dem Trägerrost und der Abstützung und die als Gesamteinheit von Stütze zu Stütze versetzt werden können
- Klettersystemeinheiten, die zusammengesetzt sind aus Wandschalungsmodulen, Abstützmodulen und Klettermodulen

10.4 Schalungssysteme

10.4.1 Beurteilungskriterien

Zur positiven Beurteilung eines Schalungssystems ist es erforderlich, dass:

- die Grundmontage zügig durchgeführt werden kann, da die Grundmontagestunden auf die Schalzeit umgelegt werden
- der Elementstoss einfach hergestellt und schnell ausgerichtet werden kann
- die Stirnschalung beim Ein- und Ausschalen ein Minimum an Zeit erfordert
- das Grossflächenelement leicht aufgesetzt und verlängert werden kann
- die Lauf- und Arbeitskonsolen fest installiert sind
- die Schalungsanker in der Anzahl gering sind und dass sie leicht angebracht und bedient werden können
- gegebenenfalls eine Umbaumöglichkeit zur Anpassung an veränderte Abmessungen möglich ist

Für die Oberflächengüte des Betons, aber auch aus fertigungstechnischen Gesichtspunkten heraus, ist es ausserdem wichtig, den richtigen Schalungshauttyp zum Einsatz zu bringen.

10.4.2 Wandschalungen

Die Wandschalungen bestehen meist aus transportfähigen zusammengesetzten Einzelelementen. Man kann folgende Systeme unterscheiden:

- Elementsystem – Schaltafel verbunden mit vertikalen Systemschalungsträgern in äquidistanten Abständen und horizontal ausgesteift mit Doppel-U-Riegeln zur Grossflächenwandschalung. Die Abstützung erfolgt mittels vertikalen Abstützböcken.
- Modulsystem – Rahmentafelschalungen mit vertikalen Abstützböcken

In Bild 10-14 sind verschiedenen Schalungsverfahren zur Abschaltung von vertikalen Elementen wiedergegeben.

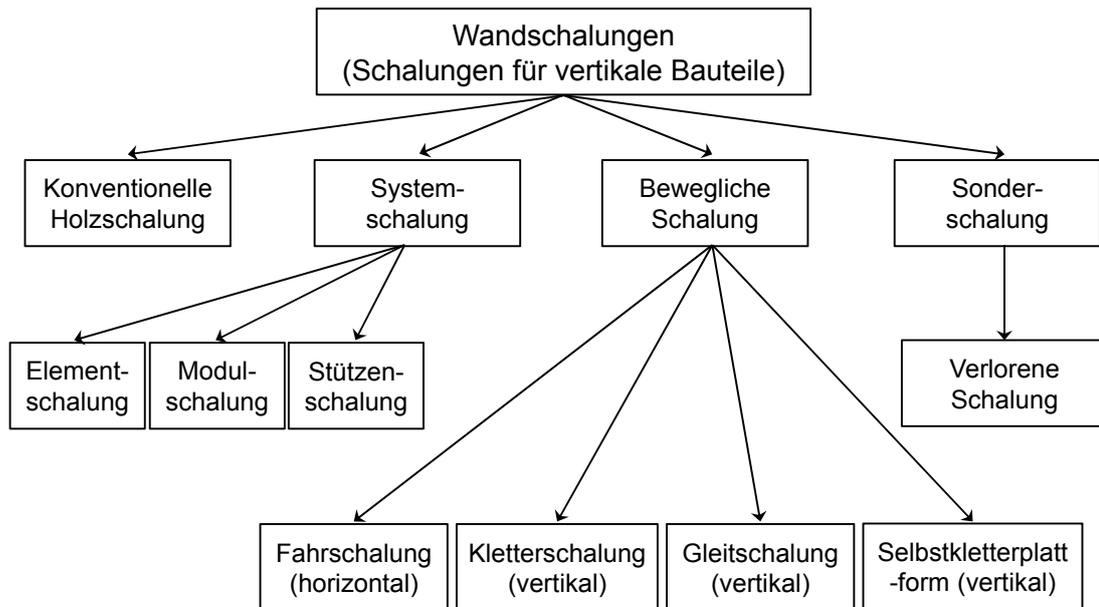


Bild 10-14: Übersicht – Schalverfahren für vertikale Bauteile [3]

10.4.2.1 Elementschalungswandsysteme

Elementschalungswandsysteme sind sehr flexibel einsetzbar für fast alle Bauteile. Daher werden diese von den meisten Bauunternehmen auf ihren Werkhöfen vorgehalten. Die Elementschalungssysteme müssen für jedes Bauteil neu zusammengesetzt werden. Daher sind die Aufwandswerte höher als bei Modulsystemen, die spezialisiert sind für Wände und Stützen (Rahmentafeln) sowie Decken (Fallkopfschalung), aber flexibler für alle Bauteile und Bauwerke einsetzbar.

Für Wandschalungen werden die Systemelemente zu Grossflächenschalungen projektspezifisch zusammengebaut (Bild 10-15). Der Zusammenbau erfolgt heute meist schon auf dem Werkhof.

Der Aufbau der Wandschalung aus Systemelementen ist wie folgt (Bild 10-15):

- Schalungsplatten
- vertikale Systemträger aus Holz
- horizontaler Stahlwandriegel
- Abstellstützen zum Aufstellen bei zweihäufigen bzw. Abstützböcke zum Aufnehmen des Betondrucks bei einhäufigen Schalungen

Diese Elemente werden zu Grossflächenschalungsmodulen zusammengefügt, die meist mit dem Kran versetzt werden. Die Grossflächenmodule erhalten eine aufgesetzte Betonierkonsole als Arbeitsbühne und unten Abstützböcke bzw. Abstellstützen zum Aufstellen und Ausrichten der Schalung (Bild 10-17).

Die einzelnen Grossflächenmodule werden mittels Verbindungslaschen und Trägerklammern gekoppelt, um eine Wand grosser Länge zu betonieren (Bild 10-16).

Wanddecken werden aussen mit einer Wandzwinde bzw. Eckverspannung gesichert. Die Innenecken werden mit einem Spezialelement geformt, um das Ausschalen zu erleichtern (Bild 10-16).

Der Betondruck wird durch Spannanker aufgenommen. Bild 10-18 zeigt verschiedene Varianten:

- Durchspannankersystem – Spannanker im Kunststoffrohr geführt
- Spannanker mit Ankerkonus

Der Durchspannanker wird im Kunststoffrohr geführt. Diese Verankerung der Schalung kann nur bei Bauwerken angewendet werden, für die keine Anforderungen hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit besteht. Das Röhrchen wird von beiden Seiten nach dem Ziehen des Ankers mit einem Quellschuttel versiegelt.

Der Schalungsanker mit Spannkonus ist dreigeteilt. Dieses Spannsystem wird bei wasserundurchlässigen Bauwerken verwendet. Der dreiteilige Spannanker ist in die beiden Konusse eingedreht. Die Wandspannanker können noch mit einem umlaufenden Wasserstopp versehen werden, dieser bleibt nach dem Erhärten des Betons in der Wand (Bild 10-19). Die beiden äusseren Spannankerteile und die Konusse werden wiedergewonnen.

In Bild 10-20 ist die Flexibilität und Einsatzvielfalt der Elementsysteme bei der Schalung eines Rundbehälters aufgezeigt. Die einzelnen Elemente zur Formung des Kreisprofils sind in der Abbildung dargestellt.

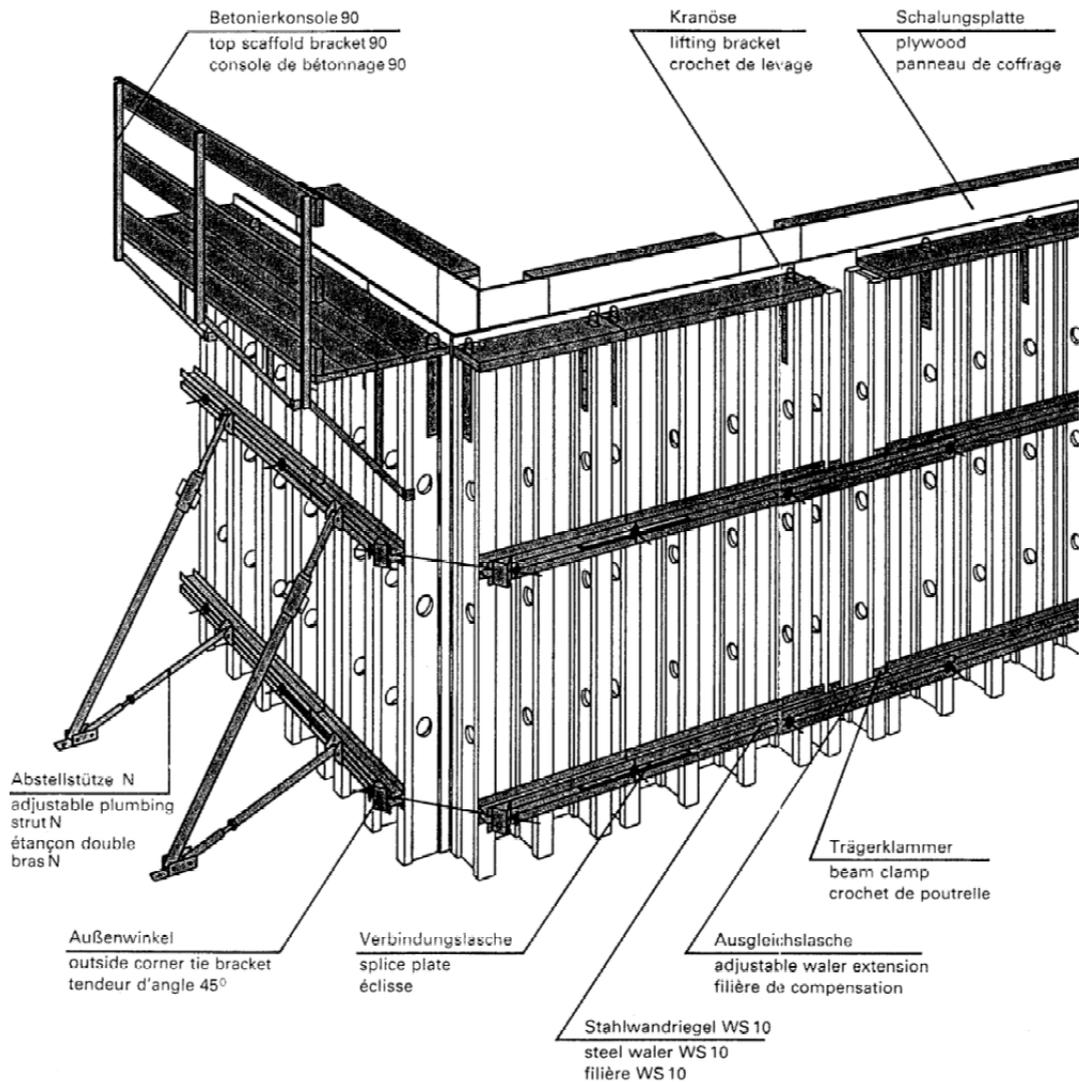


Bild 10-15: Grossflächenschalung aus Systemeinzellelementen [4]

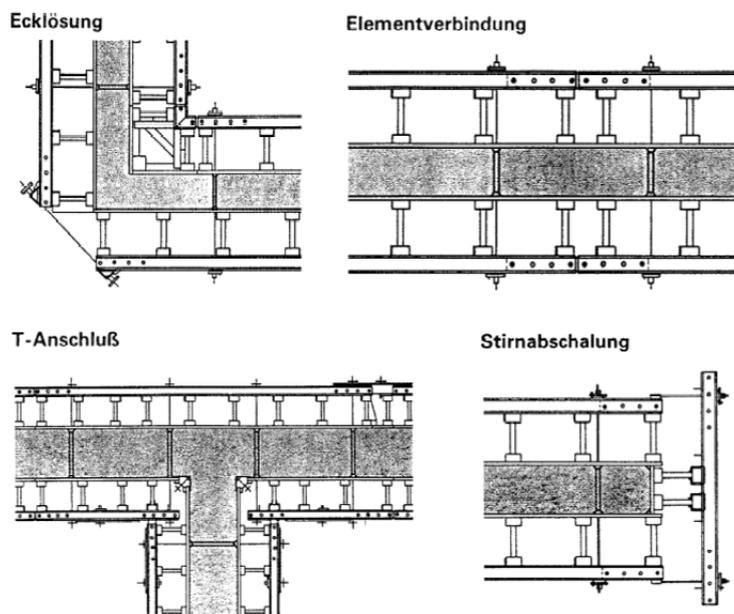


Bild 10-16: Grossflächenschalung aus Systemeinzellelementen [4]

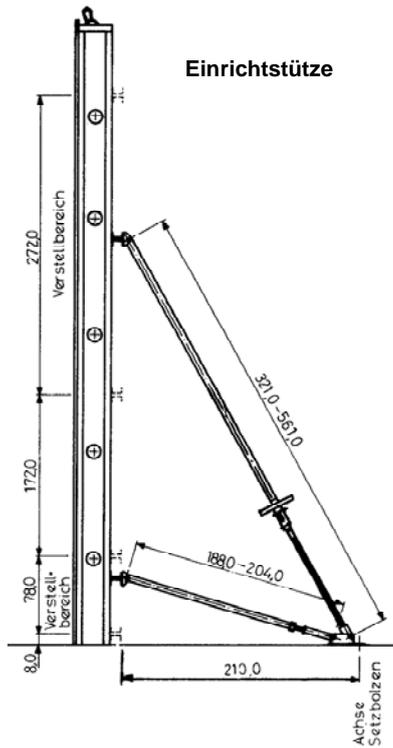
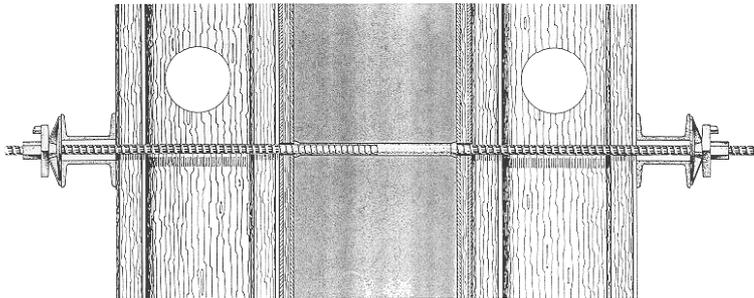
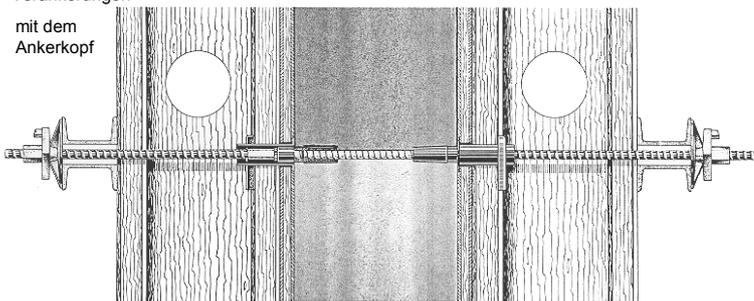


Bild 10-17: Grossflächenschalung aus Systemeinzelheiten [4]

Durchspann-Ankersystem



Verankerungen
mit dem
Ankerkopf



mit dem
Spannkonus

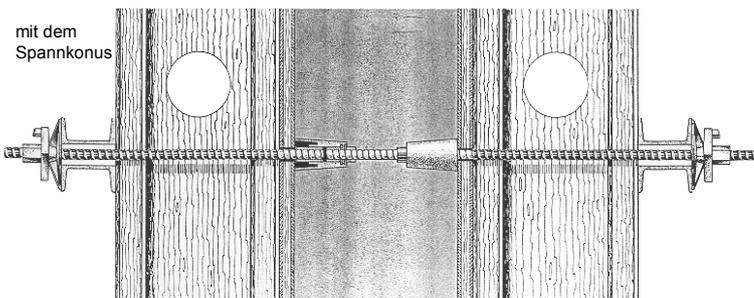


Bild 10-18: Einbauablauf eines Ankers für eine Kletterkonsole [4]

Ankerung

Die gezeigten Spannanker-Garnituren sind PERI Empfehlungen und nur beispielhaft. Andere Zusammensetzungen sowie Ausführungen können aus statischen oder konstruktiven Gegebenheiten erforderlich sein.

Standardversion

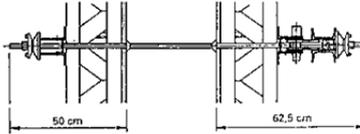
Tabelle: Zulässige Wanddicken in Abhängigkeit der Ankerstablänge.

Ankerstablänge	zul. Wanddicke ohne Verteilriegel	zul. Wanddicke mit Verteilriegel
DW 15 l = 1,50 m	50 cm	25 cm
DW 15 l = 1,70 m	70 cm	45 cm
DW 15 l = 2,00 m	100 cm	75 cm

■ Ankerstab DW 15 (L siehe Tabelle oben)

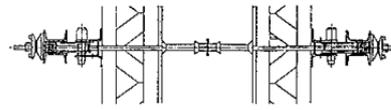
■ Distanzrohr mit Druckkonus als verlorenes Teil.

▾ Beidseitig Muttergelenkplatte



Wasserdichte Ausführung

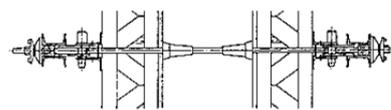
A) Mit Wasserstopmittelteil



■ Wasserstopmittelteil und zwei Stück Distanzrohre als verlorene Teile.

■ Beidseitig Muttergelenkplatte

B) Mit Ankerkonus



■ Zwei Stück Ankerkonus DW 15 / DW 15 wiederverwendbar.

■ Spannstab DW 15 als verlorenes Teil.

■ Beidseitig Muttergelenkplatte

Bild 10-19: Schalungsanker [5]

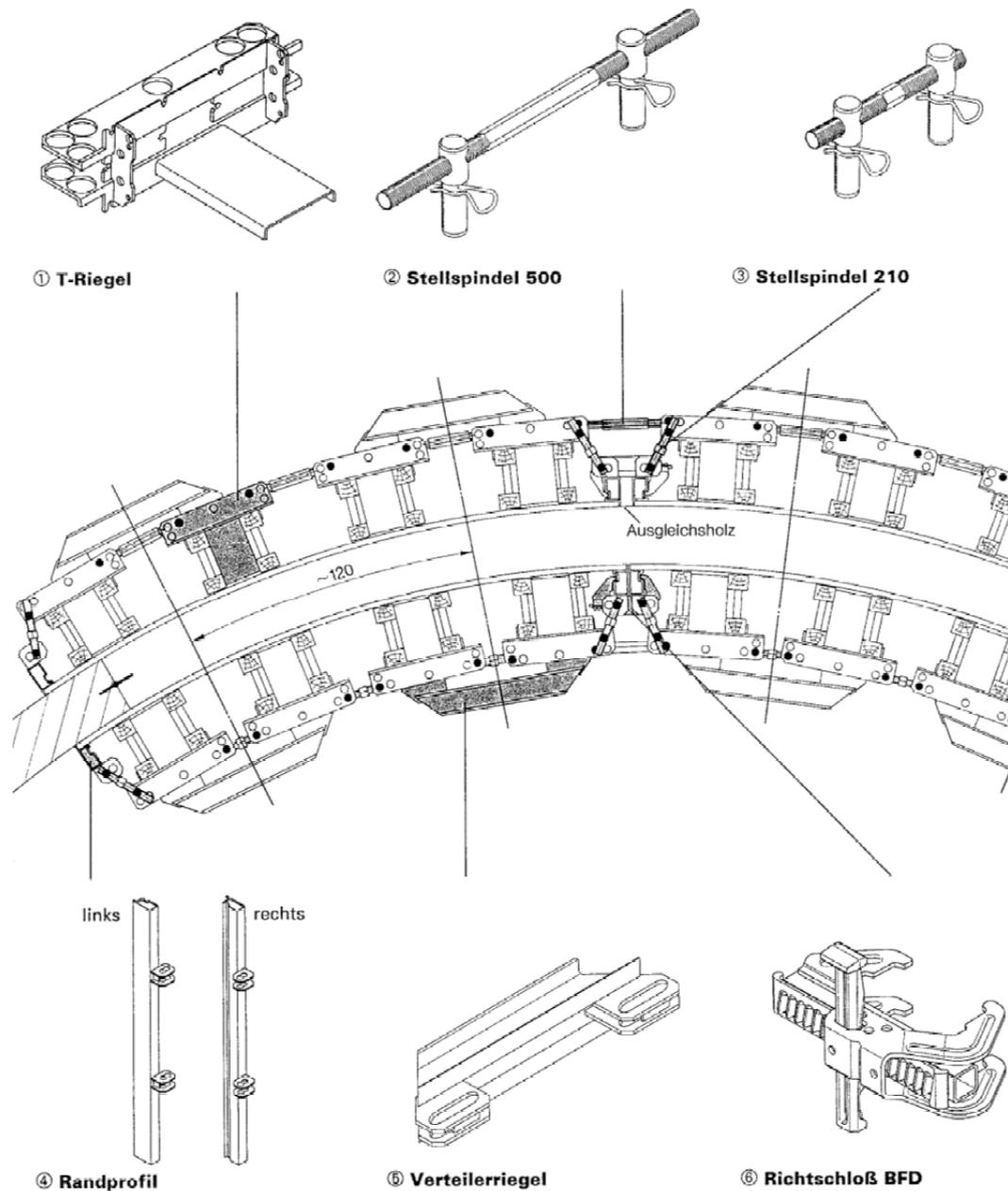


Bild 10-20: Schalung für Rundbehälter [5]

10.4.2.2 Modulwandschalungssysteme

Das baubetriebliche Effizienzziel der Modulrahmenschalungssysteme ist es, unter Verwendung einer möglichst geringen Anzahl von Grundrahmenmodulen, Spannvorrichtungen, Eckelementen und Ausgleichsblechen eine möglichst grosse Formenvielfalt herstellen zu können. Module mit einer Kantenlänge von 30cm und einem Vielfachen erlauben eine Rasterung.

Die Vorteile der Rahmentafelschalungen liegen in ihrem verhältnismässig geringen Gewicht der kassettenartigen Einzelelemente (Module), das den fast ermüdungsfreien Handtransport durch eine Person ermöglicht, sowie in der Möglichkeit der Generierung von grossflächigen Schalflächen durch den Zusammenbau mehrerer kassettenartiger Einzelelemente (Bild 10-21 und Bild 10-22). Diese Grosstafelelemente werden mit dem Kran transportiert.

Die Aufwandswerte einer Rahmenschalung sind erheblich geringer als bei den Schalungen, bei denen Schalhaut und unmittelbare Tragkonstruktionen beim Schalvorgang noch getrennt auf- und abgebaut werden müssen.

Die Rahmenschalung wird als Decken- und Wandschalung verwendet und je nach Grösse der Elemente mit oder ohne Kranhilfe versetzt.

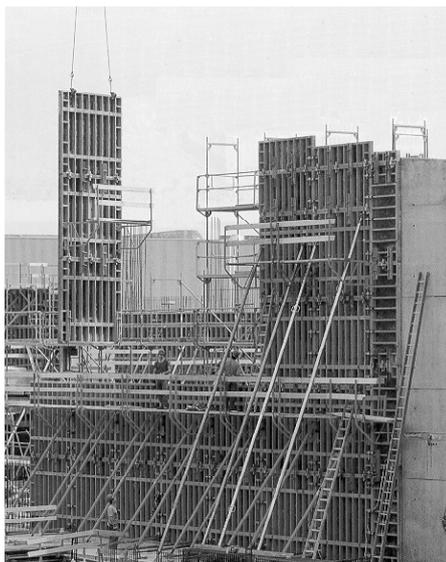


Bild 10-21: Rahmentafelschalung im baubetrieblichen Einsatz [4]

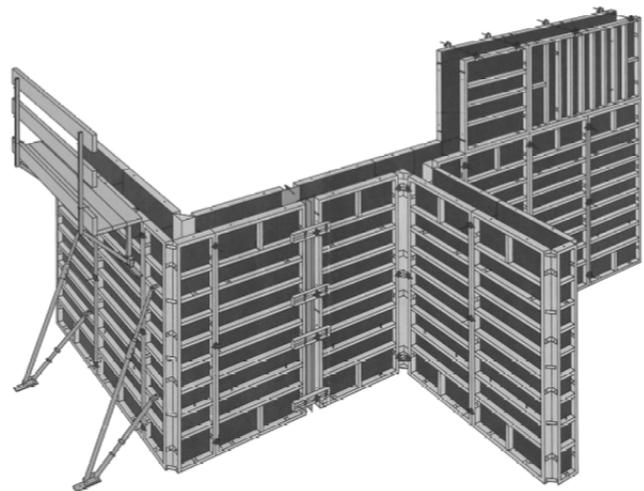


Bild 10-22: Aufbau und Module einer Rahmentafelwandschalung [4]

10.4.2.3 Herstellungsablauf für Betonwände

Nach dem Ausfluchten und Anzeichnen der Wände auf der Geschosdecke wird mit der Erstellung einer Schalungsseite begonnen. Diese Schalungsseite wird mit Hilfe von Dreiecksrahmen oder Teleskopstützen vertikal ausgerichtet (Bild 10-23). Gegen horizontale Verschiebung ist eine Verankerung im Fussbereich der Schalung vorzusehen (Bild 10-24). Nun erfolgt der Einbau der Bewehrung. Abstandshalter garantieren die geforderte Betondeckung. Sind diese auch auf der noch offenen Schalungsseite so an der Bewehrung befestigt, dass sie auch nach dem Schliessen der Schalung ihren Zweck erfüllen, kann die zweite Schalungsseite geschlossen werden (Bild 10-25). Die

beiden Schalungsseiten werden durch Schalungsanker, die den Betondruck aufnehmen, miteinander verspannt, wodurch die Abstützungen lediglich die Vertikalität zu garantieren haben. An den Stirnseiten der Wand sind Abschalungen herzustellen, die meist so ausgebildet sein müssen, dass die Horizontalbewehrung durch diese hindurchgeführt werden kann (Bild 10-26).

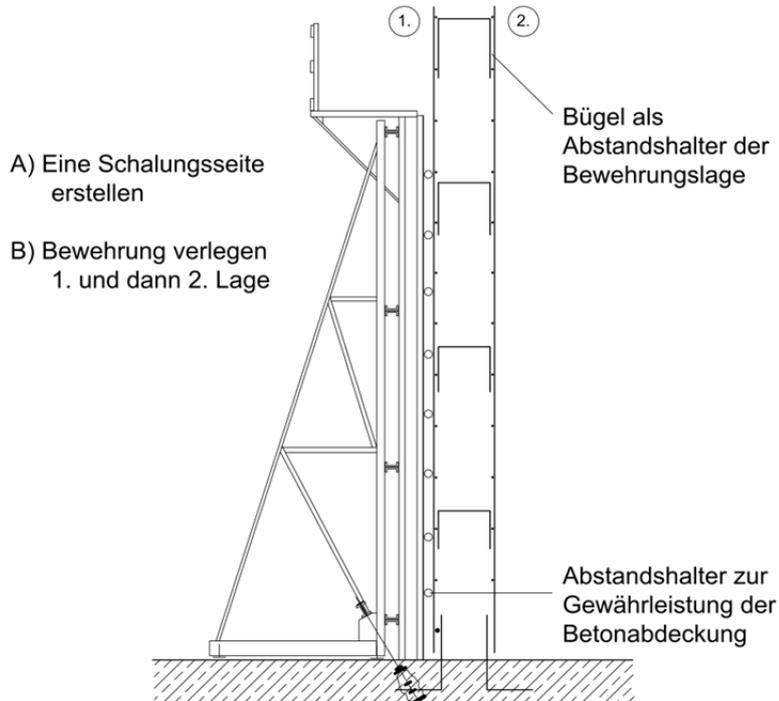


Bild 10-23: Herstellungsablauf für Betonwände

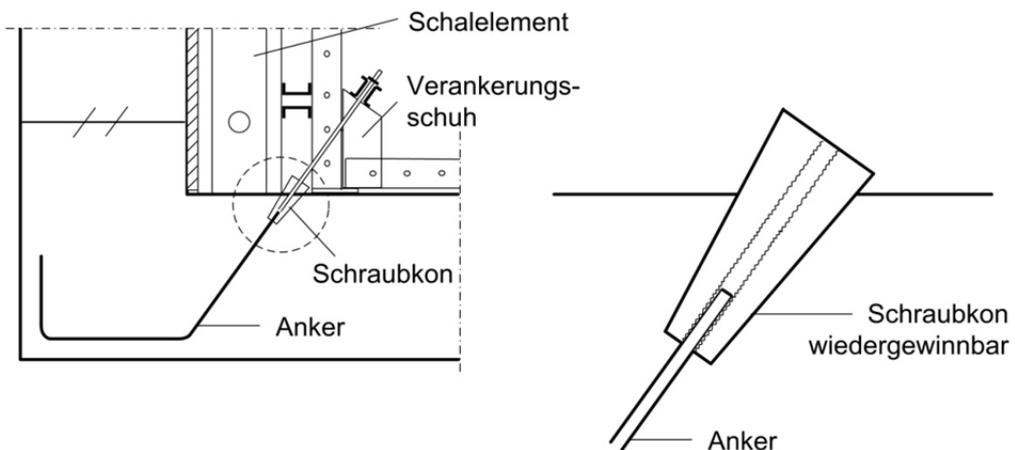


Bild 10-24: Verankerung der Wandschalung: Schraubkon

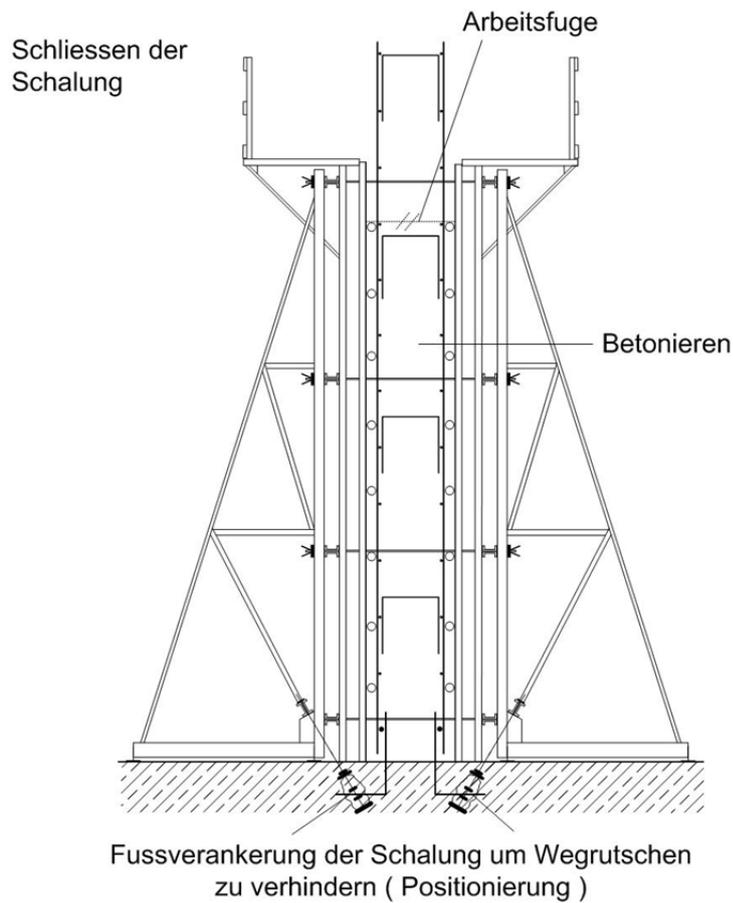
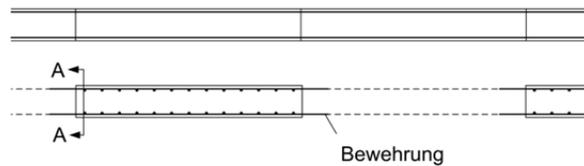


Bild 10-25: Herstellungsablauf für Betonwände

Einteilung der Wand in Betonierabschnitte



Schnitt A-A

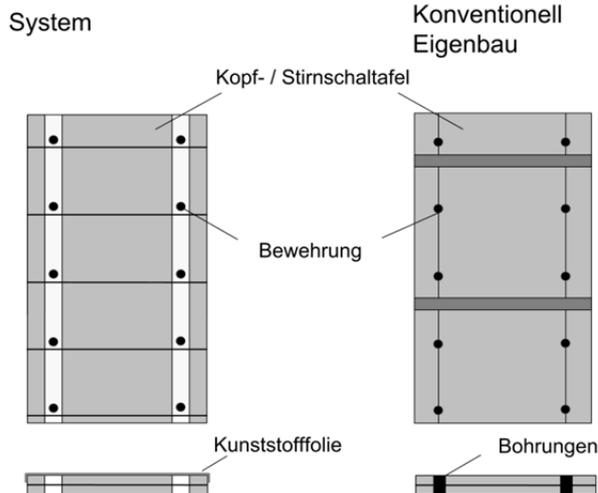


Bild 10-26: Abschalen der Stirnflächen einer Wand

10.4.3 Stützen- und Säulenschalung

Der Schalungsaufwand für Stützen ist im Gegensatz zur Betonmenge sehr hoch. So beträgt bei einer Stütze von 25 x 25 cm der Schalungsanteil für 1 m³ Stützenbeton 16 m². Daher muss es das Ziel sein, die Schalungssysteme möglichst einfach, d.h. modular zu gestalten, um den Lohnaufwand zu minimieren. Daher verwendet man für Stützen meist die in Bild 10-27 dargestellten modularen Systeme:

- Modular zusammengesetzte Elementschalungssysteme
- Modularsysteme wie Rahmentafelschalungen
- Spezialstahlschalungen

Die modular zusammengesetzten Stützenschalungen aus Elementsystemen werden ergänzt durch spezielle Säulenriegel, mit denen die Säulenschalung aus Elementsystemen verspannt wird (Bild 10-28). Die Modularsysteme mit Rahmentafeln sind in Bild 10-29 und Bild 10-30 dargestellt.

Die Schalungssätze für die Stützen werden meist im Werkhof zu einem Modul oder Stützensystem für je eine Stütze zusammengebaut. Auf der Baustelle werden meist 2 oder 3 Seiten der Stützenschalung gestellt und mit Spindelstützen schräg abgestützt und ausgerichtet. Dann wird der Bewehrungskorb vor Ort montiert oder vorgefertigt mittels Kran eingehoben. Danach wird die Stütze geschlossen und mittels Zwingen und Ankern verspannt.

Anschließend wird von der Arbeitsbühne (Bild 10-30) mittels Betonierrohr mit Schut- te betoniert und mit Innenrüttler verdichtet. Die Zwingen mit Spannanker übernehmen den Betonierdruck.

Eine besondere Stellung nehmen Rundsäulen ein. Es werden daher vielfach Stahlschalungen vorgefertigt, die dann mehrfach einsetzbar sein müssen, um sie zu amortisieren. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Blechwickelrohre zu verwenden, die aber nur einen einmaligen Einsatz finden, da sie mit dem Ausschalen unbrauchbar werden.

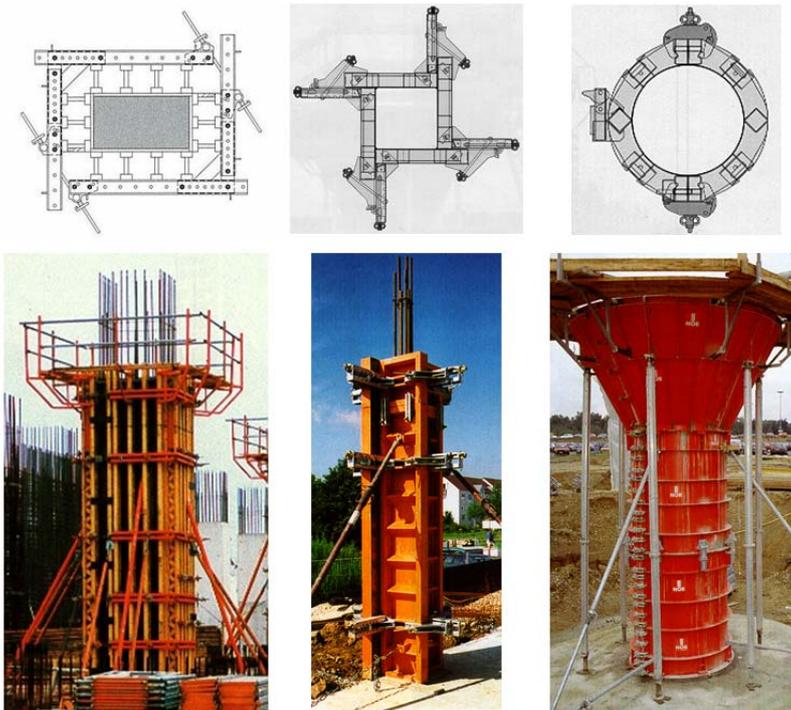
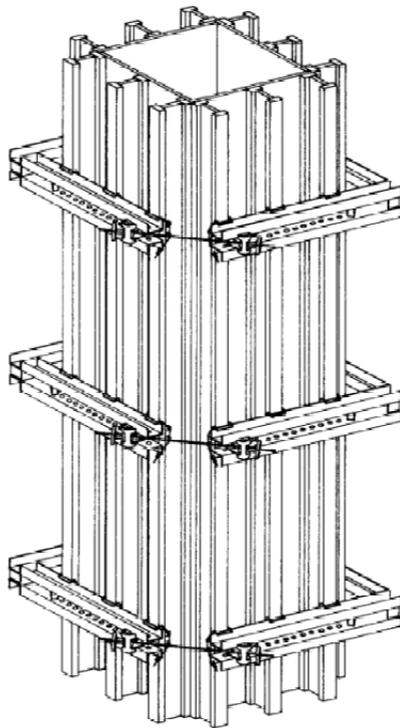


Bild 10-27: Stützenschalungsvarianten [3]

Säulenschalung mit Säulenriegel 1,0 m

column shutters with column waler 1,0 m
coffrage-colonne avec demi carcan pour colonne 1,0 m

2



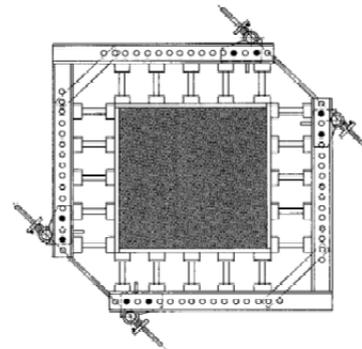
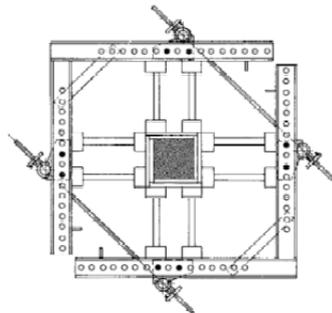
Diese Säulenschalung besteht aus 2 winkelförmigen Großflächenelementen. Dabei werden die Säulenriegelpaare mittels Ankerstäben und Universal-Winkelspanner über Eck zu einer Bindeebene zusammengefaßt.

Herstellbare Säulendimension bei Verwendung von DOKA-Holzschalungsträgern H36, H30 oder H20: von 20 × 20 cm bis 71 × 71 cm

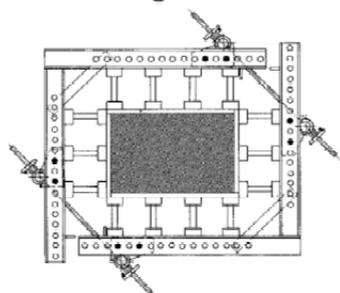
Die Träger werden mittels Flanschklammer an den Säulenriegeln befestigt.

Minimale Säulenabmessung:
 20 × 20 cm erreichbar durch Verwendung von Holzschalungsträger H36 (mit Sparschalung).

Maximale Säulenabmessung:
 71 × 71 cm erreichbar durch Verwendung von Holzschalungsträger H20.



Beispiel einer rechteckigen Säulenschalung:
 Säulenabmessung 40 × 60 cm



Bestellangaben für eine komplette Bindeebene siehe Seite 2.03.1

Säulenriegel 1,0 m
 48,0 kg Art.Nr. 580605

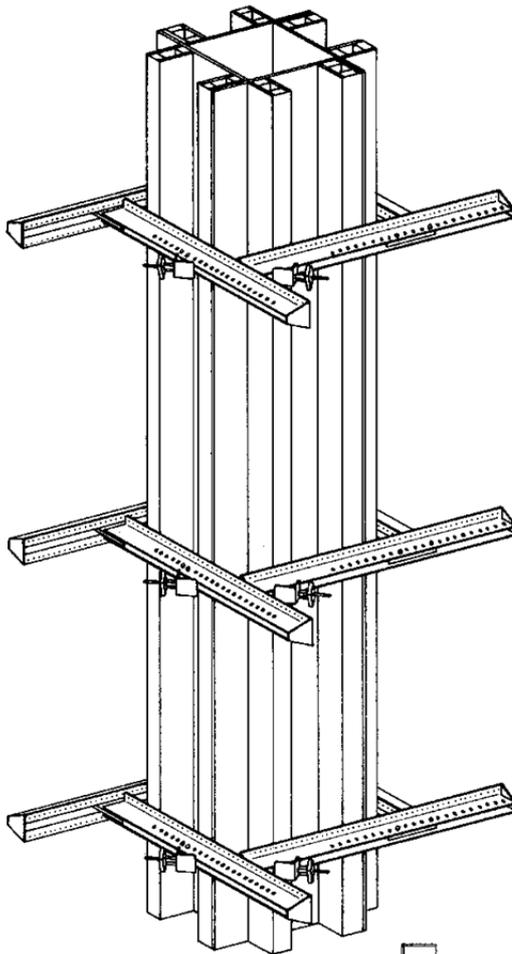
Detailmaße siehe Teil AV

Bild 10-28: Stützenschalungen aus Systemelementen [4]

Säulenschalung mit Universalzwinge 20-80

column shutters with universal clamp 20-80
coffrage-colonne avec carcan universel 20-80

2



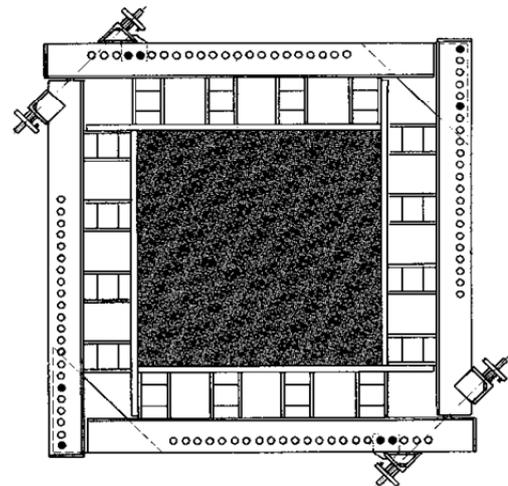
Säulenschalung aus zwei abgewinkelten Elementen, die in nur zwei Teilen umgesetzt wird. Die Universalzwingen sind im cm-Raster verstellbar. Je zwei Stück bilden zusammen einen festen Winkel von 90° .

Mit DOKAform 10/16 können alle quadratischen und rechteckigen Säulenquerschnitte von 20×20 cm bis 80×80 cm hergestellt werden.

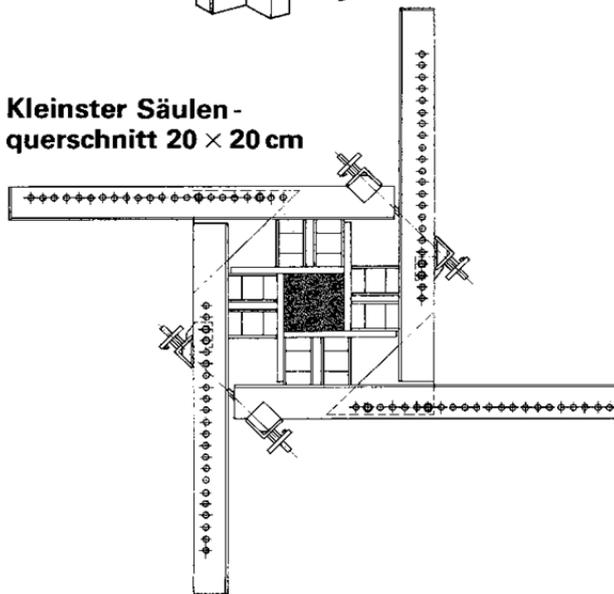
Mit der Universalzwinge 20-80 ergeben sich:

- kurze Ein- und Ausschalzeiten
- keine Anker in der Säule
- individuelle Oberflächengestaltung durch Anbringung jeder Schalhaut

Maximaler Säulenquerschnitt 80×80 cm

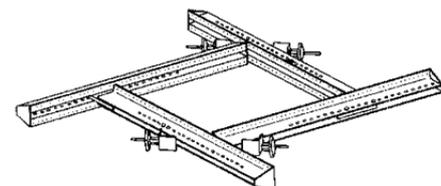


Kleinster Säulenquerschnitt 20×20 cm



Detailmaße siehe Teil AV

Abbildung einer kompletten Bindeebene (= Lieferumfang)



Universalzwinge 20-80
89,0 kg Art.Nr. 580601

Bild 10-29: Modul-Stützenschalungen [4]



Bild 10-30: Modul-Stützenschalungen aus Rahmentafeln [6]

10.4.4 Deckenschalungen

Eine Übersicht über verschiedene Deckenschalungssysteme wird in Bild 10-31 gegeben.

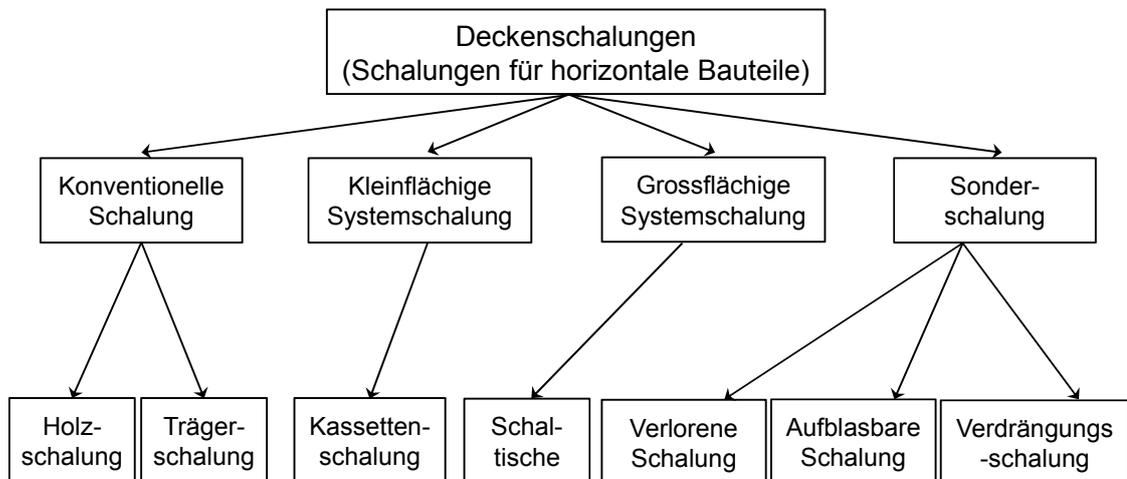


Bild 10-31: Übersicht – Deckenschalung [3]

10.4.4.1 Elementdeckenschalungssysteme

Die Elementdeckenschalungssysteme (Bild 10-32) bestehen aus den Systemelementen der Schalhaut, ausgebildet mit einfachen Brettern, Schalplatten oder mehrschichtig verleimten Tafeln, die auf System-Fachwerk- oder System-Vollwandschalungsträgern mit einem Abstand von ca. 0.5 m liegen. Die Systemschalungsträger stützen sich wiederum auf orthogonal angeordnete Systemschalungsträger, die in einem Abstand von ca. 1.5 m verlegt sind ab. Diese orthogonalen Systemschalungsträger geben ihre Lasten auf Systemschalungsstützen ab. Heute verwendet man kaum noch Kanthölzer oder Balken sondern fast nur noch Systemschalungsträger für den Unterbau der Deckenschalung.

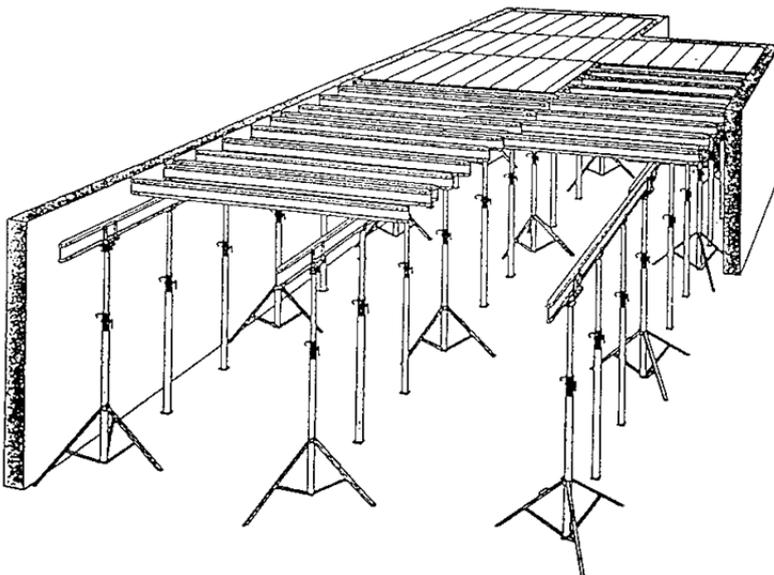


Bild 10-32: Deckenelementenschalungssystem [4]

Die Lasten aus den Systemschalungsträgern werden über höhenverstellbare Stahlspindelstützen, je nach statischen Erfordernissen, abgeleitet (Bild 10-33). Die Holzsystemträger können durch Alu- oder Stahlträger ersetzt werden. Die Anzahl der Unterstützungen wird durch die höhere Tragfähigkeit reduziert. Zur Reduzierung der Anzahl der Spindelstützen können zwei parallel angeordnete Systemschalungsträger über den Stahlspindelstützen angeordnet werden (Bild 10-36).

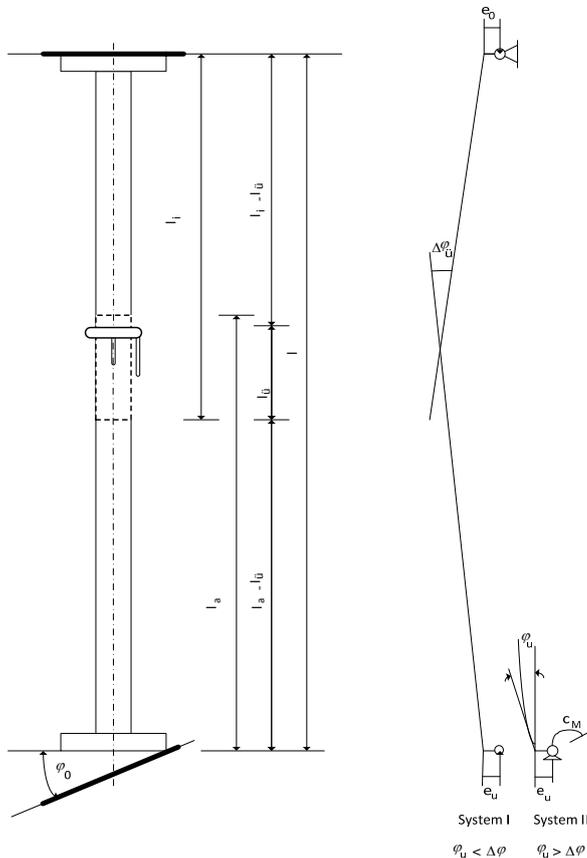


Bild 10-33: Baustütze aus Stahl [4]

Die Deckenschalungen müssen ausreichend horizontal ausgesteift werden um ein Umkippen während des Aufrichtens und während der Betonierarbeiten zu verhindern (Bild 10-37).

Diese Elementsystemdeckenschalungen können auch mit Stapeltürmen unterstützt werden.

Das jeweilige Ein- und Ausschalen einer Deckenfläche mit Schaltafeln, Systemschalungsträgern und Systemspindelstützen ist sehr lohnintensiv. Man geht deshalb dazu über, Modulschalungen oder grössere Schalungseinheiten (Grossflächen, Deckenschaltische) vorzufertigen und diese mit einem Kran von Stockwerk zu Stockwerk als Ganzes zu versetzen.

Das Umsetzen der Schaltische erfolgt mit Viererseilgehänge oder mittels Storchen-schnabel.

10.4.4.3 Grossflächendeckenschalungssystem

Die vorgefertigten Grossflächenschalungen – Deckenschaltische - sind kostengünstiger einsetzbar als Elementschalungssystem wenn gewährleistet ist:

- das ein mehrmaliger Einsatz möglich ist, d.h. es müssen sich wiederholende, gleichartige Bauteile vorhanden sein (mehrere gleiche Stockwerksdecken)
- das kein Umbau vorgenommen werden muss
- das die Schaltische ohne Umbau ausgeschalt und umgesetzt werden können

Je öfter ein **Schaltisch** (Bild 10-34, Bild 10-35 und Bild 10-36) verwendbar ist, umso günstiger wirken sich die relativ hohen Vorfertigungskosten aus. Die Schalzeiten können durch Einsatz von Grossflächenschalung um ca. 30% reduziert werden (Bild 10-37). Somit ergibt sich neben der Lohneinsparung ein wesentlich schnellerer Baufortschritt. Für die Verwendung einer Grossflächenschalung ist jedoch Voraussetzung, dass der Unterbau (Rüstung) so konstruiert ist, dass ein schnelles Umsetzen möglich ist. Die Unterkonstruktion besteht meist aus einem Stahlrohrgerüst, das höhenverstellbar und verfahrbar sein sollte (Bild 10-35 und Bild 10-36).

Das effiziente Umsetzen der Deckenschaltische ist bei Gebäuden mit offener Fassade (Rohbauphase) möglich. Folgende Umsetzvarianten sind möglich:

- Umsetzen der Deckentische durch eine temporäre Deckenöffnung (Bild 10-39). Diese Methode wird bei im Rohbau geschlossener Fassade benutzt. Diese Methode mit temporärer Deckenöffnung verwendet man bei Gebäuden mit relativ grosser Geschossfläche, so dass das nachträgliche Schliessen der Deckenöffnung einen relativ kleinen Arbeitsanteil an der Deckenherstellung hat. Bei Hochhäusern mit relativ kleinem Grundriss verwendet man dann stattdessen die Kassettenfallkopfschalung.
- Umsetzen direkt aus der offenen Rohbaufassade (Bild 10-40) mittels Kran und Seilgehänge. Dies ist die effizienteste Variante, da die Schaltische nur abgesenkt werden müssen und mittels Umsetzradsatz nach Anhängen des Seilgehänges ausgefahren werden. Dann erfolgt das Umsetzen mittels Kran auf die nächste Decke.
- Umsetzen direkt aus der offenen Fassade mittels Kran und Umsetzhaken (Bild 10-110). Das Ausfahren erfolgt wie bereits beim Umsetzen mit Seilgehänge geschildert.
- Umsetzen bei offener Fassade mit durchgehender Brüstung (Bild 10-42). In diesem Fall muss die Rüstung, d.h. der Unterbau des Schalungsaufbaus angeklappt werden. Dies erfolgt durch Abmontieren der seitlichen Aussteifungen der Abstützquerrahmen. Der erste Querrahmen wird nach dem Absenken hochgeklappt und der Deckenschaltisch wird um ein Stützenfeld aus der Fassade gefahren. Dann wird das Seilgehänge befestigt, die folgenden Längsaussteifungen ausgebaut, die Querrahmen hochgeklappt, der Tisch herausgeschoben und mittels Kran umgesetzt.
- Umsetzen bei offener Fassade auf eine nachgeführte Umsetzbühne (Bild 10-111). Die Umsetzbühne wird aus Elementschalungssystemen zusammengebaut und mit Baufortschritt um ein Stockwerk erhöht. Diese Methode ist jedoch nur bis 6 Stockwerke möglich. Die Methode bietet hohe Arbeitssicherheit.

Durch den Einsatz von **Schaltischen** konnten die Arbeitszeiten für Ein- und Ausschalen einschliesslich Umsetzen der Schalungen auf etwa 0.4 Std/m² Schalfläche gesenkt

werden. Das Umsetzen (s.o.) erfolgt durch einen Kran, entweder mit Seilzug oder mit einem eigens konstruierten Lasthaken, dem so genannten Entenschnabel.

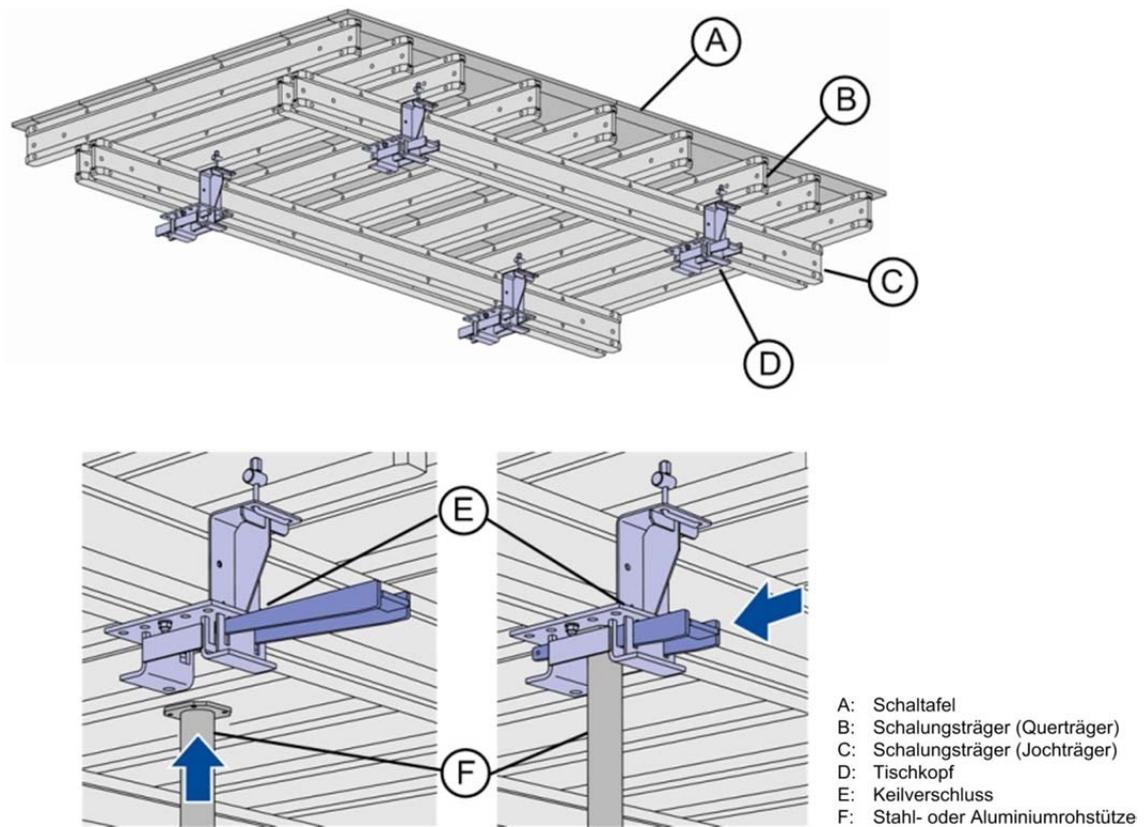
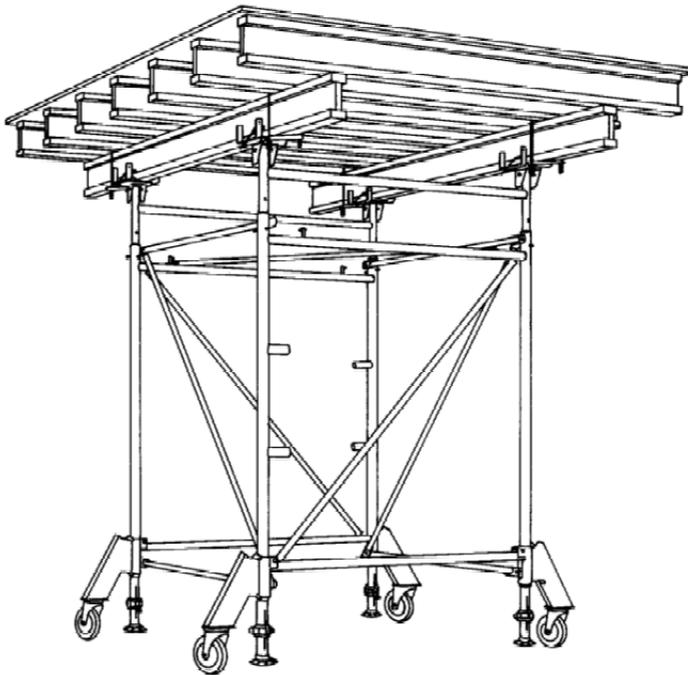


Bild 10-34: Deckentischschalungssystem – Befestigungsmöglichkeit der Stützen [4]

Doka-Deckenschalungssystem d2

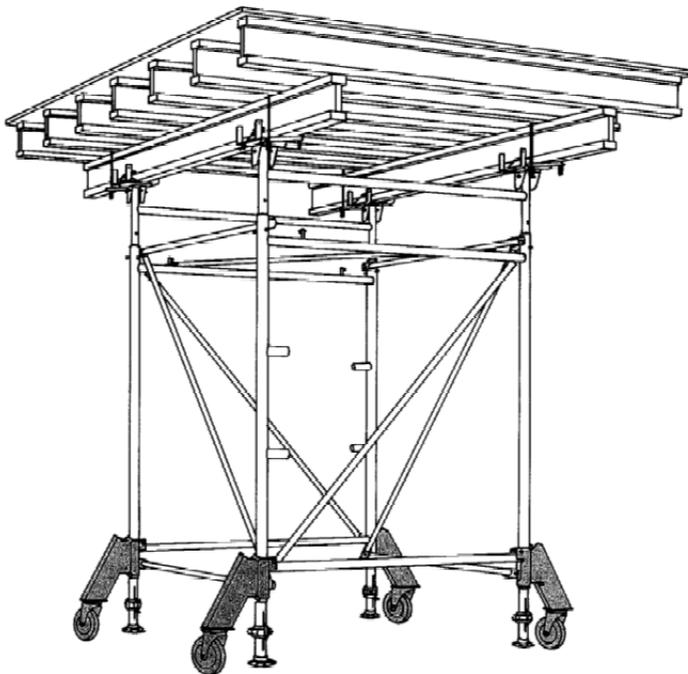
Floor Formwork System d2
Etalement d2

5



Leichttische

Mit $2,5 \times 3,0$ m Größe sind Doka-Leichttische halb so groß wie übliche Deckentische. Sie sind aus Teilen des Doka-Deckenschalungssystems d2 und Doka-Trägern H20 aufgebaut. Mit nur zwei Mann Bedienung und ohne auf den Kran angewiesen zu sein, erzielen sie an der Baustelle kürzeste Umsetzzeiten.



TS-Rad

Die TS-Räder sind an allen Tischen vorgesehen. Damit werden die Arbeitsvorgänge Ausschalen – Fahren – Hochheben – Fahren – Einschalen zeitlich voneinander unabhängig und können keine Wartezeiten verursachen.

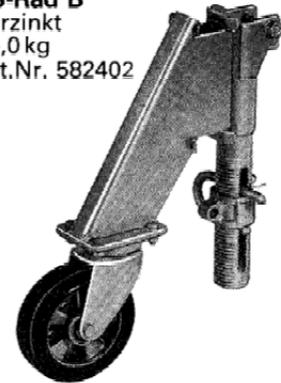
TS-Rad A

zul. Tragkraft (Fahrwerk): 5 kN
schwarze Bereifung

TS-Rad B

zul. Tragkraft (Fahrwerk): 8 kN
braune Bereifung

TS-Rad B
verzinkt
14,0 kg
Art.Nr. 582402



TS-Rad A
verzinkt
13,0 kg Art.Nr. 582401

Detailmaße siehe Teil AV

Bild 10-35: Deckentischschalungssystem – Elemente und Zusammenbau [4]

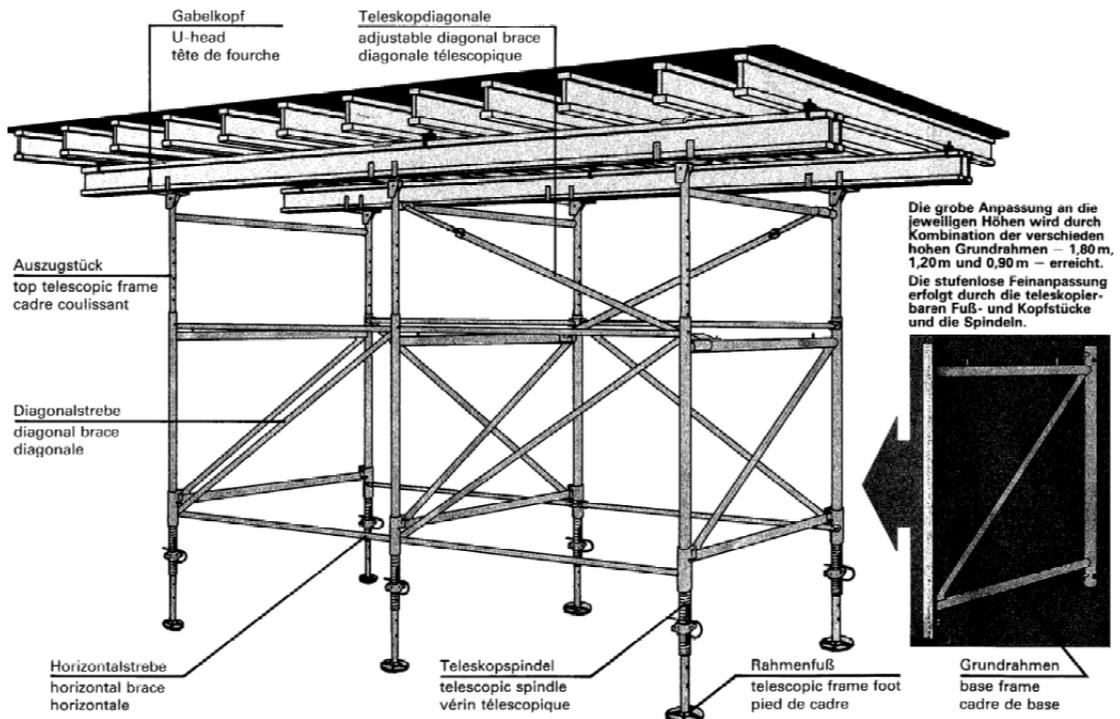
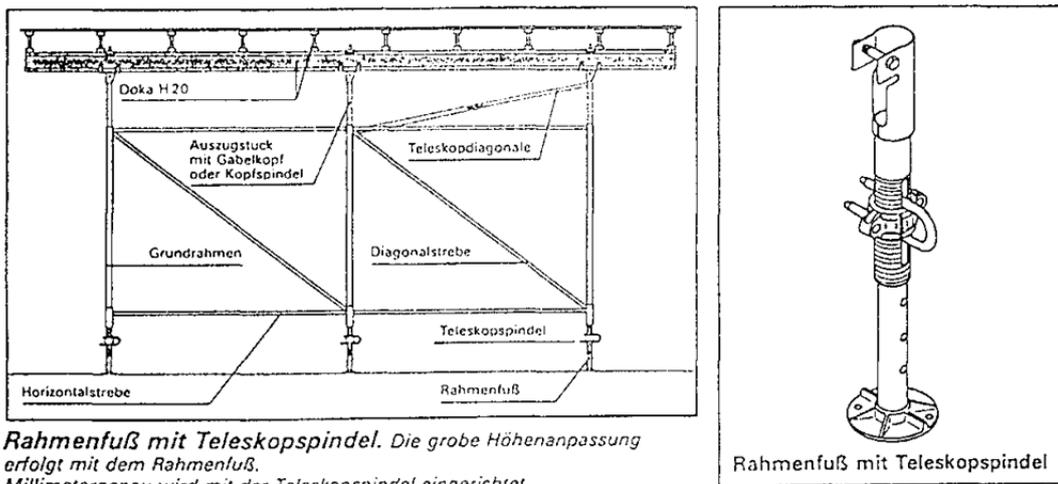


Bild 10-36: Deckentischschalungssystem – Elemente und Aufbau [4]



Rahmenfuß mit Teleskopspindel. Die grobe Höhenanpassung erfolgt mit dem Rahmenfuß. Millimetergenau wird mit der Teleskopspindel eingerichtet.

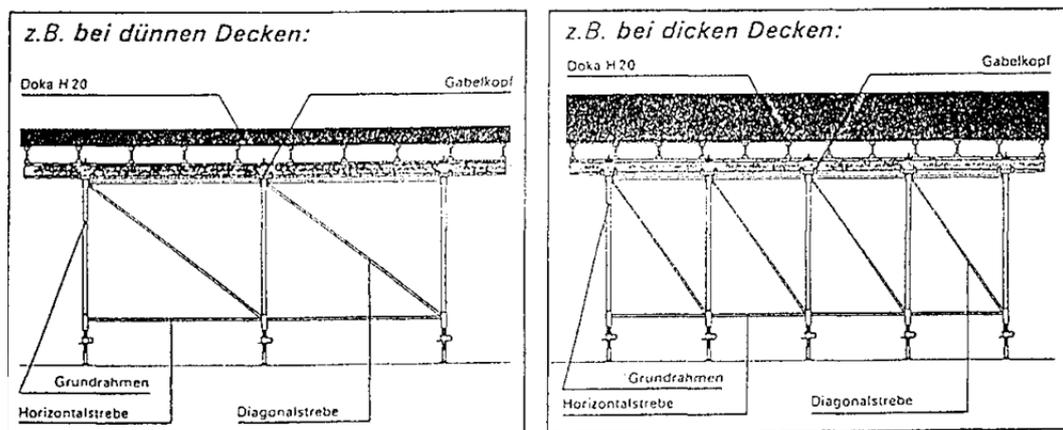


Bild 10-37: Deckenschalungssystem – Einbau der Tische und Stabilisierungssystem (Einrüstung) [4]

Vertikaltransportvarianten von Deckentischen

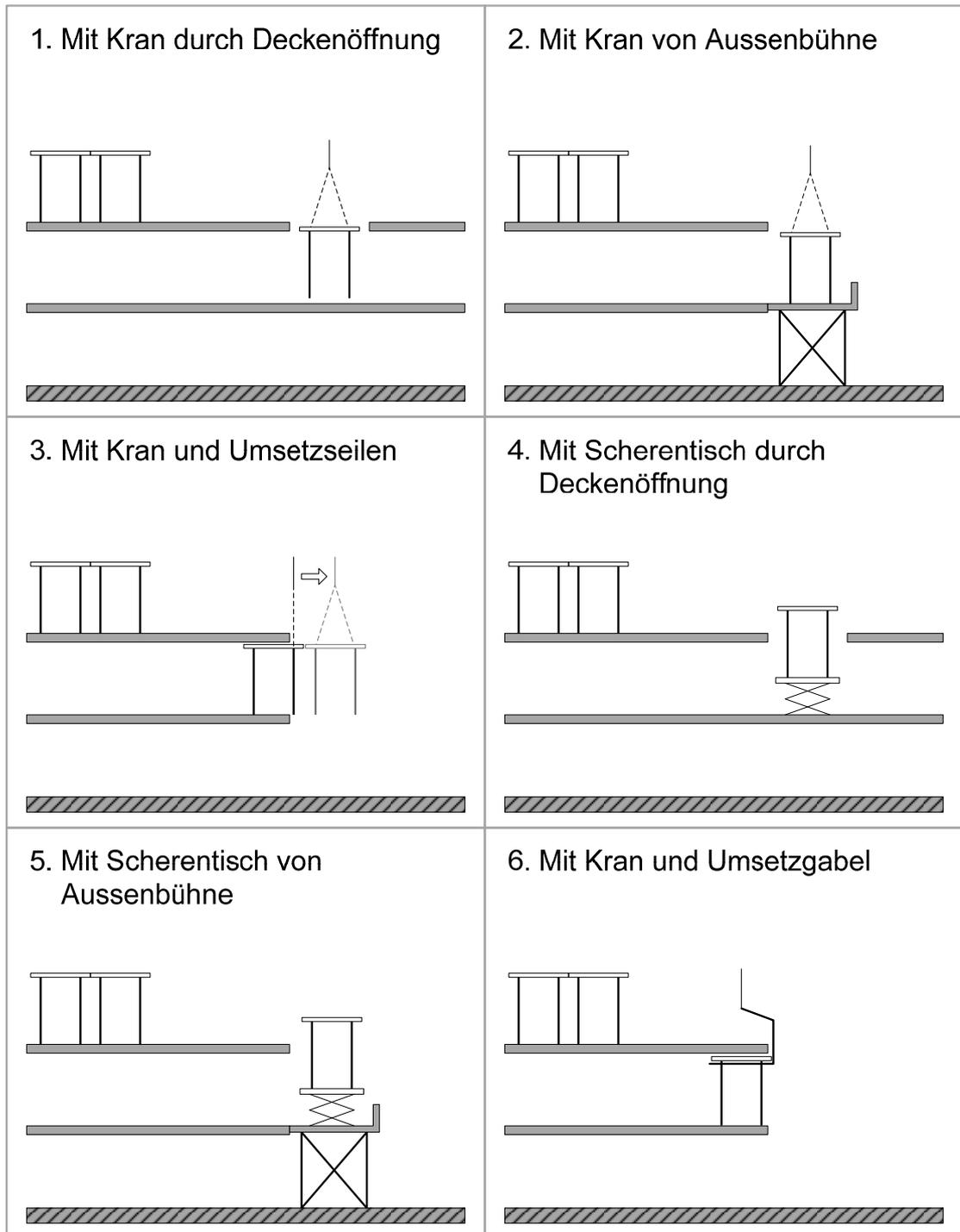
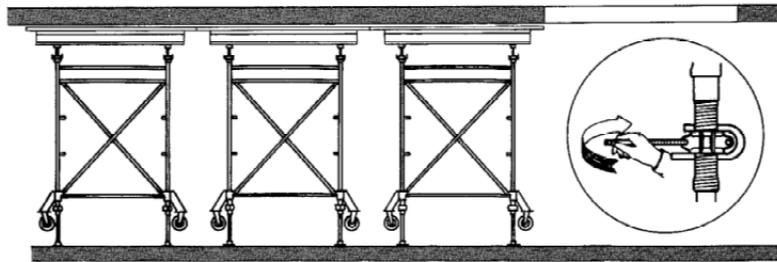
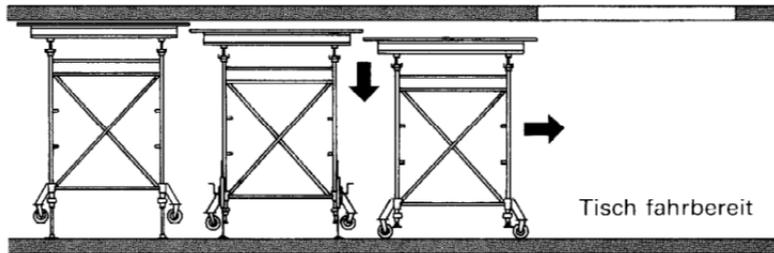


Bild 10-38: Deckentischschalungssystem – Vertikaltransportvarianten

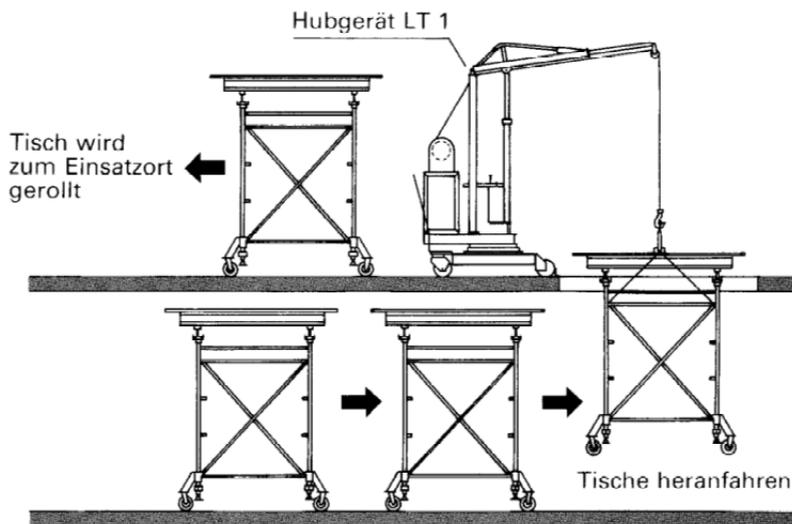
Umsetzvorgang



1. Entspannen aller Grundrahmen durch Lösen der Teleskopmutter um nur 1 bis 2 Umdrehungen.



2. Zwei Mann schalen mit Duplex-Winden DW 1 die Tische aus. Die Winden werden angesetzt und rasten mit einem leichten Druck selbsttätig ein.

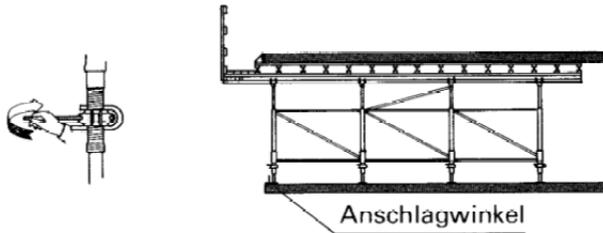


3. Hochheben mit dem Hubgerät LT 1. Der Hubvorgang ist zeitlich unabhängig von den übrigen Arbeiten. Da alle Tische Räder haben, sind sie immer fahrbereit.

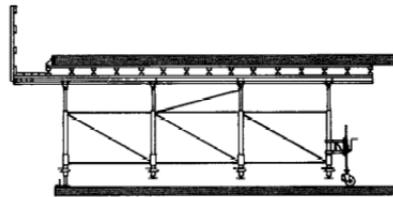
Bild 10-39: Deckentischschalungssystem – Ausschal- und Umsetzvorgang [4]

Umsetzvorgang

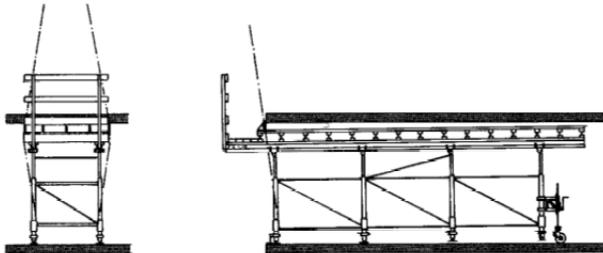
- 1** Entspannen aller Grundrahmen durch Lösen der Teleskopmutter um nur 1 bis 2 Umdrehungen.



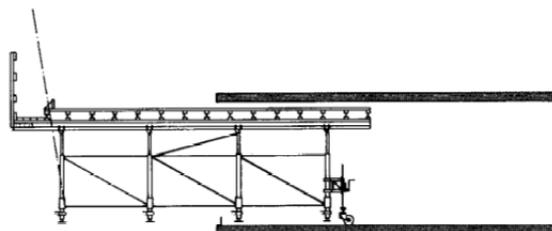
- 2** Anklemmen der Umsetzgeräte mittels Schnellverschlüsse, einschieben der Fußstücke und fixieren derselben in den untersten Abstecklöchern. Mit dem Umsetzgerät wird nun der Schaltisch abgesenkt.



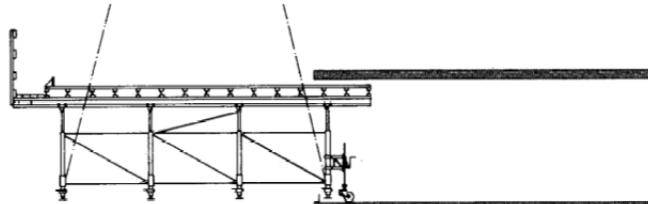
- 3** Einhängen der beiden vorderen Umsetzseile am unteren Querrohr (Seillänge ca. 10 m).



- 4** Schaltisch ausfahren



- 5** Schaltisch am vorderen Ende so weit ablassen, daß die beiden Umsetzseile am Querrohr des letzten Rahmens eingehängt werden können. (Alle Seile sind gleich lang). Anheben des Schaltisches bis alle 4 Seile gespannt sind und Umsetzen. Der Anschlagwinkel kann nun zum Anbau einer Absturzsicherung (Geländer) verwendet werden.



Detailmaße siehe Teil AV

Bild 10-40: Deckentischschalungssystem – Ausschal- und Umsetzvorgang [4]

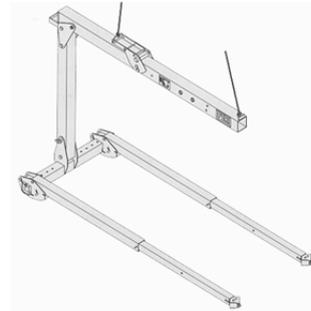
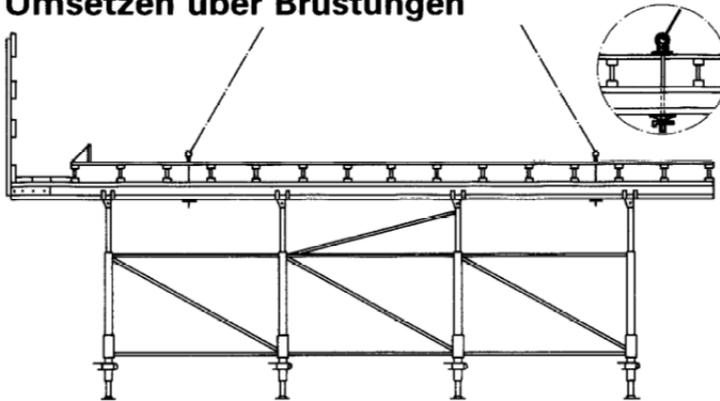


Bild 10-41: Umsetzen von Deckentischen mit krangeführtem Umsetzhaken („Entenschnabel“)[5]

Umsetzen über Brüstungen

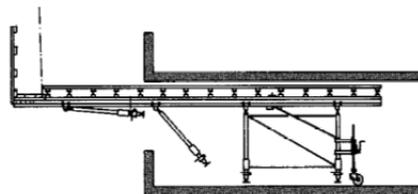
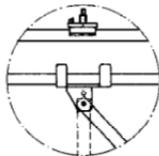


Umsetzvorgang

Auch bei Bauwerken, bei denen gleichzeitig mit den Decken Brüstungen zu betonieren sind, ist ein Ausfahren der Deckenschaltische bei Einhaltung des nachstehend angegebenen Umsetzablaufes möglich.

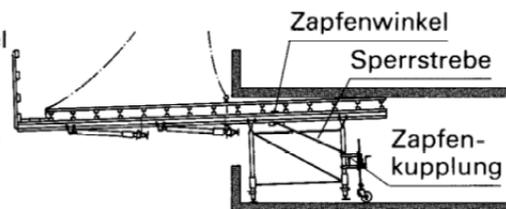
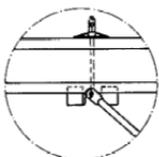
Die Phasen 1 bis 3 können vom normalen Umsetzvorgang übernommen werden. Allerdings erfolgt hier die vordere Seileinhängung direkt an den Jochträgern.

Detail:
Gabelkopf

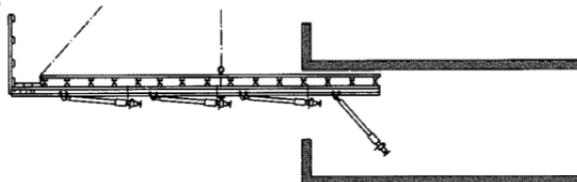


1. Entfernen der Horizontal- und Diagonalstreben von vorne beginnend und nachfolgendes Umklappen der Rahmenscheiben. Diese werden mittels Rundehisenhaken oder Kette an der Oberkonstruktion befestigt. Nun kann der Schaltisch schrittweise ausgefahren werden.

Detail:
Zapfenwinkel



2. Entfernen der letzten Diagonalstreben, kurzes Absenken des Schaltisches, damit das vordere Seilpaar entspannt wird. Einschrauben der hinteren Seile lösen und Einhängen des zweiten Seilpaares. Anheben des Schaltisches mit dem Kran, Entfernen der letzten Horizontal- und Diagonalstreben und der Umsetzgeräte.



3. Nun kann die "Sperrstrebe" entfernt und die letzte Rahmenscheibe umgeklappt werden.

Bild 10-42: Deckentischschalungssystem – Ausschal- und Umsetzvorgang [4]



Bild 10-43: Umsetzen von Deckentischen mit nachgeführter Umsetzbühne

10.4.4.4 Modulschalungssysteme

Deckenschalungssystem – Fallkopfkassettenschalungssysteme

Als Alternative zu den relativ schweren Grossflächenschalungen die nur noch mit einem Kran versetzt werden können, wurde ein neues modulares Leichtmodulschalungssystem entwickelt. Dieses System besteht aus folgenden Standardmodulen (Bild 10-44):

- Kassettenelementen 1.5 x 0.75 m, bestehend aus einem Alu-Rahmenträgerrost der mit einer Mehrschichtenplatte belegt ist
- Alu-Längsträger 2.25 – 3.00m, meist mit Kunststoffverankerungszahnleiste auf dem Obergurt zur Auflagerung der Kassettenelemente oder zum Einlegen der Kassetten zwischen zwei parallelen Längsträger auf dem Untergurt
- Spindelstützen mit Fallkopfausrüstung zum einfachen Ausschalen im Rasterabstand von 2.25 – 3.00 m

Der Einsatz dieses Systems eignet sich für Baukonstruktionen bei denen die Aussenfassade relativ stark geschlossen ist. Dann lassen sich Schaltische nicht mehr einfach nach aussen ziehen durch die offene Aussenfassade mittels Kran ziehen. In diesem Fall müssen relativ grosse Deckenöffnungen temporär offen gehalten werden um die Deckentische ins nächste Stockwerk zu versetzen (Bild 10-39). Für mittelgrosse Deckenfelder, mit weitgehend geschlossenen Aussenfassaden eignen sich daher die Leichtmetall-Modulschalungen besonders.

Der Vorteil dieses System besteht aufgrund der Fallkopfschalkassettensabsenkung, dass die Stützen mit oder ohne Längsträger stehen bleiben können bis der Beton ausreichend erhärtet ist. In der Zwischenzeit können jedoch die Kassettenelemente im nächsten Stockwerk bereits wieder verwendet werden. Die Deckenschalungsmodule sind so maximal 15 kg schwer und können somit einfach von Hand installiert und abgehängt werden. Die Kassetten werden zum rationellen Transport auf einer von Hand ziehbaren Transportpalette gestapelt und mittels Kranseil durch die kleine temporäre De-

ckenöffnung ins nächste Stockwerk umgesetzt. Alle horizontalen Deckenteile können per Hand einfach eingehängt und abgehängt werden.

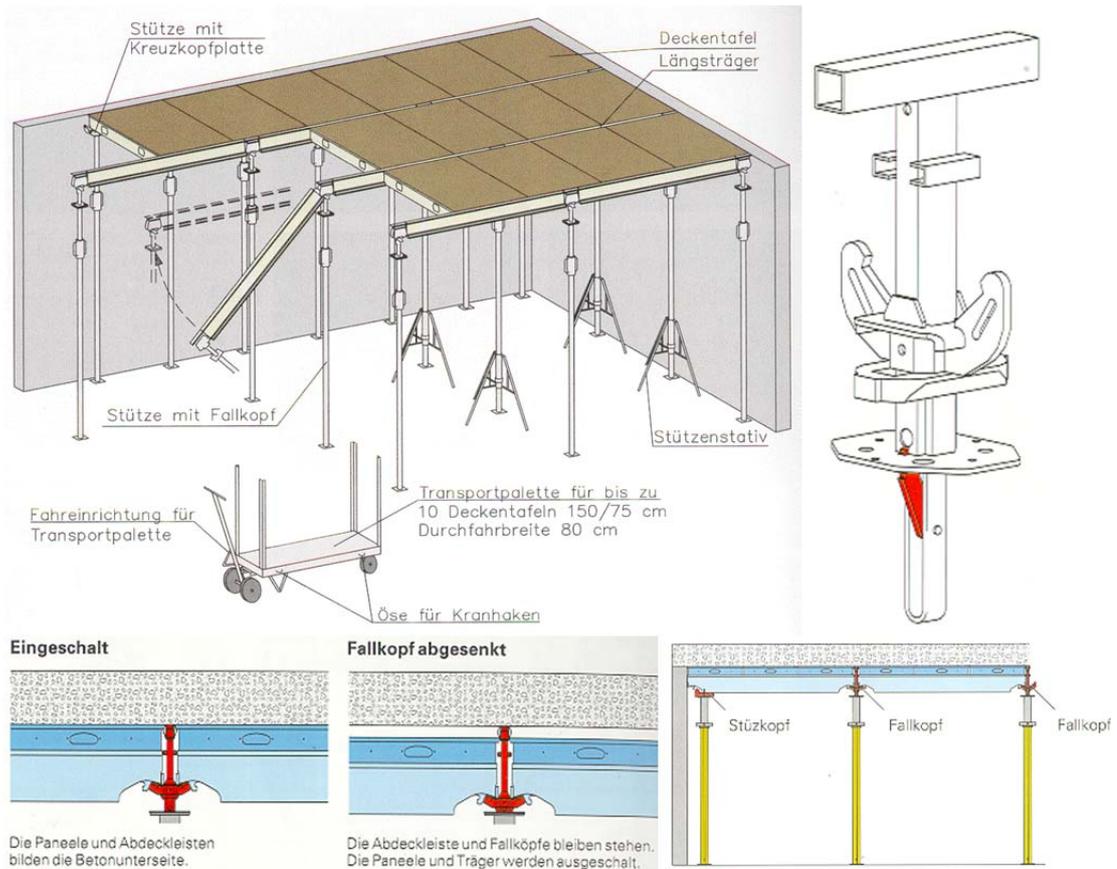


Bild 10-44: Fallkopfkassettenschalungssystem – Systemskizzen [5]



Bild 10-45: Fallkopfkassettenschalungssystem – Einschaltvorgang [5]



Bild 10-46: Fallkopfkassettenschalungssystem - Ausgeschaltetes System mit Hilfsabstützung [5]

10.4.5 Randschalungen

Randschalungen werden bei Decken verwendet, um die zu betonierenden Stirnflächen abzugrenzen. Es handelt sich somit um die äussere umlaufende Kante der Decken oder auch eines Gebäudes. In Bild 10-47 ist der typische Aufbau einer Randschalung für einen Deckenschalungsaufbau dargestellt. Die Deckenschalung wird meist über die Gebäudeaussenkante hinaus weitergeführt für eine Arbeitsbühne mit Geländer. Diese Konstruktion dient dann gleichzeitig als Arbeits- und Schutzgerüst.

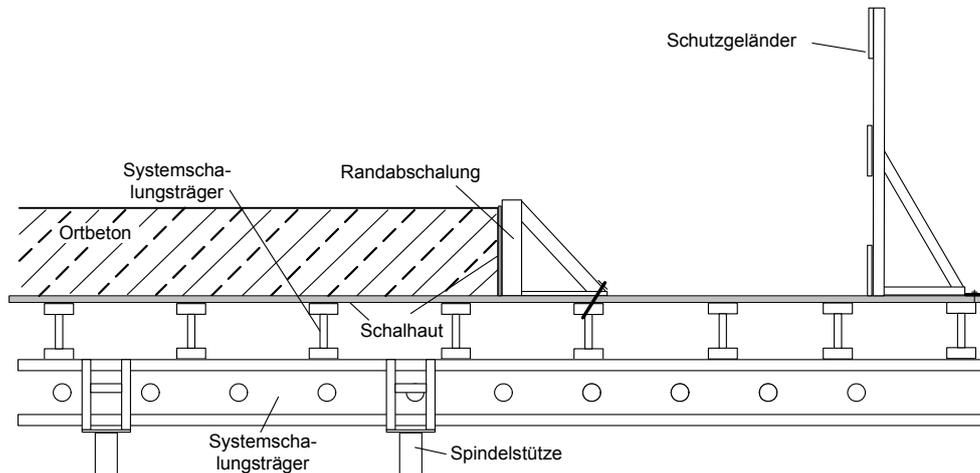


Bild 10-47: Aufbau einer Randschalung

10.4.6 Schalungen für Unterzüge

Die Schalung von Unterzügen wird meist auf Rüstböcke bzw. -türme gestellt. In Bild 10-48 sind verschiedene Varianten von Unterzugschalungen dargestellt. Bei kleineren Höhen der Unterzüge erfolgt die seitliche Abstützung der Schalung, wie in Bild 10-49 dargestellt, über die Querträger. Bei grösseren Höhen der Unterzüge werden die seitlichen Schalungen, ähnlich wie bei den Wandschalungen, mit Schalungsankern miteinander verbunden. Der gleiche Aufbau der Schalung lässt sich auch für Randunterzüge verwirklichen.

Unterzüge werden meist von der Deckenflächenschalung gesondert eingeschalt (Bild 10-35, Bild 10-49). In diesem Falle werden die Deckentische an die Unterzugschalung herangestellt und mit dieser verbunden oder aber die Seitenflächen des Unterzuges werden bereits an die Deckentische montiert, so dass lediglich die Unterseite des Unterzuges gesondert eingeschalt wird (Bild 10-50). Hierdurch ergibt sich zwischen den Deckentischen auch der erforderliche Freiraum für die zuvor hergestellten Stützen.

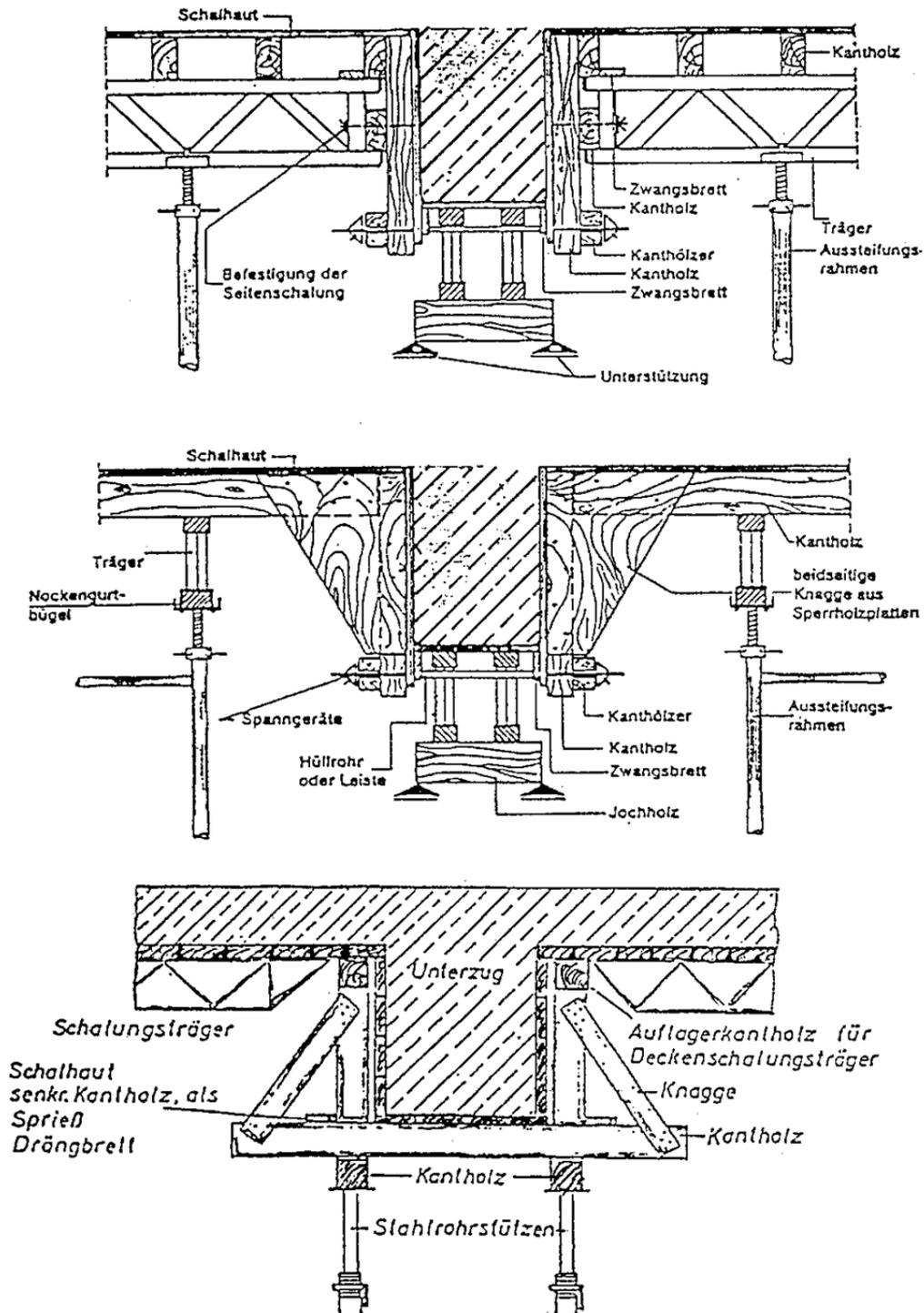


Bild 10-48: Deckenschalung: Decke + Unterzüge

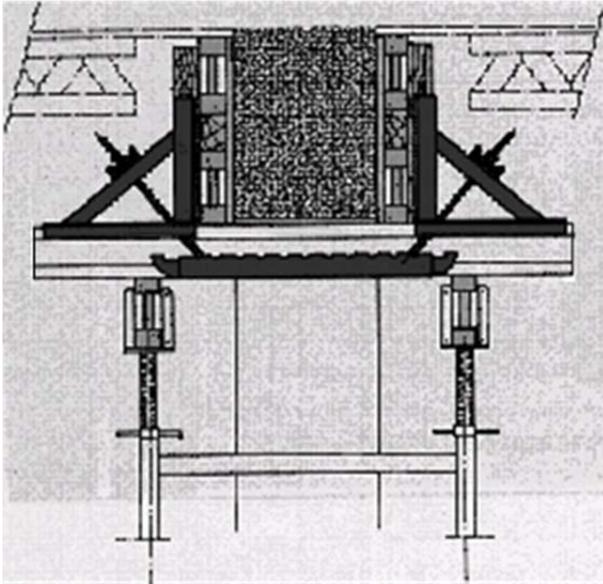


Bild 10-49: Aufbau einer Schalung für Unterzüge [7]

Bei verhältnismässig dicht nebeneinander laufenden Unterzügen bzw. Rippendecken werden oftmals die Deckentische durchgehend unterhalb der Unterzüge angeordnet. Die Freiräume zwischen den Rippen werden durch vorgefertigte Schalungskörper erstellt, die aus Holz oder Kunststoff gefertigt sein können und die auf die Deckentische aufgesetzt und befestigt werden.

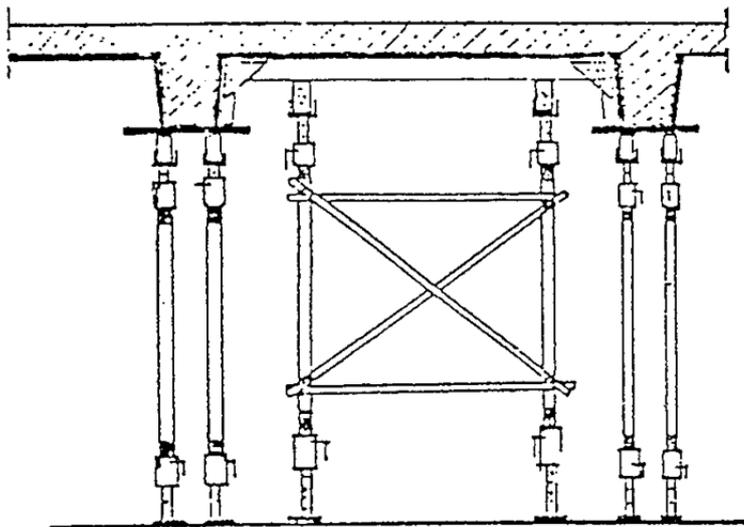


Bild 10-50: Deckenschalung: Decke + Unterzüge

10.4.7 Vorsatzschalungen

Vorsatzschalungen werden in Bereichen benötigt, in denen eine besondere Form des Bauwerkteils gefordert ist. Sie werden zum Auffüttern oder zur besonderen Profilgestaltung, die von der rechteckigen bzw. flächigen Schalung abweicht, eingesetzt. Ein Beispiel hierfür sind Kassettendecken wie in Bild 10-51 dargestellt. Vorsatzschalungen sind oft aus PU-Hartschaum-Matrizen oder zimmermannsmässig hergestellt, z.B. als Einlegekästen. PU-Hartschaumplatten werden als Einwegplatten benutzt, während zimmermannsmässig hergestellte Einlegekästen, die auf die eigentliche Schalhaut aufgenagelt werden, wieder verwendbar sind.

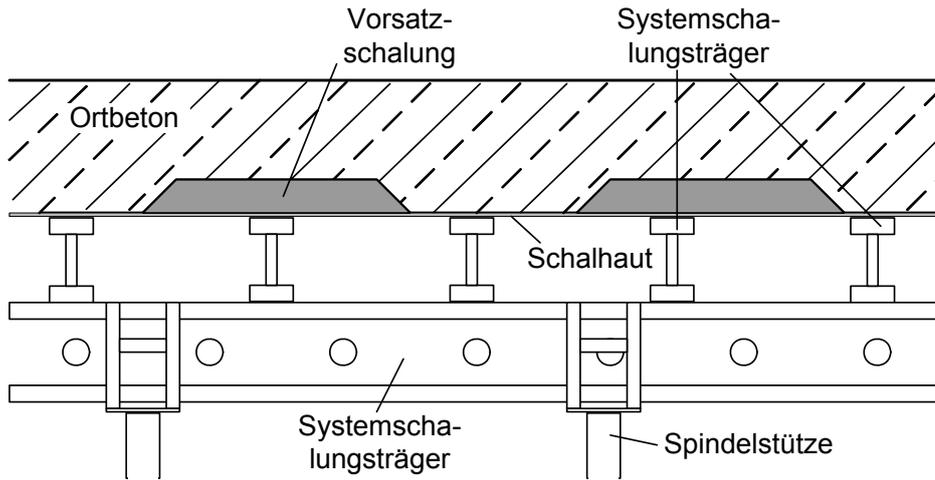


Bild 10-51: Aufbau einer konventionellen Decke mit Vorsatzschalung

10.4.8 Verlorene Schalung

Verlorene Schalung oder Einmalschalungen werden nur einmal eingesetzt, weil sie

- im Bauwerk verbleiben und nicht wiedergewonnen werden können
- als Wegwerf-Schalung für Bauteile mit einem geringen Wiederholungsgrad genutzt werden

Verlorene Schalung aus gewickelten dünnwandigen Blechrohren wird eingesetzt bei Hohlplattendecken und Hohlplattenbrücken. Dadurch wird das Eigengewicht dieser Tragplatten reduziert und der Plattenquerschnitt auf einen statisch günstigen kontinuierlichen Balkenquerschnitt, der in Längsrichtung gespannt ist, reduziert (Bild 10-52).

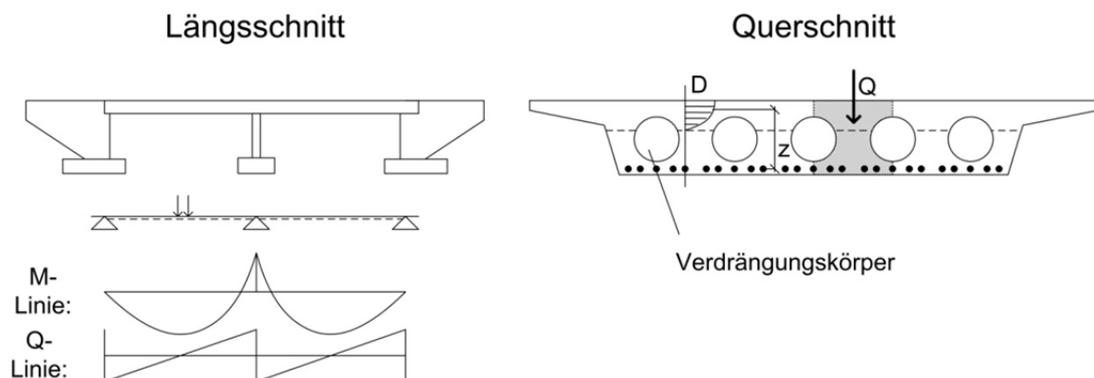


Bild 10-52: Verdrängungskörper zur Reduzierung des Eigengewichts am Beispiel eines Brückenbauwerks

Diese Verdrängungskörper müssen im Bauzustand an der Schalung gegen Aufschwimmen im Frischbeton verankert werden (Bild 10-53).

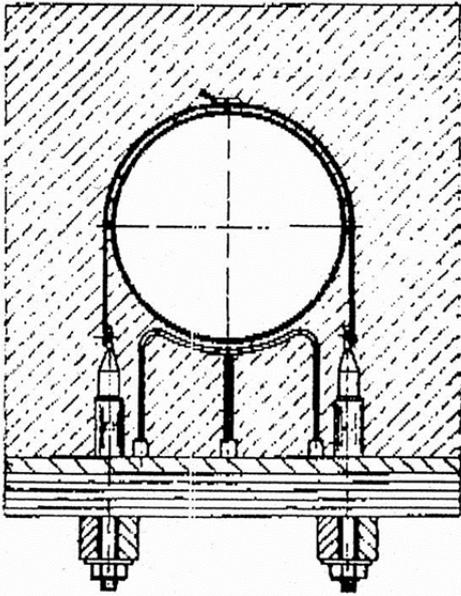


Bild 10-53: Verdrängungskörper – Verankerung gegen Auftrieb

Ferner werden Trapezbleche bei Decken als verlorene Schalung eingesetzt. Solche Trapezbleche sind relativ teuer im Bezug zum Einsatz einer Deckenschalung. Bevorzugt werden Trapezbleche für Deckenschalungen bei sehr hohen Raumhöhen. Dann übersteigen die Rüstkosten die Kosten für verlorene Schalung (Bild 10-54).

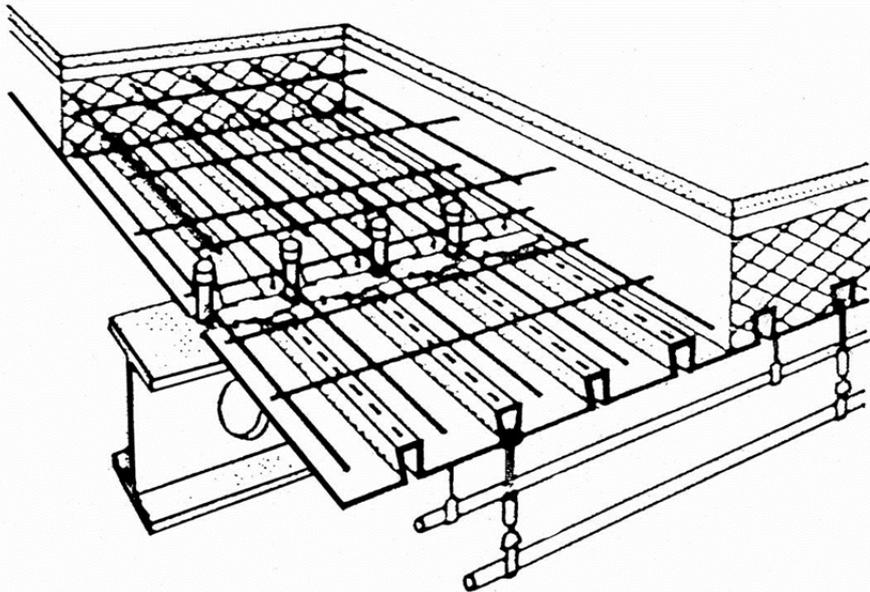


Bild 10-54: Stahl-Verbundprofil als verlorene Schalung

Zudem verwendet man bei Bauprojekten Blechwinkel-Schalungen oder Kartonschalungen für einzelne Betonrundstützen. In solchen Fällen ist eine konventionelle Rundschalung zu teuer.

10.5 Die Rüstung

Besonders oft werden die Bezeichnungen „Gerüst“ und „Rüstung“ als Synonyma gebraucht. Man spricht von Einrüstung, wenn ein Sicherheitsgerüst an einer Fassade angebracht wird. Man spricht andererseits von einem Schalungsgerüst und meint die unterstützende und aussteifende Rüstung, die eine weitgespannte oder hohe Schalung trägt.

Eine Rüstung hat die Aufgabe, ein Bauwerksteil so lange zu unterstützen, bis es seine Funktion selbständig erfüllen kann.

Die Rüstung trägt die Schalung (Schalhaut und Unterbau-Schalungsträgerrost).

Bei schalungstragenden Rüstungen müssen die unterstützenden und aussteifenden Glieder auf den erforderlichen statischen Querschnitt bemessen werden.

Die Rüstung setzt sich zusammen aus:

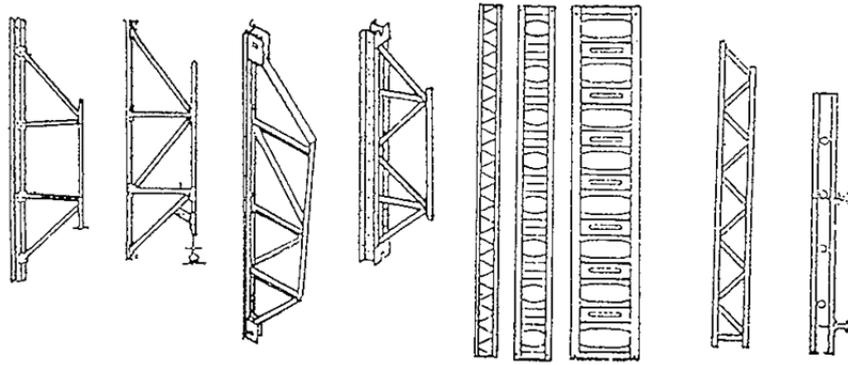
- Horizontalem Trägerrost mit Systemelementen bzw. Systemmodulen (Bild 10-55)
- Vertikalen Stützen oder Rüsttürmen (Bild 10-56 bzw. Bild 10-57)

Die horizontalen Tragroste werden meist aus Systemelementen zusammengesetzt oder aus Stahlträgern individuell zusammengefügt. Die horizontalen Trägerroste der Rüstung nehmen die horizontale Schalkonstruktion bestehend aus Schalhaut und Schalträgerrost auf. Diese horizontalen Rüstträgerroste sind erforderlich, wenn der horizontale Schalungsaufbau nicht rastermäßig z.B. im Abstand von 1,50m überstützt werden kann. In solchen Fällen (üblich im Brückenbau) werden meist Stahlfachwerkrüstträger verwendet, um den Schalungsrost abzufangen und über grössere Spannweiten zu konzentrierten Rüstpfeilern zu führen (siehe hierzu auch [13]).

Eine Berechnung der Rüstung für Brückenschalungen und Schalungen schwerer Stahlbetonkonstruktionen, wie z.B. im Kraftwerksbau ist erforderlich.

Konstruktiv sollte eine Trennung zwischen Schalung und Rüstung vorhanden sein. Auf- und Abbau von Schalung und Rüstung sollte unabhängig voneinander vorgenommen werden können. Das Umsetzen geschieht dagegen oftmals durch Anheben und Versetzen oder durch Verfahren der kompletten Rüstung einschliesslich Schalungsaufbau. Für die Abrechnung ist es von Vorteil, wenn Schalung und Rüstung klar getrennt erfasst sind.

Als vertikales Rüstungsmaterial werden heute weitgehend Spindelstützen aus Alu oder Stahl (Bild 10-33), Schwerlastschalungsstützen (Bild 10-57 und Bild 10-59) und Rüsttürme (Bild 10-56 und Bild 10-58), die modular zusammengebaut werden, verwendet.



Stahlfachwerkträger mit großer Bauhöhe,

2 Stahlfachwerkträger mit kleiner Bauhöhe,

3 Vollwandige und rahmenartige Stahlträger,

4 Hölzeme Träger.

Bild 10-55: Trägertypen

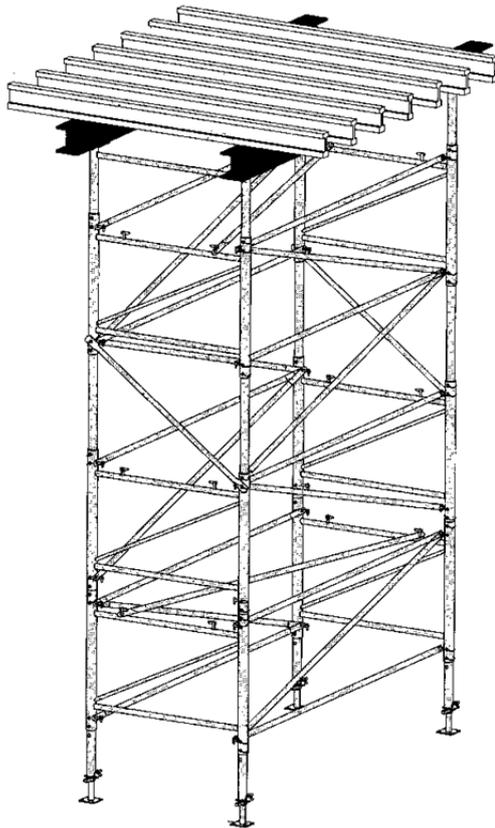


Bild 10-56: Stapelturm (Rüstturm) [6]

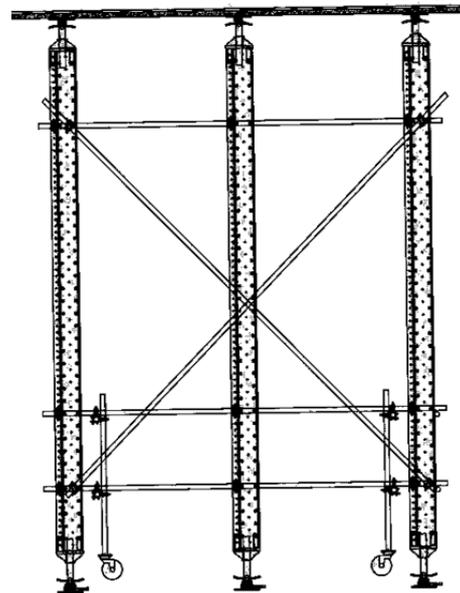


Bild 10-57: Schwerlaststützen (Rüstturm) [6]

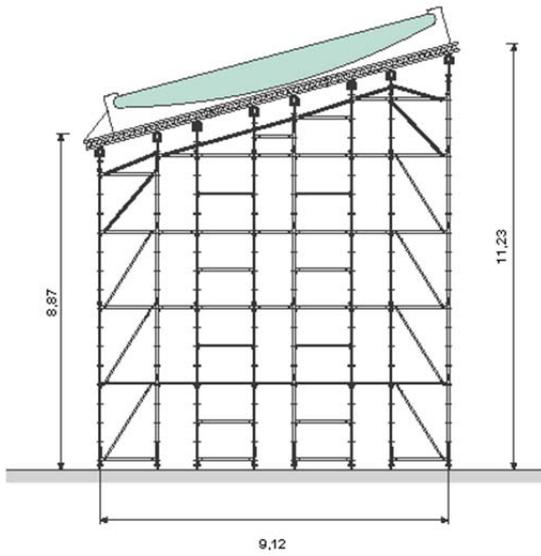


Bild 10-58: Einsatzvarianten von Rüsttürmen



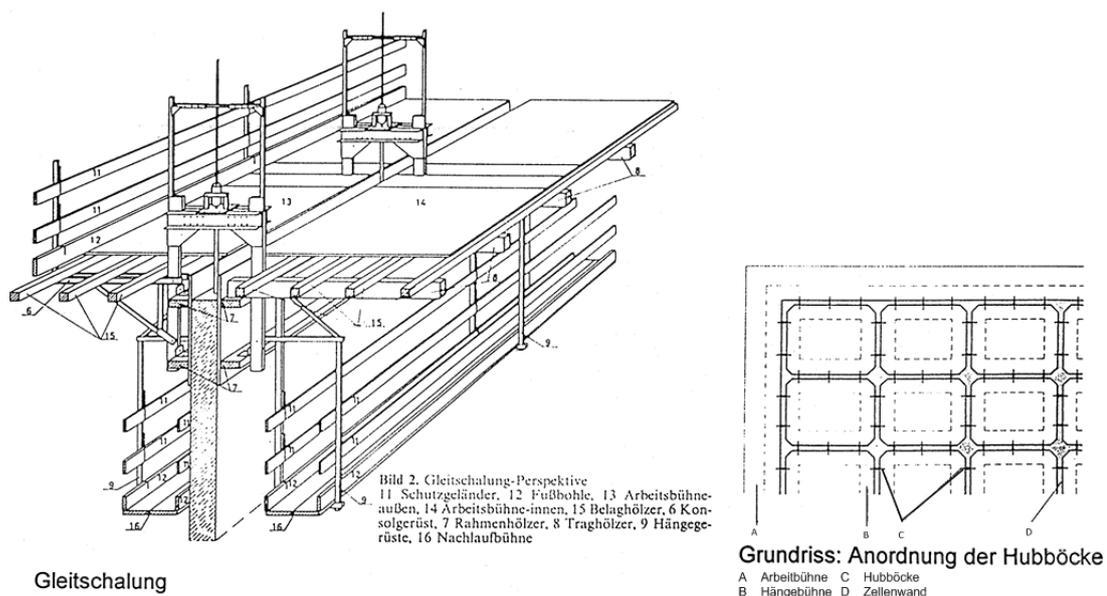
Bild 10-59: Einsatzvariante von Schwerlaststützen [5]

10.6 Spezial-Schalverfahren

10.6.1 Gleitschalung

Die Herstellung der vertikalen Bauteile erfolgt bei der Gleitschalung in einem kontinuierlichen Prozess. Während des Erhärtungsvorganges gleitet die Schalung an der Betonoberfläche entlang. Voraussetzung für die Anwendung der Gleitschalung sind vertikale Bauwerke mit gleich bleibenden oder kontinuierlich veränderlichen Wandstärken bzw. Grundrissgeometrien. Die Anwendung erstreckt sich auf Stahlbetonbauteile mit möglichst geschlossenen Grundrissformen, bei denen die Erstellung einer ringsumlaufenden Schalung und einer mittigen Arbeitsbühne möglich ist, z.B. Fernsehtürme, Kühltürme, Silobauten, Hochhaustreppenhäuser, Aufzugsschächte, Brückenpfeiler oder Behälterummantelungen. Die Arbeiten erfolgen ohne Unterbrechung rund um die Uhr, der Betoniervorgang wird somit nicht unterbrochen, es entstehen keine Arbeitsfugen. Die Baustelleneinrichtung ist mit Reservegeräten auszustatten, um den Ausfall wesentlicher Geräte bzw. den Ausfall bei der Anlieferung der Baustoffe oder Energie ausgleichen zu können. Bei der Projektierung des Bauwerkes sollte die Anwendung einer Gleitschalung bereits berücksichtigt werden.

An einer Jochkonstruktion aus Stahl wird eine ca. 1.20 m bis 1.50 m hohe Gleitschalung über Heber, die ölhdraulisch bewegt werden, an Stangen hochgezogen. Diese Gleitstangen sind in der Betonwand durch ein Mantelrohr vom Beton getrennt, so dass sich nach Ende der Bauzeit die Gleitstangen wiedergewinnen lassen. Während des Gleitvorganges werden die Gleitstangen verlängert. Hängegerüste ermöglichen das Nachbehandeln des abgebundenen Betons. Die Führung der Gleitschalung muss ständig durch Abloten und Ausrichten der Schalung kontrolliert werden. Die Schalhaut kann aus gehobelten Brettern mit Nut und Feder in Gleitrichtung bestehen. Die Schalhaut hat meist eine betonseitige Auflage aus Sperrholzplatten mit vergüteter Oberfläche, oder besteht aus Kunststoffplatten oder Stahlblech.



Gleitschalung

Bild 10-60: Gleitschalung – Systemaufbau [8]

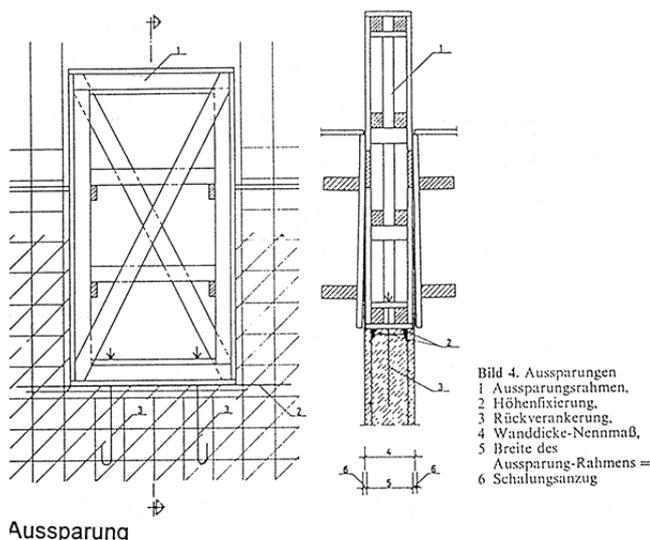


Bild 10-61: Gleitschalung - Anordnung einer Aussparung [8]

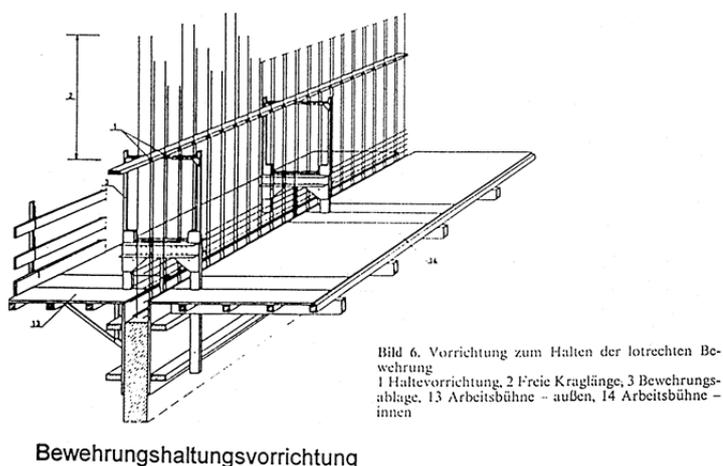


Bild 10-62: Gleitschalung – Bewehrungseinbau [8]

Die Steiggeschwindigkeit des Betons beträgt ca. 15 bis 25 cm pro Stunde. Bei der Schalhauthöhe von 1.20 m bis 1.50 m bedeutet das, dass der Beton für die Erhärtung ca. 6 Stunden Zeit hat, ehe er die Schalung völlig verlässt. Bei kalter Witterung ist es wichtig, die Steiggeschwindigkeit zu verringern, weil der Abbindeprozess länger dauert. Die Arbeitsbühne ist integrierter Bestandteil der Gleitschalung. Sie dient zugleich zur Aussteifung und Stabilisierung des Schalungsrahmens.

Die Dicke der Betonwände bzw. der Abstand der Häupter (Schalungskörper) der Gleitschalung wird im Allgemeinen nicht unter 20 cm gewählt. Bei zu dünnen Wänden besteht die Gefahr, dass der Beton beim Gleitvorgang durch einen zu hohen Bewehrungsanteil abreißt.

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Die Arbeiten müssen in der Regel kontinuierlich (ohne Unterbrechung) durchgeführt werden. Sie laufen rund um die Uhr in drei Schichten ab. Die Baustellenein-

richtung hat Reserven gegen Ausfall der Geräte, in der Baustoffzulieferung sowie im Energieangebot vorzuhalten.

- Die Schalungsarbeit, d.h. das Gleiten, der Einbau der Bewehrung und das Betonieren werden gleichzeitig durchgeführt.
- Die Schalarbeiten sind im Verhältnis klein; massgebende arbeiten sind das Einrichten der Schalung sowie der Einbau von Bewehrung und Beton.
- Die Höhe der Schalhaut richtet sich nach der Gleitgeschwindigkeit und liegt bei ca. 1.50 m. Die Schalung überdeckt nur so viel an Betonfläche, wie für die Erhärtung nötig ist.
- Die Konstruktion des Bauwerkes muss eine gradlinige und gleichmässige Bewegung gewährleisten. Das System bietet sich an für geschlossene Bauwerksteile (Silos, Türme usw.).
- Die Schalung stützt sich bei ihrer Bewegung über die Gleitstange auf den erhärteten Beton ab. Sie besitzt Hubmechanismen, die eine gesteuerte Bewegung zulassen.
- Die Kontrollen für Masseinhaltung in vertikaler und horizontaler Richtung sowie das Regulieren und Ausrichten sind zeitaufwendiger als bei der Kletterschalung.
- Die Kosten für den Schalungsaufbau sind sehr hoch. Schalungsumbau zur Anpassung an geänderte Wandquerschnitte ist nur mit viel Aufwand zu realisieren.
- Bei der Gleitschalung besteht die Gefahr, dass der Beton abreißt und trotz Abreiben Risse im Beton verbleiben. Damit ist die Betondeckung für den Betonstahl ev. nicht gegeben.

In Bild 10-60 ist der prinzipielle Aufbau einer Gleitschalung dargestellt. Die Hauptelemente sind:

- u-förmige Jochträger als Hubböcke
- Gleitstangen
- Gleitschalung
- Arbeitsgerüste

Ferner ist in Bild 10-60 ein Grundriss eines mehrzelligen Silos dargestellt, mit der Anordnung der Jochträger als Hubböcke und Arbeitsbühnen.

In Bild 10-61 ist dargestellt, wie ein Aussparungsrahmen ausgebildet und verankert wird, um beim Gleiten nicht hochgezogen zu werden.

Die Bewehrung wird meist in Bündeln auf die Gleitbühne gebracht. Die Bewehrungsarbeiten haben folgenden Ablauf (Bild 10-62):

- Zuerst wird die Vertikalbewehrung in Tagesetappen eingebracht in Längen von maximal 5 m. Die Bewehrung wird unten mit einem Übergreifungsstoss an der vorherigen Bewehrungsetappe befestigt. Zur Sicherstellung der Betondeckung und der richtigen Position wird die Bewehrung oben mittels Lehren geführt die sich auf den Montagehilfsjochen befinden, die auf den Kletterjochen aufgesetzt sind.
- Danach wird die Horizontalbewehrung an der Vertikalbewehrung angerödelt. Die Horizontalbewehrung wird seitlich in die Hilfsjocher eingefädelt (kleinere Bündel) und dann von unten nach oben eingeflechtet. Zudem werden die Abstandshalter zur Betondeckung und zum Fixieren des Abstands der Bewehrungsebenen angeordnet.

10.6.2 Kletterschalung

Im Gegensatz zur Gleitschalung werden bei der Kletterschalung (Bild 10-63) die vertikalen Bauteile etappenweise hergestellt. Die Kletterschalung wird in vertikaler Richtung mit Hilfe eines Kranes oder einer Kletterautomatik nach dem Erhärten des Betons auf den unmittelbar folgenden Betonierabschnitt umgesetzt.



Bild 10-63: Kletterschalungssysteme [4]

Die Kletterschalung ist durch folgende Kriterien gekennzeichnet:

- Die Fertigung bzw. der Steigrhythmus erfolgt abschnittsweise. Das Mass der Kletterschritte bleibt meist gleich gross (Schaltafelhöhe).
- Der Arbeitsrhythmus ist diskontinuierlich aber zyklisch.
- Der Zyklus besteht aus (Bild 10-64):
 - Schalung umsetzen in Etappe n
 - Ausrichten der Innen- bzw. der Aussenschalelemente (eine Seite bleibt offen zum Bewehren)
 - Bewehrung einbauen (Bild 10-65)
 - Aussenschalelement vorfahren, Schalung schliessen und mit Schalungsanker verspannen
 - Betonieren von der oberen Arbeitsbühne (Bild 10-66)
 - Nach Erhärten Aussen- und Innenschalung zurückfahren (Mindestfestigkeit)
 - Schalung umsetzen und verankern in Etappe n+1 (Bild 10-64)
- Die Kletterschalung wird immer öfter mittels eigenem Hebemechanismus umgesetzt.
- Die Schalung ist grossflächig ausgelegt. Die Elemente haben meist eine Schalungsfläche von z.B. $2.50 \text{ m} \times 5.00 \text{ m} = 12.50 \text{ m}^2$. Sie sind in ihrer Grösse abhängig von der Tragkraft der vorhandenen Hebegeräte.
- Waagerechte Arbeitsfugen sind unvermeidbar, da die Betonierung unterbrochen wird.

- Öffnungen lassen sich sauber einbauen und Schalungsumbauten aller Art für veränderte Wandstärken sind möglich.
- Die Oberfläche der Kletterschalung kann glatter als bei der Gleitschalung hergestellt werden.

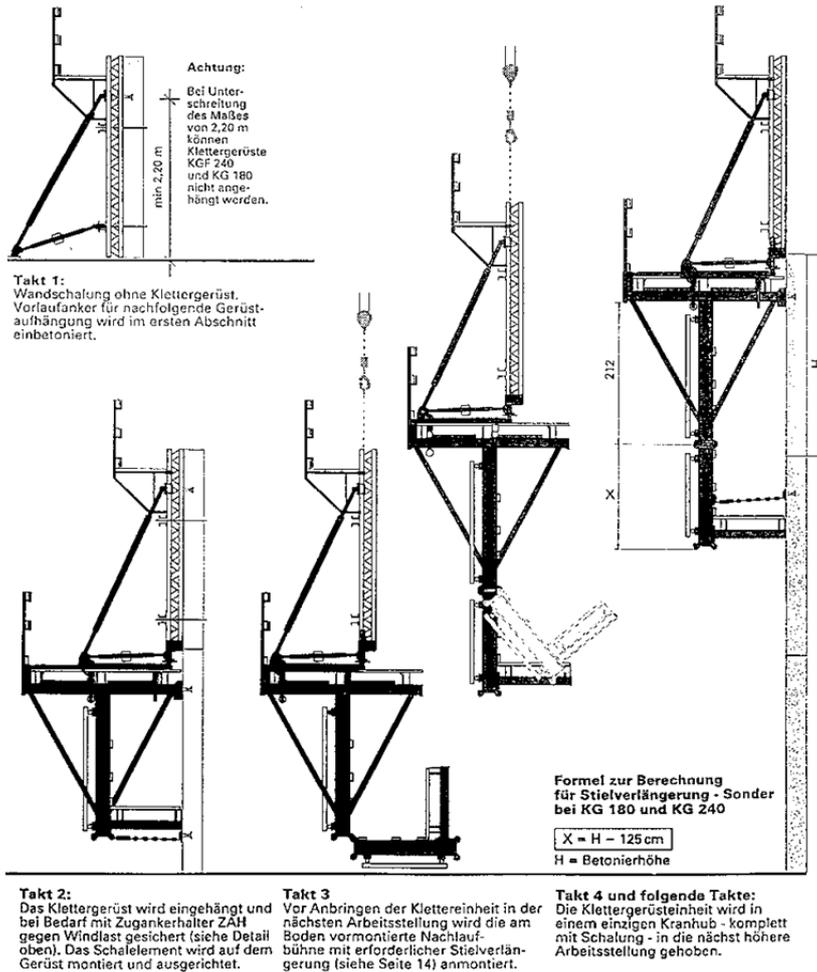


Bild 10-64: Kletterschalung – Umsetzungsvorgang mit Kran [5]

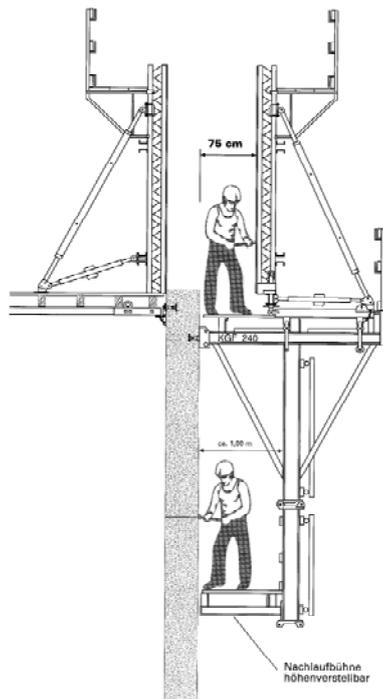


Bild 10-65: Vorauleitende Kernschalung: Innen: Schachtschalung (links), aussen: Kletterschalung (rechts) mit Kranversetzung [5]

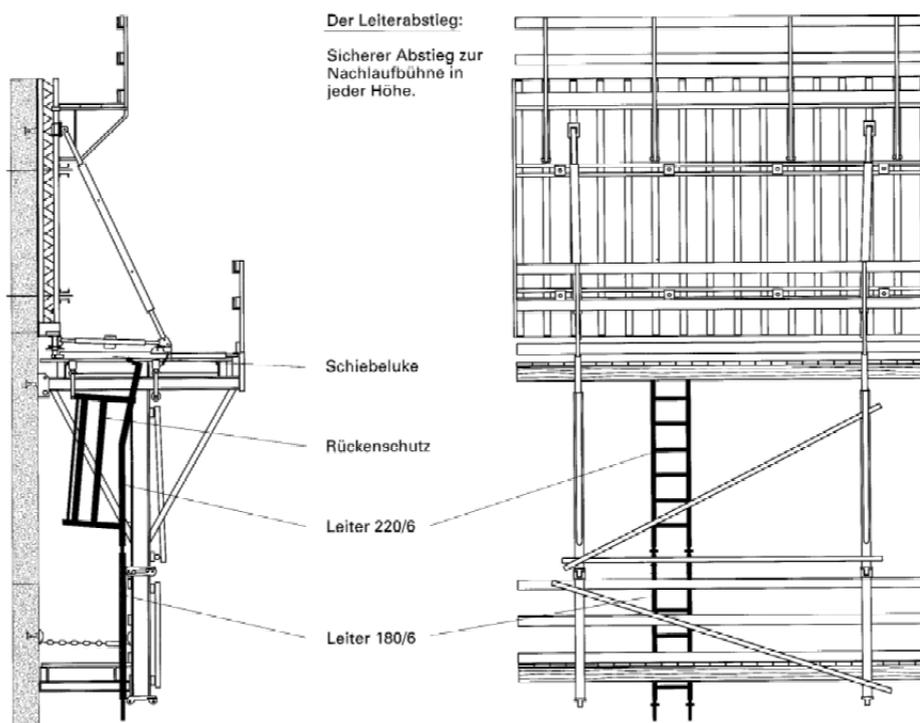


Bild 10-66: Kletterschalung mit Leiterabstieg und Kranversetzung [5]

Statisches System einer Kletterschalungskonstruktion

Die Belastungszustände eines Klettergerüsts sind in Bild 10-67 dargestellt. Das statische Ersatzsystem einer Kletterschalungskonstruktion besteht aus einem Dreiecksrahmen, der am oberen Befestigungspunkt ein festes Auflager und am unteren ein bewegliches Auflager besitzt (Bild 10-68). Die aus der Schalung und den Zwischenbauzuständen resultierenden Lasten (H und V) ergeben das Moment M_e , welches über das

Kräftepaar der Auflagerkräfte in die bereits erstellte Wandsektion eingeleitet wird. Somit tritt am oberen Auflager Zug und am unteren Druck auf. Zudem hat das obere, feste Auflager die Vertikalkräfte (ΣV) aufzunehmen.

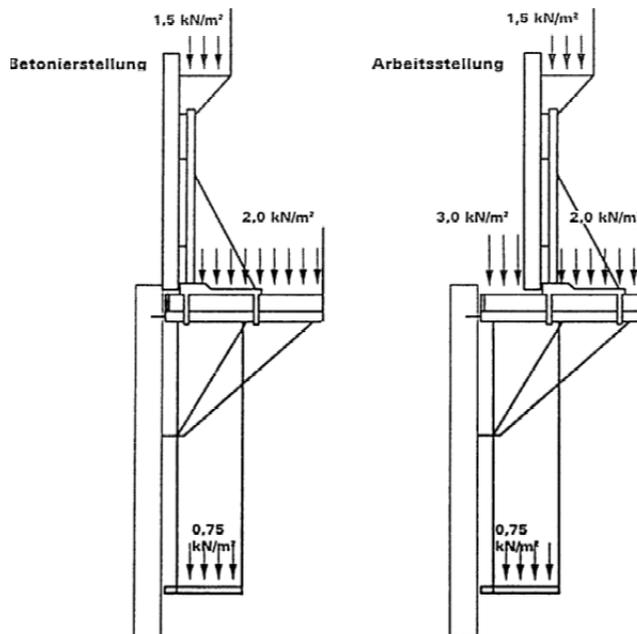


Bild 10-67: Kletterschalung – Belastungszustände des Klettergerüsts [5]

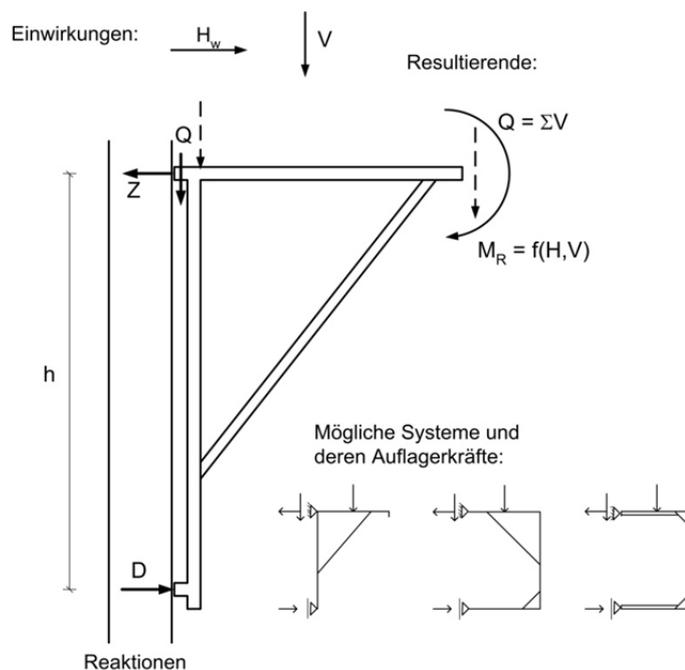


Bild 10-68: Statisches System der Kletterschalungskonstruktion

Der Rationalisierungseffekt einer Kletterschalung liegt weitgehend in der zeitlichen und arbeitskräftemässigen Übereinstimmung der durchzuführenden Einzelarbeiten. Daher müssen Kletterschalungen in konsequenter Taktarbeit eingesetzt werden.

Voneinander abhängige Arbeiten müssen so organisiert sein, dass jede Einzelarbeit genügend Vorlauf hat, um die nachfolgenden nicht zu behindern und so, dass sie selbst zügig ohne Unterbrechung durchgeführt werden kann.

Es ist von Bedeutung, dass die Arbeitskräfte universell ausgebildet sind, d.h. es ist vorteilhaft, wenn sie Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten durchführen können. In der Regel sind es Betonbauer.

Durch den wiederkehrenden Arbeitsablauf ist nach einer kurzen Anlaufzeit ein rationelles und kostengünstiges Arbeiten möglich.

Die Kletterschalung findet ihre Anwendung beim Behälterbau, bei Brückenpfeilern und turmartigen Bauwerken.

Grundsätzlich ist auf eine hohe Einsatzzahl der Elemente zu achten. Zum Ausrichten der Schalelemente, beim Einschalen sowie zum Abdrücken beim Ausschalen dienen Spindeln. Das vertikale Versetzen erfolgt in der Regel durch einen Kran.

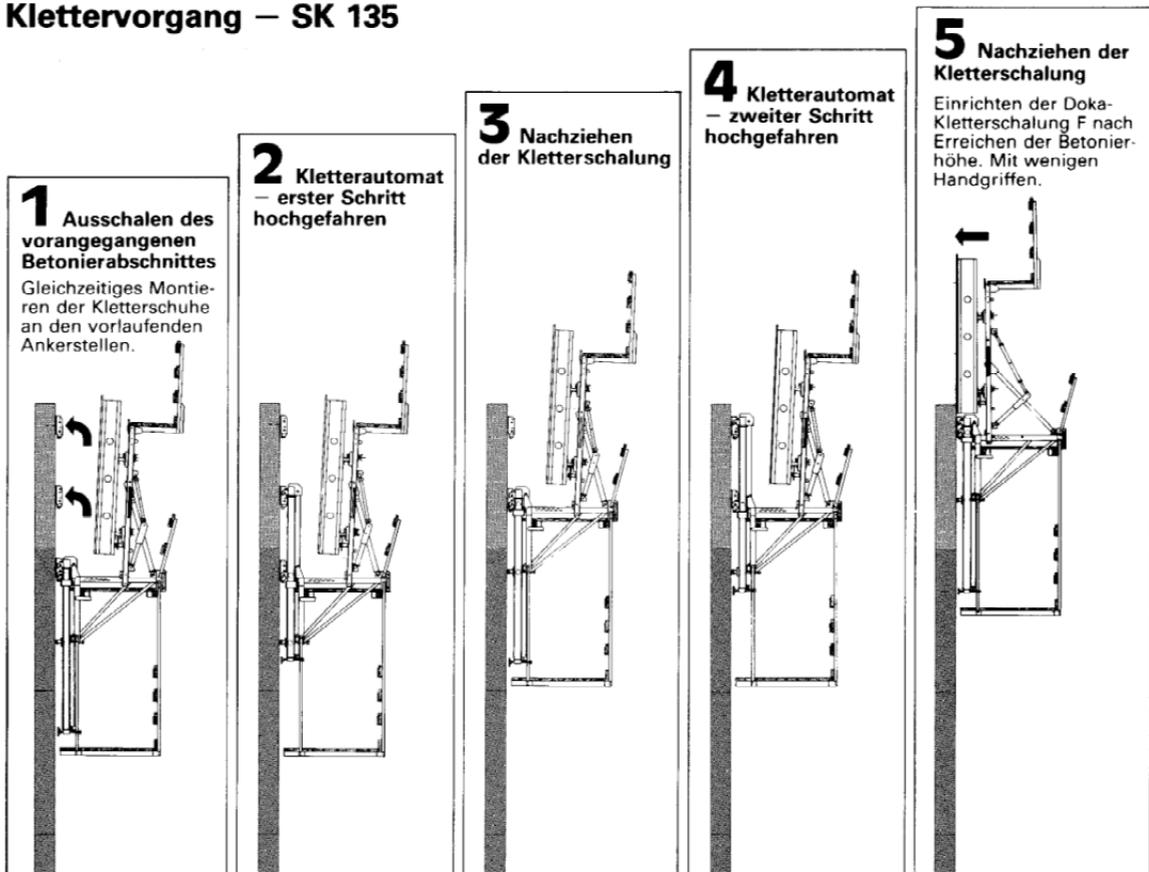
Das selbständige Klettern erfolgt mittels hydraulischem Hubwerk (Hydraulikzylinder) und ist in Bild 10-69 dargestellt. Für die Selbstklettereinrichtung ist neben dem Selbstklettergerüst eine Kletterstange oder ein Kletterrahmen erforderlich (Bild 10-70). Das Hubwerk stützt sich auf der Kletterschiene oder -rahmen ab und zieht das Selbstklettergerüst nach oben. Dann wird das Selbstklettergerüst verankert und der Kletterrahmen in die nächste Position versetzt. Das System funktioniert nach dem Schreitwerkprinzip.

Voraussetzung für die Umsetzbarkeit der Kletterschalung ist der Einbau von entsprechenden Vorlaufankern (Bild 10-71).

7 Doka-Kletterautomaten

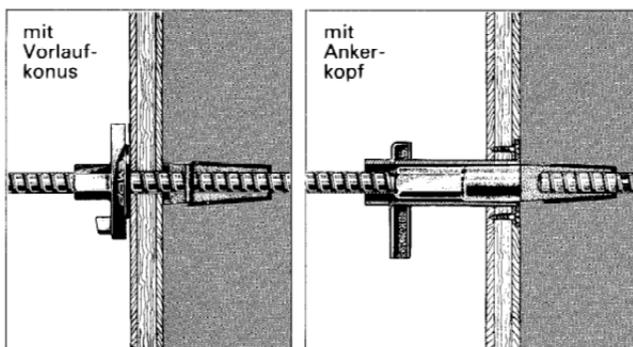
Automatic Climbers
Coffrage autogrimpant

Klettervorgang – SK 135



Ankerungsablauf – SK 135

Phase 1:
Herstellen der Ankerstelle



Phase 2:
Anbringen des Aufhängeschuhes durch Einschrauben des Selbstkletterkonen

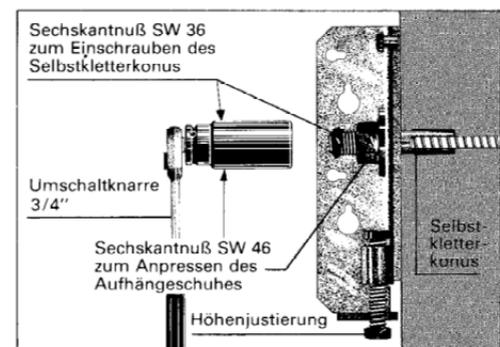


Bild 10-69: Kletterautomaten [4]

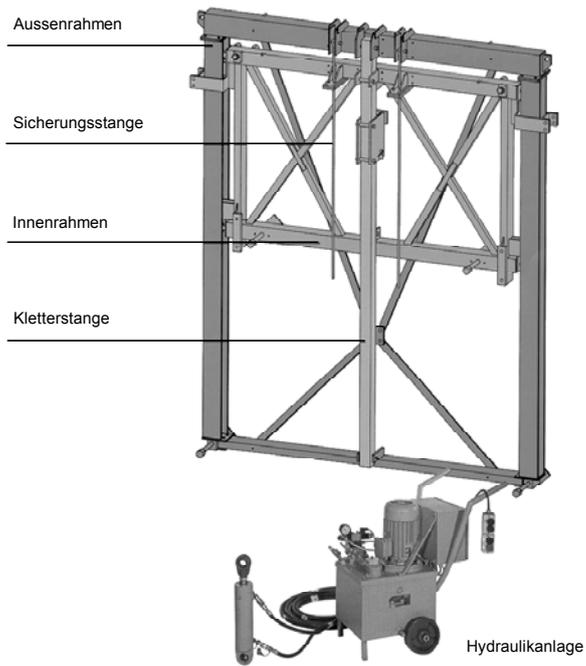


Bild 10-70: Kletterautomat [4]

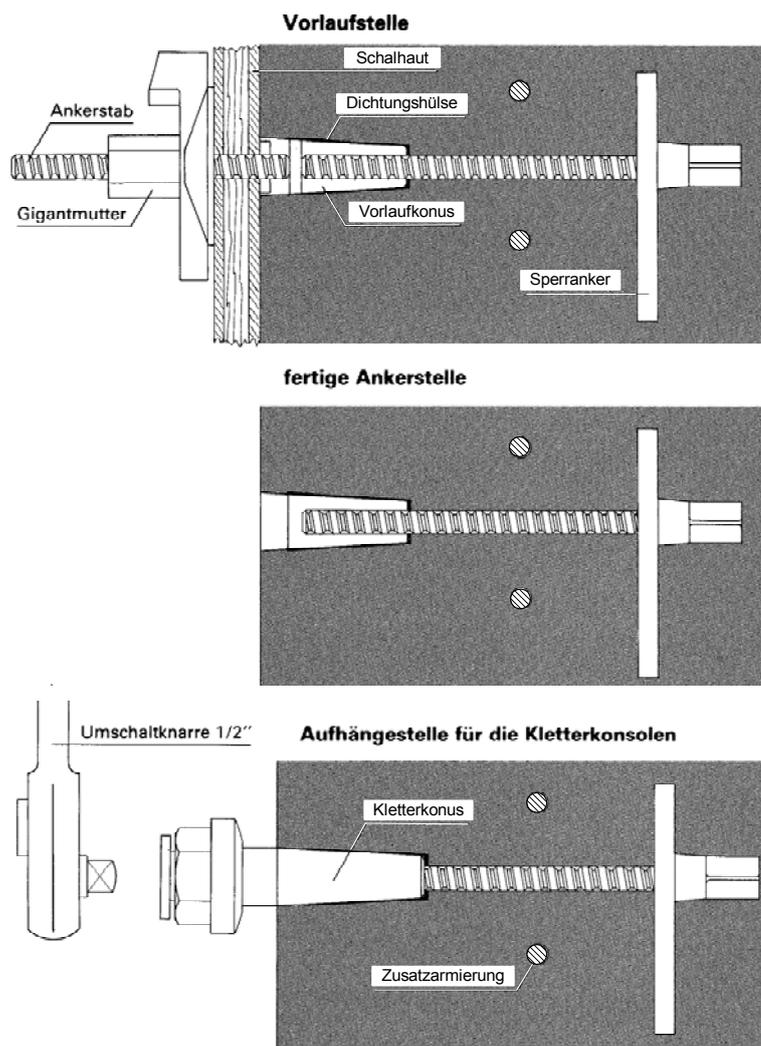


Bild 10-71: Funktionsdarstellungen: Vorlaufanker für Kletterschalungen [4]

10.6.3 Schachtbühnen mit Schachtschalungen

Für die engen Hochhausschächte müssen für die Innenschalung aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse besondere Kletterschalungen verwendet werden. Den prinzipiellen vertikalen Aufbau der Schachtschalung erkennt man auf Bild 10-73. Die Schachtschalung besteht aus folgenden Hauptelementen:

- Schachtschalung mit Schermechanismus
- Schachtbühne mit Auflager-Klappschuhen
- Nachläuferbühne an Schachtbühne aufgehängt

Die Schalung besteht meist aus Rahmentafelmodulen sowie speziellen Eckelementen und Schermechanismen an jeder Seite (Bild 10-72). Die Schachtschalung wird mittels Kran über 4 Seile, die vom Kranhaken ausgehen und an den Ösen der Schermechanismen (Bild 10-74 und Bild 10-75) angehängt werden, in den nächsten Betonierabschnitt (meistens Stockwerk) versetzt. Die Wirkungsweise des Schermechanismus im eingeschalteten und ausgeschalteten Zustand ist in Bild 10-76 und Bild 10-77 zu erkennen.

Die Schachtbühne besteht aus einem Trägerrost und einem Bühnenboden aus Holz (Bild 10-78). In den Enden der][-Schachtbühnen-Längsträger sind Auflagerklappschuhe eingebaut (Bild 10-79). Diese Klappschuhe kragen in Kastenaussparungen des Schachtes ein und leiten dort die Auflagerkräfte in die Schachtwand. Beim Umsetzen, d.h. Ziehen der Bühne, klappen die Schuhe zwischen den][-Trägern nach unten. Damit kann die Bühne im Schacht hochgezogen werden bis zur nächsten Aussparung. Dort werden die Klappschuhe von der Nachläuferbühne aus soweit gekippt, dass sie beim Absenken der Bühne um wenige Zentimeter in den Aussparungen einrasten (Bild 10-73). Zur Bildung der Aussparungen verwendet man Metallkästen die in den vorlaufenden Betonierabschnitt eingesetzt werden. Aus Sicherheitsgründen für die spätere Nutzung der Aufzüge müssen die Aussparungen von der Nachläuferbühne geschlossen werden. Die Nachläuferbühne wird über Hängestangen an den Trägerrost der Schachtbühne angehängt (Bild 10-79). Zudem befinden sich die Hebeösen der Schachtbühne an dem Schachtbühnenträgerrost (Bild 10-79).

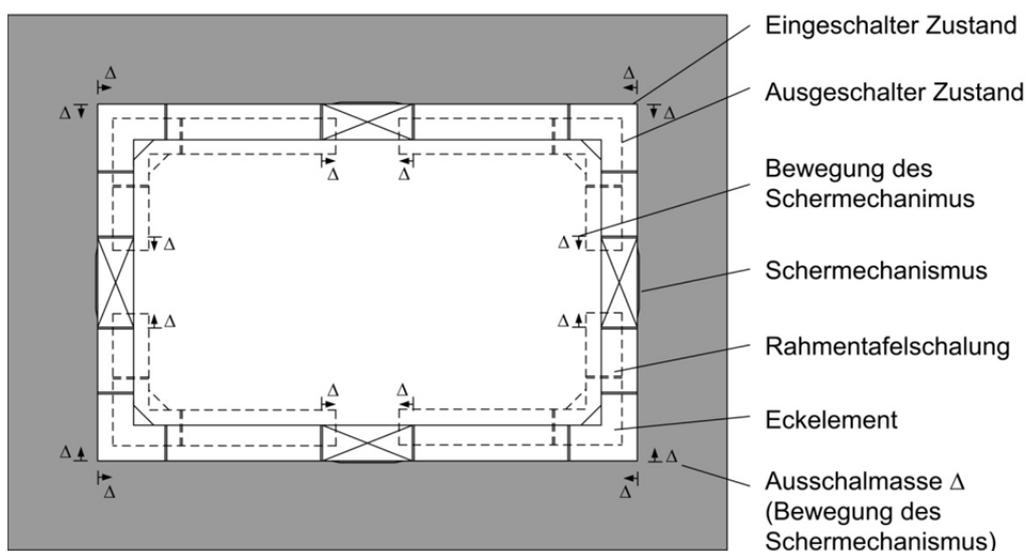


Bild 10-72: Schachtschalung mit Schermechanismus (Position der Schalung beim Ein- bzw. Ausschalen)

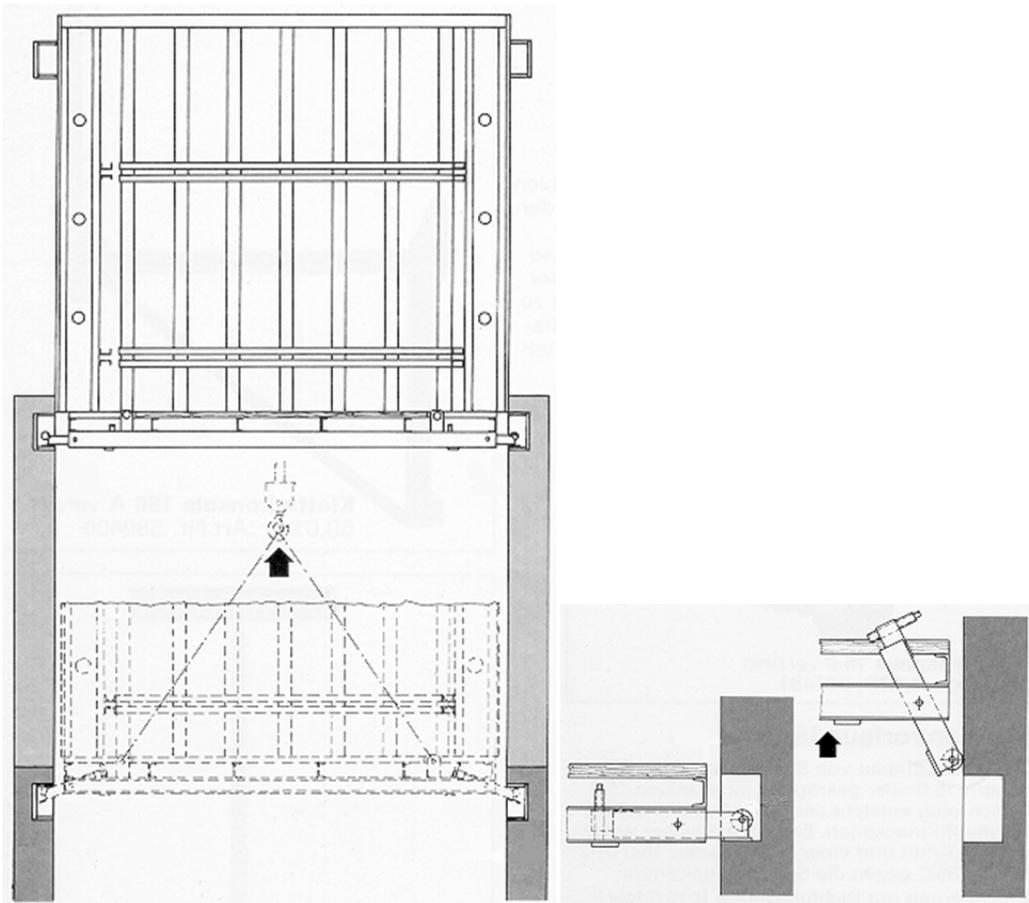


Bild 10-73: Schachtschalung – prinzipieller Aufbau



Bild 10-74: Ausschalschere



Bild 10-75: Draufsicht Ausschalschere

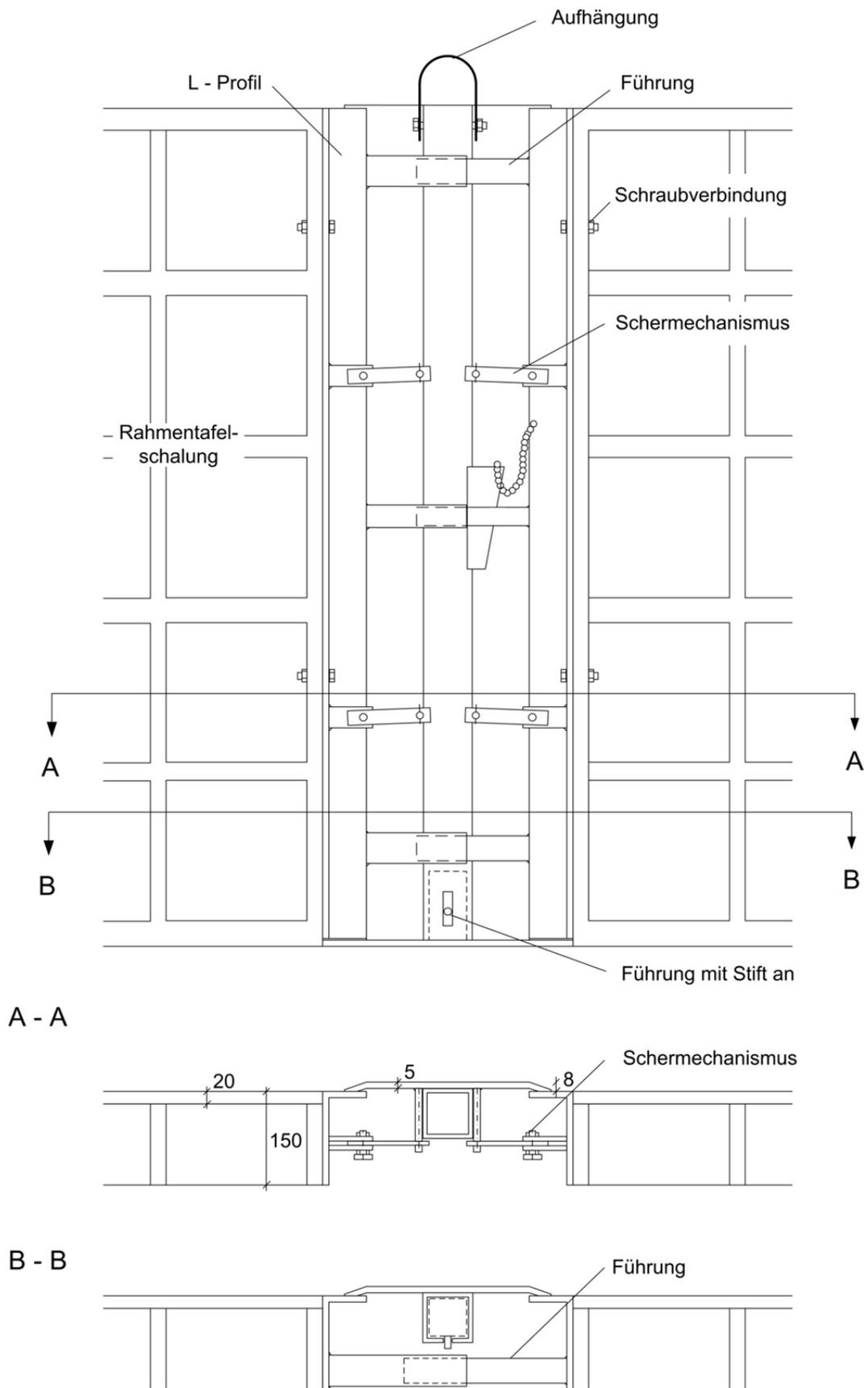


Bild 10-76: Schermechanismus (eingeschalter Zustand)

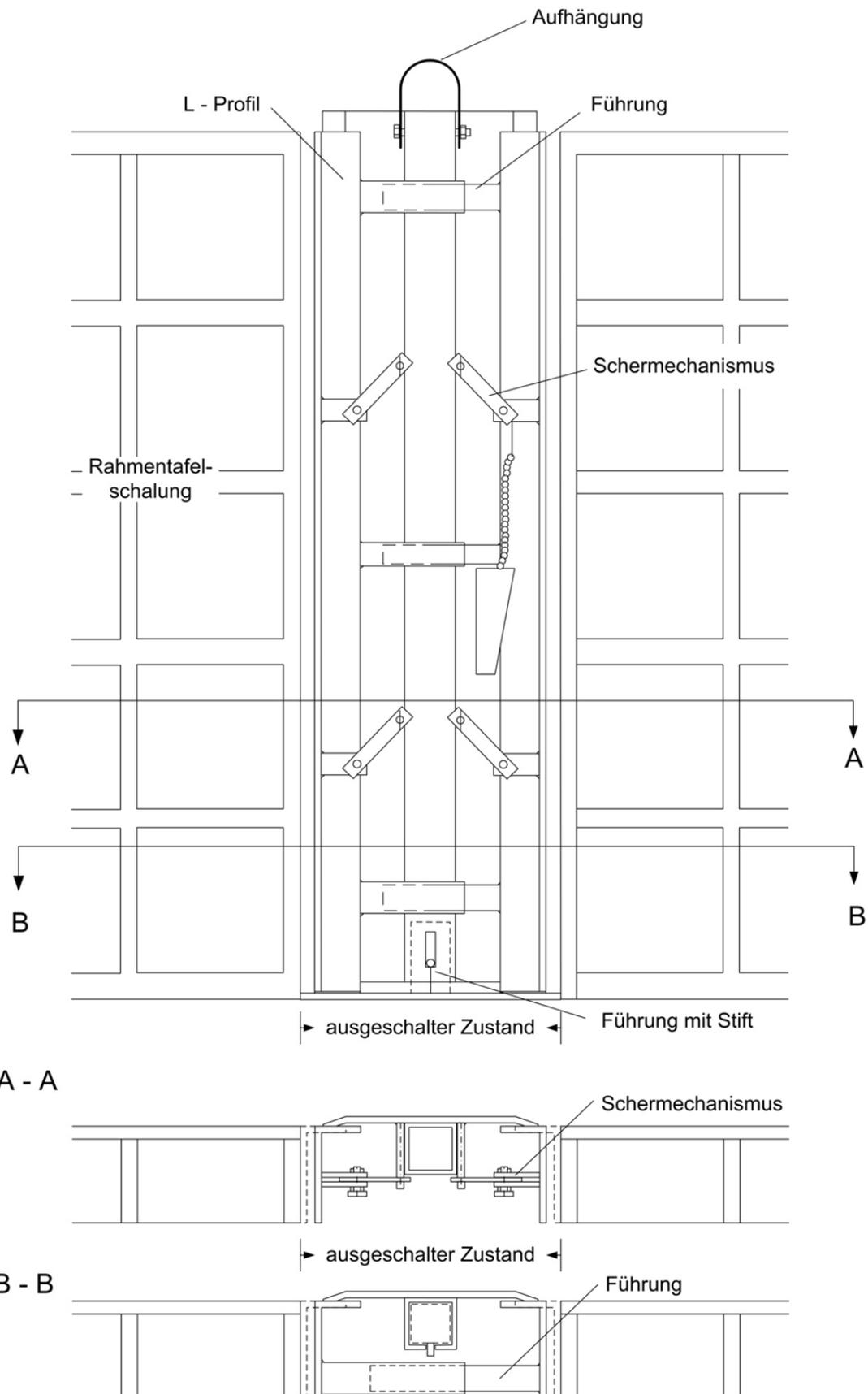


Bild 10-77: Schermechanismus (ausgeschalter Zustand)

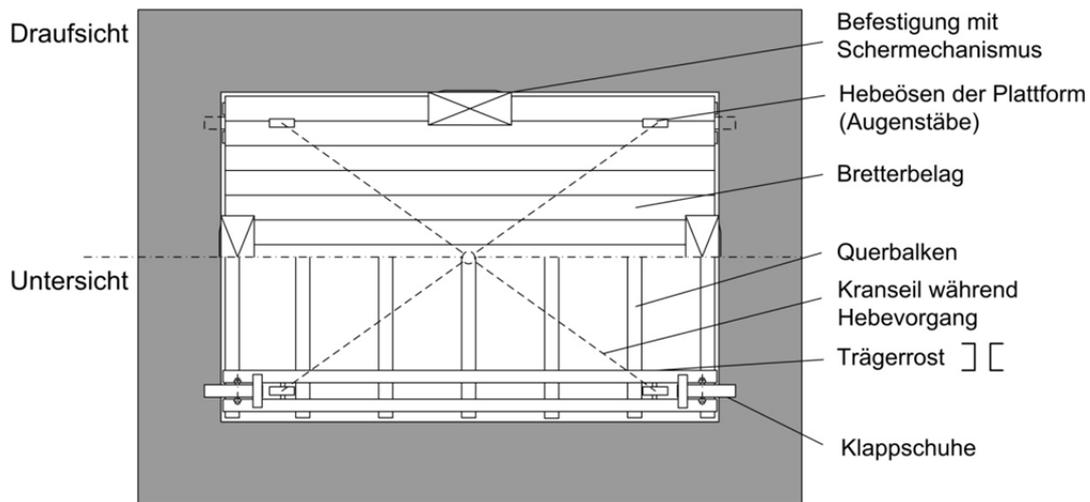


Bild 10-78: Aufbau der Schachtbühne für Schachtschalung



Bild 10-79: Aufhängung der Schachtbühne (Klappschuh)

10.6.4 Kletterplattformschalung

Zur Errichtung von turmartigen Bauwerken (Bild 10-80) wie z.B. Hochhauskernen (Bild 10-81), Hohl Pfeilern bei Brückenbauwerken von grosser Höhe, Funktürmen, Silos in einer etappenweisen Herstellung eignen sich besonders selbstkletternde Plattformen, an denen die Schalungen für die etappenweise Herstellung der turmartigen Wandelemente abgehängt werden. Der Vorteil solcher selbstkletternden Plattformen ergibt sich dadurch, dass nicht mehr wie bei der Kletterschalung die einzelnen Kletterschalungselemente einzeln mittels Kran oder Selbstklettereinrichtung (Selbstkletterrahmen) in den nächsten Betonierabschnitt versetzt werden müssen, sondern dass die gesamte Schalung einer Etappe mittels Schreitwerk in die nächste Herstellungsetappe verschoben wird (Bild 10-82 bis Bild 10-86). Ferner bietet eine solche Plattform die Möglichkeit der Materiallagerung auf dem oberen Trägerrost (z.B. Stahlbewehrung, Einbauteile) sowie des Arbeitens auf der Plattform und auf den abgehängten unteren Bühnen. Durch die Zwischenmateriallagerung auf der Plattform direkt an der Einbaustelle kommt es zur logistischen Entkoppelung vom Kran. Im Hochhausbau werden heute die Arbeiten der Gewerke weitgehend parallel ausgeführt. Daher wird der Kran für verschiedene Gewerke eingesetzt. Durch diese Kletterplattformen werden Fehlzeiten durch Materiallieferungen eliminiert und meistens ein Kran eingespart.



Bild 10-80: Hochhaus mit turmartigen Kern



Bild 10-81: Selbstkletternde Schalungsplattform mit Einhausung und oberer Arbeitsplattform

Konstruktiver Aufbau der selbstkletternden Plattform

Der Aufbau der selbstkletternden Schalungsplattform (Bild 10-86) ist wie folgt:

- Die obere Plattform besteht aus einem orthogonalen Trägerrost.
- An diesem aufgehängt sind die Schalelemente, z.B. für die turmartigen Schächte eines Hochhauskerns. Diese Schalelemente sind im Aufhängebereich an dem Untergurt des jeweiligen orthogonalen Trägers entweder mit GEWI-Stangen oder an fahrbaren Radkästen mit jeweils vier Rollen (zwei auf jeder Seite) abgehängt, damit die Schalung zur Installation der Bewehrung von der unteren Plattformebene aus ausgefahren werden kann (Bild 10-87). Die Schalelemente im jeweiligen Kerninnenbereich werden an den jeweils vier Vertikalstützen eines Schachtkerns mittels Abstandhaltern fixiert, so dass die Wandschaltafeln ausgerichtet werden können.
- Ferner sind an diesem Trägerrost biegesteif verbunden:
 - einerseits die Vertikalstützen, die sich auf den Fussrahmen der unteren Abstützbalken abstützen,
 - andererseits die äusseren Bühnen, die mit der oberen Plattform verbunden sind.
- Der Trägerrost, die Vertikalstützen und die äusseren Bühnen bilden somit ein räumliches Rahmensystem, das in allen Arbeitsphasen der Plattform die nicht unerheblichen Windkräfte bzw. die daraus resultierenden Normal-/Querkräfte und Momente aufnehmen kann und über die Lasteinleitungsbereiche in die vorher erstellten Kernnetappen überträgt.

- Die Abstützrahmen, die jeweils in den Kernen (Liftschacht, Treppenhaus) angeordnet werden, bestehen aus einem unteren und oberen Abstützbalken. Die jeweils zwei bzw. vier Vertikalstützen in einem jeweiligen Schacht werden mit den oberen horizontalen Abstützbalken biegesteif verbunden. An den oberen Abstützbalken befinden sich an den jeweiligen Enden ausklappbare (drehbare) Winkelkonsolen, die sich in die jeweiligen Abstützaussparungen (Bild 10-88), die in der Stahlbetonkonstruktion der jeweiligen Schächte angeordnet werden müssen, ausklappen bzw. abstützen. Diese winkelartigen Abstützkonsolen klinken sich automatisch beim Erreichen dieser Abstützaussparungen aus und leiten die Vertikalkräfte über diese Winkelkonstruktion in den Stahlbetonkern ein. Beim Weiterklettern nach oben klappen diese Winkelkonsolen automatisch ein, so dass dieses Auflager sich automatisch löst, wenn die Plattform durch den unteren Abstützbalken nach oben verschoben wird. Die unteren Abstützrahmen sind mit den hydraulischen Schubpressen gelenkig verbunden, damit keine Biegemomente in die Hydraulikzylinder eingetragen werden. Die unteren Abstützrahmen sind an ihren Enden mit Drehwinkelkonsolen ausgestattet, die nach dem Hochziehen in die jeweilige Abstützaussparung ausgeklappt werden. Während des Klettervorgangs (Schreitvorgang) findet eine Lastumlagerung von den oberen in die unteren Abstützbalken statt. Während dieses Schreitvorgangs in die nächste Etappe werden somit die Vertikalkräfte der Plattform über die Hydraulikzylinder in die unteren Abstützrahmen eingeleitet und von diesen in die Abstützaussparungen der Schächte übertragen. Die beiden Abstützrahmen bilden mit der unteren Nachläuferplattform in dem jeweiligen Schacht zwei Ebenen, die die Windmomente als Kräftepaar in den Stahlbetonschacht einleiten (Bild 10-85).

Doka-Self-Climbing-Plattform (SCP)

Schritt 1: Grundmontage und 1. Kernabschnitt

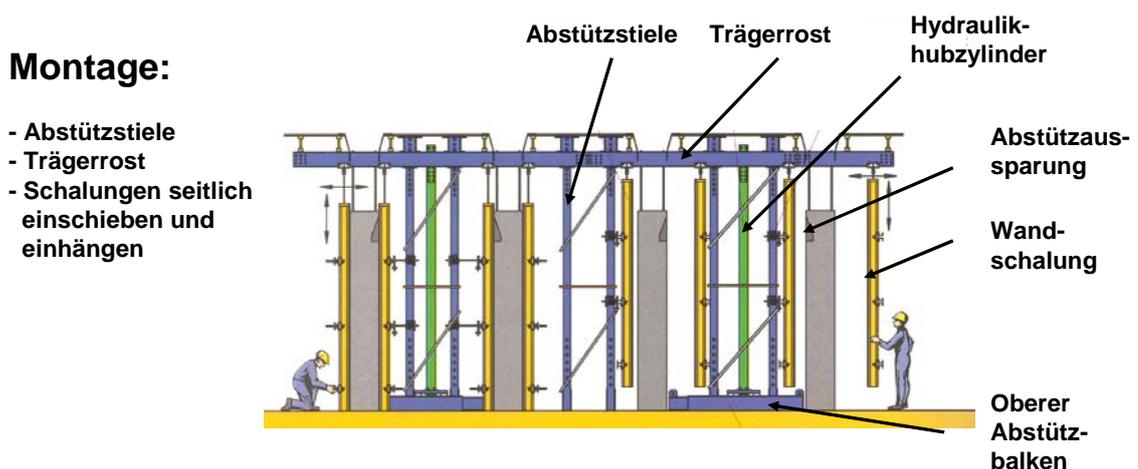


Bild 10-82: Grundmontage und Herstellung der ersten Etappe [4]

Doka-Self-Climbing-Plattform (SCP)

Schritt 2: 1. Schreitvorgang aus der Grundetappe

Arbeitsfolge:

- Plattform heben
- oberer Abstützbalken sichern
- unterer Abstützbalken nachziehen
- Bewehren
- Schalung schliessen
- Betonieren
- Ausschalen

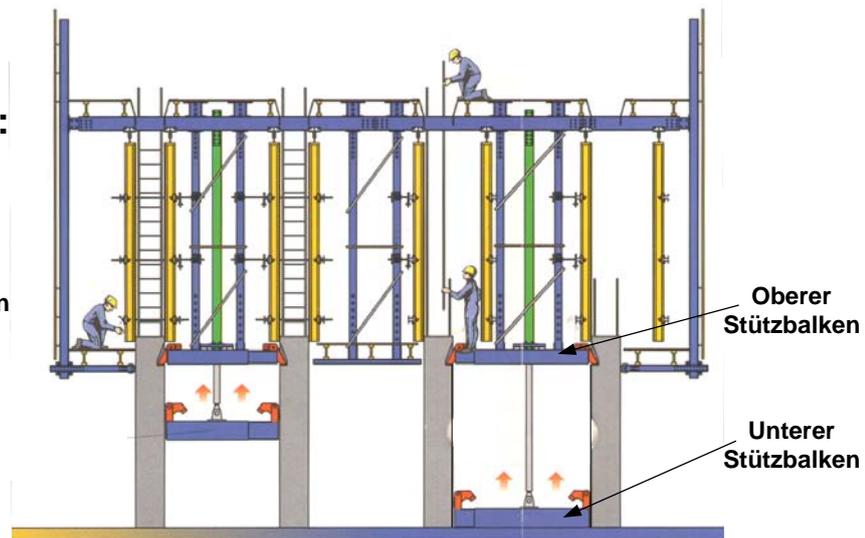


Bild 10-83: Schreitvorgang aus der ersten Grundetappe [4]

Doka-Self-Climbing-Plattform (SCP)

Schritt 3: Herstellung 2. Kernabschnitt

Arbeitsfolge:

- Bewehren
- Schalung schliessen
- Betonieren
- Ausschalen

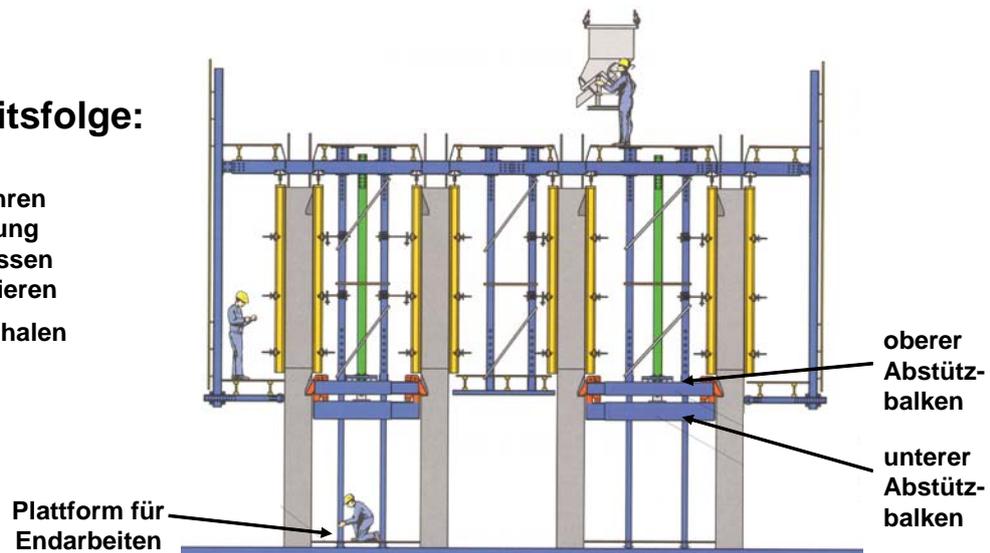


Bild 10-84: Herstellung der zweiten Etappe [4]

Doka-Self-Climbing-Plattform (SCP)

Schritt 4: Folgeschrittvorgänge

Arbeitsfolge:

- oberer Abstützbalken sichern
- oberer Abstützbalken lösen
- Plattform heben
- unterer Abstützbalken nachziehen und sichern

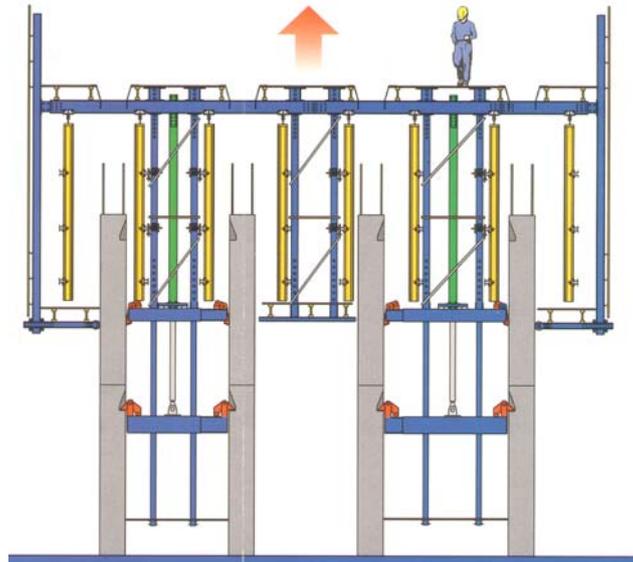


Bild 10-85: Hub- bzw. Schreitvorgang in die Folgeetappe [4]

Doka-Self-Climbing-Plattform (SCP)

Schritt 5: Herstellung der Folgekernabschnitte

Arbeitsfolge:

- Bewehren
- Schalung schliessen
- Betonieren
- Ausschalen

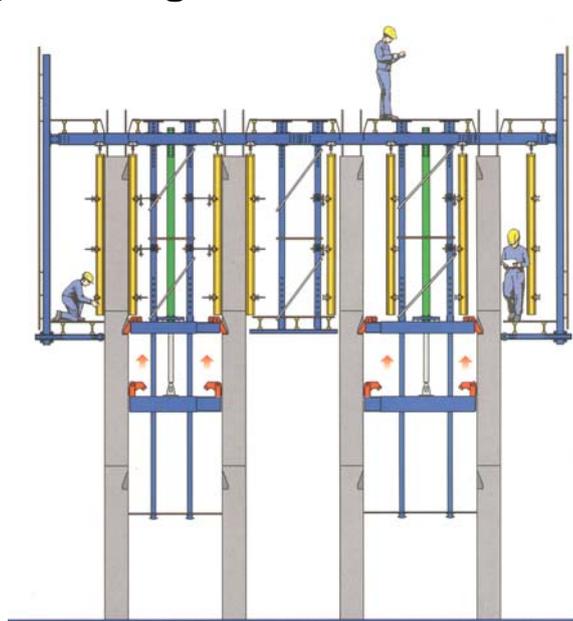


Bild 10-86: Herstellung der Folgeetappen [4]

Installation und Arbeitsweise der Plattform

Der Aufbau der Plattform erfolgt in zwei Phasen. In der ersten Etappe (Bild 10-82, Bild 10-83) erfolgt die Grundmontage; in der zweiten Etappe erfolgt die Installation der Nachläuferbühnen (Bild 10-84).

Die Grundmontage erfolgt vollständig für die Herstellung des ersten Kletterabschnitts; sie wird wie folgt durchgeführt:

- Installation der oberen Abstützbalken innerhalb der Schächte (Liftschächte, Treppenhäuser). Auf diesen werden in den Schächten jeweils zwei bis vier Vertikalstützen biegesteif montiert. Auf diesen Vertikalstützen, die mittels Diagonalen temporär ausgesteift werden, erfolgt die Installation des orthogonalen Trägerrostes (Bild 10-82). Dieser wird biegesteif mit den Vertikalstützen verbunden. Die vertikalen Hydraulikschubzylinder zum Umsetzen der Plattformen werden im Regelfall jeweils in den Schächten des turmartigen Bauwerks angeordnet. Die Anordnung erfolgt möglichst so, dass es zu einer weitgehenden Gleichverteilung der Vertikalkräfte auf die einzelnen hydraulischen Hubzylinder kommt. Diese hydraulischen Hubzylinder sind einerseits mit dem Trägerrost und andererseits mit den oberen Abstützbalken verbunden; die Hubzylinder werden gelenkig mit den unteren Abstützbalken verbunden. Dann werden die Schalelemente eingeschoben und am orthogonalen Trägerrost befestigt (Bild 10-82). Die Innenschalungen der Schächte werden mittels GEWI-Zugstangen abgehängt. Die Aussenschalungen der Schachtwände werden an den Radkästen, die am Untergurt des jeweiligen Trägerrostes befestigt sind, abgehängt, so dass diese Schalelemente für die Montage der Bewehrung ausgefahren werden können. Die Innenschalungen der Schächte werden an GEWI-Stangen vertikal am Trägerrost abgehängt. Zudem werden sie zur präzisen vertikalen Ausrichtung der Schalung über horizontale Distanzstangen mit den Vertikalstützen verbunden. Während dieses Vorgangs erfolgt gleichzeitig die Beplankung des orthogonalen Trägerrostes für die Arbeitsplattform. Die Beplankung wird so durchgeführt, dass die Grundrissbereiche der vertikalen Schachtwände offen bleiben (Bild 10-85). Damit wird sichergestellt, dass die Bewehrung, die mittels Kran auf die Plattform eingehoben wird, über die Öffnungen der Wandslitze in der Plattform zur Installation nach unten auf die Montageplattform gereicht werden kann. Nachdem diese Grundmontageplattform mit vertikaler Abstützung und der Schalung installiert ist, werden die seitlichen, biegesteif angeschlossenen Hängebühnen installiert (Bild 10-83). Die äusseren Hängebühnen werden vollflächig mit Holzplatten beplankt, einschliesslich der oberen Plattformeinhausung. Dadurch wird sichergestellt, dass die bei der Herstellung solcher turmartigen Gebäude teilweise erheblichen Windkräfte nicht die Arbeitssicherheit und Arbeitsleistung beeinträchtigen. Die Plattform bietet somit im Inneren optimale Arbeitsbedingungen, da einerseits die Arbeiter im Sommer vor Wind und Sonneneinstrahlung geschützt sind und andererseits eine Durchlüftung erreicht wird, indem man die Klappen auf der oberen Plattform im Bereich über die Wandabschnitte offen lässt. Im Winter werden die Arbeitsequipen vor kaltem Wind, Regen und Schnee geschützt. Ferner sorgt die Abbindewärme des Betons für ein optimales Klima zwischen oberem Trägerrost und unteren Arbeitsplattformen. Zudem können die Klappen oberhalb der Wände nach Einführen der Bewehrung immer wieder geschlossen werden.
- Auf der oberen Plattform werden an den Aussenseiten an den vertikalen Stahlträgern der Hängebühne Regale und Schränke montiert (Bild 10-89), in denen die Arbeitsgruppen ihre Werkzeuge, aber auch Material und Verpflegung lagern können. So dient die Plattform gleichzeitig als autonome Arbeitsstation.

- Nach Installation der Plattform, der Schalung und des Hubsystems kann nun die erste Etappe bewehrt und betoniert werden (Bild 10-82). Dabei müssen im oberen Bereich der ersten Grundetappe die Einbauteile für die Abstützaussparungen (Bild 10-88) in die Schalung eingelegt werden. Die gegenüberliegenden Schalungen werden während des Betoniervorgangs durch Spannanker miteinander verbunden. Nach dem Abbinden werden die Spannanker gelöst, die Schalungen werden über die Hängestangen bzw. Rollenfahrwerke seitlich verfahren, und der Steigvorgang mittels Schreitwerk kann erfolgen (Bild 10-83). Dazu werden alle Hubzylinder über eine zentrale Hydraulikstation, die parallel geschaltet ist, bedient. Die Hubzylinder stützen sich auf den unteren Abstützrahmen ab (Bild 10-85) und schieben in einem Schreitvorgang die gesamte Plattform nach oben, bis die oberen Abstützrahmen in den jeweiligen Schächten die Abstützaussparungen erreicht haben. Die automatisch wirkenden seitlichen Winkelkonsolen schnappen in die seitlichen Abstützaussparungen ein. Nach diesem Schreitvorgang erfolgt nun eine Lastumlagerung von den Hydraulikzylindern und den unteren Abstützrahmen auf die oberen Abstützrahmen und die Vertikalstützen in den Schächten. Nach dieser Lastumlagerung können die unteren Abstützrahmen in den jeweiligen Schächten mittels Hydraulikzylindern hochgezogen und für den nächsten Schreitvorgang mittels Winkelkonsolen in den dafür vorgesehenen Abstützaussparungen befestigt werden (Bild 10-86).



Bild 10-87: Abhängung der Wandschalungen



Bild 10-88: Einbauteil für Abstützaussparung



Bild 10-89: Obere Arbeitsplattform mit Materiallager



Bild 10-90: Betonverteilmast

Die Montage der Nachläuferbühnen erfolgt vollständig nach Herstellung des ersten Kletterabschnitts (Bild 10-84). Die weiteren Arbeitsabläufe sind wie folgt:

- Während der Herstellung der zweiten Etappe mit Bewehren, Einschalen und Ausrichten der Schalung, Betonieren und Erhärten werden in den jeweiligen Schächten untere Bühnen an die oberen Abstützrahmen montiert (Bild 10-84). Diese Nachlaufbühnen dienen zum Nachbehandeln des jeweils vorherigen Betonabschnitts sowie zur Kontrolle während der jeweiligen Schreitvorgänge. Die ersten drei bis vier Etappen werden mittels Krankübel betoniert. Erst ab dieser Phase kann ein selbstkletternder bzw. mitkletternder Betoniermast (Bild 10-90) mit Ausleger installiert werden, der auf der Plattform aufsitzt und im Schacht zur Abgabe der Horizontalkräfte über zwei bis drei Etappen geführt wird. Der Betoniermast erlaubt somit kranunabhängig ein effizientes Betonieren der jeweiligen Wandabschnitte. Die Folgeetappen erfolgen in analogen Schritten (Bild 10-84 und Bild 10-86).

10.6.5 Tunnelschalung

Eine Tunnelschalung ermöglicht das gleichzeitige Betonieren von Wand und Decke. Für einen wirtschaftlichen Einsatz sollen sowohl die Gebäudeabmessungen als auch die Schalung und Rüstung so festgelegt sein, dass ein Umsetzen bzw. Verfahren der Schalung einfach und ohne langwierige Beischalarbeiten vorgenommen werden kann. Die Schalung ist in der Herstellung teuer, sie muss daher ohne Umbauarbeiten häufig eingesetzt werden können. Den hohen Anfangskosten (Fixkosten) für Herstellen und Material stehen geringe Aufwandswerte (Proportionalkosten) für die Umsetzungsvorgänge gegenüber. Die Blocklängen bewegen sich in der Regel zwischen 5.00 und 20.00 m. Um das Absenken und Umsetzen der Raumschalung zu ermöglichen bestehen diese

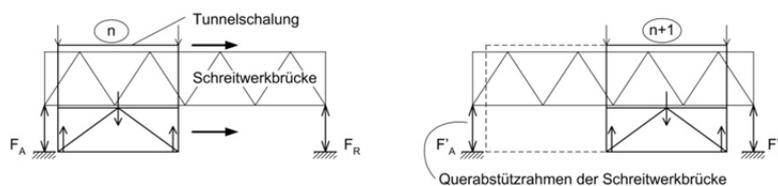
aus mehreren Schalungssegmenten, die in Längsrichtung miteinander gelenkig verbunden sind. Die einzelnen Segmente werden mittels hydraulischer Pressen, Winden oder Spindeln bewegt. Im Betonierzustand sind die Gelenke durch Spindeln biegesteif als Zweipunkte Querschnitt verbunden. Im Absenk- und Umsetzzustand werden die Spindeln weggeklappt und die Elemente mittels Hydraulikzylinder mechanisch eingeklappt.

Bei der Tunnelschalung wird der Schalungsdruck nicht durch Schalungsanker, sondern durch die Rüstung, auf der die Schalung aufliegt oder durch eine selbsttragende Schalungsunterkonstruktion (Schalwagen) aufgenommen.

Tunnelschalungen werden hauptsächlich bei linearen „stranggepressten“ Bauwerken mit konstantem Querschnitt eingesetzt. Weitere Anwendung findet man im Hochbau in der Zellenbauweise. Die Schalung wird oft aus Stahl hergestellt, da sie meist für eine Vielzahl von Einsätzen verwendet wird (Bild 10-92 und Bild 10-93).

Häufig kommen bei Tunnelschalungen, bei denen der Schalwagen nicht auf Schienen läuft, Schreitwerke zur Anwendung (Bild 10-91). Dabei bewegen sich alternierend einmal die Tunnelschalung und die Schreitwerkbrücke vorwärts. Nach dem Vorfahren der selbsttragenden Tunnelschalung wird diese abgesetzt. Die Abstützungen der Schreitwerkbrücke werden eingefahren und die gesamte Schreitwerkbrücke, welche nun von der Tunnelschalung getragen wird, vorgefahren. Hat die Schreitwerkbrücke ihre neue Position erreicht, werden die Abstützungen wieder ausgefahren, womit wieder die Möglichkeit besteht, die Tunnelschalung über den Verschiebeweg auf der Schreitwerkbrücke umzusetzen.

1. Phase: Vorfahren der Tunnelschalung in nächsten Betonierabschnitt



2. Phase: Umsetzen der Schreitwerkbrücke

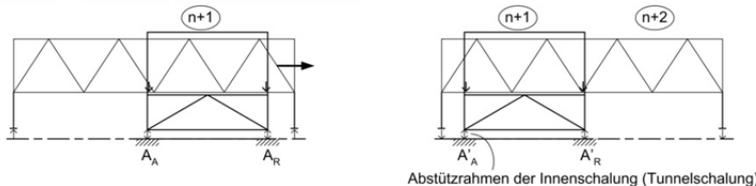


Bild 10-91: Umsetzen einer Tunnelschalung

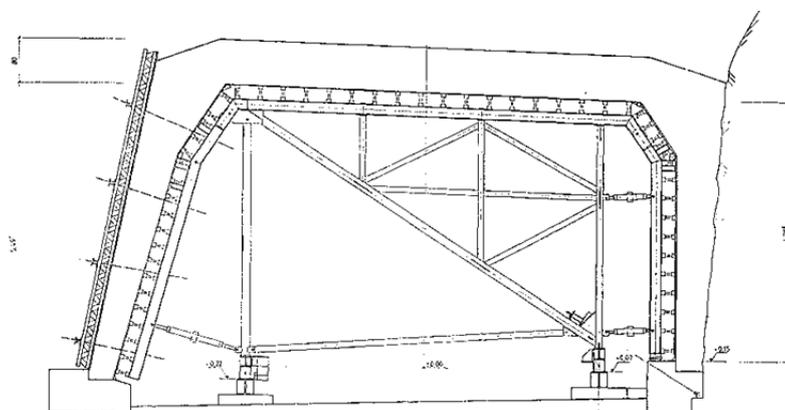


Bild 10-92: Tunnelschalung – Schalwagen mit asymmetrischer Geometrie [5]

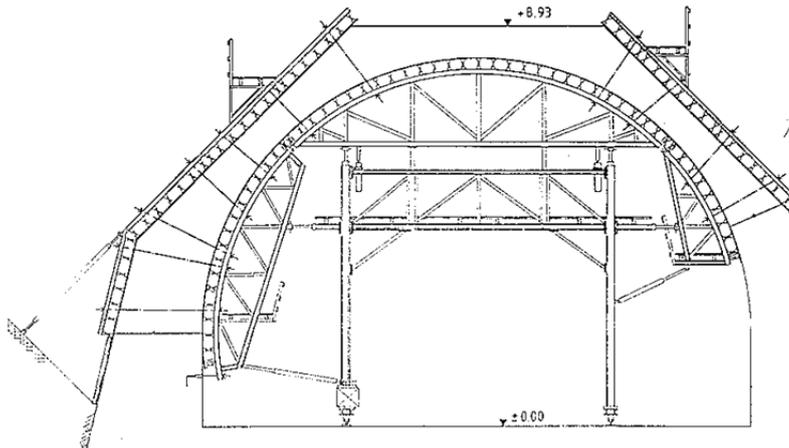


Bild 10-93: Tunnelschalung [5]

10.6.6 Brückenschalungen

Die Schalungen und Rüstungen für Brücken werden in [13] behandelt. In Bild 10-94 und Bild 10-95 ist exemplarisch der Schalungsaufbau verschiedener Brückenüberbauten dargestellt. Dieser Schalungsaufbau ist meist auf einer Rüstträgerkonstruktion aus Fachwerkträgern und Rüststützen und Rüstpfeilern aufgelagert.

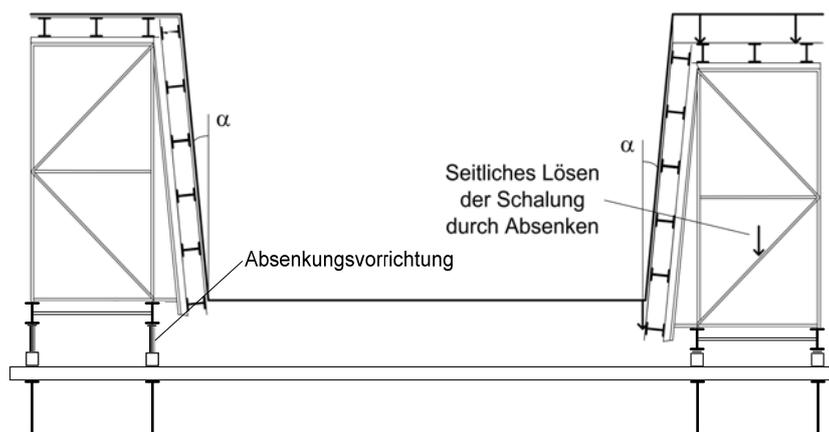


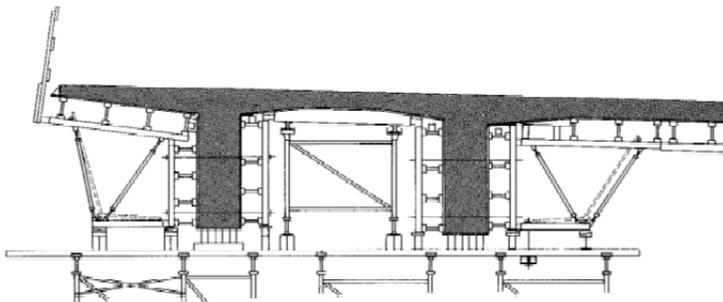
Bild 10-94: Schalung eines Brückenstege – Neigung grosser Stege zur Vereinfachung des Ausschalens

1 Doka-Großflächenschalung

Large Area Formwork
Banches de grande surface

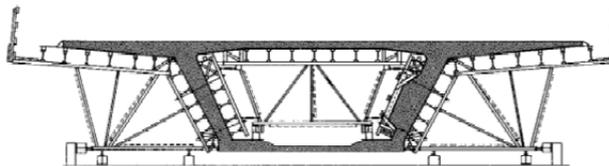
Tragwerksschalung

Die Anpassungsfähigkeit der Doka-Großflächenschalung ermöglicht es, mit einem hohen Anteil von Normteilen optimale Sonderschalungen für Brückentragwerke auszubilden. Die Doka-Vollwandträger mit freier Wahl der Unterstützungspunkte sind dabei besonders vorteilhaft. Die statisch einwandfrei nachweisbare Bolzenverbindung erlaubt es, aus Normwandriegeln und Ergänzungsteilen großflächige fahr- und umsetzbare Schaleinheiten für die verschiedenen Querschnitte auszubilden.



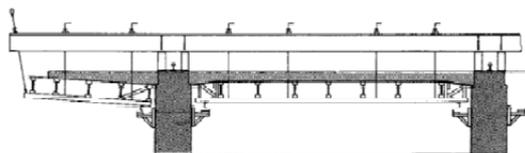
Beispiel: Plattenbalken-Tragwerk

Bei Plattenbalkenbrücken werden für die Innen- und Außenwände des Tragwerkes sowie für die Fahrbahnplatten genormte Großflächenelemente eingesetzt. Im Bereich der Balkenaußenschalung werden sie durch T5- oder T8-Streben so abgestützt, daß alle auftretenden Horizontal-lasten das Lehrgerüst aufnimmt. Für die Unterstellung der Fahrbahnplatten sind Doka Lasttürme d2 im Einsatz, die sich in Form und Höhe dem Bauwerk anpassen.



Beispiel: Hohlkasten-Tragwerk

Für Taktchiebebauweise werden die Doka-Tragwerksschalungen besonders robust und funktions-sicher dimensioniert, um trotz der hohen Einsatzzahlen die geforderte Genauigkeit zu gewährleisten.



Beispiel: Verbund-Tragwerk

Bei Verbundbrücken oder aufgelösten Betonüberbauten wird häufig eine Hängeschalung mit oben liegendem Traggerüst auch fahrbar ausgerüstet, wobei die seitlich abgeklappten Schalelemente gleichzeitig mit dem Gerüst verfahren werden.

Bild 10-95: Innenschalung Brückenbau [4]

10.7 Der Schalungsdruck

10.7.1 Schalungsdruck nach SBA Baupraxis und Erfahrungswerten

Der Schalungsdruck q bzw. der Beton- oder Betonierdruck wird von dem frischen Beton auf die Schalung ausgeübt. Die daraus entstehenden Kräfte sind durch die Schalung und das Gerüst aufzunehmen. Die Bemessung erfolgt im Allgemeinen für den maximal auftretenden Wert q_{\max} .

Der Betonierdruck einer horizontalen Schalung (Deckenschalung) setzt sich zusammen aus:

- $q_{EB} = \gamma_B \cdot d$ - Wichte des Betons γ_B multipliziert mit der Deckenstärke d
- Verkehrslast $q_{verk} = 1.5 \text{ kN/m}^2$ aus Werkzeugen, Mannschaft und lokaler Häufung von Beton beim Einbringen
- Vibrationsfaktor $\varphi = 1.7-2.0$ zur Abdeckung der Massenschwingung, hervorgerufen durch die Rüttler

Belastungsansatz für Deckenschalungen:

$$q = (q_{EB} + q_{verk}) \cdot \varphi$$

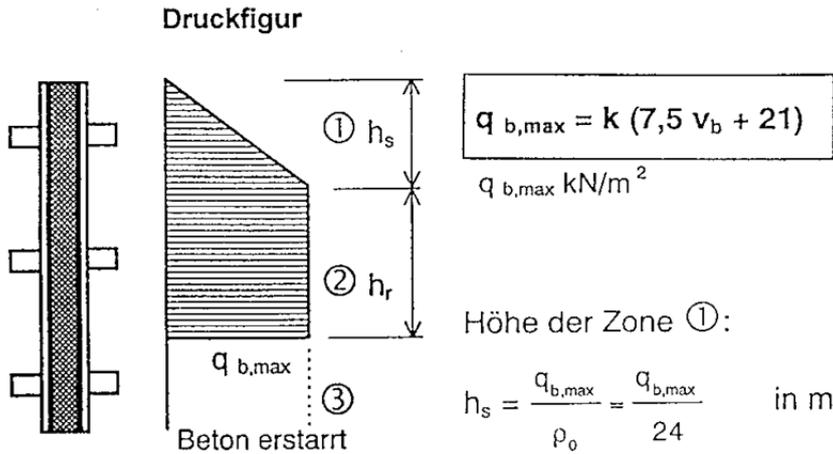
Der Betonierdruck einer senkrechten Schalung (Wandschalung) hängt ab von:

- der Konsistenz des Betons
- der Betoniergeschwindigkeit v
- der Temperatur
- dem Abbindebeginn und der Abbindegeschwindigkeit des Betons
- der Betonierhöhe H
- dem Raumgewicht des Betons γ_B
- der Reibung
- der Dicke der zu betonierenden Wand oder Säule
- dem Verdichtungsgerät und Verdichtungsgrad des Betons
- der Steifigkeit der Schalung
- der Neigung der Schalung

Für eine Überschlagsberechnung des Schalungsdruckes wird die folgende Näherungsformel vorgeschlagen, wobei von einer Wirkungstiefe des Innenrüttlers $h = 1 \text{ m}$, einem Raumgewicht des Betons $\gamma_B = 25 \text{ kN/m}^3$ ausgegangen wird und insbesondere der Einfluss der Betoniergeschwindigkeit v beachtet wird.

Da nur der oberste Bereich des Betons vibriert wird und der Beton nach einer gewissen Zeit erstarrt, ergibt sich in der Praxis folgende Verteilung des Wandschalungsdrucks nach SBA Baupraxis (Bild 10-96):

Schalungsdruck von Frischbeton



- $\rho_0 = 24 \text{ kN/m}^3$ Rohdichte des Frischbetons
- k : Korrekturfaktor für Frischbetontemperatur und Betonkonsistenz (siehe Tabelle)
- v_b : Betoniergeschwindigkeit = $\frac{\text{Wandhöhe m}}{\text{Betonierzeit in h}}$

Korrekturfaktor k :

Betonkonsistenz Verdichtungsmass (VM)	Betontemperatur beim Einbringen					
	5°	10°	15°	20°	25°	30°
flüssig VM = 1,04	2,75	2,10	1,60	1,15	0,90	0,65
weichplastisch VM = 1,12	2,35	1,80	1,35	1,00	0,75	0,55
plastisch VM = 1,20	1,90	1,45	1,10	0,80	0,60	0,45
steifplastisch VM = 1,28	1,70	1,30	1,00	0,70	0,55	0,40
steif VM = 1,40	1,45	1,10	0,80	0,60	0,45	0,35

Bild 10-96: Schalungsdruck [10]

- Zone 1: Vibrieren hydrostatischer Druck
- Zone 2: Ruhe konstanter Druck
- Zone 3: Erstarren kein Druck

Der maximale Druck wurde empirisch ermittelt. Der grösstmögliche Druck ist der hydrostatische Druck auf die ganze Wandhöhe.

Auf eine 3.00 m hohe Wandschalung, die im Laufe einer Stunde betoniert wird, ergibt sich damit ein maximaler Schalungsdruck $q_{max} = 46 \text{ kN/m}^2$. Gegenwärtig wird in der Praxis mit folgenden Grenzwerten gerechnet:

- für Wände $q_{max} = 60 \text{ kN/m}^2$
- für Säulen $q_{max} = 80 \text{ kN/m}^2$

10.7.2 Ermittlung des Schalungsdrucks nach DIN 18218 und CIRIA-Report 108

In Grossbritannien hat die CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) eine neue Bemessungsmethode entwickelt, die auf 350 Baustellenversuchen aufbaut. Die Ergebnisse der Untersuchung sowie die Bemessungsformeln sind im CIRIA-Report 108 enthalten. Diese neue Methode ermöglicht eine relativ realistische Beurteilung des Betondrucks. Für Betonierhöhen über 3m sind die Ergebnisse realistischer als die nach SBA-Praxis und nach DIN 18218.

Der Betondruck wird von vielen Faktoren beeinflusst, die während der Bemessungsphase unbekannt sind. Es treten auch Randeffekte auf der Baustelle auf (Beispiel: Zusatzbelastungen an der Schüttstelle). Die CIRIA-Methode gründet sich auf bekannte und zum Zeitpunkt der Bemessung sinnvoll abzuschätzende Werte. Frischbeton ist ein inhomogener Werkstoff. Die folgenden Hauptfaktoren beeinflussen den auf die Schalung ausgeübten Betondruck:

- Beton:
 - Beton-Zusatzmittel
 - Kornform- und Korngrösse
 - Zementart
 - Mischrezept
 - Frischbeton-Temperatur
 - Rohgewichte (Leicht-, Normal- oder Schwerbeton)
 - Konsistenz
- Schalung:
 - Durchlässigkeit des Schalbelags (Poren-Wasserdruck)
 - Grundfläche des Schüttquerschnitts (Wand/Stütze)
 - Rauigkeit des Schalbelags
 - Neigung der Schalung
 - Steifigkeit der Schalkonstruktion
 - Vertikale Betonierhöhe
- Schüttung:
 - Lastzuwachs im Schüttbereich
 - Luft- oder Unterwasserbedingungen
 - Lagenweiser oder kontinuierlicher Einbau
 - Rütteltiefe
 - Rüttelart (Innen- oder Aussenrüttler)
 - Steiggeschwindigkeit

Rütteltiefe und Betondruck

Siehe Bild 10-97.

Bis zur Rütteltiefe $H_R + 0,2$ m Wirkungsbereich des Rüttlers herrscht hydrostatischer Druck. Die Drucklinie des ruhenden Betons wird durch das Eintauchen des Rüttlers um den „Rüttleinfluss“ parallel verschoben und erreicht am Boden den max. Betondruck p_{max} . Die DIN 18218 nähert sich dieser tatsächlichen Betondruck-Kurve durch einen geraden Verlauf an. Deshalb könnte der Rüttler noch um das Mass ΔH_R tiefer eingetaucht werden, ohne den angesetzten Betondruck p_{max} zu überschreiten. Diese Angaben sind sinnvoll, da mit steigender Füllgeschwindigkeit auch die zu erwartenden Verdichtungslagen in ihrer Stärke zunehmen.

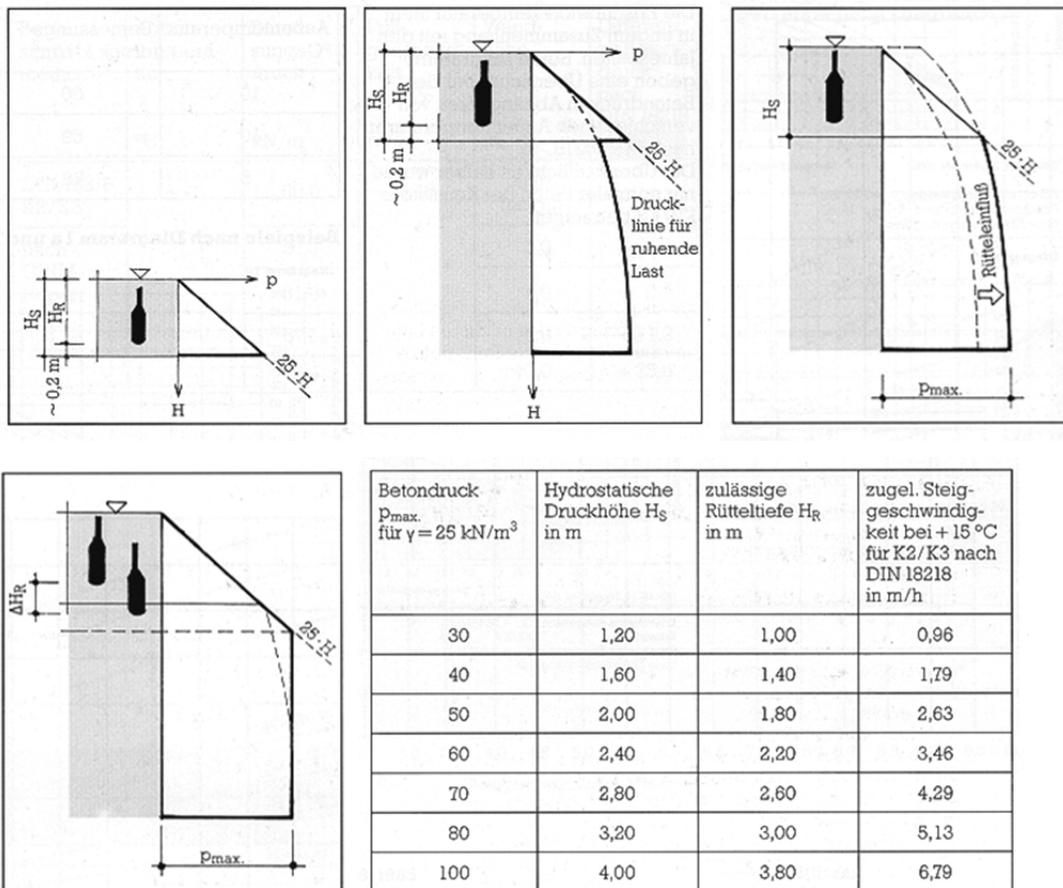


Bild 10-97: Rütteltiefe und Betondruck [6]

Frischbeton-Temperatur und Betondruck

Siehe Bild 10-98.

Die Frischbeton-Temperatur steht in engem Zusammenhang mit den Jahreszeiten. Beide Diagramme geben eine Übersicht über den Betondruck in Anhängigkeit von verschiedenen Aussentemperaturen nach DIN 18218.

Außentemperatur °C	Bemessungsdruck kN/m ²	Füllgeschwindigkeit m/h	Druckanstieg %
15	60	3,46	-
10	69		+ 15
5	78		+ 30

Beispiele nach Diagramm 1a und 1b

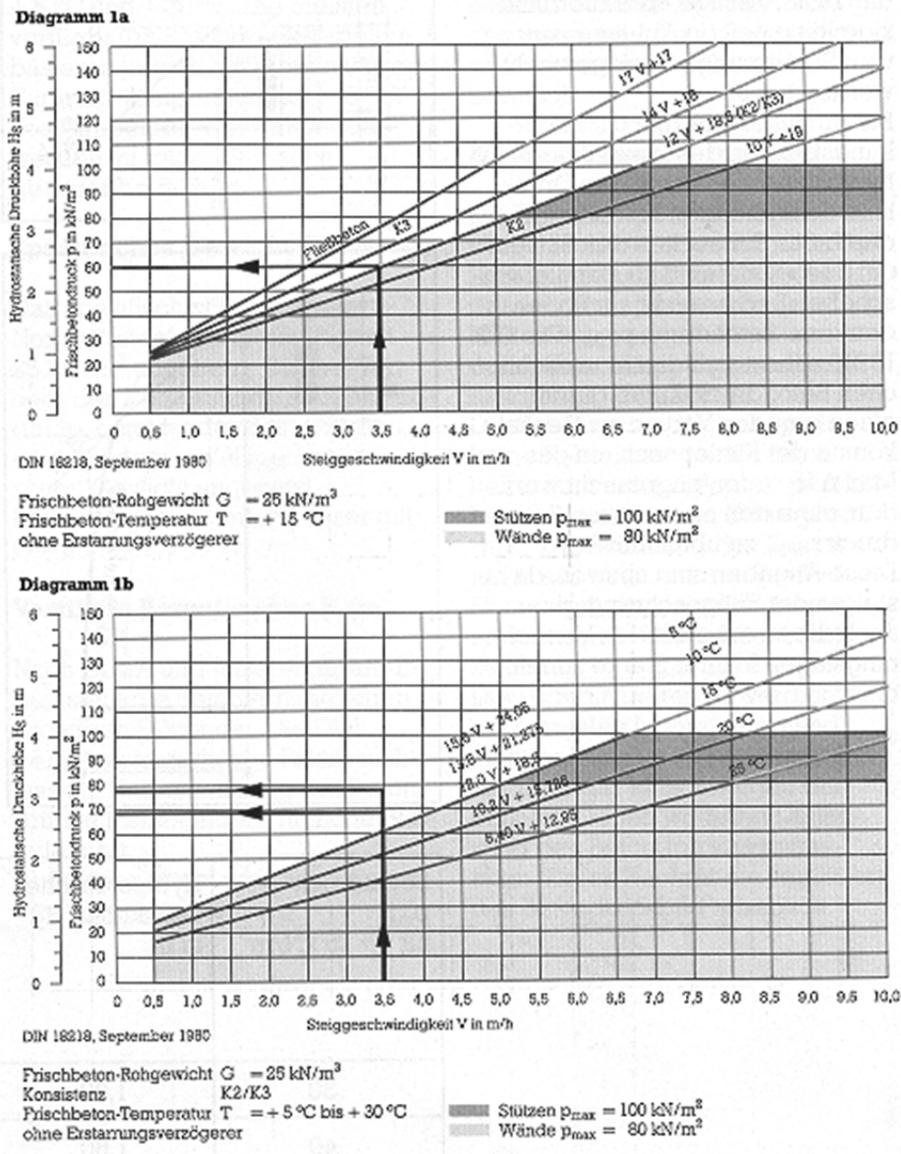


Bild 10-98: Frischbeton-Temperatur und Betondruck [6]

Betonierhöhe und Betondruck

Siehe Bild 10-99.

Hier liefert der CIRIA-Report 108 ein brauchbares Verfahren zur Abschätzung des Einflusses der Betonierhöhe auf den Betondruck. Bei niedrigen Betonierhöhen für Wände und Stützen bis 3,0 m Höhe liefert diese Methode nur unwesentliche Abweichungen von der DIN 18218. Es empfiehlt sich deshalb, mit der CIRIA-Bemessungsmethode nur Schalungen für Bauteile über 3,0 m Betonierhöhe zu bemessen.

Bemes- sungs- methode	Außen- tempera- tur °C	Bemes- sungs- druck kN/m ²	Füll- geschwin- keit m/h	Wand- höhe m	Differenz zu Beton- druck nach DIN 18218 %
DIN 18218 K2/K3	+ 15	60,0	3,46	unab- hängig	-
nach CIRIA- Report		57,3		3,0	- 4,5
		61,3		4,0	+ 2,2
		67,1		6,0	+ 11,2
		75,4		10,0	+ 25,6

Beispiele nach Diagramm 2

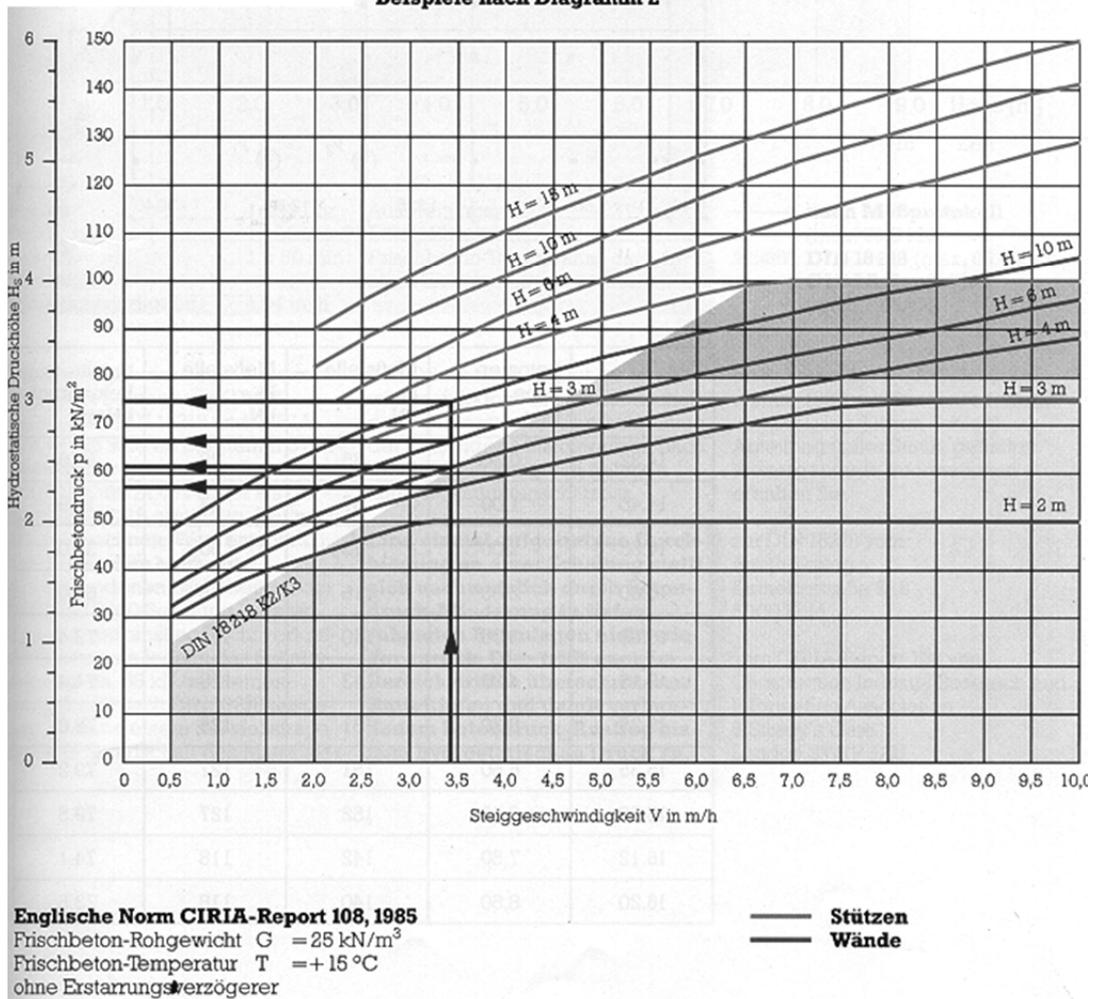


Bild 10-99: Betonierhöhe und Betondruck [6]

10.8 Schalungsgenauigkeiten

Für Holzschalungen kann mit einer Genauigkeit von ± 1 cm gerechnet werden, sofern die einzelnen Schalflächen einwandfrei fixiert und gebunden werden.

Stahlschalungen lassen eine höhere Genauigkeit, d. h. $\pm 3-6$ mm für das zu fertigende Produkt zu. Massgebend ist die Fixation der einzelnen Stahlschalungsteile.

10.9 Schalungsfehler

Eine Reihe grundsätzlicher Fehler, die öfter vorkommen soll hier kurz dargestellt werden.

Schalhaut

Die Einsatzhäufigkeit der Schalhaut sollte begrenzt werden, obwohl durch die Zahl der Einsätze der Abschreibungsbetrag kleiner wird. Es wird oft nicht bedacht, dass durch schadhafte Schalung (z.B. aufgesplitterte Ecken) erhebliche Betonarbeiten (Betonkosmetik) durchgeführt werden müssen, die hohe Kosten verursachen (Bild 10-100).

Grossflächenschalung

Hier wird oftmals mit normalen Brettern beigeschalt. Durch ungleiches Quellen verschiedenartiger Materialstrukturen entstehen Lücken und Absätze im Beton, die ebenfalls durch Nacharbeiten behoben werden müssen.

Fusspunktunterstützungen

Als Höhenregulierung sollten maximal 3 Keile und 1 Bohle verwendet werden, sofern es sich nicht um Stahlstützen mit Gelenkjustierung handelt. Ebenso falsch ist es, wenn nur ein Keil verwendet wird, da dadurch die Fussfläche der Stütze nicht voll aufsteht.

Aussteifung

Der gefährlichste Fehler entsteht bei Rohrgerüstkonstruktionen, wenn die senkrechten und waagrechten Rohre unzureichend oder falsch durch Diagonalen ausgesteift werden und durch mangelnde Stabilität das Gerüst zusammenbricht.

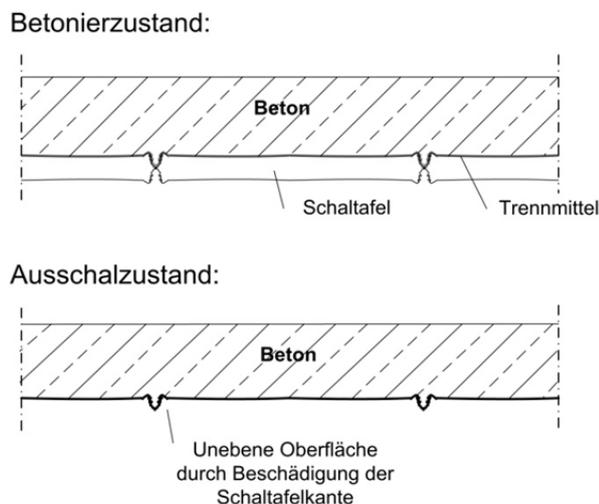


Bild 10-100: Probleme bei Verwendung von Holzschalungen

10.10 Kriterien zur Selektion des projektspezifischen Schalungssystems

Die Kostenstruktur eines Stahlbetonrohbaus zeigt auf, dass die Schalungskosten - bestehend aus den Kostenarten Lohn und Inventarmiete - den grössten Kostenanteil ergeben (Bild 10-101).

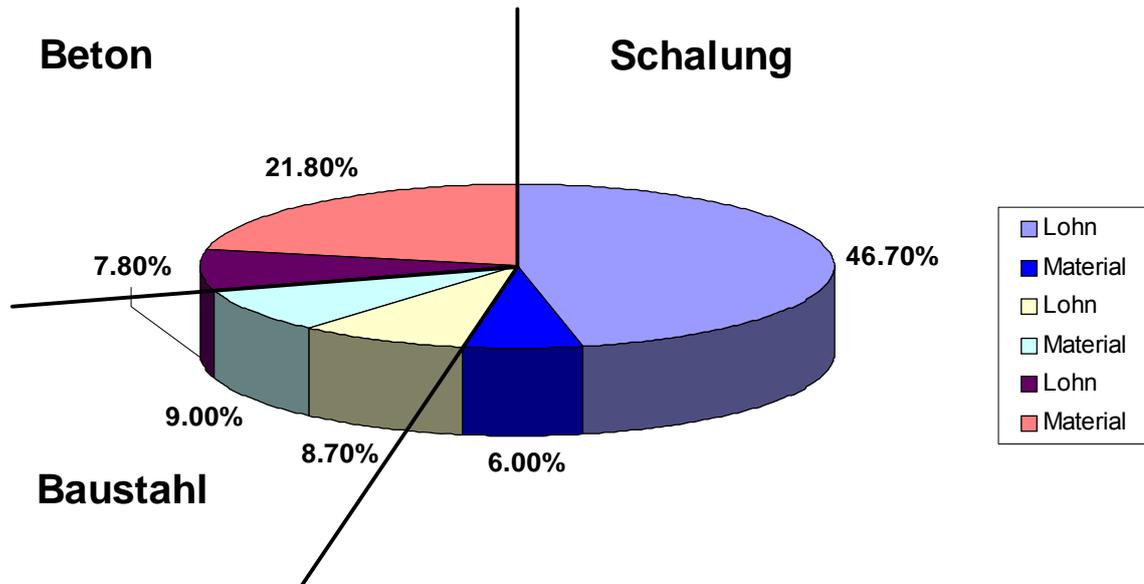


Bild 10-101: Zusammenstellung der Gesamtkosten für eine Stahlbetonwand [11]

Um die Kostenführerschaft im Markt sicherzustellen, muss der Unternehmer der projektspezifischen Auswahl des Schalungssystems besondere Beachtung schenken. Aus Bild 10-101 geht hervor, dass der Lohnanteil im Regelfall die entscheidende Kostenart ist.

Im Vordergrund sollte bei jedem Projekt die projekt- und bauteilspezifische Schalungswahl stehen, die die geringsten Lohnkosten, d.h. die geringsten Aufwandswerte, für das Vorbereiten, Ein- und Ausschalen ergibt. Die Entscheidungskriterien für diese Aufwandswertbetrachtung ergeben sich aus Raumgrösse, Geometrie des Gebäudes, Schalfläche, Wiederholung, Oberflächenqualität, Bauteilort und Bauablauf (z.B. Kern-Decke stockwerkweise oder Kern vorauseilend). Zudem muss dabei die Baustelleneinrichtung in Bezug auf Hebe- und Transportkapazität und Lagerflächen berücksichtigt werden, da z.B. ein zusätzlicher Kran zum Umsetzen der Schalung oder Miete und Herrichtung von Lagerflächen Kosten verursachen. Die technisch und wirtschaftlich optimale Abwicklung zur Einhaltung bzw. Unterschreitung der kalkulatorischen Aufwandswerte erfordert eine qualifizierte Arbeitsvorbereitung und gewerbliches Personal. Die AVOR muss den Schalungstakt vorplanen und die Arbeitsabschnitte festlegen. Dadurch wird erreicht, dass die Arbeiten auf der Baustelle repetitiv und systematisch ablaufen, um die Lohnkosten zu reduzieren.

Schalungssysteme sind heute weitgehend so genannte "Allroundsysteme", ihr optimaler Einsatz ist jedoch meist begrenzt. "Allroundsysteme" wie die Systemschalungsträger als Grundelement lassen sich zu Spezialschalungen mit höchster Effizienz, aber begrenztem Einsatzspektrum zusammensetzen, z.B. zu Deckentischen, Kletterschalung oder selbstkletternen Kernschalungen/Kletterschalungen etc. Das Gleiche gilt für die Systemelementschalungen wie z.B. Rahmenschalungen für Wände oder Fallkopfkassettschalungen für Decken. Folgende Beispiele sollen dies verdeutlichen:

1. Deckenschalungen für ein mehrgeschossiges Gebäude mit kleinen Räumen und massiven Aussenwänden:

Deckentische sind hier nicht einsetzbar, da sie beim Umsetzen nicht ausgefahren werden können.

Fallkopfkassettschalungen und Elementsystemträgerschalungen mit Systemträgern und Schalplatten lassen sich wegen des einfachen Ein- und Ausschalens technisch optimal einsetzen.

2. Deckenschalung für ein mehrgeschossiges Gebäude mit Grossräumen und Glasfassade:

Deckentische sind die rationellste Lösung, sie ermöglichen schnelles Ein- und Ausschalen und Grosselemente können rationell umgesetzt werden.

Kleinschalungen wie Fallkopfkassetten- und Elementsystemschalungen sind wegen ihrer arbeitsintensiven Zerlegung zum Ein- und Ausschalen kostengünstig unterlegen.

Zur technisch angepassten und wirtschaftlich optimalen Auswahl der Schalungssysteme müssen daher einerseits die objekt-/projektspezifischen Randbedingungen, die die Herstellung - und hier besonders die Wahl der Produktionsmittel / Schalungssysteme - beeinflussen, betrachtet werden; andererseits müssen die Produktionsmittel / Schalungssysteme auf ihre technische Adaptionfähigkeit an die projektspezifischen Anforderungen und Bauabläufe untersucht werden

Die projektspezifischen Systemmerkmale ergeben sich aus:

- Tragwerksart,
- Tragwerksgeometrie
- und aus den baubetrieblichen Arbeitsabschnitten. Dabei sind u.a. folgende bauwerksspezifischen Merkmale zu beachten:
- Wände / Schachte / Kerne:
 - Geometrie
 - Grösse durchgehender Flächen
 - Ecken (wie viele?)
 - T-Wandanschlüsse (wie viele?)
 - Aussparungen für Fenster, Türen etc. (wie viele?)
 - Höhenversatz von Wandfuss oder Deckenanschluss
 - horizontaler Wandversatz
 - geneigte Wandflächen

- Decken:
 - Geometrie
 - Grösse durchgehender Flächen
 - "geschlossene"¹ Räume oder zumindest einseitig offene Räume
 - Takt Wand-Decke
 - Höhenversatz in Decken
 - wie viele Stockwerke?

Die Schalungssysteme sind bezüglich der bauspezifischen Eignung zu prüfen, und zwar nicht nur auf ihre grossflächige Eignung, sondern besonders auch auf die arbeitsintensiven Anschlussarbeiten für z.B. T-Anschlüsse bei Wänden. Dabei müssen die spezifischen Systemmerkmale der Schalung auf ihre bauwerksspezifische Adaptionfähigkeit überprüft werden, um die optimale technische Eignung herauszuarbeiten, die zur wirtschaftlichsten Lösung führt. Die Schalungssystemmerkmale werden charakterisiert durch:

- Zahl der Einzelelemente
- Systemelementabmessungen (Zahl der Einzelelemente)
- Variation der Systemabmessungen (Modularcharakter)
- Elementverbindung
- Elementgewicht (per Hand oder Kran)
- Abschaltungsaufwand für Arbeitsfugen
- Gestaltung von Ecken- und T-Anschlüssen
- Anschlüsse und Zubehör
- "Ausschalmechanik"

Diese Merkmale beeinflussen die durchschnittlichen Aufwandswerte und müssen daher bei der Auswahl des bauprojektspezifischen Schalungssystems unbedingt herangezogen werden.

Zusammengefasst werden die Aufwandswerte in Tabelle 10-1 durch projektbezogene und bauablaufbedingte Faktoren beeinflusst.

¹ "geschlossen" heisst hier Wände bzw. Räume mit Tür- und/oder Fensteröffnungen

Tabelle 10-1: Schalungsarbeiten – Leistungsbeeinflussende Faktoren [11]

Leistungsbeeinflussende Faktoren		Gewichtung Hauptfaktoren
• Bauwerk		15 %
- Raumgrösse	20 %	
- Geometrie	20 %	
- zu schalende Flächen / Mengen	20 %	
- Takte / Wiederholungen	30 %	
- Betonoberfläche	10 %	
Zwischentotal	100 %	
• Baustellenausstattung		20 %
- Krankkapazität	60 %	
- Lagerflächen	40 %	
Zwischentotal	100 %	
• Schalungssystem		40 %
- Adaptionfähigkeit auf Ecken / Geometrie / Bauablauf	20 %	
- Aufwandswert zum Vorbereiten / Zusammenbau	30 %	
- Aufwandswerte zum Ein-/Ausschalen	30 %	
- Grösse/Gewicht zum Umsetzen (Hand / Kran / selbstklettern)	20 %	
Zwischentotal	100 %	
• Organisation		15 %
- qualifizierte AVOR	30 %	
- qualifizierte Führung	20 %	
- qualifiziertes gewerbliches Personal	40 %	
Zwischentotal	100 %	
• Rahmenbedingungen		10 %
- Jahreszeit	30 %	
- Witterungseinfluss	40 %	

- Umfeld	30 %	
Zwischentotal	100 %	
Total		100 %

10.11 Schalungskennzahlen

Je nach Art der Schalung und Einsatzart muss mit unterschiedlichem Arbeitsaufwand gerechnet werden. Dabei kann die Schalungsarbeit wie folgt unterteilt werden:

- Herstellen und Vorbereiten der Schalung, sowie Reparatur-Anteil (Fixkosten)
- Schalen am Objekt, Ausschalen, Umstellen (Proportionalkosten)

Weitere detaillierte Angaben über Schalungskennwerte (Arbeits-Std./m²) sind aus den entsprechenden Dokumenten des SBV ersichtlich. Ferner können die Aufwandswerte hierzu aus Kapitel 12 entnommen werden.

10.12 Schalungskosten

Holzschalungen

Rechnet man bei grösseren Schalungen (DOKA / STEIDLE- / PERI-Träger + Stahlbau) mit den Fixkosten der Vorbereitung von ca. Fr. 150.--/m², so ergeben sich bei mehrfachen Einsätzen folgende Anteile:

bei 15 Einsätzen	Fr.	10.00	/m ²
bei 20 Einsätzen	Fr.	7.50	/m ²
bei 50 Einsätzen	Fr.	3.00	/m ²

Was bei 0,8 - 1,2 Std./m² Arbeit und einem Kalkulationslohn von Fr. 40.- sowie Diversen und 25 % EZ (Endzuschlag) Fr. 46.--bis Fr. 75.--/ m² Schalung ergibt.

Stahlschalungen

Der Anschaffungspreis einer solchen Schalung beträgt je nach Kompliziertheit Fr. 1000.--/m² bis Fr. 1200.--/m² (inkl. Transportwagen).

Je nach Stückzahl, die zu fertigen ist, ergeben sich folgende Fixkostenanteile:

bei 100 Stück	Fr.	10.--	bis	Fr.	12.--/m ²
bei 300 Stück	Fr.	3.30	bis	Fr.	4.--/m ²
bei 500 Stück	Fr.	2.--	bis	Fr.	2.40 /m ²

Diese kurzen Kostenhinweise sollen Grössenordnungen angeben.

10.13 Systembetrachtung der Stahlbetonkonstruktionen im Hochbau

In systemischer Hinsicht kann man die baubetrieblichen Aufgabenstellungen des Stahlbetonbaus in Konstruktionsarten wie

- Scheibenbauwerke/Zellenbauwerke
- Skelettbauwerke

unterteilen, sowie hinsichtlich der prozessorientierten Abläufe bzw. Zyklen.

Scheibenbauwerke/Zellenbauwerke bestehen aus raumabschliessenden, tragenden Wänden und Deckenscheiben; ein Kern ist allgemein statisch nicht erforderlich. Dieser Bauwerkstyp wird am häufigsten im Wohnungsbau verwendet. Die Aussenwände werden in der Regel als Mauerwerks- oder Stahlbetonscheibe hergestellt und die Decken in Ortbeton.

Ein **Stahlbetonskelettbauwerk** besteht aus Stützen und Decken sowie aussteifenden Elementen (Treppenhauskernen, Wandscheiben). Es sind in einem Geschoss zunächst aussteifende Elemente herzustellen, an die das Skelett aus Stützen und Decken angeschlossen wird.

Mit den behandelten Schalungs- und Rüstungsverfahren können Hochbauten verschiedenster Abmessungen und Konstruktionen hergestellt werden. Dies kann geschossweise geschehen, indem zunächst Stützen und Wände und anschliessend Decken und Unterzüge eines kompletten Geschosses hergestellt werden und anschliessend die Schalungen bzw. Rüstungen in das nächst höhere Geschoss umgesetzt werden.

Bei vorauslaufend hergestelltem Kern wird die Verbindung des aussteifenden Kernes mit den anschliessenden Unterzügen bzw. Decken durch Bewehrungseisen, entweder mit:

- Gewindemuffen mit eingeschraubten Gewindeeisen, die im Kern verankert sind, hergestellt (Bild 10-11 bis 10-15) oder mit
- Anschlusseisen, die innerhalb der Schalung vorher abgebogen werden (Bild 10-102) und nach dem Abhärten und Ausschalen aus der styroporgefüllten Aussparung zurück gebogen werden.

Aus der Schalung herausstehende Eisen haben den Nachteil, dass die Schalung unterbrochen sein muss und die Wand im Bereich des Deckenanschlusses durch Streckmetall abgeschalt werden muss. Dies ist sehr lohnintensiv. Die Methode ist bei Gleitschalung nicht möglich. Einen Rationalisierungseffekt bietet der Einsatz von serienmässig vorgefertigten Rückbiegeanschlüssen (Bild 10-102 und Bild 10-103).

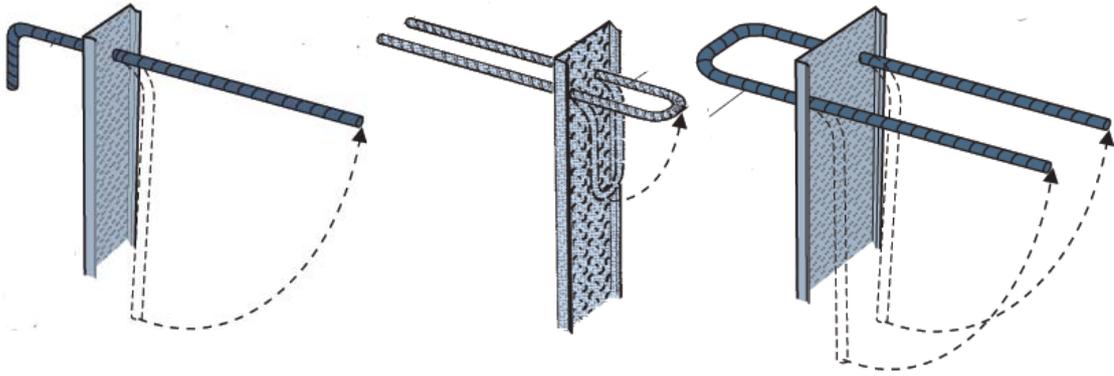


Bild 10-102: Bewehrungsrückbiegeanschlüsse [12]

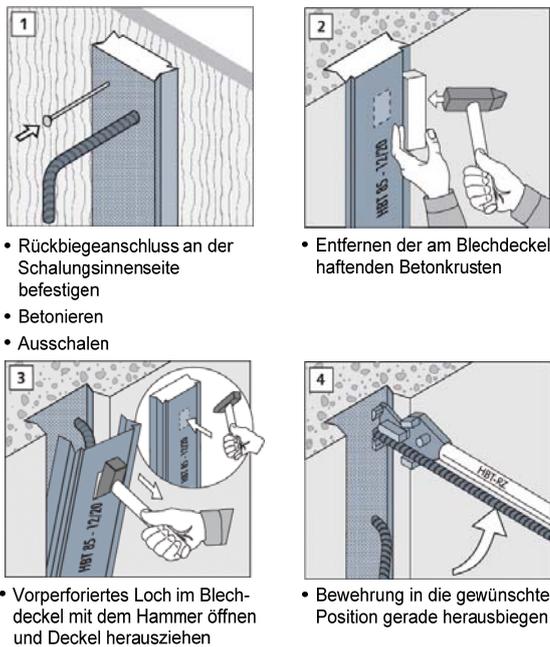


Bild 10-103: Montageanleitung Rückbiegeanschluss [12]

Die Größe der Bauabschnitte bestimmt sich aus der Geometrie des Bauwerkes und dem Bestreben, die Schalungskolonne kontinuierlich von einem Abschnitt zum nächsten wechseln zu lassen.

Der Prozess der Herstellung von Stahlbetonteilen erfolgt sequentiell zyklisch gemäss Bild 10-104.

Arbeitszyklus im Stahlbetonbau

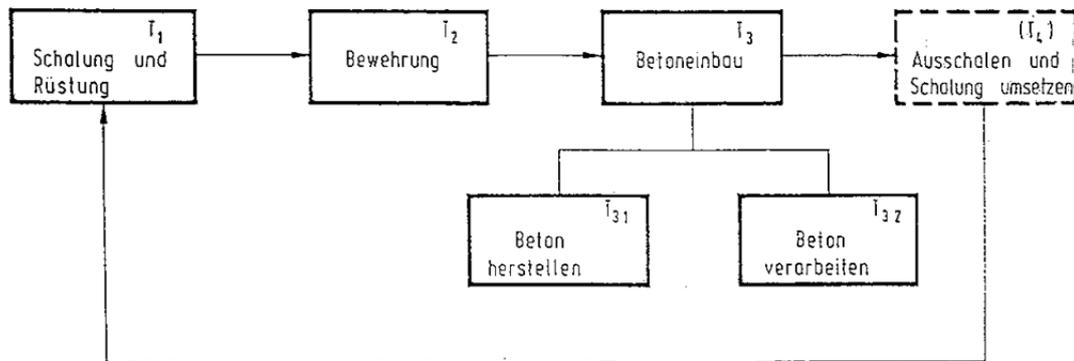


Bild 10-104: Arbeitszyklus bei der Herstellung von Stahlbetonbauteilen [7]

Die interaktiven Abläufe der Akteursgruppen im Prozess der Herstellung von Geschossdecken ist in Bild 10-105 dargestellt.

Beispiel: Herstellung von Geschossdecken

Die Geschossfläche eines Stahlbetonskelettbaues wird in 3 Arbeitsabschnitte unterteilt, in Größen von jeweils ca. 150 qm. Bei einem Stundensatz von 0.8 Stunden für Ausschalen, Umsetzen und Einschalen von 1 qm Deckenfläche einschliesslich der zugehörigen Deckenunterzüge sind 120 Arbeitsstunden erforderlich. Dies entspricht dem Einsatz von 6 Mann bei 10-stündiger Arbeitszeit in 2 Arbeitstagen. Die Schalungskolonne ist also 2 Arbeitstage tätig, um diesen Deckenabschnitt einzuschalen. Rechnet man zusätzlich 2 Arbeitstage für Bewehren und betonieren und 2 Arbeitstage als Abbindezeit, so kann das Ausschalen nach 6 Tagen erfolgen, d.h. die Deckenschalung wird alle 6 Tage umgesetzt bei 2 Tagen Abbindezeit (Bild 10-105).

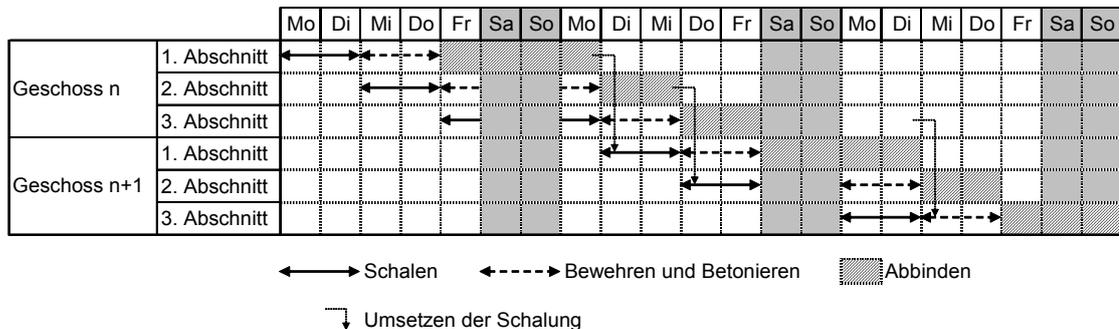


Bild 10-105: Zyklusablauf einer Geschossdecke in 3 Arbeitsabschnitten

Wird die Abbindezeit auf 4 Tage erhöht, müssen 4 Schalungssätze vorgehalten werden. Bei solchen kurzen Ausschalzeiten, die über die Betonfestigkeit gesteuert werden, werden Hilfsstützen für ca. weitere 8 Tage aufgestellt, um die Durchbiegung durch Frühschwinden und Kriechen zu minimieren.

10.14 Herstellungssequenzen für Hochhäuser

Für die Errichtung von Hochhäusern mit Bauwerkskernen bieten sich hinsichtlich der Gestaltung des Bauablaufes grundsätzlich folgende zwei Möglichkeiten an.

- Stockwerkbauweise
- Vorseilende Bauweise

Stockwerkbauweise

Hier erfolgt die Herstellung von Kern und Decke stockwerkweise (Bild 10-106). Der Arbeitsablauf gliedert sich wie folgt:

1. Schalen der Decke
2. Bewehren der Decke
3. Betonieren der Decke
4. Abbinden des Deckenbetons
5. Umsetzen der Deckentische
6. Schachtschalung hochfahren (parallel zu 1.)
7. Bewehren des Kerns (parallel zu 2.)
8. Schliessen der Wandschalung (nach 3. am nächsten Morgen)
9. Betonieren des Kerns
10. Abbinden des Betons (übers Wochenende)
11. Hochfahren der Schachtschalung und Ablegen der Wandschalung

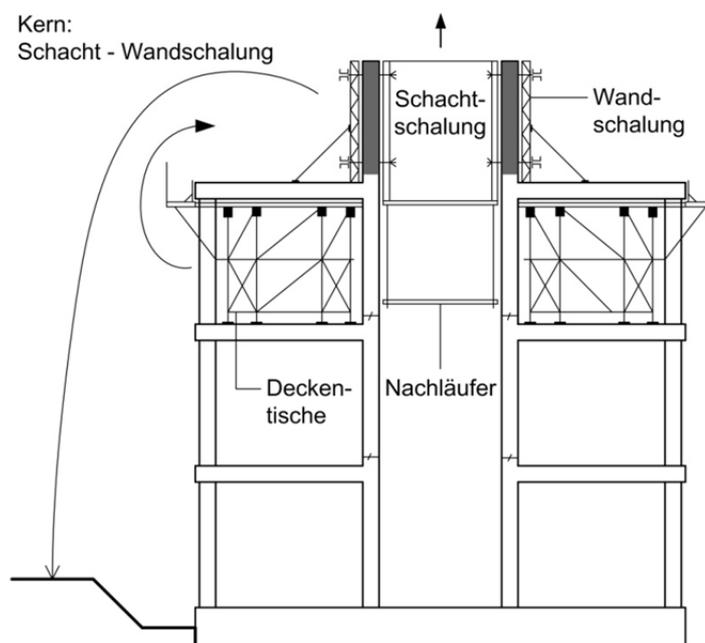


Bild 10-106: Stockwerkbauweise

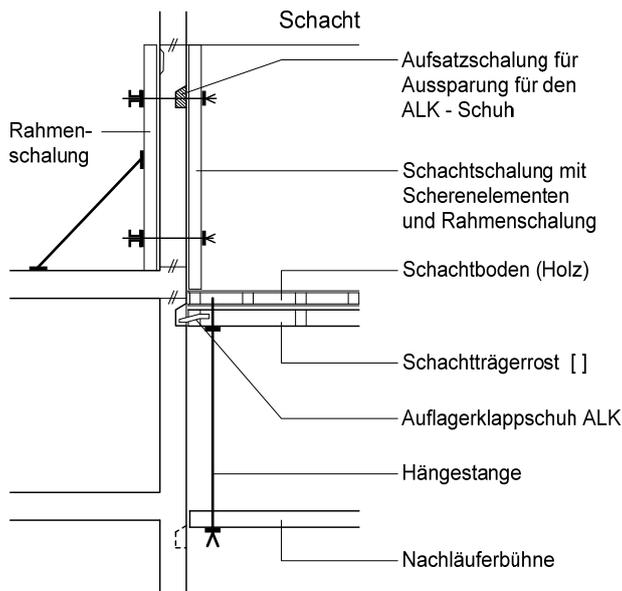


Bild 10-107: Schachtschalung

Schalungssysteme:

- Schachtschalung kombiniert mit Wandschalung, die auf der Geschossdecke abgestellt wird (Bild 10-107).
- Deckenschalung

Vorteile:

- Der Anschluss der Kernwände an die Decken gestaltet sich einfach.
- Einfachere Organisation der Arbeiten (nur eine Equipe).

Nachteile:

- Gekoppelter Bauablauf Kern – Decke, d.h. Störungen wirken sich zwangsläufig auf die Herstellung beider Bauwerksteile aus.
- Aufwendiges Umsetzen der Wandschalungen, da diese meist am Boden abgelegt werden müssen. Nur bei optimalem Wochentakt ergibt sich die Möglichkeit diese auf der Geschossdecke zwischenzulagern.

Vorauselende Bauweise

Die Herstellung des Bauwerkckerns erfolgt hier räumlich und organisatorisch getrennt von der nachlaufenden Herstellung der Geschossdecken (Bild 10-108). Der Vorlauf beträgt mehrere Stockwerke, so dass keine gegenseitige Beeinträchtigung der Arbeiten erfolgt.

Der Arbeitsablauf der Kernherstellung gliedert sich wie folgt:

1. Hochfahren der inneren Schachtschalung
2. Hochfahren der äusseren Kletterschalung
3. Bewehren des Kerns
4. Schliessen der Schalung (Wandschalungselement der Kletterschalung)
5. Betonieren des Kerns
6. Abbinden des Betons und anschliessend Umsetzen der Schalung (Hochfahren)

Der Arbeitsablauf der Herstellung der Geschossdecken gliedert sich wie folgt:

1. Schalen der Decke
2. Freilegen der Anschlussbewehrung Kern – Decke (Bild 10-14 und Bild 10-15)
3. Bewehren der Decke
4. Betonieren der Decke
5. Abbinden des Betons
6. Umsetzen der Schalung ins nächste Geschoss

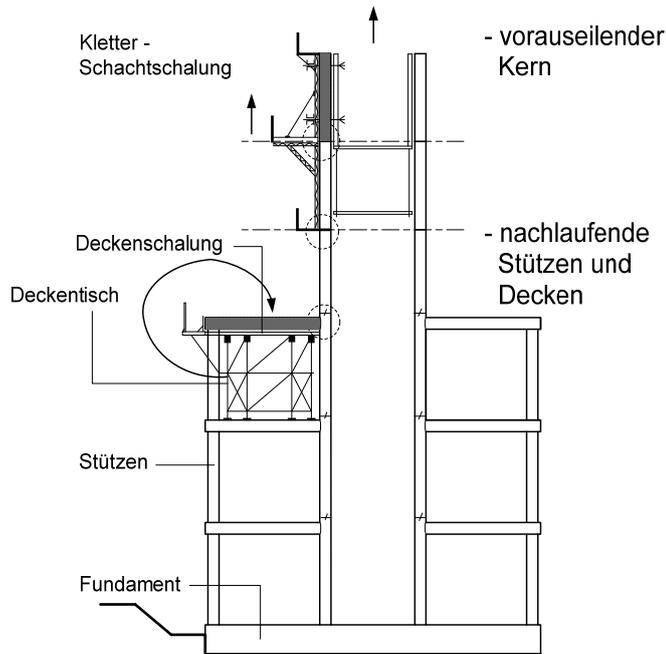


Bild 10-108: Vorauseilende Bauweise

Schalungssysteme:

- Kletterschalung kombiniert mit Schachtschalung zur Kernherstellung
- Deckenschalung

Vorteile:

- Entflechtung der Arbeitsbereiche für Kern und Decke.
- Kein Absetzen der Wandschalung erforderlich.

Nachteile:

- Aufwändigerer Bewehrungsanschluss zwischen Kern und Decke (entweder durch Schraubanschlüsse oder durch Einklappen und Verwahren der Anschlussbewehrung).
- Beengtere Platzverhältnisse für den Einbau der Kernbewehrung.

Umsetzen der Deckenschalung

Besonders bei der Erstellung von Hochhäusern, wo sich eine Vielzahl gleichartiger Geschosse wiederholt, ist es sinnvoll für das Schalen der Decken großflächige Schalungssysteme wie z. B. Deckentische zu verwenden. Beim Einsatz von Deckentischen

kommt der Planung des Umsetzvorganges besondere Bedeutung zu. Es bestehen folgende Alternativen:

1. Umsetzen innerhalb des Gebäudes mittels Hubgerät (Bild 10-39) durch temporäre Deckenöffnung (Bild 10-109). Diese Methode verwendet man meist auch bei Fallkopfkassettenschalungen. Die Variante des Umsetzens innerhalb des Gebäudes wird meist bei weitgehend geschlossener Fassade angewendet.

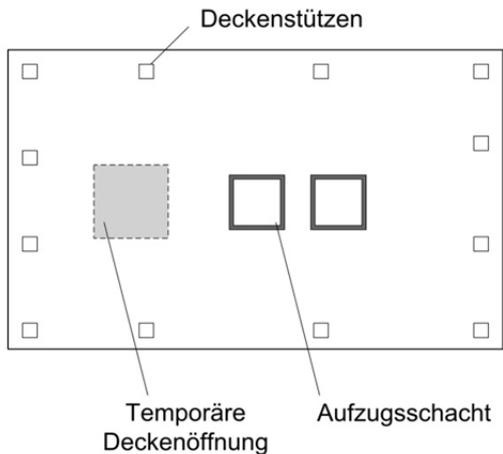


Bild 10-109: Umsetzen von Schalungen durch temporäre Deckenöffnung

2. Umsetzen über die Fassade bei offener Fassade zwischen den Stützen mittels Kran und Umsetzseilen (Bild 10-36 und Bild 10-40).
3. Umsetzen über die Fassade bei offener Fassade zwischen den Stützen mittels Umsetzhaken (Bild 10-110).

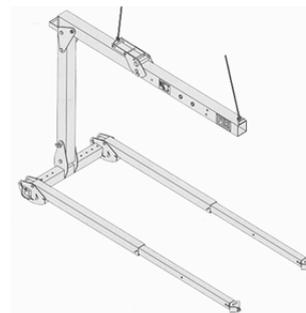


Bild 10-110: Umsetzen von Deckentischen mit krangeführtem Umsetzhaken („Entenschnabel“)[5]

4. Umsetzen über die Fassade bei offener Fassade zwischen den Stützen mittels nachgeführter Umsetzbühne (Bild 10-111). Diese Methode ist wirtschaftlich bis ca. 4-5 Stockwerke.



Bild 10-111: Umsetzen von Deckentischen mit nachgeführter Umsetzbühne

Die Umsetzalternativen 1 bis 3 sind unabhängig von der Anzahl der Stockwerke.

Stützenherstellung bei mehrstöckigen Gebäuden

Stützen können entweder in Ortbeton oder aber als Fertigteilstützen hergestellt werden (Bild 10-112). Im modernen Hochhausbau werden, aufgrund der baubetrieblichen Vorteile fast ausschliesslich Fertigteilstützen verwendet. Diese ermöglichen kurze Versetzzeiten, was sich besonders positiv auf den Wochentakt auswirkt.

Statisches System:

- Ortbetonstützen haben oben und unten einen Bewehrungsanschluss an die Geschossdecken, wodurch eine Einspannung gegeben ist.
- Fertigteilstützen werden unten auf einen Justierdorn (Bild 10-113) versetzt und haben oben einen Bewehrungsanschluss an die Geschossdecken, wodurch diese oben eingespannt und unten gelenkig gelagert sind.

Um die Fertigteilstützen nach dem Versetzen auf den Justierdorn zu fixieren, werden diese von einem Dreibein, das als temporäre Abstützung dient gehalten (Bild 10-114)

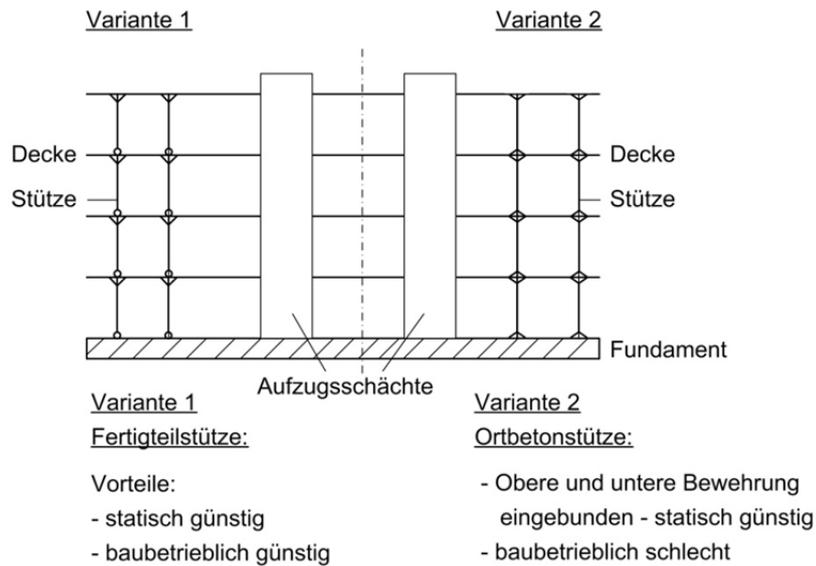


Bild 10-112: Stützenherstellung bei einem mehrstöckigen Gebäude (Wiederholung)

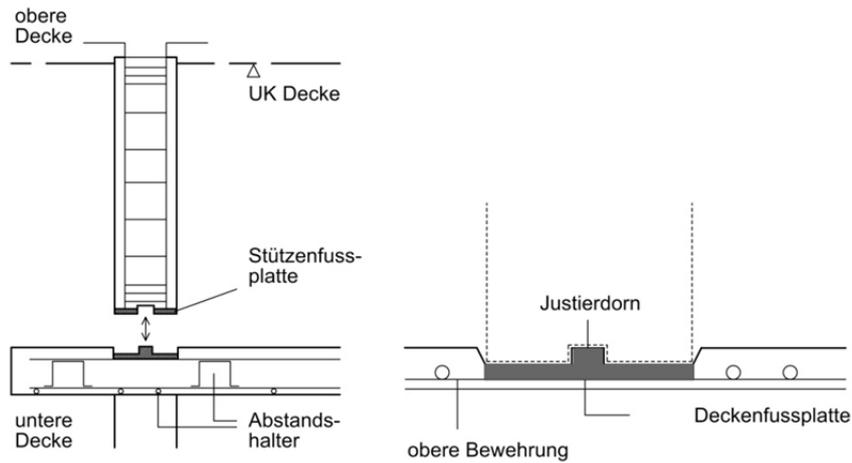


Bild 10-113: Einbau einer Fertigteilstütze

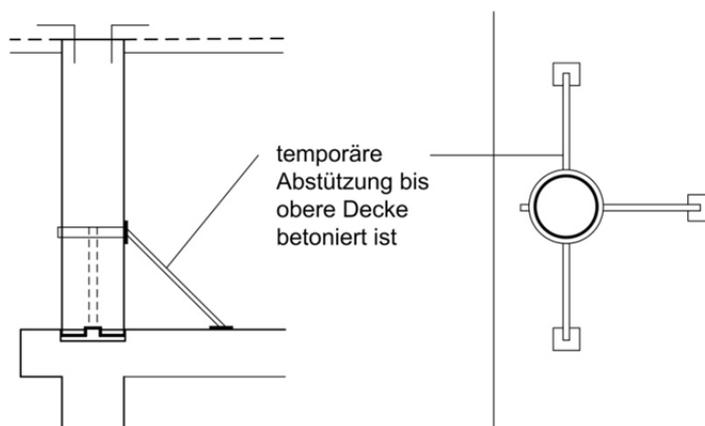


Bild 10-114: Bauzustand der Fertigteilstütze

10.15 Anwendungsbeispiel Schalungssysteme im Hochbau

10.15.1 Grundsätze der Schalungsplanung

Im Hochhausbau sind in der Regel die Geschosse oberhalb des Erdgeschosses oder auch 1. Obergeschosses in der Regel gleich ausgebildet (Regelgeschosse). Dies hat für die baubetriebliche Schalungsplanung folgende Vorteile:

- Gleichbleibender Schalungssatz für alle Stockwerke
- Kontinuierlicher Leistungsverbesserungsprozess durch Wiederholungseffekt

Ziel der Schalungsplanung im Hochhausbau ist es, die grossen Deckenflächen der einzelnen Geschosse mit einem geringstmöglichen Zeitaufwand zu schalen. Hier haben sich verschiedene Systeme in der Praxis bewährt (siehe auch Kapitel 10.4). Je nach Form, Grösse und Wochentakt der Baustelle können die gesamte Geschossfläche oder nur Teile geschalt und betoniert werden.

Der typische Grundriss im Hochhausbau hat meist einen Kern in dem sich Aufzüge, Treppenhäuser und Versorgungsschächte befinden. Auch sind in diesem Bereich oft die einzigen durchgehenden massiven Wände zu finden, da die Fassade gewöhnlich nicht in Stahlbeton ausgebildet wird, sondern vorgehängt wird. Auch hier kann also eine Optimierung des Schalungssystems für die vertikalen Wandelemente gefunden werden. Ziel sollte es sein den aussteifenden Kern und die Decken mit gleicher Geschwindigkeit zu errichten, um eine hohe freie Höhe des Kerns zu vermeiden. Meist werden die Kerne von Hochhäusern mit den Decken etagenweise oder um ca. 2 bis 3 Geschosse vorlaufend vor den nachlaufenden Decken errichtet. Die Arbeiten an Kern und Decken laufen meist gleichzeitig oder parallel ab.

10.15.2 Vorseilende Bauweise – Millennium Tower Wien

Baufgabe: Rohbauherstellung

In Bild 10-115 ist der Grundriss eines Regelgeschosses, sowie Querschnitt, Ansicht und Geschossdetails des 42-geschossigen Millennium Tower Wien dargestellt. Der Grundriss ist rund, besteht aus einem Kern für Aufzüge und Treppenhaus etc., einer aussenliegenden aussteifenden U-Wandscheibe (links) sowie Stützen. Die Stützen (50cm Durchmesser) sind quasi radial in einem inneren und äusseren Kreis in gleichen Abständen angeordnet. Die Geschosshöhe beträgt 3,50m.

Millenium-Tower, Wien

42-geschossiges Hochhaus, Höhe ca. 165 m mit 3 zusätzlichen Technikgeschossen und 4 Unter-geschossen, Betonkonstruktion, Skelettbauweise, Aussteifung durch Kern, Lastabtragung über Flachdecken auf Kern und Rundstützen

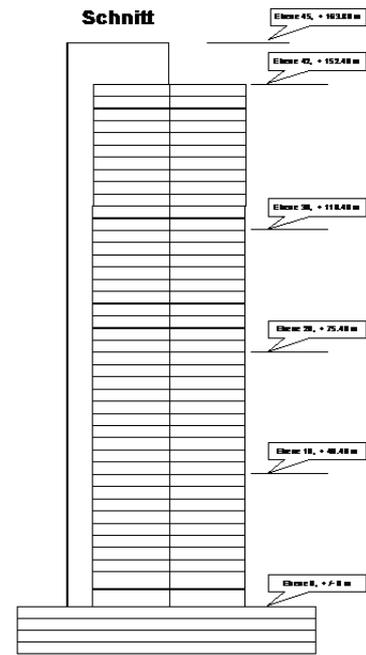
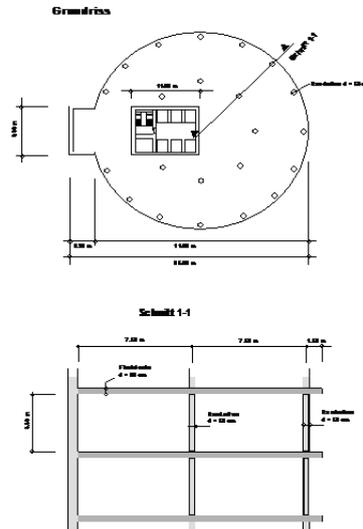


Bild 10-115: Projektübersicht Millenium-Tower Wien

Lösungsprozess

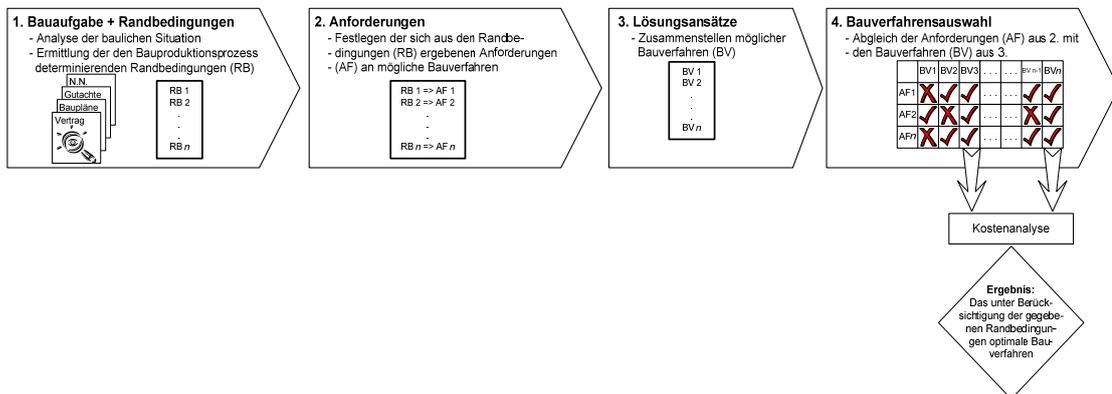


Bild 10-116: Baubetrieblicher Lösungsprozess

Der Lösungsprozess (Bild 10-116) entwickelt aus der Bauaufgabe und den projektspezifischen Randbedingungen die Anforderungen an das Baukonzept und die entsprechenden Folgerungen für die baubetriebliche Lösung. Zudem müssen die Bauteile, die repetitiv pro Geschoss erstellt werden, identifiziert werden. Diese müssen dann in horizontale und vertikale Bauteilgruppen gegliedert werden. Anschliessend wird der Lösungsansatz entwickelt. Der Lösungsansatz gliedert sich in alternative Hauptprozesse der Bauteilgruppen (stockwerkweise oder vorauseilende Herstellung) und in alternative Modulprozesse für die Bauteile. Anschliessend erfolgt unter Abwägung der Anforderungen an das Baukonzept und der möglichen Lösungsansätze die Auswahl der Bauverfahren

- a) für den Hauptprozess der Bauteilgruppen
- b) für die Modulprozesse der Bauteile

Anschliessend ist es erforderlich, die Bauphasen zeitlich zu entwickeln und die erforderlichen Ressourcen zu ermitteln. Dabei muss das wirtschaftlichste Gesamtkonzept entwickelt werden. Nicht die Optimierung der Modulprozesse allein führt zur wirtschaftlichsten Lösung sondern die Betrachtung des gesamten Bauproduktionsprozesses. Dies wird kalkulatorisch ermittelt.

Zur Abstimmung des Gesamtkonzeptes ist die Anzahl der Hauptgeräte, sowie der Bauhilfsmaterialien erforderlich.

Lösungsprozess Millenium-Tower Wien:

Bauaufgabe analysieren:

Hauptprozess: Rohbau, Turm herstellen
 Modulprozesse: Kern, Decke, Stützen
 Elementarprozesse: Montage, Schalen, Bewehren, Betonieren

Baukonzept:

Für die zyklische repetitive Herstellung bestehen hier die Alternativen

- Stockwerkbauweise (Bild 10-106)
- Vorseilende Bauweise (Bild 10-108)

In diesem Beispiel soll die vorseilende Bauweise demonstriert werden. Gemäss den Vor- und Nachteilen in Kapitel 10.14 überwogen die Vorteile aufgrund der Entkoppelung von Decken- und Stützenherstellung sowie Kern- und U-Wandscheibenherstellung. Die Vorteile ergaben sich daraus, dass je zwei unabhängige Arbeitsplätze für wechselnde Equipen zwischen Deckenbaustelle und Kernbaustelle vorhanden waren.

Interaktion der Modulprozesse:

Gliederung der Bauteile

horizontale Bauteile: Decken
 vertikale Bauteile: Kern, Stützen

Ablauf der Herstellung

Kern : stockwerkweise – in Interaktion mit den Decken
 vorseilend – entkoppelt von den Decken
 Stützen: stockwerkweise
 Decken: stockwerkweise

Herstellmethoden:

Kern: Ortbeton
 Stützen: Fertigteile, Ortbeton
 Decken: Ortbeton

Baukonzept – Bauverfahrensvarianten:

- Kern:
- Kletterschalung (Schachtschalung)

- Schachtschalung/Wandschalung
- Gleitschalung

Stützen:

- Fertigteilstützen mit temporärer Ausrichtung/Abstützung
- Stützenschalung

Decken:

- Elementschalungssystem (Schaltafeln/Schalplatten, Systemträger/Spindelstützen)
- Modulschalungssysteme (Kassettenschalung mit Systemstützen/Fallkopfschalung)
- Systemschalung (Schalungstische)

Lösungsansatz – Auswahlkriterien

Kern: Kletterschalung

- Parallelität der Takte Decke/Kern ohne zu grossen Vorlauf
- Arbeitsschichten für Kern und Decke gleich (z.B. 1- oder 2-Schichtbetrieb)
- relativ unkomplizierter Standardablauf

Gleitschalung

- vorausseilende, wesentlich höhere Geschwindigkeit gegenüber Deckenherstellung (1,5 Stk. pro 8-10h-Schicht)
- 3-Schichtbetrieb ohne Unterbrechung
- hohe Anforderungen an die Qualität und die Fähigkeiten der Ausführenden
- Vorlauf ergibt Standsicherheitsproblem des Kerns
- Deckenherstellung: 1 Woche (Schalung muss eine Woche länger stehen bis zur Erhärtung des Betons)
- Kern: ca. 9m pro Tag

⇒ Gleitschalung daher nicht geeignet!

Lösung Kern:

a) vorausseilende Kernherstellung:

- innen Schachtschalung
- aussen Kletterschalung

Problem: Deckenanschlussbewehrung an Kern!

b) stockwerkweise Kernherstellung und Decke:

- **innen Schachtschalung**

- **aussen Wandschalung**

Decke: Elementschalungssystem

- leicht zu handhaben, einfach umsetzbar
- auf Grund der Vielzahl der Einzelteile nicht geeignet für rationelle repetitive Herstellung

Modularschalungssystem

- leicht zu handhaben, einfach umsetzbar
- geeignet besonders für Turmbauwerke mit weitgehend geschlossener Fassade
- auf Grund der Vielzahl der Einzelmodule noch relativ viele Einzelteile zum Ausschalen und wieder Einschalen möglich

Grossflächenschalungssystem - Schalungstisch

- Grosselemente können spezifisch an den Grundriss angepasst werden
- einfaches Umsetzen, rationeller Bauablauf besonders für repetitiven Ablauf geeignet

Lösung Decke: Deckentische

Stützen: Fertigteile

- Vorfertigung: Entkoppelung von Bauabläufen auf den Decken
- einfaches und rationelles Aufstellen der Stützen möglich

Ortbetonstützen

- möglich parallel zum Kern, jedoch aufwendiger als Fertigteilstützen
- Aufstellen der Schalung, Bewehren und Betonieren aufwendig

⇒ höherer Stundenaufwand bei Schalung gegenüber Fertigteilen

Lösung Stützen: Fertigteile

Folgende Schalungssysteme ergaben eine optimale projektspezifische, baubetriebliche und wirtschaftliche Zykluslösung:

- Decken – Spezielle Schalungstische, die über die Fassadenöffnung umgesetzt wurden
- Stützen – Fertigteilstützen
- Kern und U-Wandscheibe – aussen Kletterschalung und in den Schächten Schachtschalungen oder in sehr grossen Schächten Kletterschalung
- Treppen – Fertigteiläufe

Hauptprozess	Modulprozesse Bauteile im Herstellprozess		Bauweise	Elementarprozesse / Aktivitäten
	Bauteilgruppe	Bauteile		
Turmrohbau	Vertikale Bauelemente	Kerne	• Ortbeton	<ul style="list-style-type: none"> • Innenschalung stellen / versetzen • Bewehrung verlegen • Installationen verlegen • Aussenschalung schliessen • betonieren • Schalung versetzen
		Stützen	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigteile • Ortbeton 	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigteile einheben • Fertigteile versetzen / einrichten und temporär abstützen
	Horizontale Bauelemente	Decken	• Ortbeton	<ul style="list-style-type: none"> • Innenschalung stellen / versetzen • Bewehrung verlegen • Installationen verlegen
		Podeste	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigteile • Ortbeton 	<ul style="list-style-type: none"> • Aussenschalung schliessen • betonieren • Schalung versetzen
		Treppenläufe	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigteile • Ortbeton 	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigteile einheben • Fertigteile versetzen / einrichten und temporär abstützen

Bild 10-117: Leistungserstellungsprozess eines Hochhauses

In Bild 10-117 ist der Leistungserstellungsprozess (Hauptprozess) des Büroturms untergliedert in Modulprozesse mit Bauteilgruppen (horizontale und vertikale Bauelemente), sowie Bauteile, Bauweisen, Elementarprozesse und Aktivitäten. Aufbauend auf den Überlegungen der Gliederung des Herstellprozesses werden in Bild 10-118 die technisch möglichen Herstellverfahren den Herstellprozessen der Bauteile zugeordnet. Die vertikalen und horizontalen Bauteile und Herstellverfahren können nicht voneinander unabhängig gewählt werden, sondern sind im Bezug zum gesamten Leistungserstellungsprozess auf den Rohbauerstellprozess und auf die Auswirkungen des Gesamtherstellungsablaufs einschliesslich des Ausbaus abzustimmen.

Hauptprozess	Modulprozesse Bauteile im Herstellprozess		Herstellverfahrensvarianten
	Bauteilgruppen	Bauteile	
Turmrohbau	Vertikale Bauelemente	Kerne	<ul style="list-style-type: none"> • Vorseilende Schachtschalung: <ul style="list-style-type: none"> - Kletter – Schachtschalung - SCP (selbstkletternde Plattform) • Etappenweise Herstellung (Kern – Decke gemeinsam): <ul style="list-style-type: none"> - Schacht – Wandschalung - SCP (selbstkletternde Plattform)
		Stützen	• Fertigteile
	Horizontale Bauelemente	Decken / Podeste	<ul style="list-style-type: none"> • Deckentische (Spezialkonstruktion) • Fallkopfschalung: <ul style="list-style-type: none"> - Umsetzen über Kragarmhilfsbühne - Umsetzen mit SKE – Fassadenklettergerüst (selbstkletternde Einheit) • Konventionelle Systemträgerschalung: <ul style="list-style-type: none"> - Umsetzen mit Kragarmhilfsbühne - Umsetzen mit SKE – Fassadenklettergerüst (selbstkletternde Einheit)
		Treppenläufe	• Fertigteile

Bild 10-118: Bauverfahrensauswahl

Nicht das billigste Schalungssystem für die einzelnen Bauteile z.B. für den Kern oder die Decke ist die optimale Lösung, sondern es müssen zusätzlich folgende Fragen berücksichtigt werden:

- Wie kommt man mit Decken- und Kernschalungssystem zu einem optimalen Zyklus?
- Wie kommt man zu den geringsten Rohbaukosten bzw. Gesamtkosten unter Beachtung der Fixkosten und der variablen Kosten pro Stockwerkszyklus?
- Wie kann man kritische Prozesse der Logistik entkoppeln
 - a) zwischen Herstellabläufen von den vertikalen und horizontalen Bauteilen?
 - b) zwischen Rohbau und Ausbau infolge simultaner, versetzter Abläufe aufgrund kurzer Gesamtbauzeiten?

Bauablauf und Bauphasen:

Die Kletterschalung wird mit einem Vorlauf von zwei Stockwerken gegenüber der Deckenschalung eingesetzt, um so eine Behinderung der Arbeiten auf der bereits erstellten Decke durch das Traggerüst und den Nachläufer der Kletterschalung (Bild 10-119) zu verhindern. In die Wände müssen Anschlussstellen für den Deckenan-schluss eingebaut werden. Im Bereich des Versorgungsschachtes (links im Kern) wird eine Schachtschalung eingesetzt.

Da die Stützen für das gesamte Gebäude gleich sind und deren Anzahl sehr hoch ist, werden diese als Fertigteile angeliefert und eingebaut. Möglich ist es diese als Betonfertigteile oder auch als Stahlstützen auszubilden. Die Anschlüsse an die Decken erfolgt nach Kapitel 10.14, Bild 10-114.

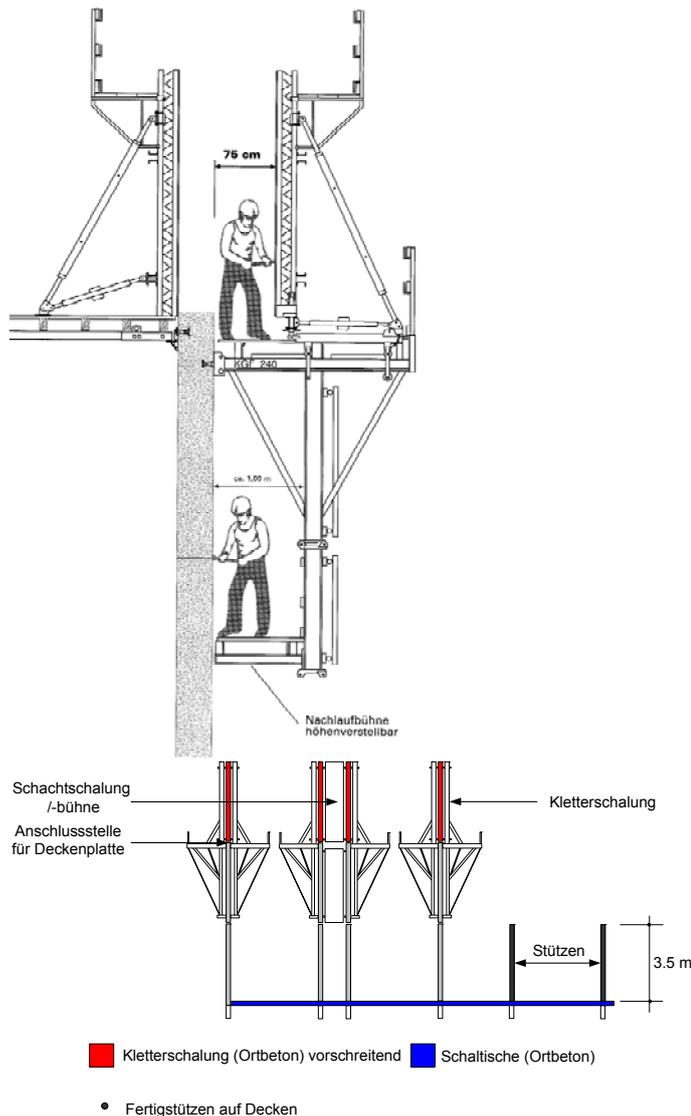


Bild 10-119: Vorseilende Kernschalung: Innen: Schachtschalung (links), aussen: Kletterschalung (rechts) mit Kranversetzung [5]

Bild 10-120: Vorseilende Kernschalung mittels Schacht- und Kletterschalung (Schnitt A-A in Bild 10-115)

Die Flachdecken mit 30 cm Stärke werden als Ortbetondecken hergestellt. Zum Einsatz kommen grossflächige, verfahrbare, kranabhängige Deckenschaltische. Der Ablauf der Schalungs- bzw. Betoniervorgänge der Kerne und Decken ist in Schnitt A-A (Bild 10-120) dargestellt.

Aufgrund der Form des Grundrisses ist es nicht möglich die gesamte Deckenfläche mit Deckentischen zu schalen, es müssen einzelne kleinere Bereiche beigeschalt bzw. mit konventionellen Deckenschalungen gestellt werden. Die Deckenschaltische werden als Sonderanfertigungen angeliefert, dies bietet, trotz höheren Investitionskosten, ein Einsparpotential aufgrund des mehrfachen Einsatzes und des schnell durchführbaren Umsetzvorgangs. Die Schaltische werden so ausgebildet, dass diese optimal zwischen die radial angeordneten Stützen gefahren werden können. Die Aufteilung des Grundrisses ist in Bild 10-121 dargestellt. Die Rundungen der Stützen werden bereits in den Schaltischen eingearbeitet, um so Beischarbeiten zu vermeiden. Dies ist in Bild 10-122 zu erkennen. Die Schaltische zwischen zwei Rundstützen müssen so ausgebildet werden,

dass einer herausgezogen werden kann und der zweite horizontal quer verschoben und anschliessend herausgezogen werden kann (keine Zwängung).

Die Aufteilung des Grundrisses in geeignete Deckenschaltische wurde auch unter dem Gesichtspunkt sich wiederholender Formen der Schaltische vorgenommen. So konnte es erreicht werden, dass lediglich 12 verschiedenen Formen von Schaltischen zum Einsatz kommen. Gleiche Formen der Schaltische sind in Bild 10-121 mit Nummerierung gekennzeichnet. So ist der Schaltisch der Form 1a beispielsweise in 14-facher Ausfertigung im Einsatz. Die schraffierten Bereiche in Bild 10-121 stellen die Beischalbereiche dar. Wichtig ist es die Grösse der Schaltische so zu wählen, dass diese auf den Decken zwischen den Säulen verfahren werden können, um so am Rand vom Kran auf das nächste Stockwerk versetzt werden können.

Die Schaltische müssen vor einem Verfahren und Umsetzen mittels der Spindeln abgelassen werden. Beim Ausschalen der Decken werden zuerst die Schaltische 1b radial zur Gebäudeaussenseite verfahren, um dort vom Kran aufgenommen zu werden. Danach werden die Schaltische 1a zuerst tangential verfahren, um anschliessend an den Säulen vorbei zur Gebäudeaussenseite zum Anhängen an den Kran verfahren zu werden.

Anschliessend werden die Schaltische 2, 3, 4, 5 und 6 abgelassen und versetzt.

Die Schaltische werden bis an den Rand gefahren. Dort werden die Aussenseiten an den Kran angehängt. Die Schaltische werden nun an der Innenseite auf Rollen und teilweise am Kran hängend weiter an den Aussenrand der Decke verfahren, um dort vollständig an den Kran gehängt zu werden und um ein Geschoss nach oben gehoben zu werden.

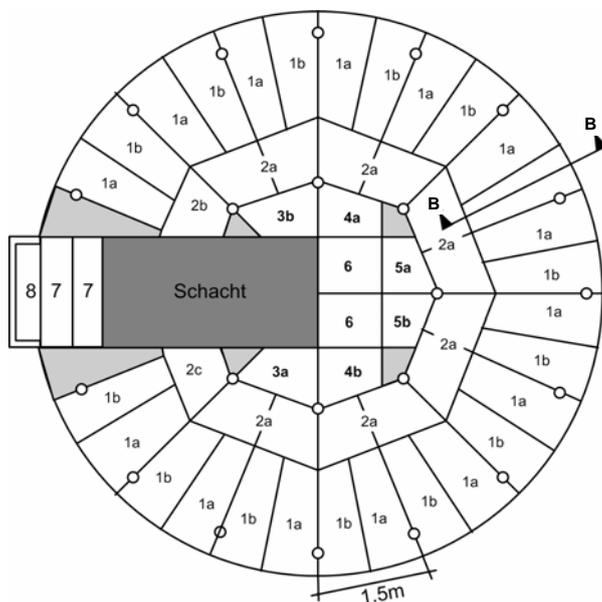


Bild 10-121: Aufteilung des Grundrisses für Schalungstische (Schnitt B-B)

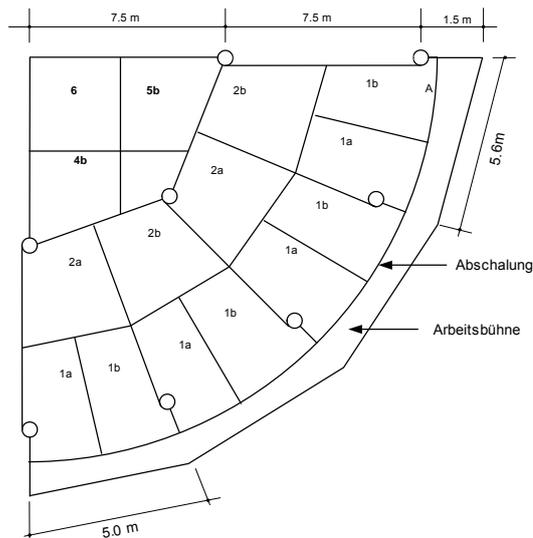


Bild 10-122: Ausschnitt der Deckenschalungsanordnung

Der Rand der Decken muss, wie in Bild 10-123 dargestellt, rundum abgeschalt werden, sowie mit einer Arbeitsbühne ausgestattet sein. Zusätzlich sollten auf nachfolgenden Ebenen Fangnetze für die Sicherheit des Personals bei Sturz und des Personals am Boden vor herabfallenden Gegenständen angebracht werden.

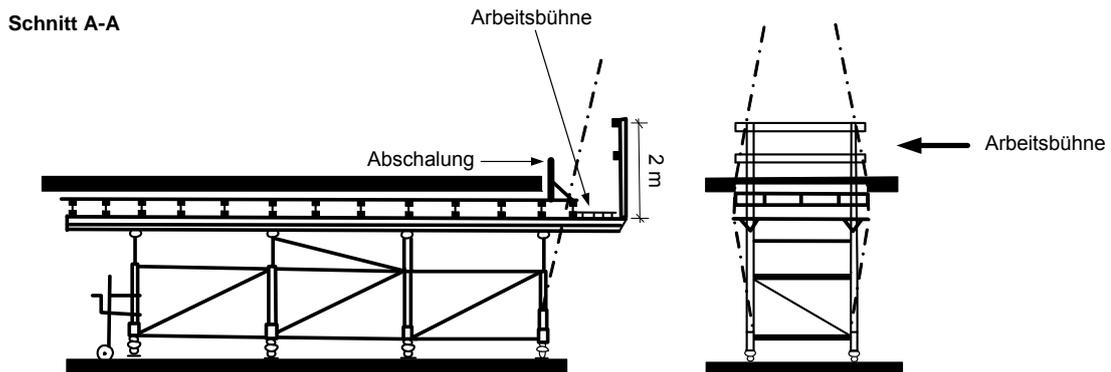


Bild 10-123: Randschaltisch

10.15.3 Stockwerkbauweise – Wochentakt für ein Hochhaus mit Regelgeschossen

Für die zyklische, repetitive Herstellung dieses Gebäudes bestehen auch hier die Alternativen:

- Stockwerkbauweise
- Vorseilende Bauweise

Aufgrund der Größe der einzelnen Bauteile von Kern und Decke war eine Trennung für einen vorseilenden Herstellungsablauf nicht wirtschaftlich.

In diesem Beispiel werden nach der Kurzbeschreibung des Projektes die Entscheidungskriterien qualitativ und quantitativ dargelegt und begründet.

Mit Ausnahme der unteren Geschosse (d.h. den Untergeschossen, dem Erdgeschoss und manchmal einigen Geschossen über dem Erdgeschoss) sowie dem obersten Geschoss (d.h. dem Dachgeschoss und einigen Geschossen unter dem Dachgeschoss) sind die Geschossgrundrisse eines Hochhauses in der Regel gleich. Man spricht des-

halb von **Regelgeschossen**. Diese Regelgeschosse ergeben sich aus Nutzeraspekten bei Bürogebäuden, sowie bei Wohntürmen. Die Unterteilung der Räume in Nutzeinheiten erfolgt meist mit flexiblen Wandsystemen. Das Konzept der Regelgeschosse beinhaltet neben gestalterischen Aspekten im Wesentlichen auch Kostenaspekte wie:

- geringe Anzahl von Plänen
- industrialisierte Rohbauerstellung durch repetitive Arbeitsprozesse
- industrialisierte Fassadenproduktion durch repetitive Elemente
- standardisierter Ausbau im HKL-Bereich

Da sich die Arbeitsschritte des Rohbauerstellungsprozesses, die zur Erstellung eines Regelgeschosses erforderlich sind, pro Regelgeschoss wiederholen, steckt auch in der Optimierung des Bauablaufs sehr viel Einsparpotenzial – sowohl für die Baukosten als auch die Gesamtbauzeit. Es ist ein detaillierter Terminplan für die Erstellung eines Geschosses auszuarbeiten. Welche Zeitdauer dabei für die Erstellung eines Geschosses eingeplant wird, ist insbesondere von dessen Grundfläche und den Terminvorgaben des Bauherrn abhängig. Kennt man die Bauzeit pro Regelgeschoss, so weiss man alle wie viel Tage ein Regelgeschoss fertig gestellt wird. Man spricht deshalb von einem **Takt**.

Unter Umständen muss auch am Wochenende oder im Schichtbetrieb gearbeitet werden. Für das folgende Beispiel wurden jedoch die in der Schweiz üblichen Arbeitszeiten berücksichtigt (5 Arbeitstage pro Woche mit je 8 -10 Arbeitsstunden). Soll es ein oder zwei arbeitsfreie Tage pro Woche geben, drängt sich die Wahl des **Wochentakts** nahezu auf. Es gibt hierfür zwei wesentliche Gründe:

- Alle Baubeteiligten (einschl. Zulieferern, Subunternehmern, Planern und Bauherrn) denken und organisieren ihre Arbeit in Wochen und können sich somit auf einen Wochentakt leicht einstellen.
- Am Donnerstag und Freitag eingebrachter Beton kann am Wochenende erhärten, so dass diese Bauteile bereits am Montag ausgeschalt werden können.

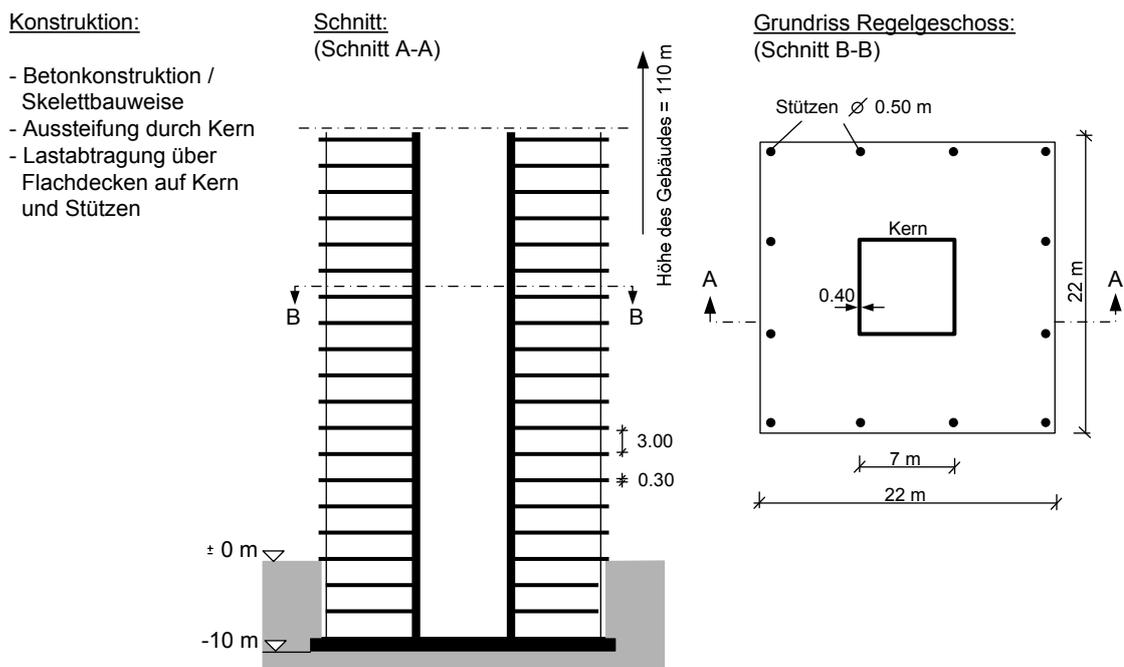


Bild 10-124: Beispiel - Konstruktion und Abmessungen der Regelgeschosse

Das folgende Beispiel (Bild 10-124) umfasst die typischen Baumeisterarbeiten (1. Schalen, 2. Bewehren, 3. Betonieren, 4. Montieren von Fertigteilen), wobei – wie in der Praxis üblich – die Bewehrungsarbeiten an einen Subunternehmer vergeben werden können. In diesem Beispiel wurden die Bewehrungsarbeiten der Decke an eine fremde Equipe übertragen. Der Wochentakt für die Herstellung eines Regelgeschosses des Beispielprojekts ist in den Bild 10-125 bis Bild 10-129 dargestellt. Mit Hilfe von bekannten Aufwandswerten (aus entsprechenden Tabellenwerken) kann – wie im rechten Teil von Bild 10-125 bis Bild 10-129 – dargestellt eine Abschätzung der erforderlichen Mannschaftsstärke vorgenommen werden.

Das **Aufstellen eines Wochentaktes** ist ein iterativer Prozess, wobei folgende Faktoren berücksichtigt werden müssen:

- Bauverfahrenstechnische Reihenfolge und Zwischenzeiten der Arbeitsschritte
- Gleichmässige Mannschaftsstärke der eigenen Equipe über die gesamte Woche
- Eindeutige Tagesziele
- Komplette Tageseinsätze bei gleichmässiger Mannschaftsstärke für die fremde Equipe
- Keine gegenseitige Behinderung der Equipen
- Minimierung der Anzahl an vorzuhaltenden Hebe- und Betonfördergeräten
- Erhärtung des eingebrachten Deckenbetons am Wochenende

Annahme

1. Schalungs- und Betonierequipe: eigene Equipe
2. Bewehrungsequipe (Decke): Subunternehmer

Verfahrenstechnische Bedingungen:

- Abläufe müssen ohne gegenseitige Behinderungen verlaufen
- Schalung muss immer ohne Behinderungen und Zwängungen lös- und umsetzbar sein
- Schalung kann auf Grund der offenen Fassade aus der Fassade herausgesetzt werden
- Schalung kann wegen der Umsetzungsmöglichkeit über die offene Fassade, sowie auf Grund der Kerngestaltung als Grossflächenschalungssystem zusammengesetzt werden
- Schalungen sollen möglichst im Arbeitsgeschossbereich und mit Rücksicht auf die Krankkapazität nicht am Boden zwischengelagert werden
- Sicherungsmassnahmen sind erforderlich bei:
 - Umsetzen der Schalung von Stockwerk zu Stockwerk
 - Arbeiten auf dem jeweiligen Stockwerk zur Aussenseite des Gebäudes und zur Innenseite der Schächte

Lösungsprozess:

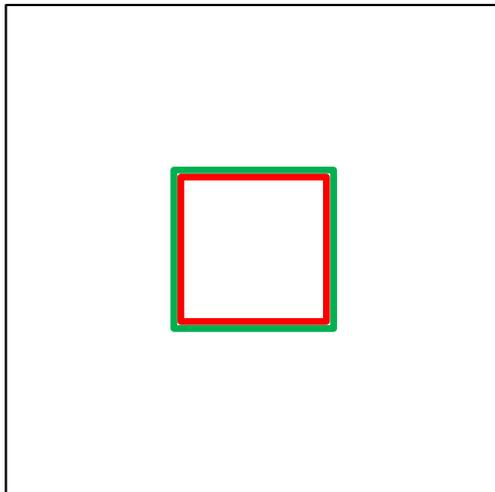
1. Auswahl der Bauteile, die pro Geschoss repetitiv im Rohbau hergestellt werden
2. Gliederung der Bauteile in Horizontale und vertikale Bauteilgruppen

3. Grundüberlegungen über die Abfolge der Modulprozesse
 - a. vertikale Bauteile
 - b. horizontale Bauteile
4. Grobabschätzung der Zeitdauer der Elementarprozesse über die Leistungsmengen:
 - a. Beton [m^3] pro Bauteilgruppe
 - b. Schalung [m^2] pro Bauteilgruppe
 - c. Bewehrung [t] pro Bauteilgruppe
5. Gliederung der Modul- und Elementarprozesse in Tagesaufgaben

⇒ Ziel: Wochentakt oder ganzzahliges Vielfaches

Lösungsablauf:

Montag

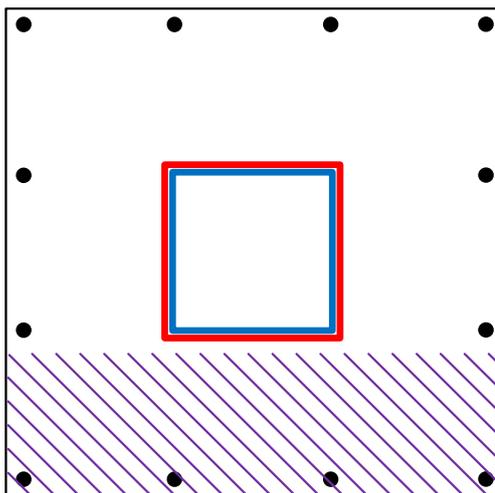


Eigene Equipe	Fremde Equipe
<p>Einschalen Kern (Innen) $84 \text{ m}^2 \times 0.27 \text{ h/m}^2 = 22.7 \text{ h}$</p> <p>Bewehren Kern $3.36 \text{ t} \times 12 \text{ h/t} = 40.3 \text{ h}$</p> <p>$\Sigma = 63 \text{ h} \rightarrow \underline{7 \text{ Mann}}$</p>	/

Bild 10-125: Beispiel – Arbeiten am Montag

Am **Montag** (Bild 10-125) werden auf der über das Wochenende erhärteten Decke die Kernwände geschalt und bewehrt. Dazu wird die Innenschalung des Kerns (Schachtschalung) ein Geschoss nach oben gezogen und an der Kernwand des darunterliegenden Geschosses befestigt. Nun können die Kernwände bewehren werden.

Dienstag



Eigene Equipe	Fremde Equipe
<p>Einschalen Kern (Aussen) $84 \text{ m}^2 \times 0.17 \text{ h/m}^2 = 14.3 \text{ h}$</p> <p>Betonieren Kern $33.6 \text{ m}^3 \times 0.5 \text{ h/m}^3 = 16.8 \text{ h}$</p> <p>FT-Stützen stellen $12 \text{ Stk.} \times 1.0 \text{ h/Stk.} = 12.0 \text{ h}$</p> <p>Ausschalen Decke $140 \text{ m}^2 \times 0.12 \text{ h/m}^2 = 16.8 \text{ h}$</p> <p>$\Sigma = 60 \text{ h} \rightarrow \underline{7 \text{ Mann}}$</p>	/

Bild 10-126: Beispiel – Arbeiten am Dienstag

Am **Dienstag** (Bild 10-126) wird zunächst die äussere Kern-Wandschalung eingeschalt, d.h. die Wandschalung (Systemschalung) wird mit dem Kran aus dem Zwischenlager auf die Decke gehoben, ausgerichtet und geschlossen. Danach kann der Kern betoniert werden. Im Anschluss daran werden die aussenliegenden Fertigteilstüt-

zen gestellt, ausgerichtet und mit Mörtel untergossen. Am Nachmittag kann dann mit dem Ausschalen der Deckenschalung (Systemschalung) auf dem darunter liegenden Geschoss begonnen werden. Die einzelnen Systemteile der Deckenschalung werden in Gebinden zusammengefasst, damit sie mit dem Kran auf die nächste Ebene umgesetzt werden können.

Am **Mittwoch** (Bild 10-127) wird zuerst das Ausschalen der Deckenschalung abgeschlossen. Parallel dazu kann die äussere Kernschalung ausgeschalt werden, die dann auf der Baustelle zwischengelagert werden muss. Am Nachmittag wird mit dem Einschalen der Deckenschalung begonnen.

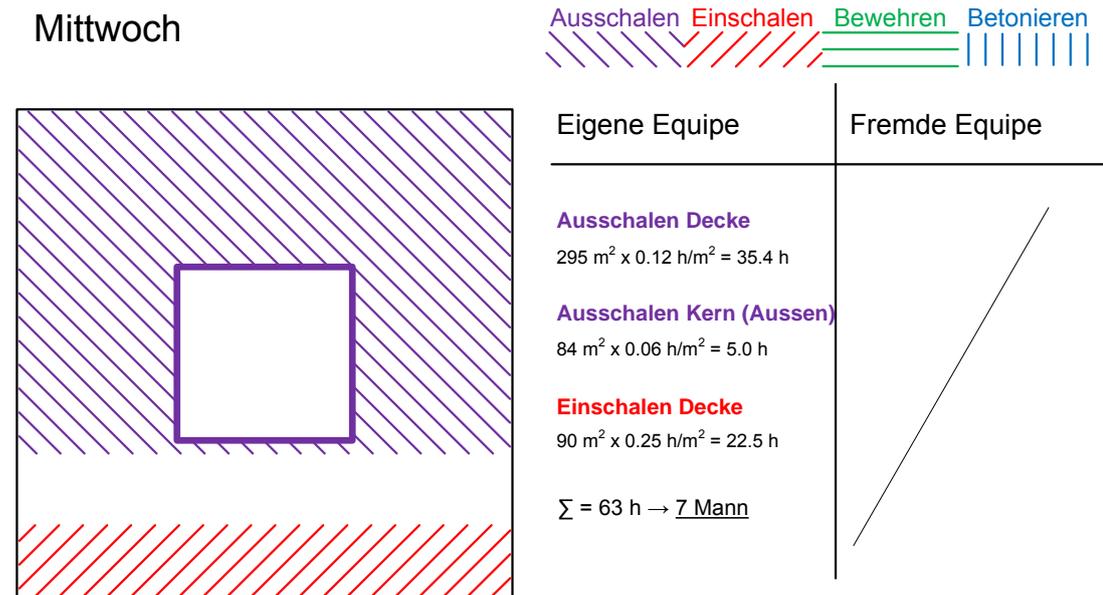
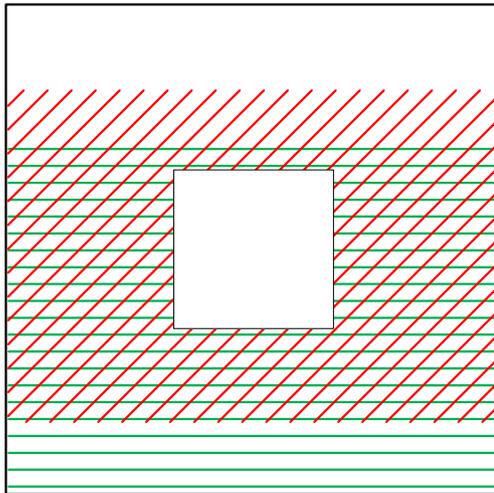


Bild 10-127: Beispiel – Arbeiten am Mittwoch

Am **Donnerstag** (Bild 10-128) wird der Einschalprozess der Deckenschalung fortgesetzt. Für die Bewehrungsarbeiten wird ein Subunternehmer angefordert. Die Tagesleistung der eigenen Equipe beim Einschalen (ca. 250 m^2) entspricht ungefähr der angepeilten Tagesleistung der Subunternehmerequipe (ca. 300 m^2), damit stets genug Vorlauf bei den Einschalarbeiten sichergestellt ist. So können gegenseitige Behinderungen verhindert werden.

Donnerstag

Ausschalen Einschalen Bewehren Betonieren



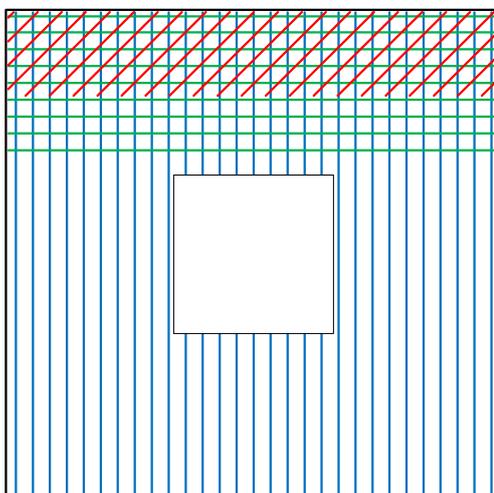
Eigene Equipe	Fremde Equipe
<p>Einschalen Decke $252 \text{ m}^2 \times 0.25 \text{ h/m}^2 = 63 \text{ h}$</p> <p>$\Sigma = 63 \text{ h} \rightarrow \underline{7 \text{ Mann}}$</p>	<p>Bewehren Decke $9.0 \text{ t} \times 10 \text{ h/t} = 90 \text{ h}$</p> <p>$\Sigma = 90 \text{ h} \rightarrow \underline{10 \text{ Mann}}$</p>

Bild 10-128: Beispiel – Arbeiten am Donnerstag

Am **Freitag** wird zuerst das Einschalen abgeschlossen. Anschliessend wird mit dem Betonieren begonnen. Aufgrund der grossen Betonmengen werden bei Hochhäusern trotz der grossen Förderhöhe hierfür in der Regel Betonpumpen eingesetzt, so dass der Baustellenkran (meist ein Turmdrehkran) weiterhin der fremden Equipe für den Transport von Bewehrung zur Verfügung steht. Während des Betonierens stellt die fremde Equipe die Bewehrung im anderen Deckenbereich fertig. Für das Beispielprojekt wurde also ein Betonierabschnitt gewählt. Die Anzahl der Betonierabschnitte ist von der Betonmenge pro Decke, d.h. von der Grösse des Regelgrundrisses [m²] und der Deckendicke [cm], abhängig. Je nach Förderhöhe sowie Leitungsquerschnitt und Motorleistung der eingesetzten Betonpumpe sind Betoniergeschwindigkeiten von 20 m³/h bis 140 m³/h (Grenzwert) erreichbar. Beachtet werden muss, dass das Einbringen des Betons sowie eine eventuell erforderliche Oberflächen- und/oder Nachbehandlung innerhalb eines Arbeitstages (bzw. Arbeitsschicht) möglich ist.

Freitag

Ausschalen Einschalen Bewehren Betonieren



Eigene Equipe	Fremde Equipe
<p>Einschalen Decke $93 \text{ m}^2 \times 0.25 \text{ h/m}^2 = 23.2 \text{ h}$</p> <p>Betonieren Decke $131 \text{ m}^3 \times 0.3 \text{ h/m}^3 = 39.3 \text{ h}$</p> <p>$\Sigma = 62 \text{ h} \rightarrow \underline{7 \text{ Mann}}$</p>	<p>Bewehren Decke $4.1 \text{ t} \times 10 \text{ h/t} = 41 \text{ h}$</p> <p>$\Sigma = 41 \text{ h} \rightarrow \underline{10 \text{ Mann}}$</p>

Bild 10-129: Beispiel – Arbeiten am Freitag

Am **Montag** der folgenden Woche kann dann mit dem Einschalen des Kerns des nächsten Geschosses begonnen werden (Bild 10-125).

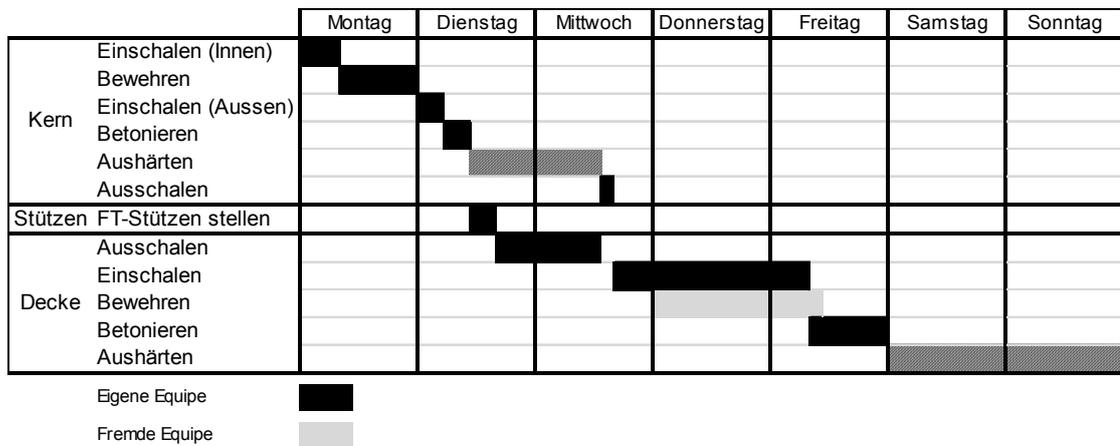


Bild 10-130: Beispiel – Taktplan (Stockwerkbauweise)

Literaturverzeichnis

- [1] SIA 220: Betonbauten – Leistung und Ausmass. Schweizer Ingenieur- und Architekten- Verein, Zürich, 1993.
- [2] NPK 313 D/92: Beton und Stahlbetonarbeiten. CRB, Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, 1992.
- [3] Simons K., Kolbe P.: Verfahrenstechnik im Ortbetonbau – Schalen – Bewehren – Betonieren. Teubner Verlag Stuttgart, 1987.
- [4] DOKA Schalungstechnik GmbH, Maisach, Produktinformation.
- [5] PERI AG, Ohringen, Produktinformation.
- [6] NOE Schaltechnik GmbH, Aarau, Produktinformation.
- [7] Bauer H.: Baubetrieb1, Einführung, Rahmenbedingungen, Bauverfahren. 2., neubearbeitete Auflage, Springer- Lehrbuch.
- [8] Betonkalender II, Ernst & Sohn, 1994.
- [9] EBEA, ACO Bauelemente AG, Münsingen, Produktinformation.
- [10] Nach DIN 459-1: Baustoffmaschinen – Mischer für Beton und Mörtel, 1995.
- [11] Reichle, E.: Einflussfaktoren für Aufwandswerte bei Schalarbeiten. Tiefbau 11/2002.
- [12] HALFEN GmbH & Co. KG, Langenfeld, Produktinformation.
- [13] Girmscheid, G.: Bauverfahren des Brückenbaus, Skript zur Vorlesung „Bauverfahren des Brückenbaus“ am Institut für Bauplanung und Baubetrieb der ETH Zürich, Zürich, 2004

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 11: Bauverfahren des Stahlbetonbaus - Armierungstechnik

Inhaltsverzeichnis

11	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Armierungstechnik	591
11.1	Armierungsdisposition.....	591
11.2	Durchführung der Armierungsarbeiten	592
11.3	Armierungsverlegekosten und Armierungskennwerte	593
11.4	Armierungsoptimierung.....	594
11.5	Fugen.....	599
11.5.1	Allgemein.....	599
11.5.2	Dilatationsfugen.....	600
11.5.3	Schwindfugen	600
11.5.4	Fugenabstände.....	602
11.5.5	Schwindbewehrung	603
11.5.6	Arbeitsfugen	603
	Literaturverzeichnis	605

11 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Armierungstechnik

11.1 Armierungsdisposition

Beim Entwurf der Bewehrung müssen folgende Punkte erfüllt und optimiert werden:

- Tragsicherheit → Gleichgewicht
- Gebrauchstauglichkeit → Verformungen
- Dauerhaftigkeit → Korrosionsschutz
- Ausführbarkeit → einfache, verlegbare Gestaltung

Klare Planungsgrundlagen sind die Basis für die Vorbereitung und Durchführung der Bewehrungsarbeiten durch den Unternehmer oder seinen Subunternehmer.

Das konstruktiv planende Ingenieurbüro sollte folgende Grundsätze zur wirtschaftlichen Gestaltung der Bewehrung beachten:

- Die Armierung sollte so einfach wie möglich konzipiert werden.
- Bewehrungsknotenpunkte müssen im Büro grossmassstäblich überprüft werden.
- Im Verlegeplan müssen Betonier- und Rüttelgassen berücksichtigt werden.
- Es sollte möglichst geringer Verschnitt anfallen.
- Keine Unzahl von Armierungsdurchmessern wählen.
- Durchmesser unter 10mm möglichst nicht verwenden (Gründe: Verlegeaufwand, Verbiegung der Körbe beim Verlegen)
- Möglichst vorkonfektionierte Armierungsgruppen bzw. Bewehrungskörbe verwenden.
- Bewehrungskörbe bzw. Armierungspakete auf Hebekapazität des Krans abstellen.
- Eisenlisten sollten zur Bestellung der Armierung gegenüber den Armierungsplänen einen zeitlichen Vorlauf von 3-4 Wochen haben.

11.2 Durchführung der Armierungsarbeiten

Je nach Objektgrösse, Objektart, Armierungsumfang muss geklärt werden, ob die Arbeiten durch **eigene Unternehmensequipen** oder durch **Unterakkordanten** (Eisenleger-Drittgruppen) ausgeführt werden sollen. Beides ist in Mitteleuropa und in der Schweiz üblich, wobei das Schwergewicht heute auf Unterakkordanten liegt.

Folgende Aspekte sollten berücksichtigt werden:

- **Kontinuität in der Verlegearbeit**

Diese ist oft recht schwierig zu erreichen, es sollten möglichst mehrere Betonieretappen gestaffelt angeordnet werden. Eisenleger-Equipen ziehen daher oft von Baustelle zu Baustelle. Engpässe lassen sich dabei nie ganz vermeiden. Für einen wechselnden Arbeitseinsatz sind Eisenlegerequipen von Unterakkordanten wesentlich flexibler als eigene Unternehmensequipen.

- **Hebegerät**

Eine geplante Einteilung der Arbeit für den Einsatz der Hebegeräte ist unumgänglich. Oft steht ein Kran für mehrere Arbeiten zur Verfügung, z.B. für Schalungsumstellung, Armierungseisentransporte, Betonieren, aber auch für den oft parallel laufenden Ausbau. Besonders während des Betonierens, das über Stunden oder fast einen vollen Tag dauern kann, sollte der Armierungstransport (d.h. das Bereitlegen der Pos.-Pakete) an die Randzeiten frühmorgens / mittags / abends gelegt werden. Bauführer und Polier haben diese Dispositionen zu treffen, um einen unterbrechungsfreien Arbeitsablauf zu gewährleisten.

11.3 Armierungsverlegekosten und Armierungskennwerte

Bei der Lieferdisposition wird darauf geachtet, dass die Armierungseisen nicht zwischengelagert werden müssen (unproduktive, nicht speziell vergütete Arbeit). Wenn möglich, disponiert man die Armierungslieferungen kurz vor dem Verlegen. Dann kann der Kran die gebogenen Eisen direkt vom LKW zur Verlegestelle transportieren.

Verlegekosten:

Aktivitäten	CHF/kg	
	Fixlang	Einfach bearbeitet
Lieferung franko Baustelle	-.66	-.66
Bearbeitung	-.06 bis -.12	-.13 bis -.60
Abladen, Lagerung Baustelle	-.20	-.20
Transport zum Verlegeort auf Baustelle (Kran)	-.15	-.15
Unterlagsklötze, Distanzhalter	-.05	-.05
Verlegearbeit	-.30	-.45
Werkkosten	1.42 bis 1.48	1.64 bis 2.11
Endzuschlag 30 %	-.43 bis -.44	-.49 bis -.46
Pos.-Preis	1.85 bis 1.92	2.13 bis 2.75

Bild 11-1: Armierungspreis – Liefern und Verlegen (in Fr./kg – Stand 1999))

Vorgefertigte Armierungskörbe sind im Ankauf teurer, gestatten jedoch ein rationelles Verlegen.

Verlegeleistung beim Armieren (Aufwandswerte):

0,9 - 1,4 Std./100 kg bei $> \varnothing 14$

1,8 - 2,5 Std./100 kg bei $< \varnothing 14$

Bei komplizierten Armierungsarbeiten mit dünnen \varnothing kann der Zeitbedarf bis auf 30 und mehr Stunden pro Tonne ansteigen, d.h. 3 - 4 Std./100 kg.

11.4 Armierungsoptimierung

Im Allgemeinen sind folgende Durchmesser lieferbar:

Einzelstäbe: \varnothing [mm] = 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 30, 34*, 40*

Netze: \varnothing [mm] = 3**, 4**, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14

* selten

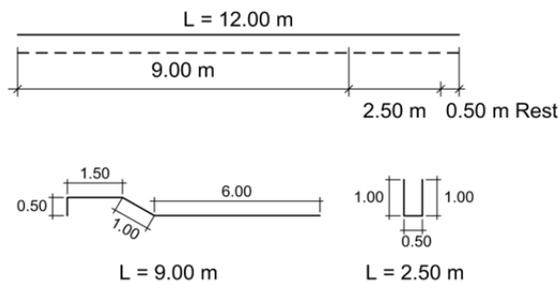
** nur für Sonderzwecke

Lagerlängen für Einzelstäbe sind 18 - 20 m.

Damit die Stäbe beim Verlegen eine ausreichende Eigensteifigkeit behalten, sollten die Stablängen maximal das Tausendfache des Durchmessers betragen. Um Schnittabfälle zu vermeiden, sollten die Lagerlängen möglichst ein ganzzahliges Vielfaches der Schnittlängen messen (Bild 11-2).

Ziel: - möglichst geringer Verschnitt

- einfache Biegeformen



⇒ Ziel: - einfache Biegeform

- möglichst geringer Verschnitt

Bild 11-2: Optimale Nutzung von Schnittlängen

Biegeformen sind so einfach wie möglich zu gestalten. Zwangslängen sind zu vermeiden (Masstoleranzen!).

Im Hinblick auf eine Rationalisierung ist die Beschränkung und Standardisierung der Biegeformen entsprechend der Empfehlung SIA 165 anzustreben.

Die Mindestbetondeckung für Stahlbetonbauteile ist, entsprechend ihrer Nutzung, in den einschlägigen Normen geregelt. Um diese auch während und nach dem Betonieren zu gewährleisten, werden zur Einhaltung der Mindestbetondeckung **Abstandshalter** zwischen äußerster Bewehrungslage und der Schalhaut eingebaut. Zu beachten ist, dass sich die minimale Betondeckung nicht am Ort des eingebauten Abstandshalters sondern, aufgrund des Durchhangs der Bewehrung, im Bereich zwischen den Abstandshaltern einstellt (Bild 11-3). Zwischen den einzelnen Bewehrungslagen wird der planmäßige Abstand durch **Abstandsbügel** sichergestellt (Bild 11-4).

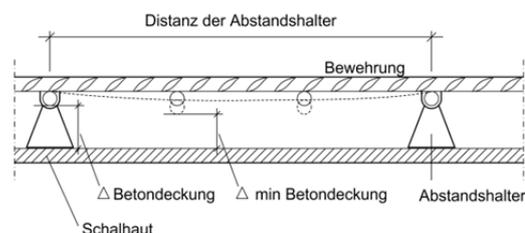


Bild 11-3: Abstandhalter und minimale Betonüberdeckung

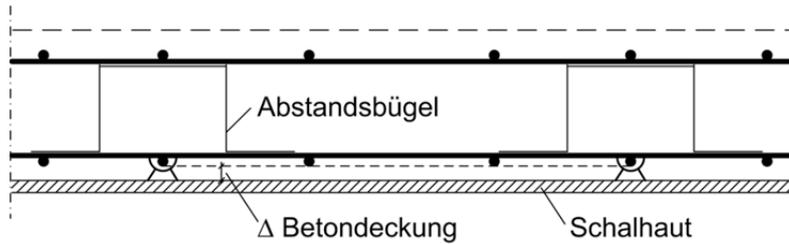


Bild 11-4: Abstandhalter und Betondeckung

Um die hohen Lohnkosten in wirtschaftlichen Grenzen zu halten, ist eine Minimierung des Verlegeaufwands anzustreben. Insbesondere bei kleinen Durchmessern bietet sich deshalb die Verwendung von vorgefertigten Bewehrungselementen an, z.B. Netzen, die sich vor allem für flächenhafte Bauteile eignen, aber auch Distanz- und Anschlusskörben oder Spezialarmierungen (bei grösseren Stückzahlen).

Anschlüsse mit vorgefertigten Armierungsböcken:

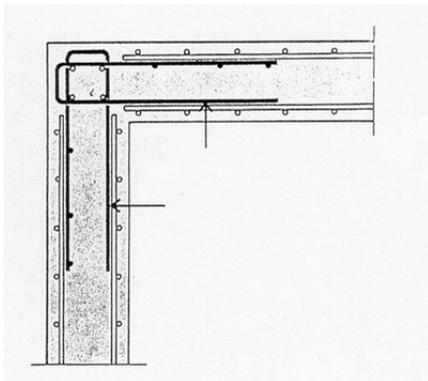


Bild 11-5: Armierungsbock Deckenanschluss

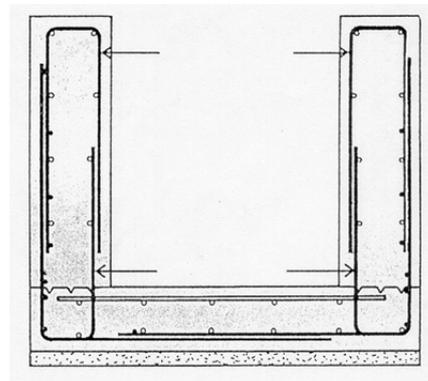


Bild 11-6: Armierungsbock vertikal

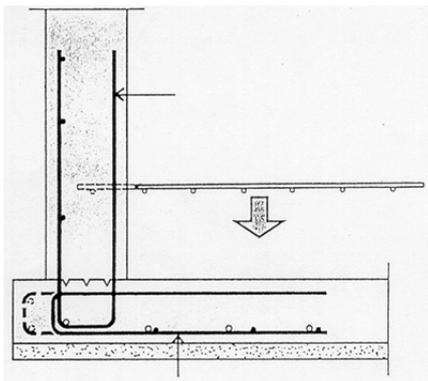


Bild 11-7: Armierungsbock Fundament

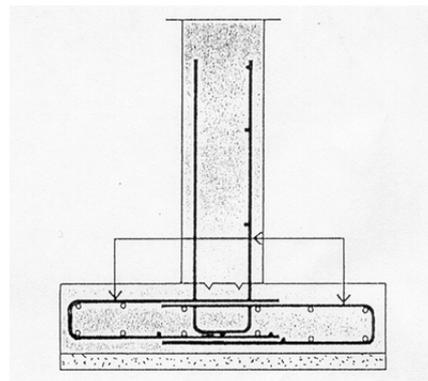


Bild 11-8: Armierungsbock Fundament horizontal

Distanzkörbe:

mit Kunststofffuss

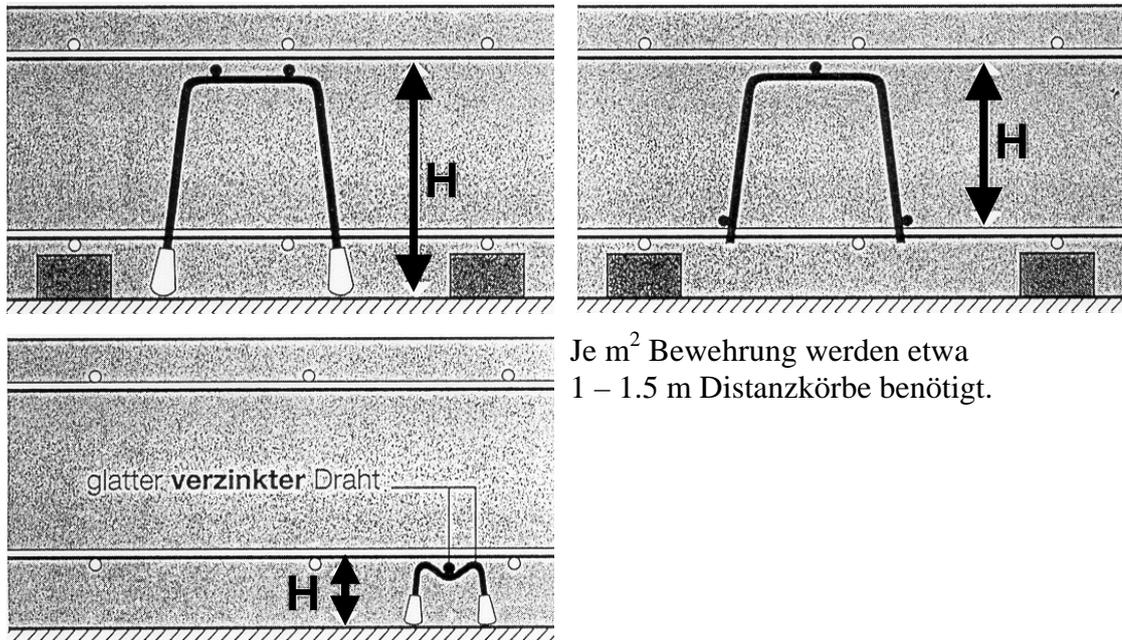
auf der Schalung stehend

Die betongrauen Kunststofffüsse verhindern die Bildung von Roststellen auf der abgeschalteten Sichtbetonoberfläche.

ohne Kunststofffuss

auf der unteren Bewehrung liegend

Kann auch in Wänden zur Sicherung der inneren und äusseren Bewehrung verwendet werden.



Je m² Bewehrung werden etwa 1 – 1.5 m Distanzkörbe benötigt.

Bild 11-9: Distanzkorb mit Höhe H

Hohe Bewehrungsgrade erfordern zur korrekten Umsetzung der geplanten Bewehrung auf der Baustelle zusätzliche Bewehrungsverlegeanweisungen. Diese beinhalten massstäbliche Detailzeichnungen der kritischen Bereiche, wie z.B. Kreuzungspunkte von Unterzügen oder Kreuzungspunkte von Unterzügen mit Stützen, sowie insbesondere die Darstellung von Bewehrungsstößen in hochbewehrten mehrlagigen Bereichen. Zusätzlich sollten auch die Betonier- und Rüttelgassen ersichtlich sein (Bild 11-10).

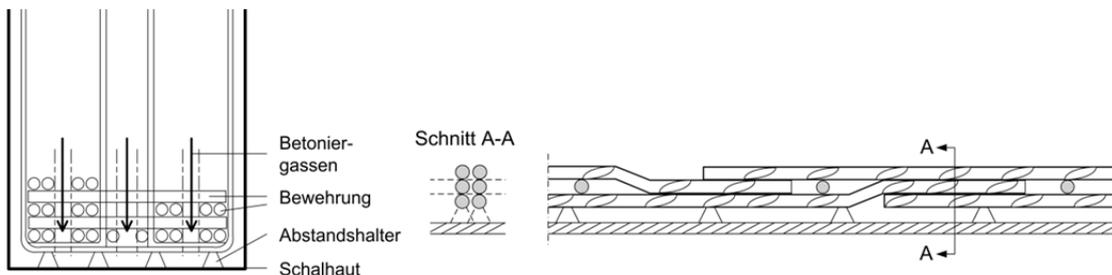


Bild 11-10: Gute Bewehrungsverlegeanweisung im Bewehrungsplan bei sehr dichter Bewehrung

Bewehrungsstösse sind aus folgenden Gründen unvermeidbar:

- beschränkte Lieferlängen
- Berücksichtigung des Arbeitsablaufs (Betonierfugen)
- praktisches Verlegen der Bewehrung

- Vermeidung von komplizierten Biegeformen
- Vermeidung von Zwangslängen

Stöße sollten in Bereichen mit geringer Zugbeanspruchung (oder in Druckbereichen) angeordnet werden.

Stäbe in möglichst kleinem Abstand ($< 4 \varnothing$) aber ohne Berührung (wegen Verbund mit Beton) nebeneinander legen; auf gute Querbewehrung (Bügel, Querstäbe) im Bereich der Stöße achten.

Wenn mehrere parallel laufende Eisen zu stossen sind, Überlappungsbereiche wenn möglich in Längsrichtung versetzen; ausreichend Platz vorsehen (massstäbliche Skizzen).

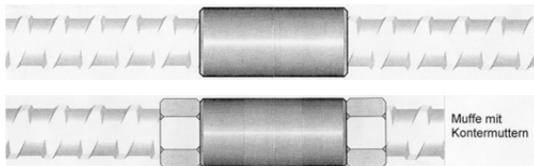


Bild 11-11: Schraubmuffen [2]



Bild 11-12: Schnitt durch eine Pressmuffe [2]



Bild 11-13: Schnitt durch eine konische Pressgewindemuffe [3]

Beispiel: Deckenanschluss mit Schraubmuffenstoss

Bei vorauseilender Herstellung von Geschosswänden, Wandscheiben und Kernen, wie es beim Einsatz von Kletterschalungen bei Gebäudekernen vorkommt, sind für den späteren Anschluss der Deckenbewehrung Vorkehrungen zu treffen. Eine häufig angewandte Möglichkeit ist der Einsatz von Schraubmuffen (Bild 11-14 und Bild 11-15). Hierbei werden die Schraubmuffen an der späteren Anschlussstelle vor dem Betonieren der Wand verwahrt (d. h. die Muffen werden durch Stopfen verschlossen). Nach dem Ausschalen werden diese entfernt und die Deckenbewehrung eingeschraubt.

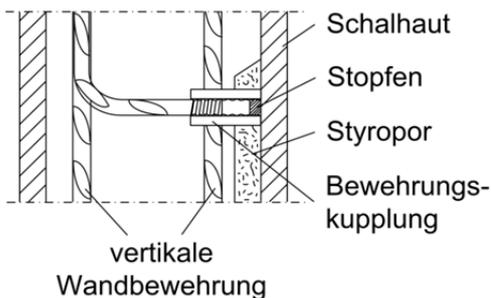


Bild 11-14: Deckenanschluss mit Schraubenmuffenstoss: Bauzustand - Schachtherstellung

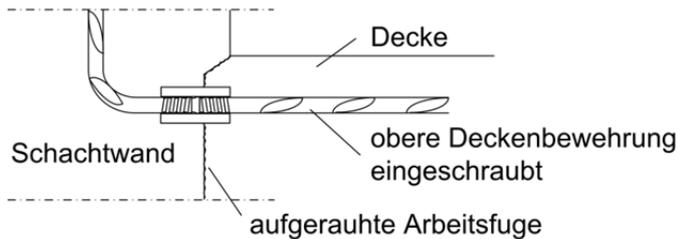


Bild 11-15: Deckenanschluss mit Schraubenmuffenstoss: Bauzustand - Deckenherstellung

Beispiel: Gestossene Wandbewehrung

Wird die vertikale Wandbewehrung durchgehend über mehrere Geschosse geführt sind die Bewehrungsstösse versetzt anzuordnen (Bild 11-16). Die Stösse können als Überlappungs-, Schraubmuffen- oder Pressmuffenstösse ausgeführt werden.

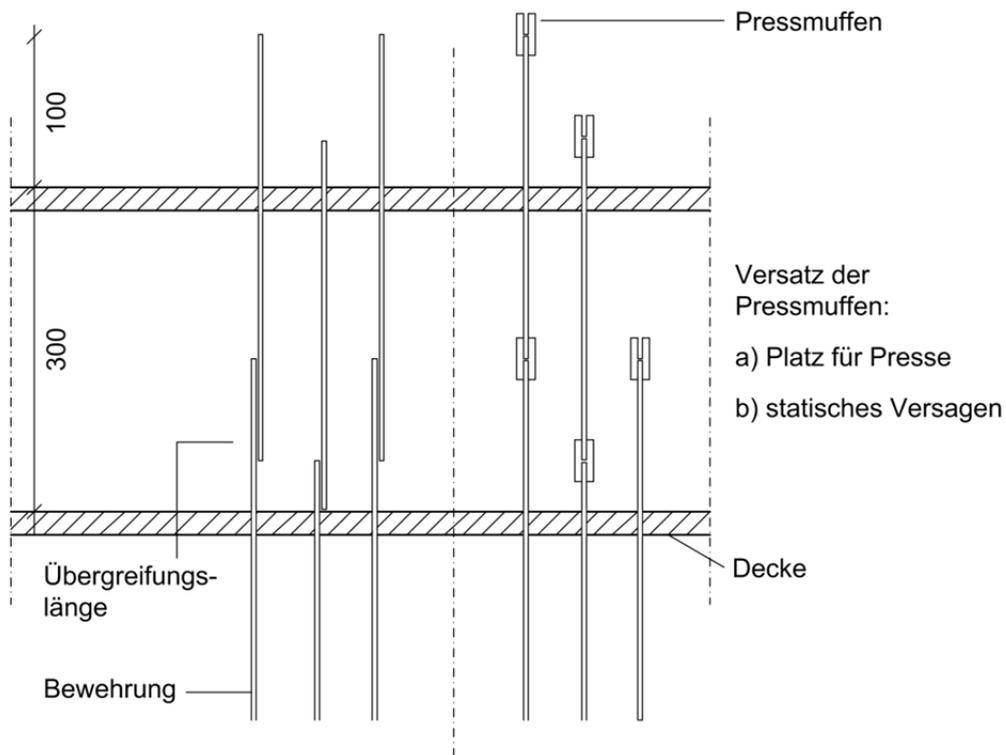


Bild 11-16: Wandpressmuffenstösse der Bewehrung

Risse bedeuten, neben der ästhetischen Beeinträchtigung, eine Verminderung des Korrosionsschutzes. Deshalb werden die Rissweiten beschränkt. Für eine normale Umgebung sind dies im Dauerzustand:

$w \approx 0.15$ mm für der Witterung ausgesetzte Bauteile

$w \approx 0.20 - 0.30$ mm für der Witterung entzogene Bauteile

In aggressiver Umgebung sind geringere Werte oder gar keine Risse zugelassen.

Eine gleichmässige Risseverteilung mit minimalen Rissweiten kann durch eine gut verteilte Bewehrung mit vielen dünnen Stäben erreicht werden. Wenige dicke Stäbe ergeben grosse Rissabstände und Rissweiten.

11.5 Fugen

11.5.1 Allgemein

Im Stahlbetonbau besteht, bedingt durch den Abbindeprozess, der aufgrund der Hydratation (Bild 11-17) erst zu einer Erwärmung und dann zu einer Abkühlung des Bauteils führt, stets die Tendenz zu (vorwiegend horizontalen) Formänderungen und entsprechenden Bewegungen. Bei Behinderung derselben entstehen Zwangsbeanspruchungen, die zu Schäden - insbesondere Rissen - und damit zu einer Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit führen können.

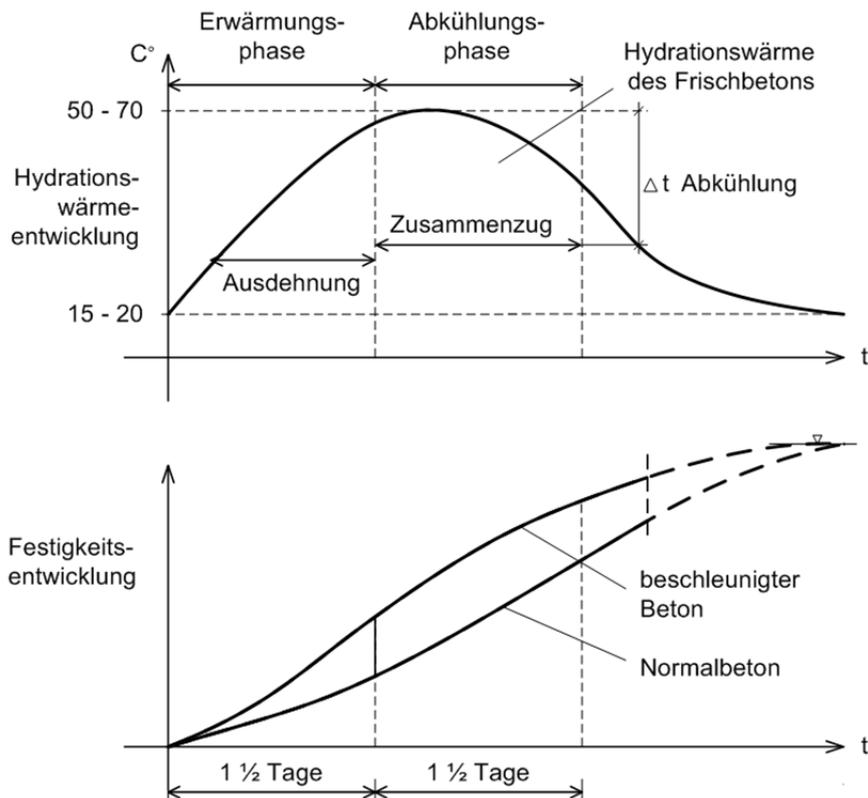


Bild 11-17: Hydrationswärme und Festigkeitsentwicklung beim Abbindeprozess

Ursachen der Formänderungen:

- Schwinden: $\sim 0.15\text{ ‰}$ (nasse Umgebung) bis $\sim 0.4\text{ ‰}$ (trockene Umgebung)
- Temperaturänderungen: $0.01\text{ ‰} / ^\circ\text{C}$
- Vorspannung: elastisch und infolge Kriechens
- Setzungsdifferenzen

Bild 11-18 zeigt eine frisch, auf ein altes Fundament, betonierte Wand. Dabei kommt es infolge behinderter Formänderung (Dehnung, Schrumpfung) und ungenügender Bewehrung (Rissbewehrung) zu einem dafür typischen Schadensbild – Schrumpfrisse ausgehend von der Kontaktfuge zwischen altem Fundament und neuer Wand.

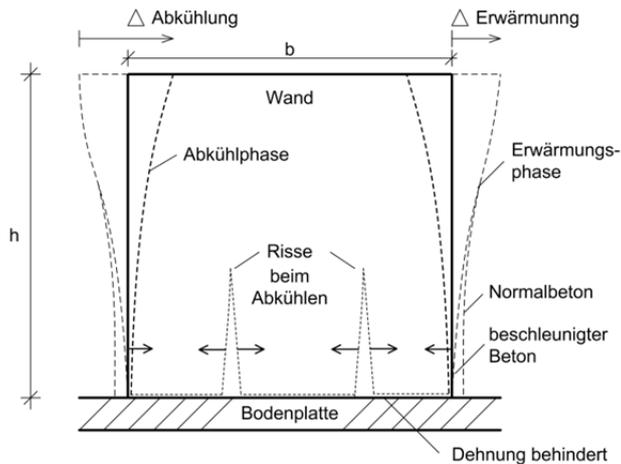


Bild 11-18: Dehnung einer Wand beim Abbindeprozess

Dem kann durch die zweckmässige Anordnung von Arbeitsfugen, Dilatationsfugen, Schwindfugen und/oder einer Bewehrung zur Rissesicherung und -verteilung entgegengewirkt werden.

11.5.2 Dilatationsfugen

Dilatationsfugen sind permanente Fugen durch Trennung (Beton und Bewehrung) von zwei Bauwerksabschnitten, um gegenseitige Bewegungen zu ermöglichen. Die Abschnitte werden in der Regel zeitlich getrennt betoniert. Sie sind insbesondere dann anzuordnen, wenn neben Verkürzungen infolge Schwindens auch erhebliche Bauwerksverformungen infolge Temperatur zu erwarten sind (z.B. bei Brücken).

Dilatationsfugen beginnen in der Regel oberhalb der Fundation und werden durch das ganze Bauwerk durchgeführt.

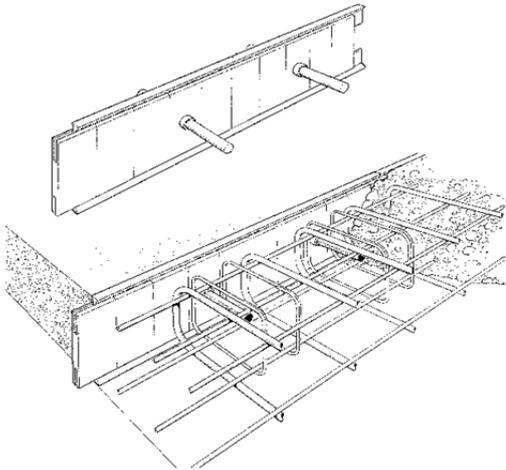


Bild 11-19: Dilatationsfuge [1]

11.5.3 Schwindfugen

In vielen Fällen lässt sich die Zwangsbeanspruchung infolge behinderter Schwindverkürzung mit Hilfe so genannter Schwindfugen reduzieren. Man unterscheidet:

- **Temporäre Schwindfugen:** Provisorische Fugen, die man während der Bauzeit möglichst lange offen hält, um den Beton zwangungsfrei schwinden zu lassen; anschliessend kraftschlüssige Verbindung durch Ausbetonieren der Öffnung.

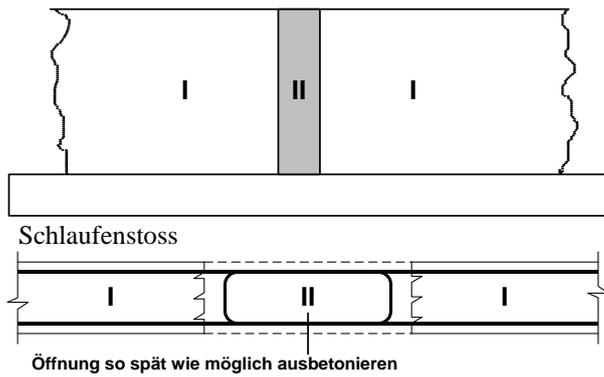


Bild 11-20: Provisorische Fuge

- **Scheinfugen** können bei geringer durchgehender Bewehrung ($<$ Mindestbewehrung) oder bei nicht bewehrten Betonplatten bzw. -wänden vorgesehen werden. Durch Einbau von Holzleisten (und eventuell Hohlräumen) vor dem Betonieren oder durch Fräsen eines Schlitzes nach dem Betonieren wird der Querschnittswiderstand geschwächt. Ein eventueller Riss entsteht an der Stelle des geringsten Widerstands, d.h. entlang der QS-Schwächung. Dank der vertieften Nut bleibt dieser Riss relativ unauffällig. Die Nut kann mit Fugenverfüllmasse abgedichtet werden.
- **Scheinfugen** mit innerer Aussparung werden bei stark bewehrten, durchgehenden Wänden grosser Wandstärke, z.B. Brückenwiderlagerwände verwendet (Bild 11-21 und Bild 11-22)

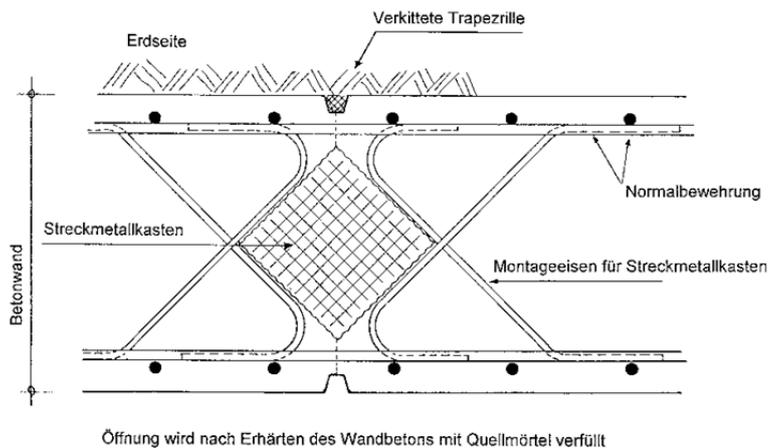


Bild 11-21: Schwindfuge mit Streckmetallkasten

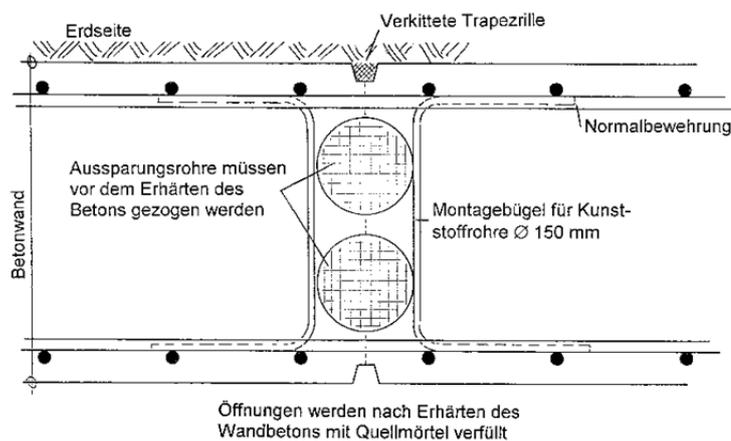


Bild 11-22: Schwindfuge mit Aussparungsrohr

11.5.4 Fugenabstände

Die Wahl der Fugenabstände ist vielfach Ermessens- und Erfahrungssache, wird aber durch folgende Kriterien beeinflusst:

- Mass der Behinderung

Durch steife Stützen (oder Wände) werden Verkürzungen des Riegels bzw. der Decke stark behindert, was hohe Zwangsbeanspruchungen zur Folge hat. Dasselbe gilt für Skelettbauten mit weit auseinander liegenden aussteifenden Kernen, durch die die Verkürzung der Decke behindert wird.

⇒ Kleinere Fugenabstände sind nötig bei steifen Systemen

Auf der andern Seite ist es möglich, dass weiche Stützen die Verformung des Riegels mitmachen und eventuell keine Fugen nötig sind.

- Nachbehandlung des Betons

Durch gute Nachbehandlung des Betons wird vor allem das anfängliche Schwinden stark reduziert. Der „Wettlauf“ zwischen Entstehen der Zugspannungen durch Schwinden und dem Entwickeln ausreichender Zugfestigkeit kann z.B. durch Schutz des Betons gegen rasches Austrocknen (Abdecken frisch betonierter Bauteile durch Isolationsmatten, langes Feuchthalten usw.) zugunsten der Zugfestigkeit beeinflusst werden.

⇒ Grössere Fugenabstände sind möglich, falls der Beton gegen rasches Austrocknen geschützt wird.

Förderung einer hohen Frühfestigkeit durch geeignete Zemente oder Zusatzmittel

⇒ Grössere Fugenabstände möglich

Grobe Richtwerte für die Abstände von Dilatationsfugen in Hochbauten sind:

Behinderung:		gross	gering
Stützmauern:	nicht bewehrt	~3m	~5m
	mit Mindestbewehrung	~5m	~8m
Wände:	mit Mindestbewehrung	~10m	~20m
Balkonplatten: massive Brüstungen		~5m	~8
Flachdächer:	wärmeisoliert	~10m	~20m
	nicht isoliert	~5m	~10m
Fundamentplatten:	schwach bewehrt	~15m	~30m
	mit Mindestbewehrung	oft keine	Fugen
Ganze Hochbauten:		~10m	~30m

Bild 11-23: Richtwerte für die Abstände von Dilatationsfugen in Hochbauten

Die zusätzliche Anordnung von Schwindfugen und/oder eine günstige Lagerung der Bauteile (z.B. Brücken: nahezu völlige Beseitigung der Behinderung durch Rollen- oder Gleitlager) ermöglichen unter Umständen erheblich grössere Abstände der Dilatationsfugen.

11.5.5 Schwindbewehrung

Als Alternative zur Anordnung von Schwind- und Dilatationsfugen können die Verformungen durch eine sehr sorgfältig bemessene und konstruierte Mindestbewehrung auf viele dünne Risse in kleinen Abständen verteilt werden (Vorsicht vor allem im Bereich von Deckenaussparungen, vgl. SIA 162 Fig. 19).

Nach SIA 162 (3 33 4) gilt für die Mindestbewehrung von Platten und Wänden von weniger als 1m Dicke und bei normalen Anforderungen:

$$A_{s,\min} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot f_{ct} \cdot A_{ct}}{f_y}$$

11.5.6 Arbeitsfugen

Falls Arbeitsfugen in momentenbeanspruchten Bauteilen (Stützen, Träger oder Plattentragwerken) nicht zu vermeiden sind, so sollten sie nahe dem Momentennullpunkt angeordnet werden (Bild 11-24). Die optimale Lage der Arbeitsfuge befindet sich ca. 0.5 mal der Übergreifungslänge vor dem Momentennullpunkt.

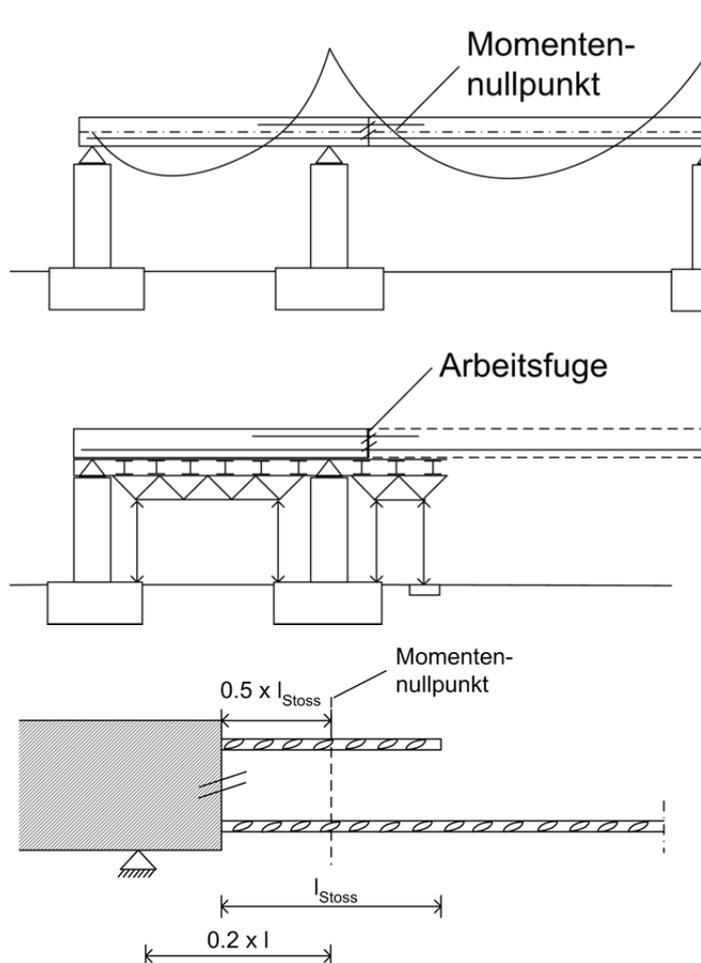


Bild 11-24: Momentenverteilung - Arbeitsfugenanordnung

In den Arbeitsfugen muss für einen ausreichend festen und dichten Zusammenschluss der Betonschichten gesorgt werden. Die Anschlussflächen sollen in der Regel möglichst rau gehalten werden, indem sie durch spezielle Behandlung der Oberfläche als Waschbeton ausgebildet werden. Der junge, noch nicht genügend erhärtete Beton darf

bei Arbeitsfugen nicht mit Schlag- oder Spitzwerkzeugen aufgeraut werden, weil dadurch das Gefüge an der Kontaktfläche zerstört wird. In speziellen Fällen kann eine Verzahnung der Anschlussflächen vorgesehen werden. Streckmetall soll nur in Ausnahmefällen als Abschalung verwendet werden und ist wieder zu entfernen.

Verunreinigungen, Zementschlamm und nicht einwandfreier Beton sind vor dem Weiterbetonieren zu entfernen.

Trockener älterer Beton ist vor dem Anbetonieren mehrere Tage feucht zu halten, um das Schwindgefälle zwischen jungem und altem Beton gering zu halten und um weitgehend zu verhindern, dass dem jungen Beton Wasser entzogen wird. Zum Zeitpunkt des Anbetonierens muss die Oberfläche des älteren Betons jedoch etwas abgetrocknet sein, damit sich der Zementleim des neu eingebrachten Betons mit dem älteren Beton gut verbinden kann.

Das Temperaturgefälle zwischen altem und neuem Beton kann dadurch gering gehalten werden, dass der alte Beton warm gehalten oder der neue gekühlt eingebracht wird.

Bei Bauwerken aus wasserundurchlässigem Beton sind auch die Arbeitsfugen wasserundurchlässig auszubilden (Bild 11-25).

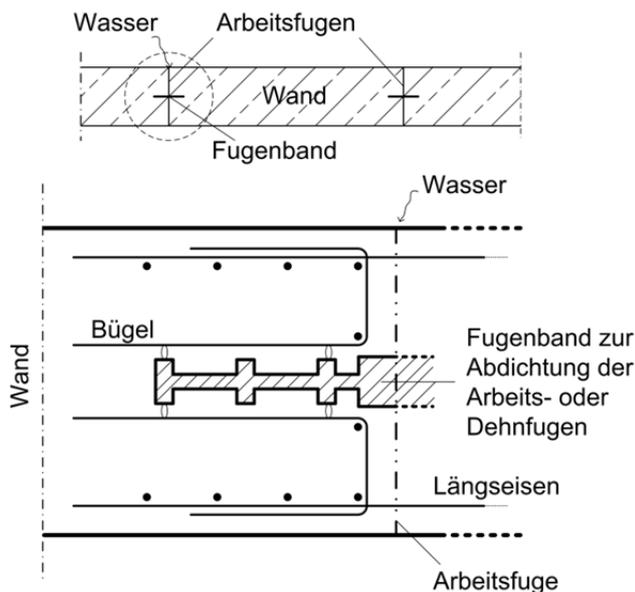


Bild 11-25: Fugenband

Sinngemäß gelten diese Regeln auch für ungewollte Arbeitsfugen, die z.B. durch Witterungseinflüsse oder Maschinenausfall entstehen.

Literaturverzeichnis

- [1] SFS Stadler Heerbrugg AG (CH), Produktinformation.
- [2] Allspann Allgemeine Spannbeton GmbH, Puchheim (D), Produktinformation.
- [3] SWIF AG Hinwil (CH), Produktinformation.

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 12: Bauverfahren des Stahlbetonbaus - Betonherstellungs- und -verarbeitungsprozess

Inhaltsverzeichnis

12 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Betonherstellungs- und – verarbeitungsprozess	613
12.1 Betonherstellung	613
12.1.1 Grundlagen.....	613
12.1.2 Beton-Herstellung.....	614
12.1.3 Geräte zur Betonherstellung.....	616
12.1.4 Betonmischanlagen	622
12.1.5 Entscheidungskriterien für den Ort der Betonherstellung	628
12.2 Betonverarbeitung.....	630
12.2.1 Transport zum Bauwerk	630
12.2.2 Geräte zur Förderung des Betons zur Einbaustelle.....	630
12.2.3 Verdichten von Beton	639
12.2.4 Festigkeitsentwicklung und Ausschalfristen	649
12.2.5 Nachbehandlung des Betons	650
12.2.6 Vakuumbeton	650
12.2.7 Unterwasserbeton	651
Literaturverzeichnis	659

12 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Betonherstellungs- und –verarbeitungsprozess

Der Ablaufprozess der Betonherstellung und Betonverarbeitung ist in Bild 12-1 dargestellt.

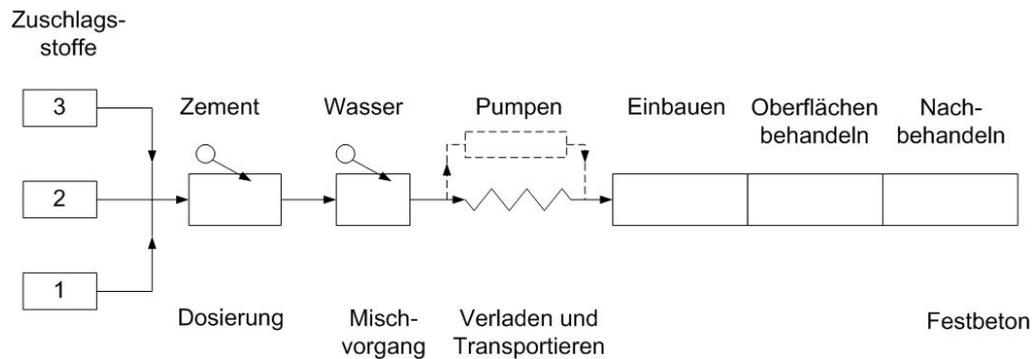


Bild 12-1: Ablaufprozesse der Betonherstellung und Betonverarbeitung

Dabei werden der Betonherstellungsprozess im Kapitel 11.1 und der Betonverarbeitungsprozess im Kapitel 11.2 betrachtet.

12.1 Betonherstellung

12.1.1 Grundlagen

Für den Baustoff Beton bestehen in der Schweiz wie in den meisten Ländern Vorschriften und Normen:

- SIA Norm 162, Betonbauten (Ausgabe 1989/1993)
- SIA-Norm 220, Betonbauten, Leistungen und Ausmass (Ausgabe 1992)

Es wird bezüglich der Zuschlagstoffe-Kornverteilung eines Betons nach EMPA und Fuller ein Spektrum angegeben, wie das Kies/Sandgemisch zusammengesetzt sein soll (Bild 12-2).

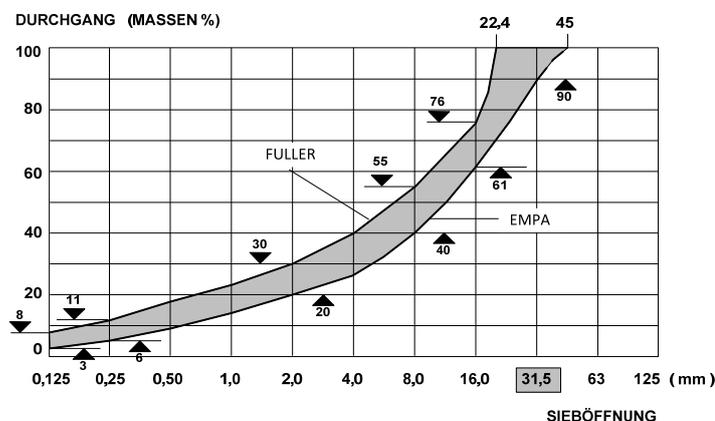


Bild 12-2: Kornverteilungskurve vgl. [1]

Oft werden bei umfangreichen oder speziellen Bauprojekten, seitens des Bauherrn resp. seinem beauftragten Planer, zusätzliche Spezifikationen zum Thema "Beton" in den Allgemeinen oder speziellen Vertragsbedingungen zum Bauprojekt, die Werkvertragsbestandteil werden, eingefügt.

12.1.2 Beton-Herstellung

Für die Belieferung der Baustelle mit Beton ergeben sich zwei Möglichkeiten:

- Herstellung auf der Baustelle

Errichten einer Betonmischanlage für die Dauer der Bauzeit auf der Baustelle. Herstellung des eigenen Betonbedarfs über die ganze Bauzeit. Eventuell auch ergänzend Lieferung an Dritte. Damit wird die Flexibilität für die Baustelle erhöht und Unabhängig von Transportengpässen oder Verkehrsstaus. Die Anlieferung von Zement und Zuschlagstoffen kann unabhängig von der Betonherstellung in verkehrsarmen Zeiten erfolgen.

Beispiel: - ETH-Hönggerberg Chemiegebäude Ausbaustufe II und III

- Herstellung im Fertigbetonwerk

Die Lieferung des Frisch- bzw. Fertigbetons auf die Baustelle erfolgt aus einer baustellenunabhängigen Betonmischanlage mit festem Standort. Diese Anlagen sind in modernster Bauart mit EDV-gesteuertem kundenspezifischem Produktionsprogramm ausgerüstet für kleine und grosse Mengen und für ein breites Anwendungsspektrum.

Das Prinzip der Betonherstellung in einer Betonanlage wird in Bild 12-3 dargestellt.

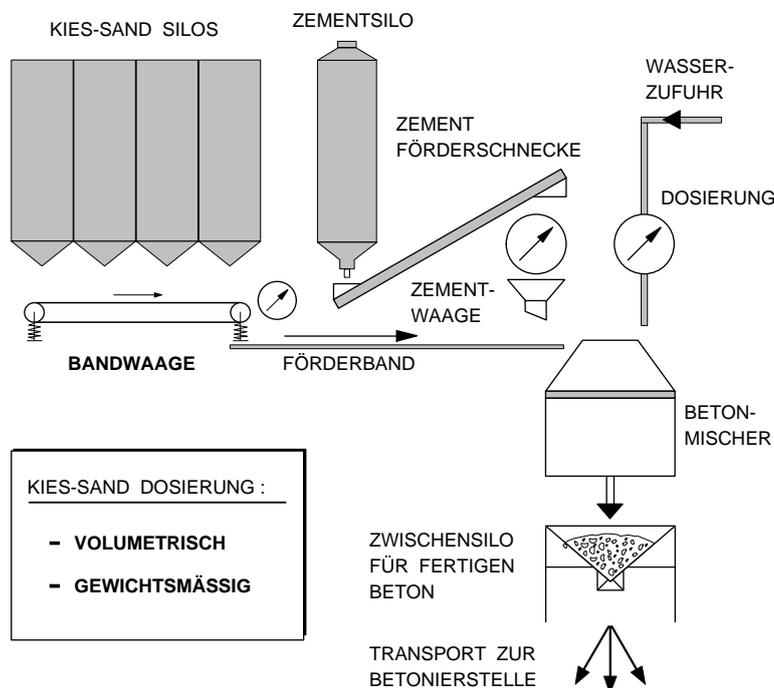


Bild 12-3: Übersicht / Prinzip der Betonherstellung

Die Betriebselemente einer modernen Betonanlage sind in Bild 12-4 dargestellt.

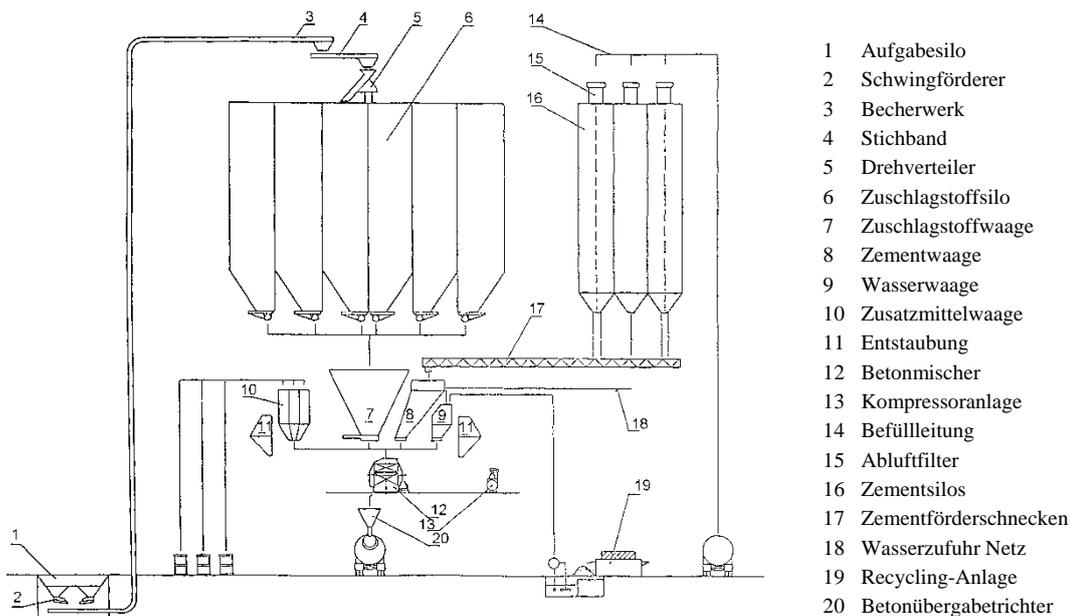


Bild 12-4: Übersicht über die Funktionsmodule einer Betonanlage

Die Zuschläge werden meist in getrennten Silos vorgehalten, die Kornfraktionsstufung ist oft: 0-3 / 3-6 / 6-16 / 16-32 mm. Diese fraktionierten Zuschläge werden gewichtsmässig dem Betonmischer pro Charge zugeführt. Der Zement wird entsprechend der Betongüte gewichtsmässig aus dem Zementsilo zugeführt.

		B 20/10	B 25/15	B 30/20	B 35/25
ZEMENT	kg	200	250	300	350
W/Z VORGABE		0,48	0,47	0,46	0,45
WASSER	Lit.	96	117	138	157
ZUSCHLAG TROCKEN	kg / m ³	2224	2126	2027	1935
TOTAL BETON	kg / m ³	2522	2493	2465	2442
KORN mm	GEWICHT % *				
0 - 3	25,00	556 kg	531 kg	507 kg	484 kg
3 - 6	12,00	267 kg	255 kg	243 kg	232 kg
6 - 16	29,00	645 kg	616 kg	587 kg	561 kg
16 - 32	34,00	756 kg	723 kg	689 kg	678 kg
1. KORREKTUR ÜBER EIGENFEUCHTE					
EIGENFEUCHTE		2 %	2 %	2 %	2 %
H ₂ O IN KORN 0 - 3	Lit.	11	10	10	9
ZUGABE WASSER	Lit.	85	107	128	148
ZUSCHLAG FEUCHT	kg/m ³	2235	2136	2037	1945

* MITTELWERT FULLER /EMPA
DICHTE ZEMENT = 3,1 kg/l DICHTE ZUSCHLAG = 2,65 kg/l

Bild 12-5: Betonherstellung mit Korn 0-32 mm

Neben der Herstellung des Betons aus Einzelkomponenten wird recht häufig auf mittleren oder kleineren Baustellen mit vorgemischtem Kies-Sandgemisch gearbeitet.

Die Leistungsfähigkeit einer Betonanlage muss auf die auszuführenden Arbeiten unter Berücksichtigung einer gewissen Reservekapazität abgestimmt werden.

Beispiel:

Es sind in 8 Arbeitsstunden 175 m³ Beton einzubringen. Es ist dies die grösste Beto-
netappe des ganzen Bauwerkes. Die theoretische Stundenleistung ermittelt sich zu
22 m³. Die Betonanlage ist unter Einbezug der Reserve auf min. 25 – 30 m³ Std. aus-
zulegen.

12.1.3 Geräte zur Betonherstellung

12.1.3.1 Betonmischer

Die eingesetzten Betonmischer arbeiten chargenweise. Eine gleichbleibende Beton-
qualität lässt sich nur bei guter Durchmischung des Mischgutes erhalten. Dafür werden
Betonmischer verwendet, die folgende Anforderungen erfüllen müssen:

- intensive Durchmischung der Zuschlagskörnungen untereinander
- gleichmässige Verteilung von Zement und Wasser
- einwandfreie Vermischung (auch mengenmässig) kleinster Zuschlagstoffe
- Verhinderung von Nester- und Klumpenbildung

Die Betonmischer können nach Bauarten unterschieden werden:

- Trommelmischer (Freifallmischer) – unstetig / Chargen mischen
- Zwangsmischer (I) – zyklisch arbeitende Mischer – unstetig / Chargen mischen
- Zwangsmischer (II) – stetig mischen

Die Einteilung der Betonmischer nach Mischverfahren und Verfahrensgruppen ist in
Bild 12-6 dargestellt.

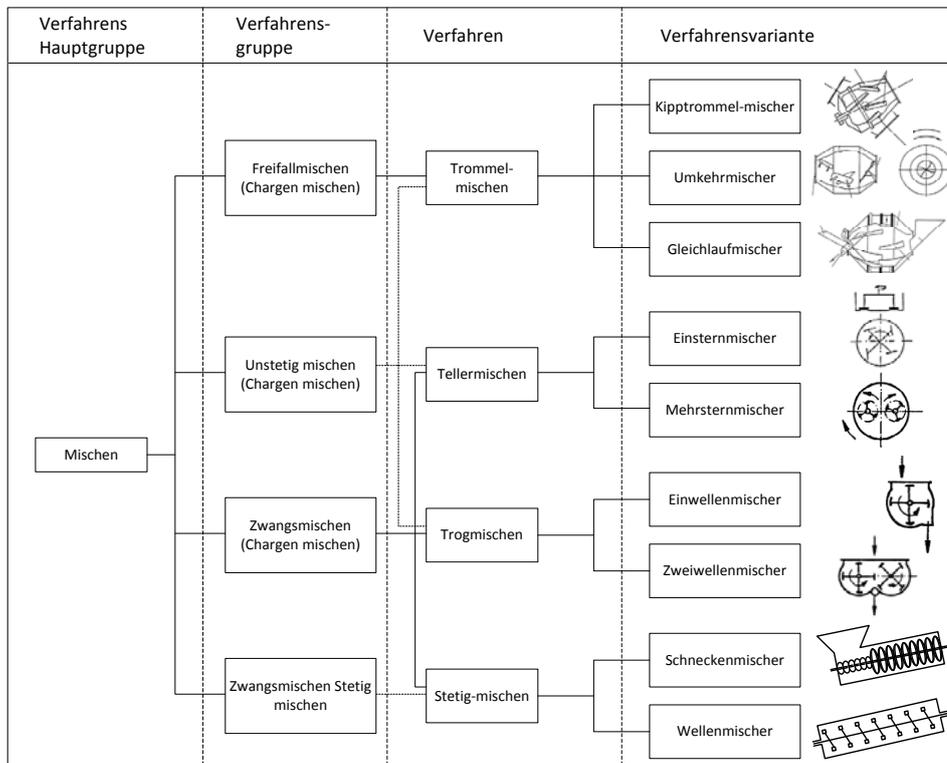


Bild 12-6: Betonmischersysteme nach [2]

Trommelmischer:

Beim Trommelmischer (Bild 12-7), früher auch Freifallmischer genannt, wird eine Mischtrommel über Reibradgetriebe oder Zahnradgetriebe gedreht. Im Trommelinnern sind spiralförmige Leitbleche fest angeordnet. Die Füllung erfolgt über die offene Stirnseite (mit Hand oder Aufzugskübel) oder mittels einer Leitschurre. Die Durchmischung erfolgt mit Mischblechen, die einen Teil der Mischung aufnehmen und wieder fallen lassen. Trommelmischer sind schnell einsatzbereit, leicht zu reinigen und preisgünstig in der Anschaffung.

Die Leistungen sind wie folgt:

250 - 280 l	Fertigbeton	6,2 - 7,0 m ³ /h	(25 Spiele)
340 - 400 l	Fertigbeton	8,5 - 10,0 m ³ /h	(25 Spiele)
400 - 550 l	Fertigbeton	10,0 - 13,7 m ³ /h	(25 Spiele)

Die Mischzeiten betragen pro Charge ca. 2 Min.

Diese Freifallmischer kommen zum Einsatz mit:

- Schrappanlage / gemischte Komponenten
- Schrappanlage / getrennte Komponenten
- als Stern geordnet
- Silo / gemischte Komponenten
- ev. Silo / getrennte Komponenten

Folgende Trommelmischer-Gerätetypen sind üblich:

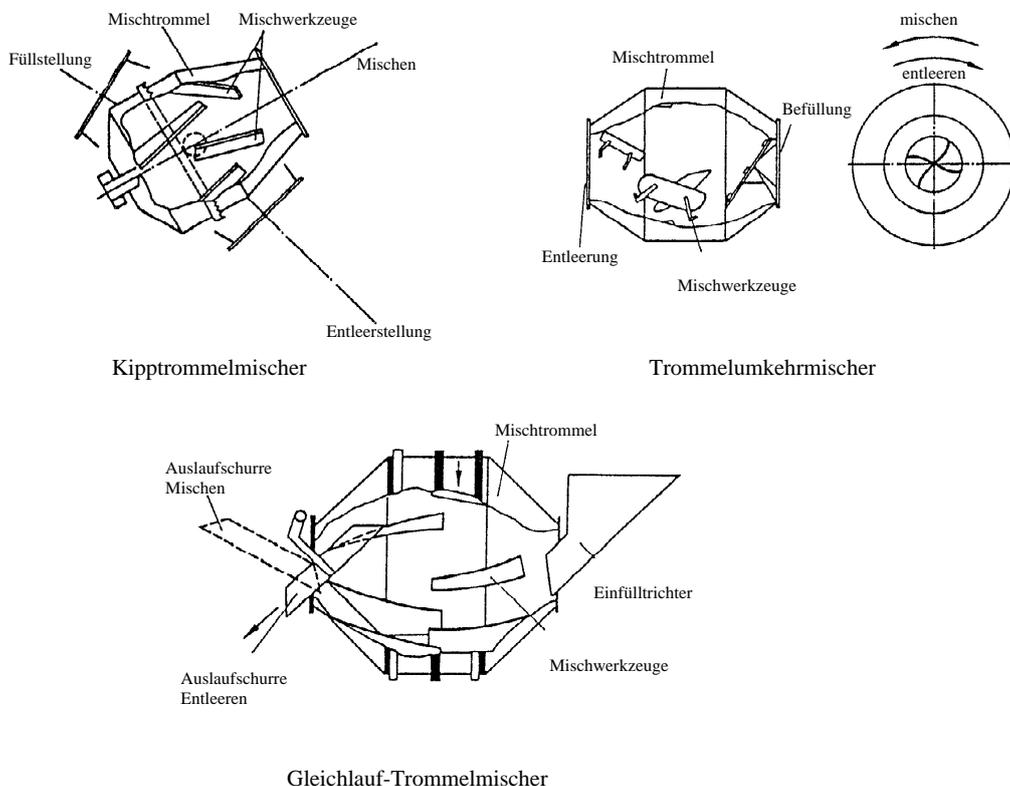


Bild 12-7: Trommelmischersysteme (Freifallmischer) [4]

- **Kipptrommelmischer:**

Sie haben nur eine Trommelöffnung durch die die Beschickung und die Entleerung erfolgt. Sie arbeiten stets mit gleicher Drehrichtung. Beim Beschicken liegt die Trommelöffnung oben, beim Entleeren wird sie nach unten gekippt. Die übliche Trommelgrösse geht bis 300 Liter. Für hochwertige Betone über B25 ist ein Trommelmischer nicht erlaubt.

- **Umkehrmischer:**

Er arbeitet mit waagrechter Trommel, die eine Einlauf- und eine Auslauföffnung hat. Die Trommel wird meistens über einen Beschickungsaufzug (indirekt) gefüllt. Die Durchmischung erfolgt durch Drehen der Trommel, das Entleeren durch Umkehr der Drehrichtung. In der Grösse von 200 l bis 750 l Trommelinhalt sind Umkehrmischer am meisten verbreitet. Bei grösseren Trommelinhalten werden die erforderlichen Anlauf- und Bremskräfte zu gross.

- **Gleichlaufmischer:**

Ebenso wie beim Umkehrmischer gibt es auch hier zwei Öffnungen. Die Entleerung der Trommel erfolgt unter Beibehaltung der Drehrichtung durch das Einführen einer Auslaufschurre.

Man kann die Trommelmischer weiter unterscheiden in:

- **Kleinmischer**

Man verwendet diese fahrbaren Kipptrommelmischer nahezu auf allen Baustellen, um kleine Mengen an Beton oder Mörtel herzustellen. Der Antrieb erfolgt in der Regel mittels Elektromotor. Mischgefässinhalt 125-350 l.

- **Fahrbare Mischer**

Sie sind heute fast ausschliesslich gummibereift und werden bis 250 l als einachsige und bis über 1.000 l als zweiachsige Fahrzeuge gebaut. Die Beschickung erfolgt über Schrapper und Aufzugskübel, wobei für den Aufzug ein Getriebe oder ein separater Antrieb vorgesehen ist.

Zwangsmischer:

Zwangsmischer (Bild 12-8) haben einen oben offenen Mischbehälter, in den das Mischgut meist mit Beschickungsaufzug eingefüllt wird. Die Durchmischung erfolgt am häufigsten mit feststehenden Mischtellern mit darin rotierendem Mischwerkzeug. Bei entgegen dem Mischwerkzeug drehenden Mischtellern kann das zwangsweise Mischen noch verstärkt werden. Der Zwangsmischer wirkt intensiver als ein Freifallmischer, eignet sich besonders für sandreiche und relativ trockene Mischungen und muss für hochwertige Betone über B25 eingesetzt werden.

Die Leistungen sind wie folgt:

500 l	Fertigbeton	30 m ³ /h	(60 Spiele)
750 l	Fertigbeton	45 m ³ /h	(60 Spiele)
1000 l	Fertigbeton	60 m ³ /h	(60 Spiele)
1500 l	Fertigbeton	90 m ³ /h	(60 Spiele)

Die Zwangsmischer weisen den bedeutend grösseren Durchsatz auf (Mischzeiten von 40 - 60 Sec/Charge). Sie sind verschleissintensiver als Freifallmischer.

Von 500 l an aufwärts sind die Zwangsmischer in ganzen Betonanlagen mit mehreren Silos/Beschickungsapparaten /(Elevator) und Zufuhrbänder integriert.

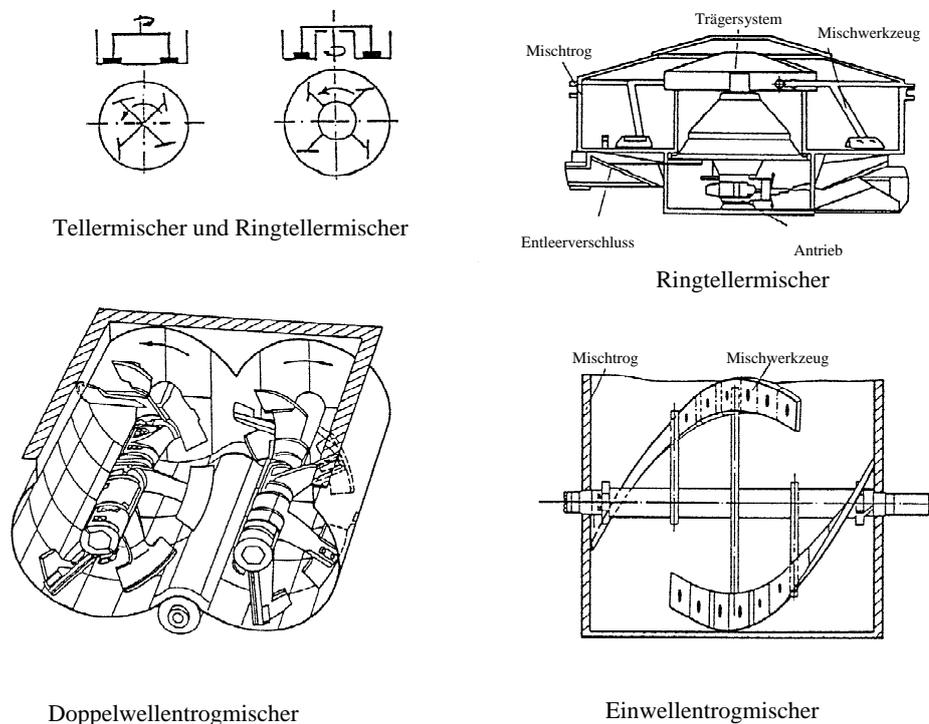


Bild 12-8: Zwangsmischersysteme [2], [4], [5]

Folgende Zwangsmischer-Gerätetypen sind üblich:

- **Tellermischer:**

Sie arbeiten mit einer vertikalen Mischwelle. Es sind nur Mischguthöhen von 20 bis 30 cm möglich, daher werden Geräte nur bis etwa 2.000 Liter Tellerinhalt gebaut, weil sonst der Mischdurchmesser zu gross wird. Die Anordnung der Mischwerkzeuge und die Anzahl der Mischwellen sind je nach Fabrikat verschieden. Bei allen Konstruktionen wird angestrebt, möglichst aperiodische Mischbahnen zu erreichen und so eine gleichmässige Durchmischung zu erzielen. Die Entleerung erfolgt über einen Bodenauslass.

- **Trogmischer:**

Sie arbeiten mit einer horizontalen Mischwelle. Ab 750 Liter Trommelinhalt werden sie mit zwei gegenläufigen Mischwellen ausgerüstet. Bei kleineren Geräten erfolgt die Entleerung durch Kippen des Troges, bei grösseren durch eine Bodenöffnung. Geräte bis 6.000 Liter Troginhalt sind handelsüblich.

- **Stetig arbeitende Mischer:**

Die stetig arbeitenden Mischer (Durchlaufmischer), mischen unter ständiger Zufuhr von Mischgut und Entnahme von Beton. Der Einsatz dieses Mischertyps beschränkt sich auf den Strassenbau für HGT (hydraulisch gebundene Tragschicht) oder für Beton geringer Güte. Es sind sowohl Trommeldurchlaufmischer wie auch Trogdurchlaufmischer möglich.

12.1.3.2 Ermittlung der Mischerleistung

Die Mischerleistung ergibt sich aus dem Mischerinhalt, der Mischdauer, dem Verdichtungsgrad und dem Betriebszeitbeiwert:

$$Q_N = \frac{V \cdot n \cdot k}{v}$$

Q_N = verdichteter Beton, Mischerleistung [m^3/h], Festbeton

V = Mischerinhalt, Nenninhalt (unverdichtete Frischbetonmenge) [m^3]

n = Spiele pro Stunde [h^{-1}]

v = Verdichtungsfaktor [-]

k = Betriebszeitbeiwert [-]

Anzahl der Arbeitsspiele n pro Stunde:

Trommelmischer 20 – 40

Zwangsmischer 30 – 60

Verdichtungsfaktor

v_1 = 1.45 - 1.26 steifer Beton KS Ausbreitmass - cm

v_2 = 1.25 - 1.11 plastischer Beton KP Ausbreitmass 35 - 40 cm

v_3 = 1.10 - 1.04 weicher Beton KR Ausbreitmass 41 - 50 cm

v_4 = ~ 1 fliessfähiger Beton KR Ausbreitmass 51 - 60 cm

Betriebszeitwert k für mittlere Mischanlagen

k = 0.85 für Stundenleistung

k = 0.60 für Dauerleistung

Betonmischergrösse

Die Grösse eines Betonmischers wird von der BGL folgendermassen angegeben.

Baugeräteliste 1991:

Kenngrösse ist der Mischgefässinhalt als Trockenfüllmenge in l (Kies, Sand, Zement).

Mischgefässinhalt = $1.25 \times$ Nenninhalt

Vom Hersteller wird für Betonmischer des Öfteren die Grösse „Festbeton je Charge“ oder Mischergrösse (Füllmenge/Festbeton) angegeben.

Tabelle 12-1: Begriffe zur Leistungsberechnung von Mixchern [6]

Begriff	Erläuterung	Einheit	Formelzeichen	Richtwerte
Nenn- oder Trockenfüllung	lose Masse an Zuschlägen / Zement	m ³	l	1.40-1.55 m ³ /m ³ Festbeton
Nenninhalt	Frischbeton nach Mischung	m ³	V _{nenn}	1.05-1.20 m ³ /m ³ Festbeton
Festbeton	Beton nach Verdichtung	m ³	V _{fest}	1.0 m ³ /m ³ Festbeton
Beschickungszeit	vom Beginn des Einfüllens der Mischgutkomponenten bis zum Ende des Einfüllens	s	t _B	12-15 s bei Füllung unter Schwerkrafteinfluss
Mischzeit	vom Ende des Beschickungsvorgangs bis zum Beginn des Entleerens	s	t _M	180 s bei Freifallmischern 60 s bei Tellermischern 30-60 s bei Trogmischern
Entleerungszeit	vom Beginn des Entleerens bis zum Ausstrag von mind. 90% der Mischmenge	s	t _E	6 s bei kleinen Kipptrommelmischern 70 s bei Umkehrmischern 15-30 s bei Zwangsmischern
Spielzeit	Summe aus Beschickungs-, Misch- und Entleerungszeit	s	t _{ges}	min. 210 s bei Freifallmischern min. 100 s bei Zwangsmischern
Spielzahl	mögliche Anzahl von Spielen pro Stunde	1/h	n	ca. 15-20 bei Freifallmischern ca. 30-40 bei Zwangsmischern

Durch eine weitere Vorgabe, nämlich

Nenninhalt = **Festbetonmenge je Mischerspiel** × **Verdichtungsmass v**,
kann eine Umrechnung erfolgen:

Kenngrösse Mischgefässinhalt (Trockenfüllmenge) = 1.25 × Nenninhalt

Das tatsächliche Volumen des Mischgefässes ist beim Trommelmischer ca. das 3.5-fache des Nenninhaltes, bei Transportmischern das 2.5-fache und bei Zwangsmischern das 1.5-fache. Für einen Trommelmischer kann folgendes Volumenverhältnis angesetzt werden (Abweichungen je nach Konsistenz und Verdichtungsgrad des Betons):

Tatsächliches Volumen des Mischgefässes = 3.5

Kenngrösse Mischgefässinhalt (Trockenfüllmenge) = 1.25

Nenninhalt (Frischbeton unverdichtet) = 1

Festbeton = 0.8

12.1.4 Betonmischanlagen

Die Betonmischanlagen werden nach Bild 12-9 klassifiziert.

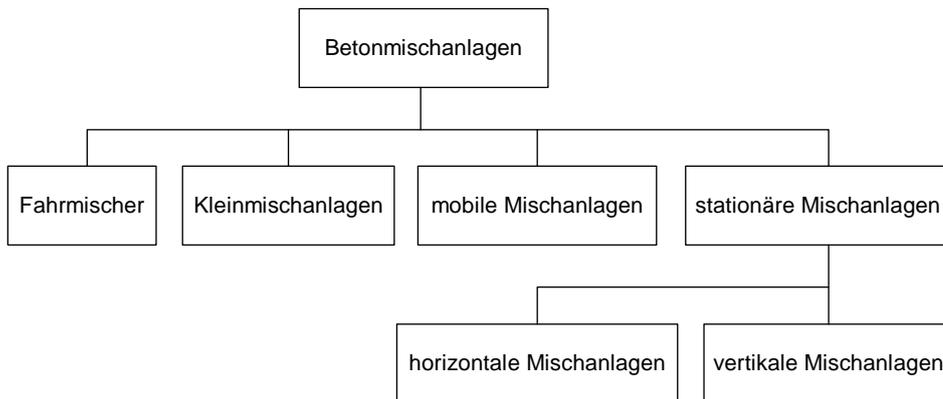


Bild 12-9: Einteilung der Mischanlagen nach [2], S. 331

Für die normalerweise auf Baustellen anzutreffenden Betonmischanlagen sind folgende Angaben für die Anordnung im Einrichtungsplan erforderlich:

- Platzbedarf des Mixers einschl. Beschickeraufzug
- Platzbedarf für horizontale oder vertikale Zuschlagssilos
- Radius und Öffnungswinkel des Zuteilsterns, Aufteilung der Boxen mit Angabe der Körnungen
- Platzbedarf, Anordnung und Fassungsvermögen des Zementsilos

Für die Aufstellung der Mischanlage sind Detailzeichnungen für die Verankerung und Anordnung der Aussparungen, die Höhenlage des Mixers, die Anordnung der Beschickergrube, der Waage und der Zementschnecke zwischen dem Zementsilo und der Zementwaage erforderlich. Stammen die einzelnen Elemente einer Anlage alle vom gleichen Hersteller, so werden die für den Aufbau erforderlichen Detailzeichnungen mitgeliefert.

Da auf grossen Betonbaustellen beim Einbau des Betons die grössten Massen zu bewegen sind, ist die Betonmischanlage möglichst in der Nähe des Verbrauchsschwerpunktes anzuordnen, um die Transportwege so klein wie möglich zu halten.

Dabei braucht nur der Mischerauslauf im Schwenkbereich des Krans zu liegen. Sind auf grösseren Baustellen mehrere Krane vorhanden, so sollte die Betonmischanlage so angeordnet werden, dass möglichst alle Krane den Beton direkt von der Mischanlage übernehmen können und keine zusätzlichen Horizontaltransporte und Übergaben von Kran zu Kran erforderlich werden. Es ist darauf zu achten, dass der Zuteilerstern durch Lastkraftwagen, zum Entladen des Zementes und der Zuschlagstoffe, angefahren werden kann.

Die Leistung und damit die Grösse der einzusetzenden Mischanlage ergibt sich aus den vorgesehenen Betonierabschnitten. In diese ist die in einer Schicht oder Stunde erforderliche Leistung in m³ fertig verdichtetem Beton festgelegt, nach der die Mischanlage dimensioniert werden muss.

Ergeben sich für einzelne Betonierabschnitte Betonierleistungen, die wesentlich über der erforderlichen Durchschnittsleistung liegt, so empfiehlt sich der Einsatz von zu-

sätzlichem Transportbeton. Hierdurch werden Geräte zur Abdeckung des Spitzenbedarfs, die nur geringfügig ausgenutzt würden, eingespart.

In Bild 12-10 ist eine mobile Mischanlage eines Betonwerks für grosse Leistungen dargestellt.

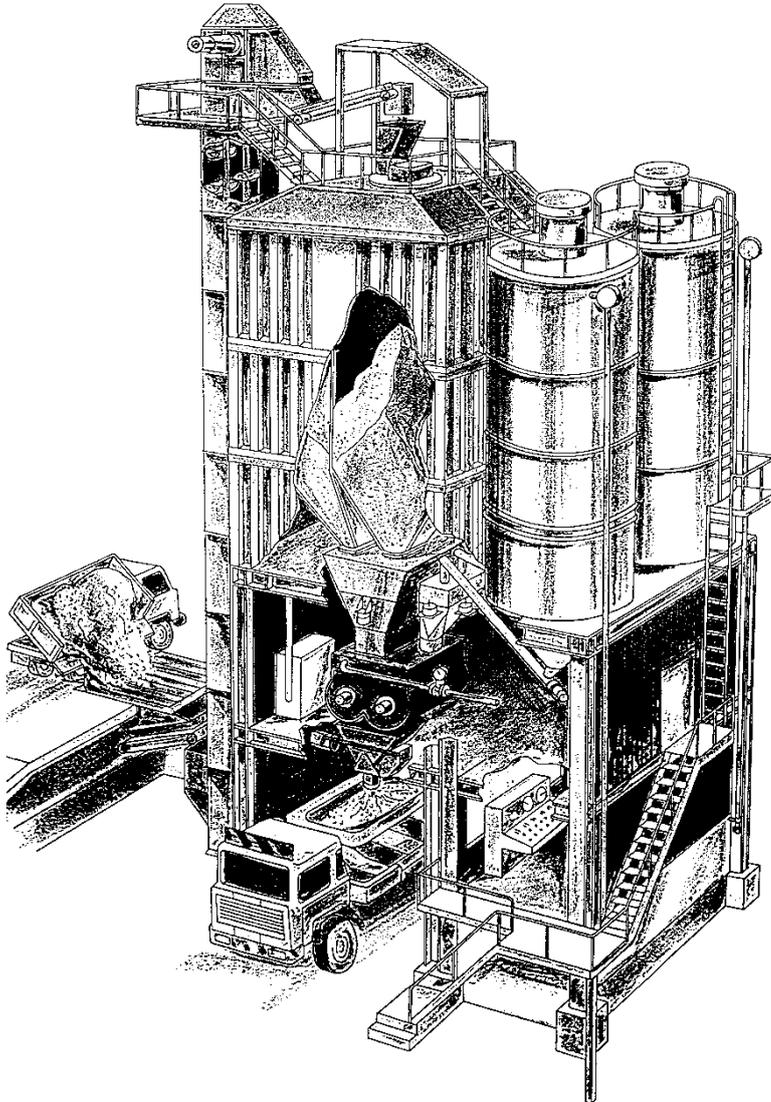


Bild 12-10: Mobile Betonanlage [7]

Folgende mobile Baustellenanlagen werden heute eingesetzt:

- Baustellen-Vertikalsilo-Mischanlage (Bild 12-11)
- Baustellen-Horizontalsilo-Mischanlage (Bild 12-12 und Bild 12-13)
- Baustellen-Sternsilo-Mischanlage (Bild 12-14 bis 11-17)

In Bild 12-18 sind die Varianten der Beschickung einer Sternsilo-Mischanlage dargestellt.

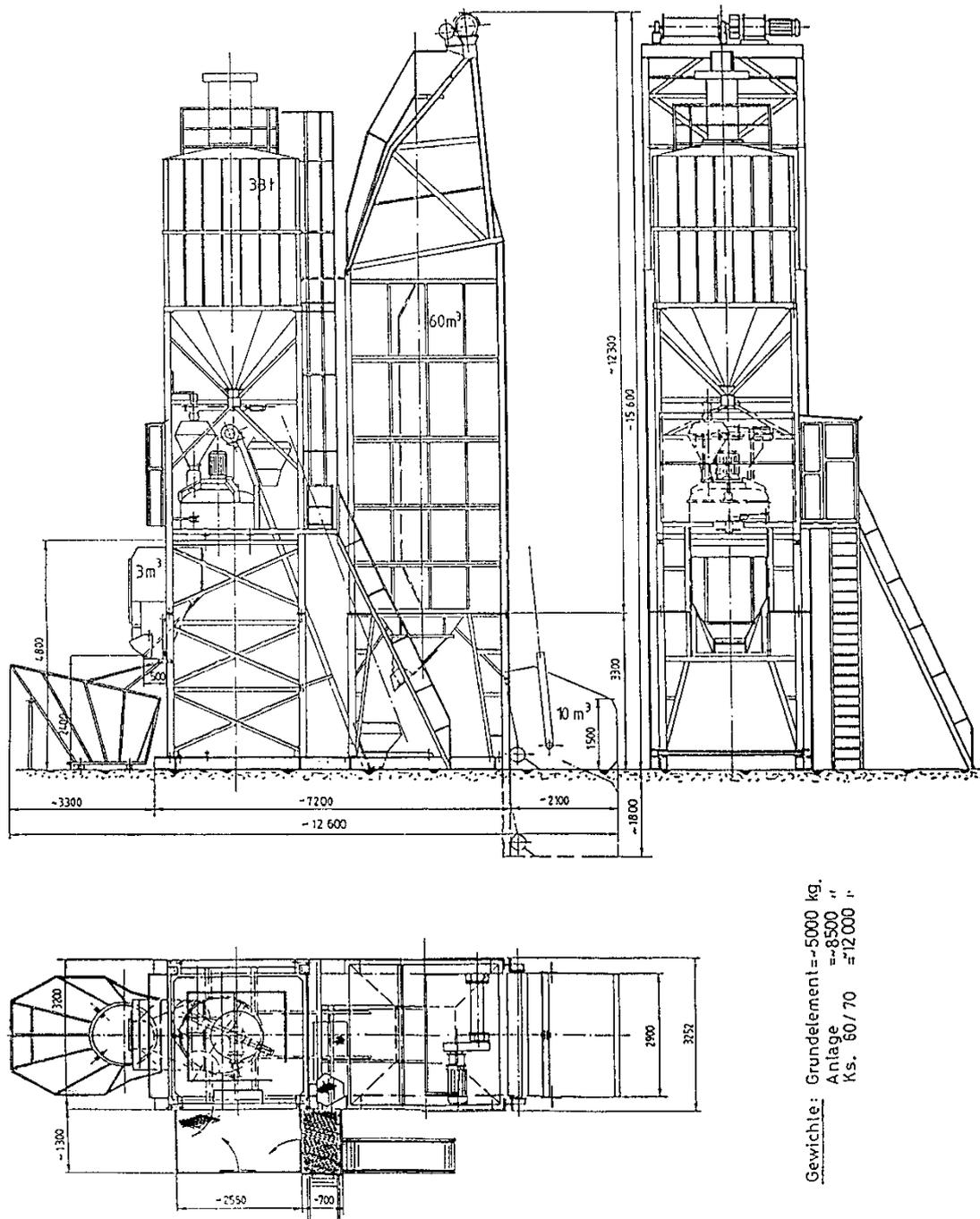


Bild 12-11: Baustellen-Vertikalsilo-Betonmischanlage [7]

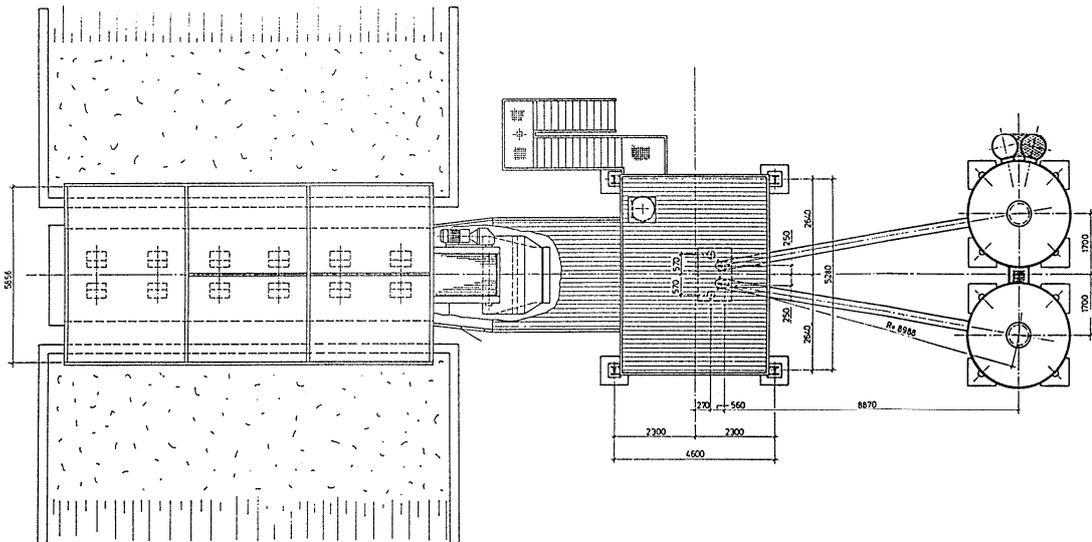


Bild 12-12: Baustellen-Horizontalsilo-Betonmischanlage ELBA Modul-Anlage EMA D 85/105/110 [7]

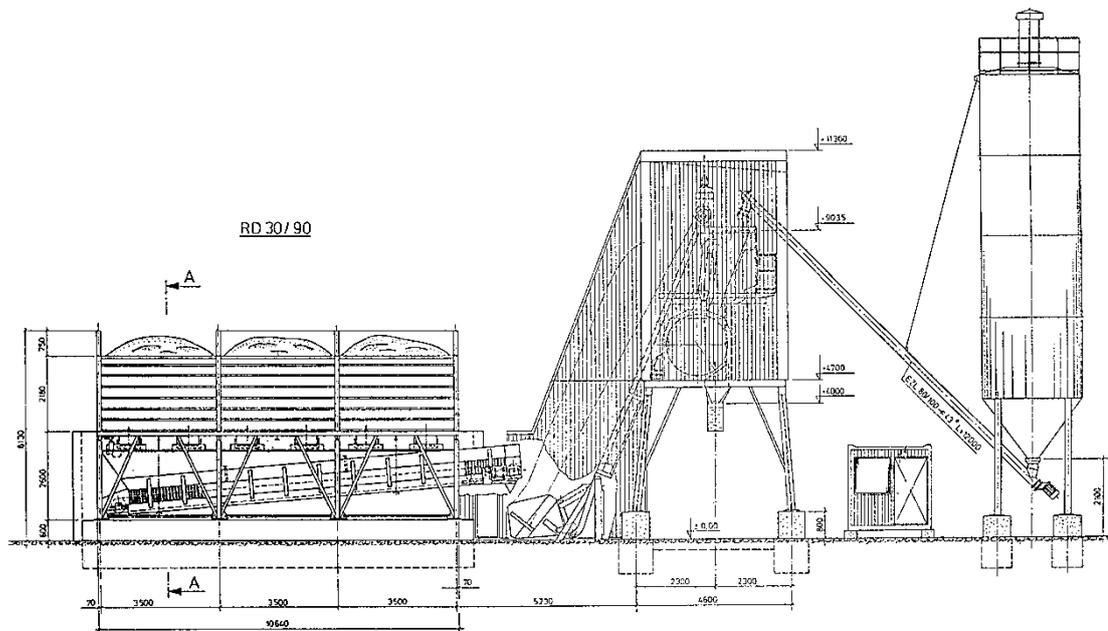


Bild 12-13: Baustellen-Horizontalsilo-Betonmischanlage ELBA Modul-Anlage EMA D 85/105/110 [7]

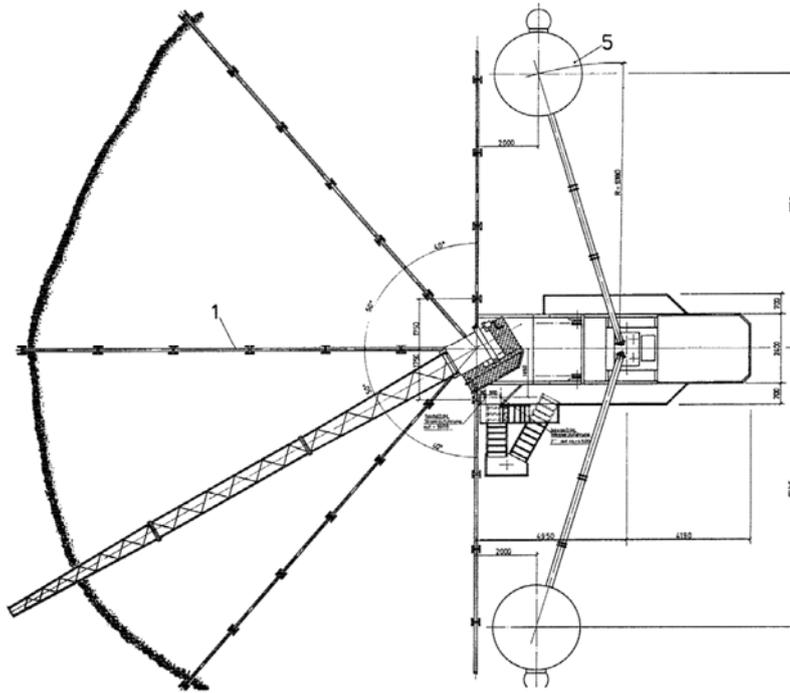


Bild 12-14: Betonmischanlage: ELBA-Mixcenter EMC 45 / EMC 60 [7]

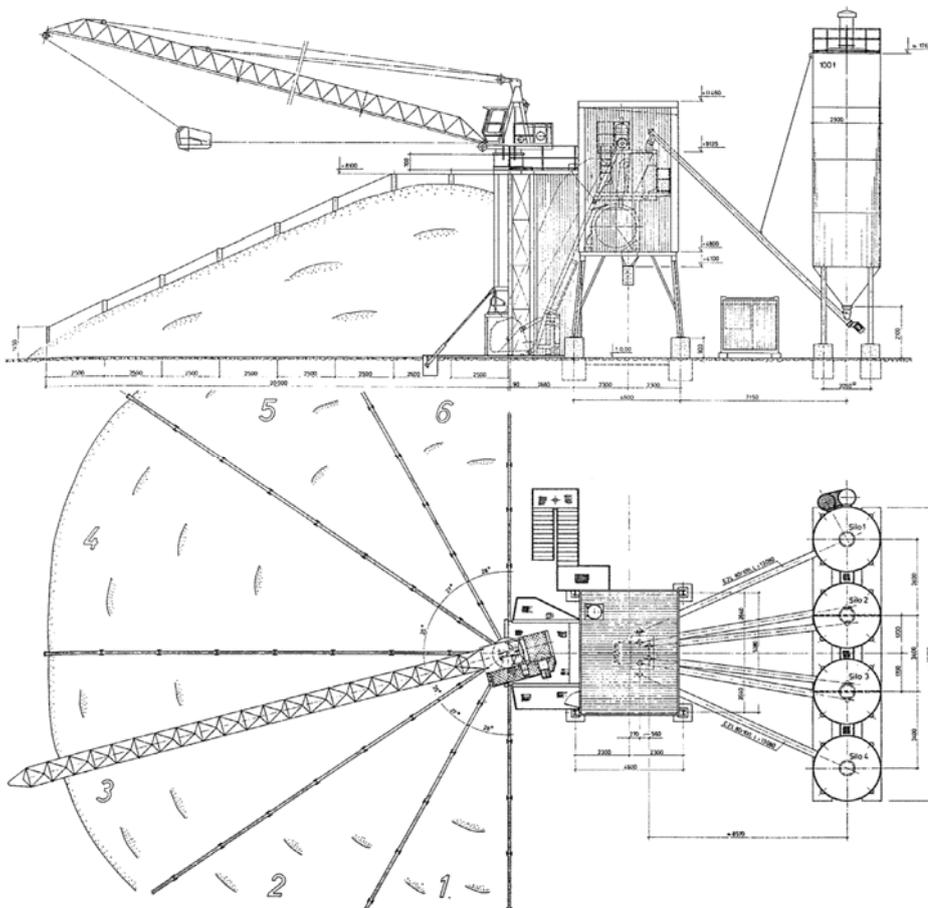
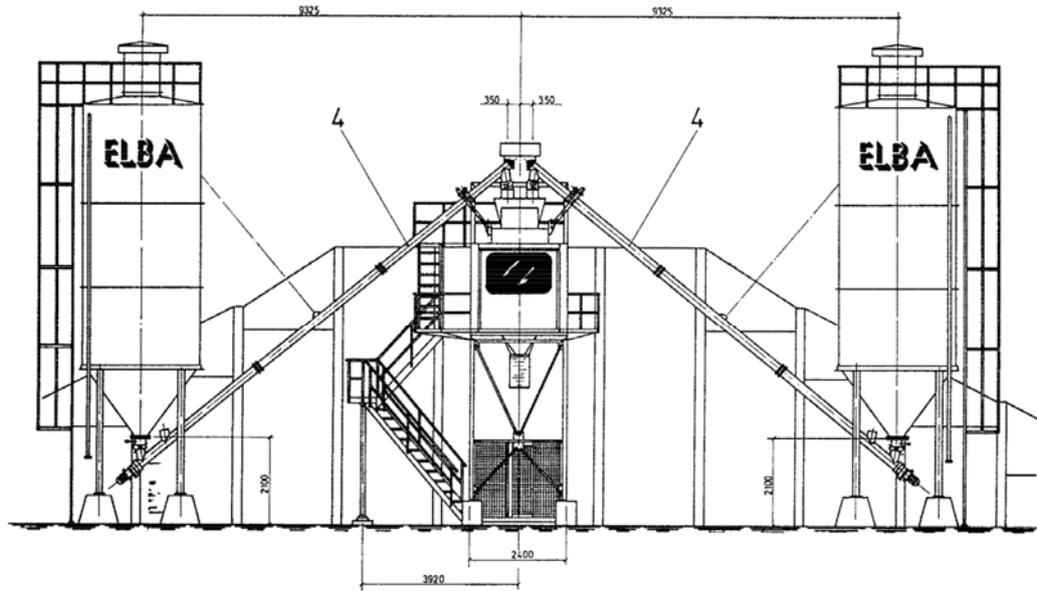


Bild 12-15: Betonmischanlage: ELBA Modul-Anlage EMA S 85/105/110 [7]



EMC 45/EMC 60

- 1 Zuschlagstoffboxenwände
- 2 Radialschraper
- 3 ELBA-MIXCENTER EMC 45/EMC 60 komplett
- 3.1 Dosierwand
- 3.2 Dosierbox
- 3.3 Überflurdosator
- 3.4 Kompressor
- 3.5 ELBA-Mischwerk EMS 750/EMS 1000
- 3.6 Entlüftung
- 3.7 Zementwaage
- 3.8 Mischerbühne
- 3.9 Bedienungskabine
- 4 Zementförderschnecken EZL 28/40
- 5 Zementsilos

EMC 45/EMC 60

- 1 Batching walls of aggregate
- 2 Radialscraper
- 3 ELBA-Mixcenter EMC 45/EMC 60 complet
- 3.1 Batching wall
- 3.2 Batching box
- 3.3 Aggregates weightbatcher
- 3.4 Compressor
- 3.5 ELBA-Mischwerk EMS 750/EMS 1000
- 3.6 Deaeration
- 3.7 Cement scale
- 3.8 Mixer platform
- 3.9 Operator cabin
- 4 Cement screw conveyors EZL 28/40
- 5 Cement silo

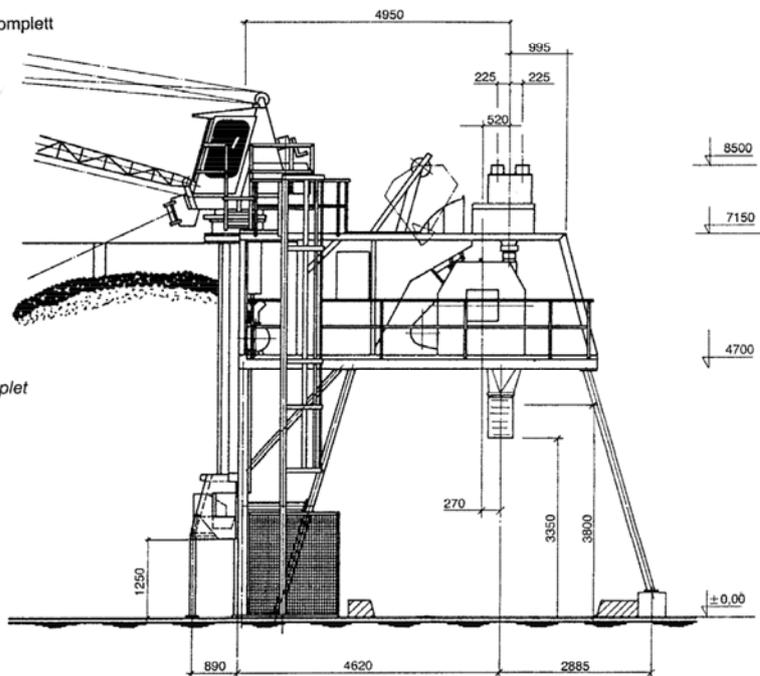


Bild 12-16 und 12-17: Betonmischanlagen: ELBA Mixcenter EMC 45 / EMC 60 [7]

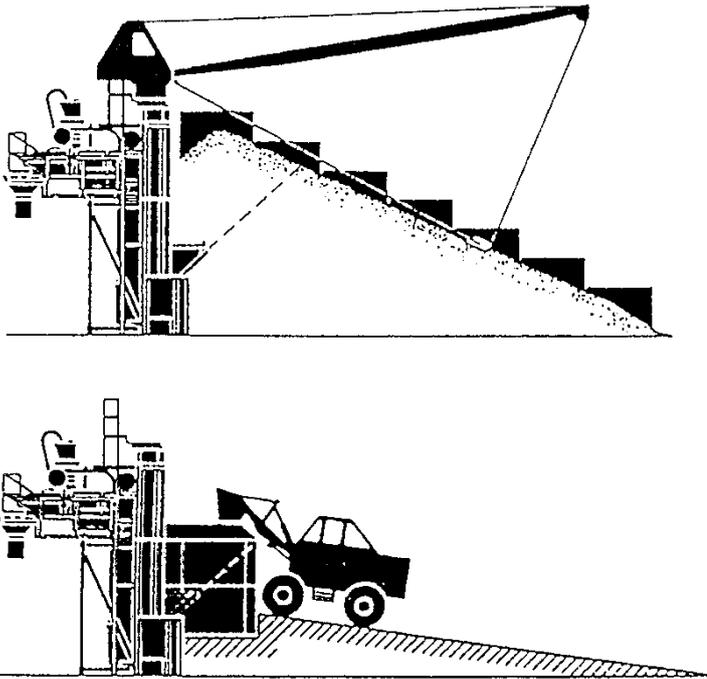


Bild 12-18: Betonmischanlage [8]

12.1.5 Entscheidungskriterien für den Ort der Betonherstellung

Die Frage, ob die Baustelle mit Transportbeton aus einem Fertigbetonwerk oder aus einer Mischanlage auf der Baustelle beliefert werden soll, hängt von folgenden Kriterien ab:

- Menge des Betons (Bild 12-19)
- Anlieferungssicherheit, Verkehrsanbindung, Transportentfernung
- Marktpreis Transportbeton und Rohstoffselbstbeschaffung (scope of scale)
- Ausrüstung des Unternehmens (eigene Betonanlage sowie Betonherstellspezialisten)
- Platzverhältnisse auf der Baustelle
- notwendige Betonqualität

Diese Entscheidungskriterien müssen abgewogen werden, um die wirtschaftlichste Lösung zu finden. Dabei ist der Preis der Selbsterstellung bzw. der Festpreis von Lieferbeton nur eine Determinante in der Entscheidung. Was nützt der günstigste Festpreis bei Lieferbeton, wenn die termingerechte Andienung der Baustelle in der Hauptverkehrszeit grosse Unsicherheiten und Wartezeiten bei der Betonierkolonne verursacht. Diese Stillstandszeiten sind dann teurer als einige Franken Unterschied pro Kubikmeter Beton. Hier bietet eine eigene Anlage auf der Baustelle eine Entkoppelung der Anlieferungslogistik von der Frischbetonlogistik der Baustelle. So kann die Baustelle mit Zuschlagstoffen und Zement in verkehrsschwachen Zeiten beliefert werden. Die Betonherstellung kann dann auf die Bedürfnisse der Abnehmer auf der Baustelle unter Beachtung der Leistungskapazität der Anlage auf direktem Weg abgestimmt werden.

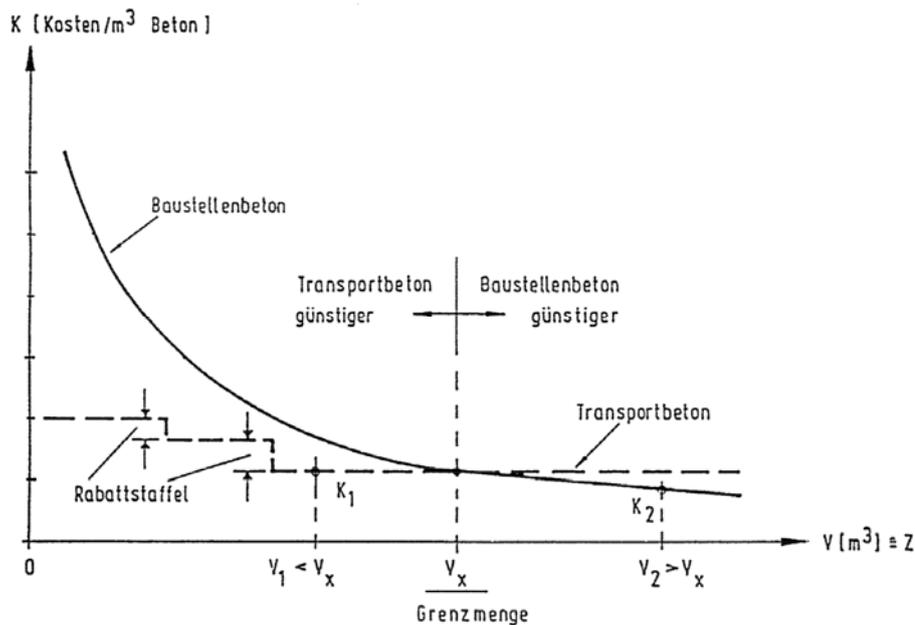


Bild 12-19: Kostenvergleich Baustellenbeton – Transportbeton [6], S. 198

Bei innerstädtischen Baustellen kann jedoch manchmal aus Platzgründen keine Anlage aufgestellt werden. In diesem Fall muss man die Betonierzeiten möglichst auf verkehrsarme Zeiten ausrichten.

Der Unternehmer entscheidet sich für die Baustellenherstellung aus folgenden Gründen:

- grosse Mengen sind erforderlich
- Know-how und Inventar sind vorhanden
- Just-in-time-Belieferung ist nicht möglich oder unsicher

Bei grossen Mengen und/oder vorhandener Mischanlage und Spezialisten kann der Unternehmer die Materialeinkaufsvorteile für sich nutzen (Economics of Scale) und den Beton kostengünstig herstellen.

Die Just-in-time-Belieferung ist besonders wichtig, andernfalls entstehen hohe Kosten bei der Betoniermannschaft auf der Baustelle durch die Wartezeit. Zudem können durch die Lieferungsunterbrechung zusätzliche ungewollte Arbeitsfugen entstehen.

Für Transportbeton spricht die flexible Anlieferung für kleine und grosse Mengen. Allerdings muss die Just-in-time-Belieferung sichergestellt sein. Die Just-in-time-Belieferung kann durch folgende Einflüsse gefährdet werden:

- Verkehrsstaus
- Herstellungs- oder Lieferengpässe (selten)

Die Kostenleistungskurve in Bild 12-19 verdeutlicht die Kostenabhängigkeit von der Abnahmemenge der Baustelle. Wenn man sich für eine Baustellenfertigung entscheidet, wird man den temporären Spitzenbedarf durch Transportbeton abdecken.

12.2 Betonverarbeitung

Der Teilprozess der Betonverarbeitung lässt sich untergliedern in

- Transport von der Mischanlage zum Bauwerk (Bild 12-20)
- Förderung zur Einbaustelle (Bild 12-20)
- Verdichtung
- Oberflächenbehandlung

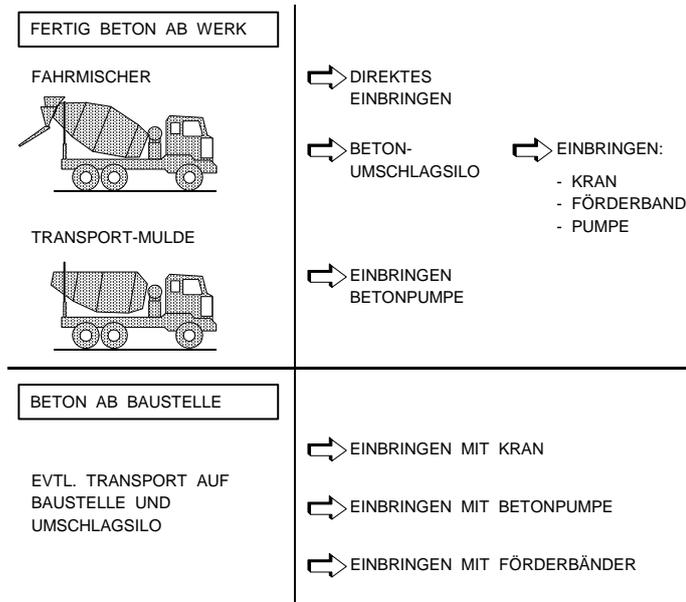


Bild 12-20: Betontransport und Einbringen

12.2.1 Transport zum Bauwerk

Der Betontransport ab Werk zur Baustelle oder bei grossen Baustellen mit weit auseinander liegenden Betonierstellen innerhalb der Baustelle erfolgt entweder mit Betontransportmulden oder Fahrmischern. Diese haben eine Ladekapazität von 3-6.5 m³ Beton für Mulden und von 5-8 m³ für Fahrmischer. Entweder kann der Beton direkt mit Rutschen eingebracht oder er muss via Betonumschlaggerät von der Anlieferstelle weiterverteilt werden.

12.2.2 Geräte zur Förderung des Betons zur Einbaustelle

Die maximale Betonierleistung wird in der Regel nicht durch die Leistungsfähigkeit der Mischanlage oder Anliefermenge, sondern durch die Leistung der eingesetzten Fördermittel zur Einbaustelle bestimmt. Die Förderung von der Anliefer- zur Einbaustelle erfolgt im Allgemeinen mit:

- Baustellenbetonpumpen
- Autobetonpumpen
- Krankübel
- Kletter-Betonverteiler (siehe Bild 12-21)
- Autoförderbänder (teleskopierbar)

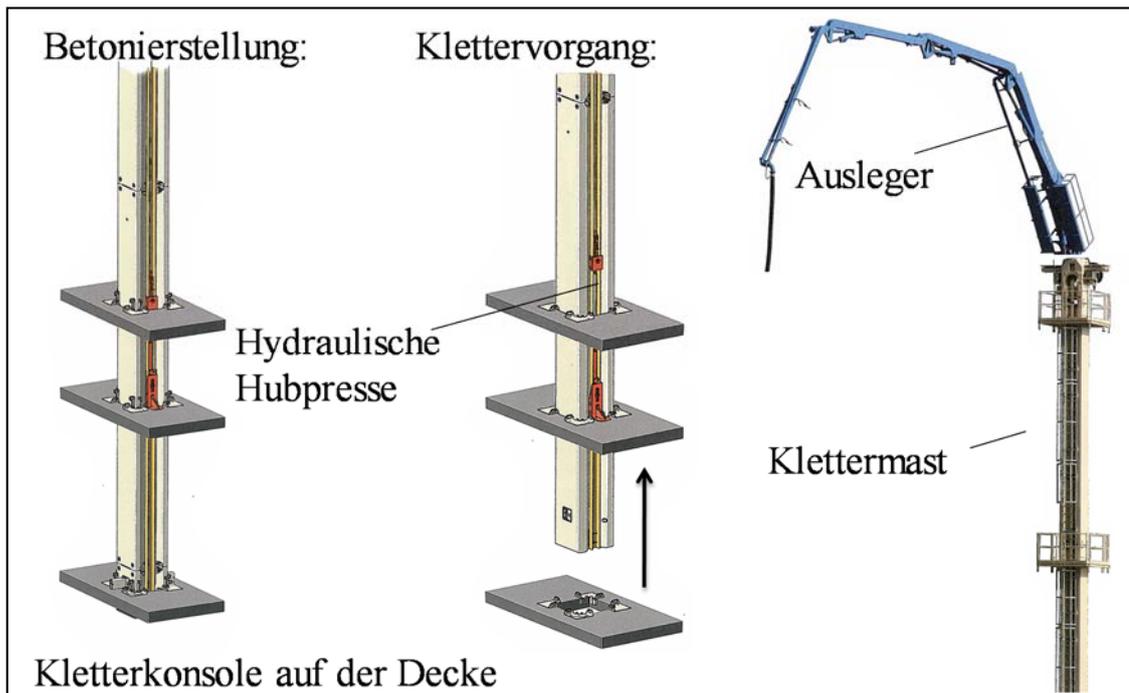


Bild 12-21: Kletter-Betonverteiler im Hochhausbau

Betonpumpen:

Der Frischbeton wird am häufigsten mit einer Betonpumpe (Auto- oder Baustellenbetonpumpe) gefördert. Dies hat folgende Vorteile:

- kontinuierlicher Materialfluss
- keine Krankkapazität wird hierfür benötigt.

Damit der frische Beton gepumpt werden kann, muss er „geschmeidiger“ sein als ein mit Kran und Betonierkübel eingebrachter. Das bessere plastische Verhalten wird erreicht durch den höheren Mehlkorngelalt (Tabelle 12-2). Beim Betonpumpen ist darauf zu achten, dass die erste Betonmischung zementreicher erstellt wird, da die Zementschlemme als Schmiermittel wirkt und die Rohrreibung herabsetzt. Der Grösstkorndurchmesser der Zuschläge sollte ein Drittel des Förderrohrdurchmessers nicht übersteigen. Der Feinmörtel muss einen guten Zusammenhalt aufweisen, damit sich der Beton beim Fördern nicht entmischt. Deshalb sollte der Mehlkorngelalt¹ über 350 kg/m³ liegen (Empfehlung der SIA 162, 5 14 26).

¹ Mehlkorn sind die Feinanteile mit einem Korndurchmesser < 0,125 mm (Zement, Betonzusatzstoffe). Bei zu hohem Anteil des Mehlkorns erhöht sich der Wasseranspruch des Betons (grössere Oberfläche), bei zu kleinem Anteil wird der Beton schwerer verarbeitbar und neigt zum Bluten und Entmischen.

Betonzusatzstoffe sind sehr feine Stoffe, die die Frisch- und Festbetoneigenschaften beeinflussen. Mögliche Stoffe sind:

- Organische Stoffe – z.B. pulverige Kunststoffe
- Inerte Stoffe – Gesteinsmehle, hauptsächlich zur Frischbetonverbesserung
- Farbstoffe – Farbe in Pigmentform
- Puzzolanische Stoffe – in der Schweiz vor allem Flugaschen und Silicafume. Sie tragen aktiv zur Erhärtung bei. Die Reaktion hängt dabei vor allem vom SiO₂-Gehalt und der Mahlfineheit ab.

Die SIKA AG gibt folgende Empfehlungen für den Mehlkorngehalt im Beton:

Grösstkorn	runde Zuschläge	gebrochene Zuschläge
16 mm	425 kg/m ³	450 kg/m ³
32 mm	375 kg/m ³	400 kg/m ³

Die Pumpenhersteller (Putzmeister/Schwing) empfehlen:

Bei Grösstkorn 32 mm:

Zementgehalt > 240 kg/m³

Mehlkorngesamt > 400 kg/m³

Bei Grösstkorn 16 mm bzw. gebrochenem Material sind die Werte um 10 % zu erhöhen.

Bei Pumpbeton sollte auf eine kontinuierlich abgestufte Sieblinie geachtet werden (Bild 12-22). Wenn möglich ist der Beton aus einzelnen Korngruppen zusammen zu stellen (Bild 12-23).

Die Konsistenz für Pumpbeton wird ideal mit dem Walzmass² bestimmt. Der Frischbeton sollte eine weiche Konsistenz aufweisen und einen guten inneren Zusammenhalt garantieren.

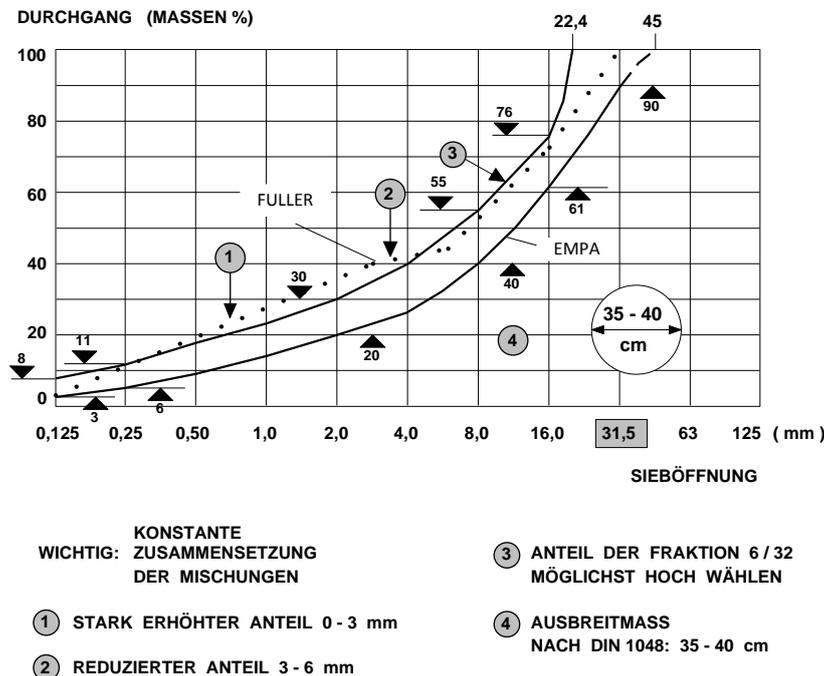


Bild 12-22: Kornverteilkurve für Pumpbeton vgl. [1]

² Das Verdichtungsmass nach Walz (ISO 4111) wird in der SIA 162/1, 3 20 2 ausführlich erläutert. Der Frischbeton wird in einen normierten prismatischen Prüfzylinder (Grundfläche 200x200 mm, 400 mm hoch) eingefüllt, mittels einem Flaschenrüttler verdichtet und das Setzmass s [mm] gemessen. Das Verdichtungsmass ergibt sich dann zu: $VM = 400 / (400-s)$.

Frischbetonkonsistenz: Walzmass: VM = 1,08 – 1,15
 Ausbreitmass³: AM = 40 – 50 cm

Ein zu hoher Wassergehalt führt bei der Pumpförderung zu Entmischungen und Wasserabsonderungen. Dies kann zu Verstopfern führen. Deshalb sollte der Wassergehalt durch die Verwendung eines Verflüssigers⁴ reduziert werden.

Beim Pumpen von Beton mit schwierigen Zuschlägen, schwankenden Feinanteilen, Fördern über grosse Distanzen oder hohen Einbauleistungen kann eine Pumphilfe⁵ verwendet werden. Diese vermindert die Rohrreibungswiderstände, den Materialverschleiss an Pumpe und Rohrmaterial und erhöht somit die Förderleistung.

SIEBLINIEN FÜR PUMPBETON

KÖRNUNG 0 - 16		KÖRNUNG 0 - 32	
44 %	0 - 3 mm	40 %	0 - 3 mm
10 %	3 - 6 mm	4 %	3 - 6 mm
46 %	6 - 16 mm	28 %	6 - 16 mm
		28 %	16 - 32 mm

Bild 12-23: Pumpbeton - Sieblinien (Beispiele) [9]

REZEPTUR

SORT. NR.	KORN-GRÖSSE	BETON-BEZEICHNUNG SIA 162	MIND. BINDEMITTELGEHALT kg / m	KONSISTENZ K	BESONDERE EIGENSCHAFT BEMERKUNG	W / Z FAKTOR	ZUSATZMITTEL
1	0 - 16	B 40 / 30	350	N		0,54 - 0,60	
2	0 - 32	B 35 / 25	320	N		0,54 - 0,60	
3	0 - 32	B 35 / 25	300	N	WD1	0,55 - 0,61	0,5% BV/DM
4	0 - 32	B 40 / 30	330	N		0,52 - 0,58	0,5% BV/DM
5	0 - 32	B 45 / 35	28 + 50 FLA	W	WD1	0,48 - 0,54	1% HBV
6	0 - 32	B 45 / 35	350	N	FT + FTS	0,48 - 0,54	0,8% HBV + 0,4% LP

- BV = BETONVERFLÜSSIGER
- DM = DICHTUNGSMITTEL
- FLA = FLUGASCHE
- FT = FROSTTAUGLICHER BETON
- S = FROSTTAUSALZ BESTÄNDIG
- HBV = HOCHLEISTUNGS-BETONVERFLÜSSIGER
- LP = LUFTPORENBILDNER
- WD1 = WASSERDICHTER BETON
- WD2 = WASSERDICHTER BETON IN DRUCKHAFTEN GRUNDWASSER

Bild 12-24: Pumpbeton - Rezeptur (Beispiele) [9]

³ Das Ausbreitmass nach DIN 1048 wird in der SIA 162/1, 3 20 3 erläutert. Der Frischbeton wird in einen definierten Zylinder, der auf dem Ausbreittisch steht, eingefüllt und vorverdichtet. Danach wird der Zylinder abgezogen und der Tisch 15 mal fallen gelassen. Die Ausbreitmasse d_1 und d_2 werden in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen gemessen und gemittelt: $d = (d_1+d_2)/2$. Das Ausbreitmass ergibt sich dann zu: $AM = d$

⁴ Verflüssiger sind synthetische Dispergierungsmittel modifiziert mit oder auf der Basis von Vinylcopolymeren (z.B. Sikament). (Betonzusatzmittel)

⁵ Pumphilfen sind Lösungen polymerer Viskositätsregler (z.B. SikaPump). (Betonzusatzmittel)

Tabelle 12-2: Einflüsse Festigkeit - Förderfähigkeit von Pumpbeton

	Zementgehalt		Mehlkorngehalt	
	Menge	Einflüsse / Präzisierung	Menge	Einflüsse / Präzisierung
	[kg/m ³]		[kg/m ³]	
Festigkeit	280 - 350	wenn gespritzt wird, erhöht sich infolge Rückprall der grossen Körnung der Zementgehalt um bis zu 50 kg/m ³	425	bei Zementgehalt 350 kg/m ³ sonst Erhöhung des Wasseranspruchs, der Schwind- und Kriechmasse, der Rissneigung und Verminderung des Verschleisswiderstandes
	> 300	für bewehrten Beton, damit die langfristige Passivierung (alkalisches Milieu) der Bewehrung gewährleistet ist	375	bei Zementgehalt 300 kg/m ³ Auswirkungen siehe oben. Die Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.
Förderfähigkeit	> 300	Gewährleistung der erforderlichen Schmierwirkung und der Festigkeit des Betons. Bei gebrochenen Zuschlägen ist der Zementgehalt um 10 % zu erhöhen.	> 400	Betonpumpfähigkeit: - Abhängig von der Kornzusammensetzung, d.h. Kornoberfläche (rund oder gebrochen) - Unabhängig von der Länge der Pumpleitung, ev. zusätzlich Flugasche beifügen
	500 - 800	Schmiermischung: 0/4 Mörtel, welcher vorgängig durch die Pumpleitung durchgelassen wird um deren Oberfläche zu benetzen		

Die gebräuchlichen Förderrohrdurchmesser liegen zwischen 125 und 200 mm. Zur Vermeidung von „Rohrleitungsstopperrn“ (Abbinden des Betons in der Förderleitung) sollte der Beton ständig in Fluss bleiben. Bei frischem Beton ohne chemischen Zusätzen und Leitungslängen von max. 10 - 15 m sind Arbeitsunterbrüche von 1½ - 2½ h möglich. Wenn der Beton bereits 3 - 4 h alt ist, darf ein allfälliger Arbeitsunterbruch max. ½ h betragen.

Förderweiten von 300 - 400 m können ohne grössere Schwierigkeiten erreicht werden. Weiten bzw. Höhen ab 600m bzw. 400 m sind nur durch den Einsatz von Fliessmitteln realisierbar. Es wurden auch schon Förderweiten von über 1000 m erreicht.

Zur Betonförderung werden folgende gebräuchliche Pumpsysteme eingesetzt:

- Kolbenpumpen (Bild 12-25):

Heute werden weitgehend nur noch hydraulisch betriebene Betonpumpen gebaut. Es sind Kolbenpumpen, deren Antrieb durch Wasserhydraulik und Ölhydraulik erfolgt. Ölhydraulikpumpen sind so konstruiert, dass sowohl ein Ölhydraulikkolben sowie ein Betonpumpkolben vorhanden ist, um den Beton vom Öl sicher zu trennen. Schon geringe Mengen von Öl machen den Frischbeton unbrauchbar. Bei Wasserhydraulik ist der Hydraulikkolben gleichzeitig der Pumpkolben. Mit Kolbenpumpen lassen sich Förderweiten von 400 m Länge und Förderhöhen über 100 m erreichen.

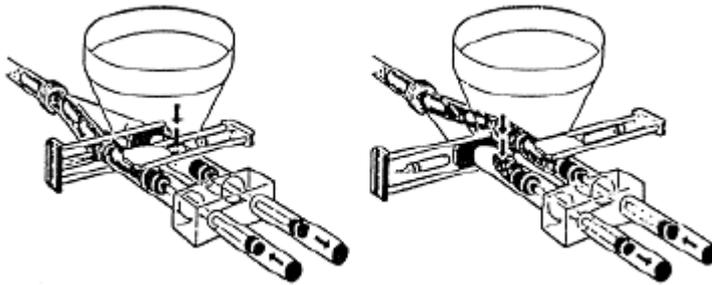


Bild 12-25: Kolbenpumpe [10], gefunden in [2], S. 425

- Rotor-Betonpumpe (Bild 12-26):

Die Rotor-Betonpumpe auch Quetschpumpe genannt hat eine Vorkammer mit Mischwelle, in der der Frischbeton nachgemischt wird. Von dort gelangt er in einen Pumpschlauch. Ständig umlaufende Walzen in einer mit Unterdruck laufenden Pumpkammer quetschen den Beton durch den Pumpschlauch in die Förderleitung. Das Gerät ist stufenlos regulierbar bis zu einer Förderleistung von etwa 20 m³/h bei einer Förderweite von mehr als 100 m bzw. einer Förderhöhe von ca. 50 m.

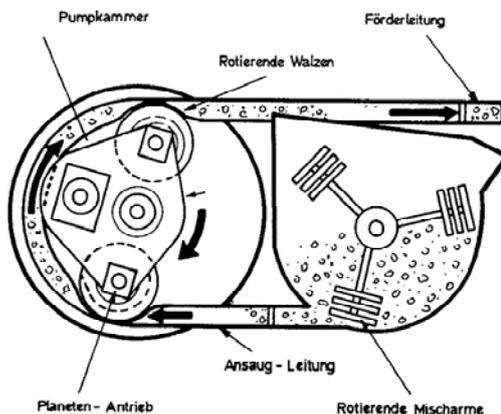


Bild 12-26: Rotor-Betonpumpe [13], S. 185

Betonpumpen werden stationär und als selbstfahrende Geräte auf LKW-Fahrgestellen oder Anhängern eingesetzt. Stationärer Anlagen bedient man sich auf Baustellen, wo nahezu ständig grosse Betonierleistungen zu erbringen und pumpbare Entfernungen zu überbrücken sind oder wo aus Platzmangel keine fahrbare Pumpe arbeiten kann (Tunnelbau).

Autobetonpumpen

Fahrbare Pumpen werden auf Baustellen eingesetzt, auf denen eine grössere Betonierleistung nur für eine kürzere Zeit zu erbringen ist bzw. auf denen die Betonierstellen weit auseinander liegen und sich der Einsatz eines Kranes nicht lohnt. Die Geräte sind meistens mit einem hydraulisch zu betätigenden Knickmast ausgerüstet, über den der Beton an die Einbaustelle gepumpt wird (Bild 12-27).

TYP PUTZMEISTER

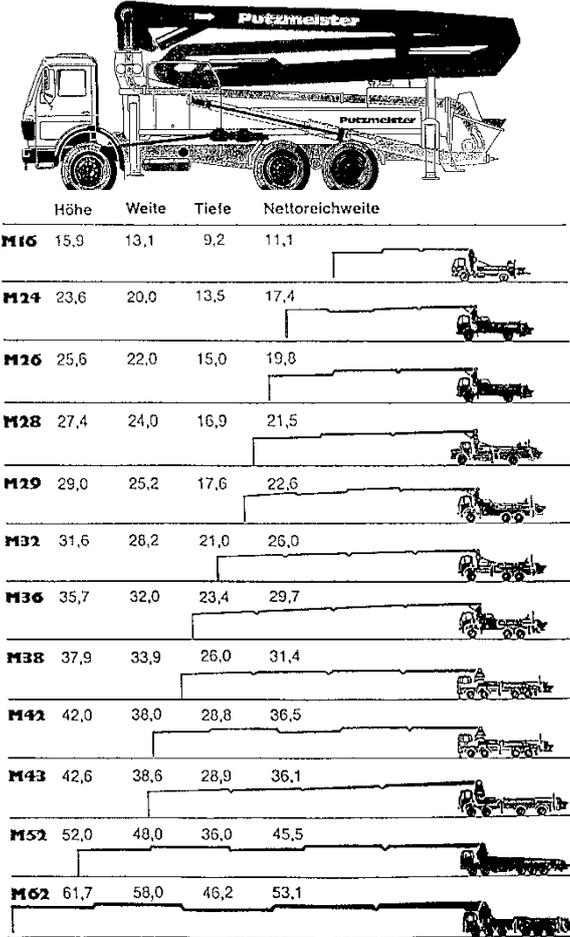


Bild 12-27: Autobetonpumpe – Einsatzbereiche [10]

Die Vor- und Nachteile beim Einsatz von Betonpumpen sind in Tabelle 12-3 zusammengestellt.

Tabelle 12-3: Vor und Nachteile sowie Risiken beim Einsatz von Betonpumpen [11]

Vorteile	Nachteile	Risiken
sehr leistungsfähig Entlastung der Krane geringere Krankkosten, da kleinere Krane Bauzeitersparnisse geringer Platzbedarf mobiler Einsatz an verschiedenen Punkten möglich mehr Flexibilität bzgl. Höhe und Reichweite als bei Kranen	Pumpfähigkeit des Betons muss vorhanden sein höhere Anforderung an die Verarbeitung kleine Betonierabschnitte sind unwirtschaftlich jede Unterbrechung des Förderstroms ist nachteilig teures Gerät, kann nur Beton fördern	höhere Beanspruchung der Schalung bessere Abstimmung der einzelnen Arbeitsschritte nötig Gefahr von Verstopfern Unfallrisiko durch Betonanhäufungen bzw. Bewegung des Rohrendes

Bemessung von Betonpumpen

Die Dimensionierung der Pumpen nach rein physikalischen Formeln ist relativ kompliziert, es kann jedoch auf die ausgearbeiteten Nomogramme der Hersteller zurückgegriffen werden (Bild 12-28). Zur Auswahl der Pumpe muss der **geforderte Betonförderdruck** bekannt sein, er ist abhängig von:

- der Länge der Rohrleitung
- dem Nenndurchmesser D_N der Rohrleitung
- der Anzahl der Rohrbögen
- der Fördermenge: bei der Fördermenge ist der Maschinenauslastungsgrad der Pumpe mit $\eta = 0.8$ zu berücksichtigen.
- der Betonkonsistenz
- der Förderhöhe

Der Betonpumpenförderdruck ergibt sich wie folgt:

Vertikale Förderhöhen werden über die Druckhöhe berücksichtigt, dazu werden dem erforderlichen Leitungsdruck je Meter 0.25 bar zugeschlagen. Eine Rohrkrümmung von 90 Grad mit einem Radius von $r = 1$ m entspricht etwa 3.0 m, mit einem Radius von $r = 0.25$ m etwa 1.0 m Förderweite.

Der erforderliche Betonförderdruck ist die Eingangsgrösse in das Nomogramm Bild 12-28. Zudem ist das Ausbreitmass, der Leitungsdurchmesser und die Leitungslänge erforderlich, um die Antriebsleistung der Betonpumpe zu bestimmen. Die Ermittlung der Leistung einer Betonanlage erfolgt gemäss [20].

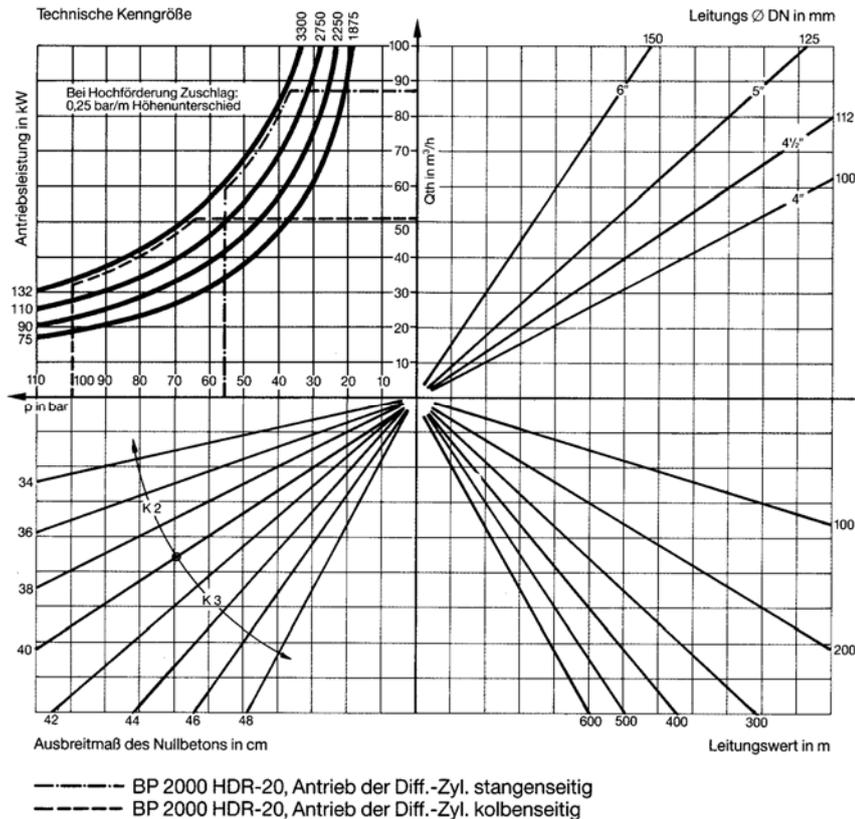


Bild 12-28: Nomogramm zur Bemessung von Betonpumpen [12]

Betonspritzgeräte:

Beim Spritzbetonverfahren wird der Beton durch eine Spritzdüse senkrecht in einem Abstand von 1 bis 2 m auf eine Auftragsfläche gespritzt. Das Verfahren wird im Tunnelbau bei der Spritzbetonbauweise zur Sicherung und zum Ausbau, sowie bei der Sicherung von Felsböschungen wirtschaftlich verwendet.

Man unterscheidet zwischen Trocken- und Nassspritzverfahren. Beim Trockenspritzverfahren werden Zement und Zuschlagstoffe, getrennt von der Wasserzuführung mit Druckluft, zur Mischdüse transportiert. Da sich der Beton an den Förderleitungen nicht absetzen kann, ermöglicht dieses Spritzverfahren grössere Transportweiten sowie die Möglichkeit, den Betoniervorgang entsprechend dem Bedarf jederzeit zu unterbrechen. Um 1 m³ Spritzbeton aufzubringen, benötigt man etwa 17 kWh, bei einem Betoneinbau mit Pumpe oder Krankübel 3 bis 5 kWh.

In der Vorlesung Tunnelbau wird diese Technologie vertieft behandelt.

Betoneinbringung mittels Förderband:

Auf manchen Baustellen wird der Beton von der Anlieferungsstelle zur Einbaustelle mittels Förderband transportiert. Diese Einbaumethode ist jedoch nicht flexibel, wegen der begrenzten Steigung des Bandes und der zielgenauen Zuführung, da das Band nur mit zeitlichem Aufwand umgestellt werden kann. Daher wird diese Methode selten eingesetzt.

Betoneinbringen mittels Kran:

In vielen Fällen wird heute der Beton mit dem Kran eingebracht. Krangrösse, Auslastung und Tragfähigkeit bestimmen die mögliche Leistung für das Betonieren; wesentlich ist jedoch die Güte und Zuverlässigkeit des Kranführers!

Auf Baustellen mit geringer Betonierleistung bzw. grösseren Förderhöhen wird der Beton in der Regel wirtschaftlich mit einem Krankübel (Bild 12-29) zur Einbaustelle gefördert. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass die Betonierleistung von der Kranleistung abhängt, die mit zunehmender Hubhöhe abnimmt. Ausserdem ist der Kran während des Betoniervorganges für andere, parallel laufende Arbeiten weitgehend blockiert.

Tabelle 12-4: Krankübelcharakteristiken

m ³ Beton/Kübel	to Beton/Kübel	Kübel- gewicht	Gewicht je Kübelspiel	
0.8 m ³	2.0 to	0.4 to	2.4 to	4-8 Min.
1.0 m ³	2.5 to	0.5 to	3.0 to	je Kranspiel
1.5 m ³	3.7 to	0.7 to	4.4 to	
2.0 m ³	5.0 to	0.7 to	5.7 to	8-18 m ³ /h

In der Gesamtdisposition mit den übrigen Arbeiten ist zu überlegen, ob die Kranunterstützung genügt oder ob allenfalls eine Betonpumpe vorzusehen ist.

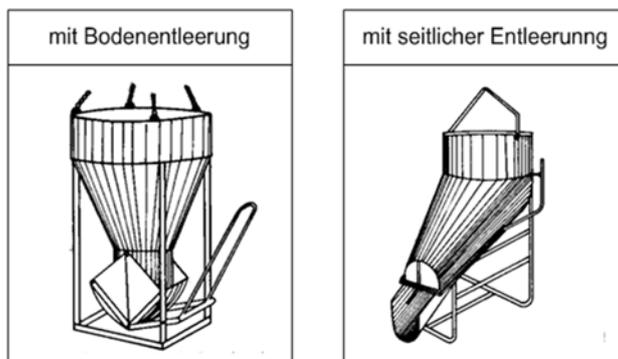


Bild 12-29: Krankübel [14], S. 105

12.2.3 Verdichten von Beton

12.2.3.1 Geräte zum Verdichten von Beton

Beton muss möglichst hohlraumarm sein, um

- hohe Festigkeit
- geringe Wasserdurchlässigkeit
- glatte und dauerhafte Oberflächen zu erzielen.

Zur Eliminierung der Hohlräume des Frischbetons wird er deshalb beim Einbau mit Rüttlern verdichtet. Die Rüttler werden elektrisch oder mit Druckluft angetrieben. Sie

werden in den eingebrachten Beton getaucht oder an der Schalung angesetzt und verdichten diesen durch das Austreiben der Luftblasen um ca. 20 %, d.h. der Frischbeton hat ein 1.2 - 1.25-faches Festbetonvolumen. Durch die Schwingungen des Rüttlers wird die innere Reibung verringert, so dass die einzelnen Körner im Frischbeton eine dichtere Lagerung einnehmen und Luftblasen austreten. Ein zu langes Rütteln beinhaltet die Gefahr des Entmischens des Frischbetons.

Die Klassifizierung der verschiedenen Verdichtungsarten ist in Bild 12-30 dargestellt.

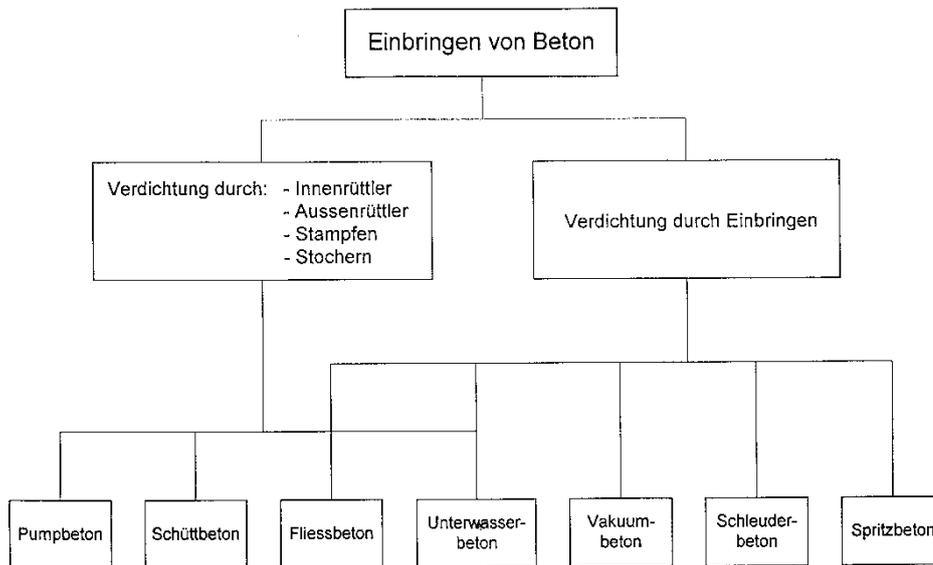


Bild 12-30: Betonverdichtung [2], S. 439

Aussenrüttler:

Aussenrüttler erzeugen durch exzentrisch rotierende Körper in der Regel Schwingungen, die nur in einer Richtung wirken (Bild 12-31). Sie werden eingesetzt als:

- **Oberflächenrüttler:**
Der Schwingungserreger sitzt dabei auf einer Bohle. Diese Rüttelbohle wird beim Abziehen einer Betondecke eingesetzt. Sie verdichtet den Beton bis in 20 cm Tiefe und glättet gleichzeitig die Betonfläche.
- **Tischrüttler:**
Der Rüttler ist an einer federnd gelagerten Tischplatte befestigt. Seine Schwingungen werden in den Beton übertragen, der auf der Platte z.B. als Fertigteil erstellt wird.
- **Schalungsrüttler:**
Der Schalungsrüttler wird häufig als Aussenrüttler bezeichnet. Er wird aussen an der Schalung angebracht und versetzt diese, und den dahinter eingebrachten Frischbeton, in Schwingungen.

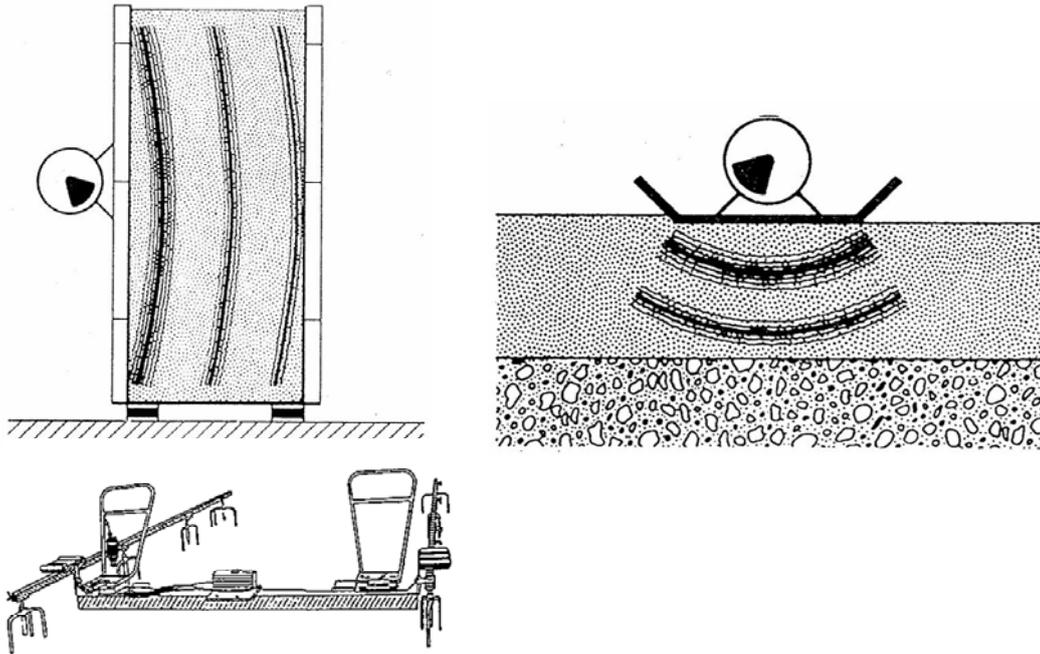


Bild 12-31: Betonverdichtung mittels Schalungs- und Oberflächenrüttler [15], [16]

Innenrüttler:

Innenrüttler bestehen aus zylindrischen Körpern (Rüttelflasche), in denen eine Unwuchtmasse mit 7'000 bis 20'000 U/min. in der Flasche mit Hilfe einer elastischen Welle oder eines eingebauten elektrischen Motors rotiert (Bild 12-32 und Bild 12-33). Eingetaucht in den Frischbeton werden die Schwingungen der rotierenden Unwucht auf den Beton übertragen. Bei eingebautem Elektromotor ist ein Trafo erforderlich, weil aus Sicherheitsgründen mit 42 V Spannung gearbeitet wird.



Bild 12-32: Innenrüttler – Komplettsystem [15], S. 309-9

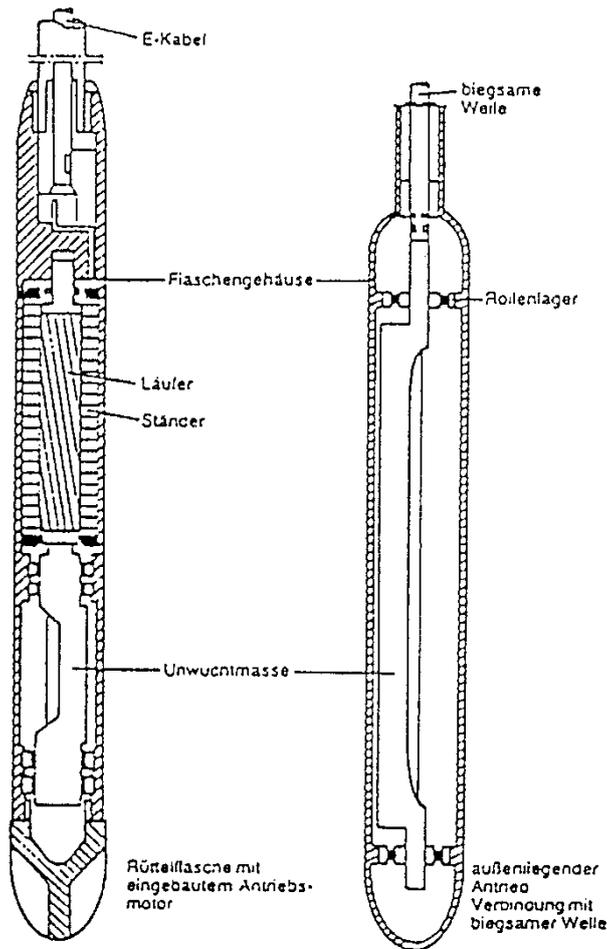


Bild 12-33: Innenrüttler – System- und Funktionselemente [14], S. 71

12.2.3.2 Vibrieren von Beton

Parameter der Betonverdichtung

In Betonvibratoren werden normalerweise rotierende exzentrische Gewichte verwendet. Solche Vibratoren generieren eine harmonische Schwingung (Bild 12-34).

$$s = s_0 \cdot \sin(\omega t) = s_0 \cdot \sin(2\pi f t)$$

$$\dot{s} = 2\pi f s_0 \cdot \cos(2\pi f t) = v_0 \cdot \cos(2\pi f t)$$

wobei $v_0 = 2\pi f s_0$, (max. Partikelgeschw.)

$$\ddot{s} = -4\pi^2 f^2 s_0 \cdot \sin(2\pi f t) = -a_0 \cdot \sin(2\pi f t)$$

wobei $a_0 = 4\pi^2 f^2 s_0$, (max. Partikelbeschl.)

und $\omega = 2\pi f$

s_0 = Amplitude [mm]

ω = Winkelgeschwindigkeit [rad/s]

f = Frequenz [Hz]

t = Zeit [s]

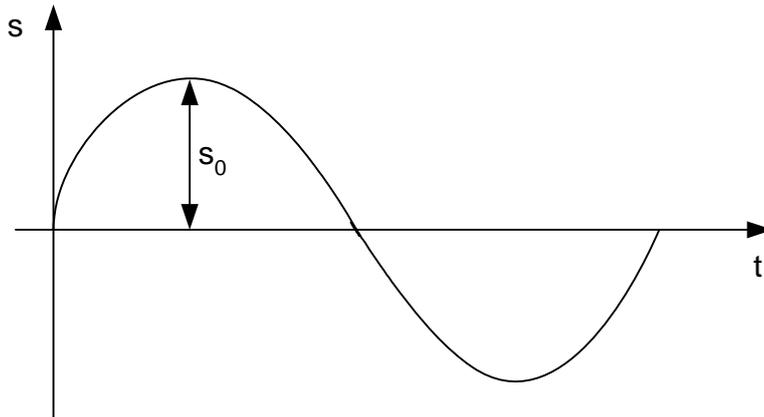


Bild 12-34: Harmonische Schwingungen

Wellenausbreitung in Frischbeton

Die Ausbreitung einer sinusförmigen Kompressionswelle in einem elastische Medium mit Dämpfungs- und Energieabsorptionseigenschaften (Bild 12-35) wird ausgedrückt durch:

$$s_x = s \cdot e^{-\Omega x/2}$$

s_x = Amplitude in der Distanz x eines Referenzpunktes mit der Amplitude s_0

Ω = Dämpfungskoeffizient

x = Entfernung vom Rüttler [m]

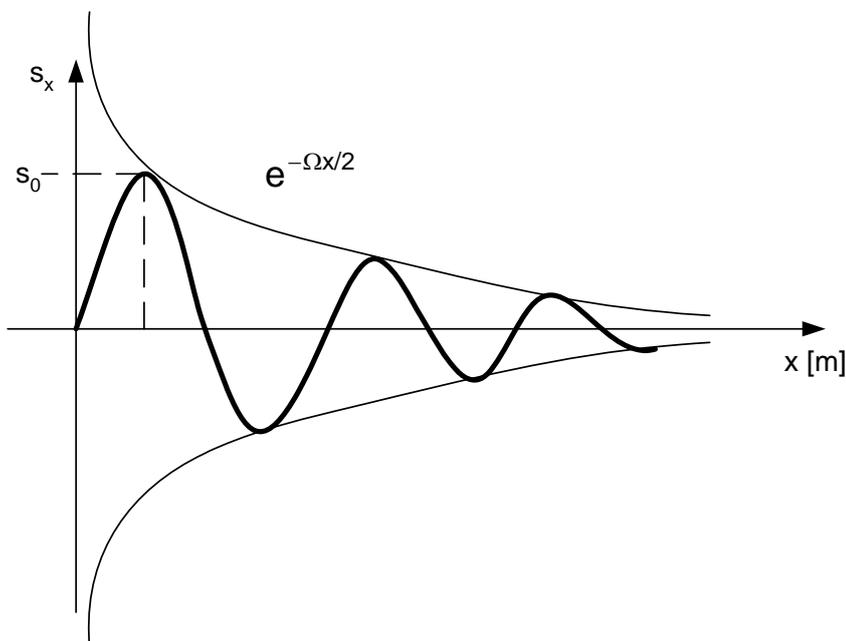


Bild 12-35: Dämpfung

Die Innere Reibung wird durch das Vibrieren auf einen Wert von $\tau_{j,k}^{dyn} = 0.001$ MPa gesenkt, verglichen mit einem Wert von $\tau_{i,l}^{stat} = 0.02$ MPa des ruhenden Betons. Die innere Reibung kann also auf 5% des ursprünglichen Wertes verringert werden.

Die Konsolidation des Betons beginnt bei Beschleunigungen von ca. $a = 0.5g$. Der Verdichtungseffekt steigt dann linear mit der Beschleunigung an und wird maximal bei Werten zwischen $a = 1g$ und $a = 4g$, je nach Betonkonsistenz. Eine weitere Zunahme der Beschleunigung steigert den Verdichtungseffekt nicht.

Der Zusammenhang zwischen Verdichtungseffekt und Beschleunigung bei normalen Betonmischungen zeigt, dass in einem relativ grossen Frequenzbereich eine gleiche Verdichtung erzielt werden kann.

Die Festigkeit des erhärteten Betons ist von der Kombination Frequenz-Amplitude weitgehend unabhängig, solange die minimale Beschleunigung, sowie eine minimale Amplitude von $s = 0.04$ mm eingehalten wird.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die an den Beton abgegebene Energie [15]:

$$W = c_1 m s^2 f^3 t$$

W = Energie [J]

c_1 = Konstante, abhängig von Steifigkeit und Dämpfung im Beton

m = Masse des Betons [kg]

Zusammenfassend müssen folgende Punkte beim Verdichten des Betons eingehalten werden:

- Mindestbeschleunigung für Beton mit normaler Konsistenz
- Dynamischer Mindestdruck für Beton mit sehr steifer Konsistenz
- Mindestamplitude abhängig von der Konsistenz
- Mindestenergie gleich für alle Konsistenzen

Der maximale Druck p der bei der Ausbreitung einer sinusförmigen Welle auftritt ist:

$$p = v \cdot c \cdot \rho$$

wobei: $c = \lambda \cdot f = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ = Wellenausbreitungsgeschwindigkeit [m/s]

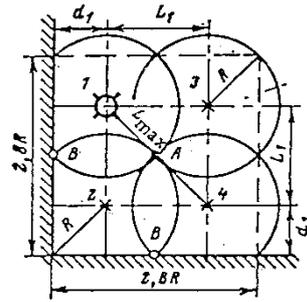
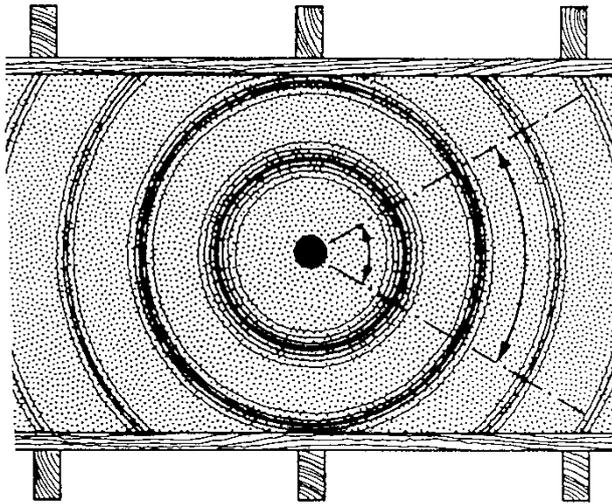
v = maximale Partikelgeschwindigkeit [mm/s]

ρ = Dichte [kg/m^3]

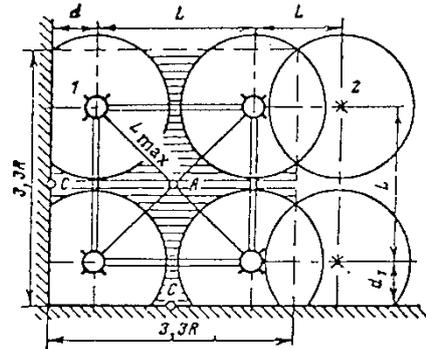
E = dynamischer E-Modul von Frischbeton (ca. 3 MPa)

Die Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten betragen im Anfangsstadium ca. $v = 45$ m/s und im Endstadium ca. $v = 150$ m/s bei Vibrationsdauern von 1 bis 2 Minuten. Nachdem das Porenvolumen durch die Vibration verringert wurde, ist die Masse dichter und somit steigt die Wellengeschwindigkeit.

Prinzip des Innenrüttlers



(a) Single vibrators



(b) Frame-mounted vibrators

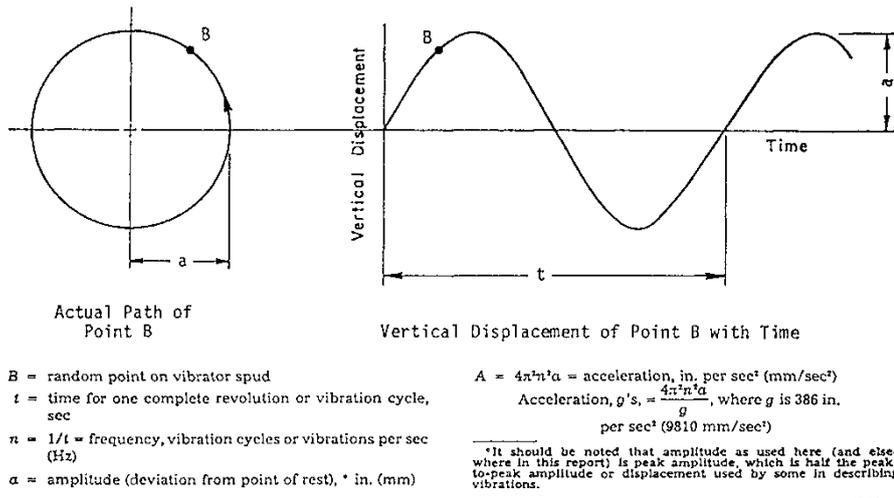
Bild 12-36: Wellenausbreitung bei Innenrüttlern [15], S. 309.1R-12 u. -15

Energieaufnahme

Die anfängliche rasche Senkung des Betons während des Vibrierens kann als plastische Verformung angesehen werden, die eine hohe Energieaufnahme mit sich bringt. Bis zur kompletten Verdichtung wird die ganze übertragene Energie konsumiert. Beim anschließenden Stadium der Luftabgabe verhält sich die Masse wie eine Flüssigkeit, und es wird nur noch eine kleine Energiemenge zur Überwindung der Dämpfung und der inneren Reibung benötigt, um die Masse in Schwingung zu halten.

Vibrationsmethoden**Innenvibration**

Ein Innenvibrator, der in Frischbeton getaucht wird, erzeugt zirkuläre Kompressionswellen, deren Amplituden mit zunehmender Distanz rasch abnehmen (Bild 12-37).



Principles of simple harmonic motion applied to rotary vibrator

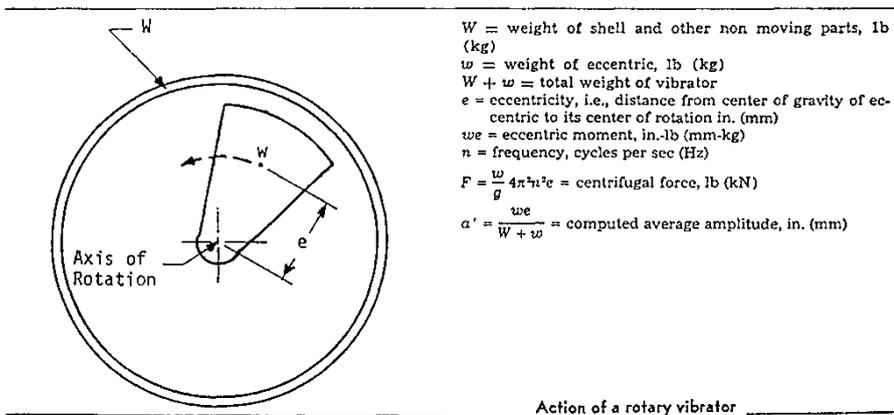


Bild 12-37: Betonverdichtung – Basiskonzept der Schwingung durch Exzentrizität [15], S. 309-39

In Versuchen konnte eine maximale Reichweite bei einer Frequenz von ca. 200 Hz festgestellt werden. Bei Massenbetonen mit hohem Grobkornanteil und tiefem Zementgehalt liegt das Frequenzoptimum tiefer. Generell hat eine Steigerung der Amplitude eine Vergrößerung der Reichweite bei allen Frequenzen zur Folge (Bild 12-38).

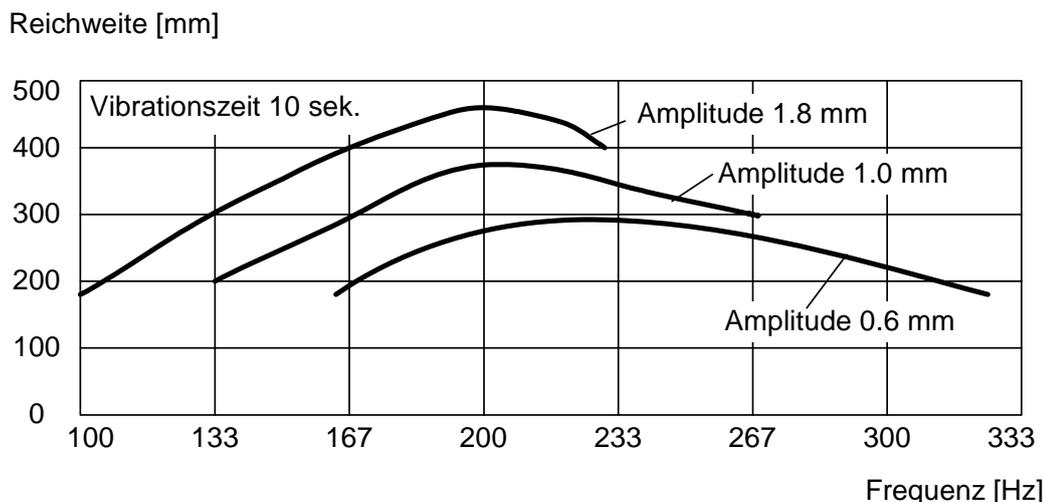


Bild 12-38: Korrelation zwischen der Reichweite der Frequenz und der Amplitude – Vibrationszeit 10 Sekunden [15], S. 309.1R-12

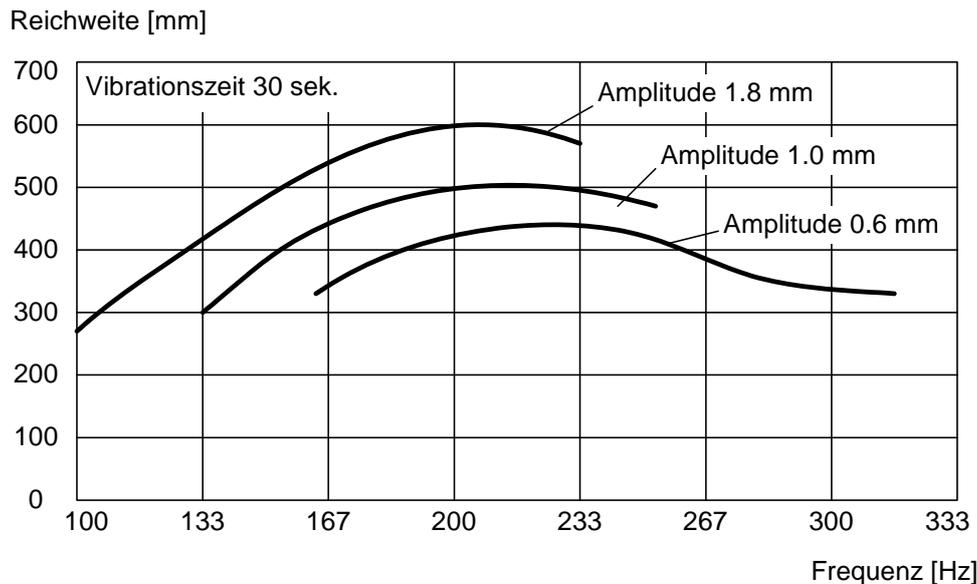


Bild 12-39: Korrelation zwischen der Reichweite der Frequenz und der Amplitude – Vibrationszeit 30 Sekunden [15], S. 309.1R-12

Bei zunehmender Vibrationszeit von z.B. 10s auf 30s (Bild 12-38 und Bild 12-39) steigt die Reichweite durch die zunehmende Verdichtung des Betons. Dies geht einher mit einer zunehmenden Geschwindigkeit der Masseteilchen.

Bei tieferen Frequenzen hat eine Steigerung der Beschleunigung des Vibrators ebenfalls eine Vergrößerung der Reichweite zur Folge. Versuche haben ergeben, dass die Beschleunigungen zwischen 100g und 200g liegen sollten. Für eine gegebene Beschleunigung erzielt ein Vibrator bei der grössten Amplitude die grösste Leistung. Eine zu hohe Amplitude kann aber andererseits Kavitation erzeugen. Dabei entstehen nahe der Oberfläche des Vibrators Dampfbläschen, die eine dämpfende Wirkung haben und die Reichweite damit verringert wird.

Das Volumen des in Schwingung versetzten Betons ist proportional zu dem vom Vibrator verdrängten Volumen und deshalb ist die Reichweite eines Innenvibrators auch direkt proportional zu seinem Durchmesser.

Die Reichweite eines Innenvibrators ist in armiertem Beton wesentlich geringer als in unarmiertem Beton. Reduktionen von 50% sind möglich.

Reflexionen der Kompressionswellen an Schalungswänden können stehende Wellen und damit grössere Amplituden bewirken, die sich positiv auf die Reichweite bzw. auf den Verdichtungseffekt auswirken. Derselbe Effekt ist beim gleichzeitigen Einsatz mehrerer Vibratoren zu beobachten. An Rahmen montierte Innenvibratoren werden beispielsweise im Betonstrassenbau mit gegenseitigen Abständen von ca. 550 mm eingesetzt.

Oberflächenvibration

Oberflächenvibratoren können als einfache oder doppelte Vibrationsbohlen ausgeführt sein, die flüssige bis plastische Frischbetonschichten bis 200 mm Dicke verdichten können. Mit diesen Bohlen wird die Betonoberfläche gleichzeitig abgezogen. Frequenzen von 50 - 100 Hz und Beschleunigungen von 5g - 10g sind üblich. Für steifere Mischungen sollten schwerere Bohlen verwendet werden, um die nötige Verdichtungs- und Tiefenwirkung zu erreichen. Die Erfahrung zeigt, dass für die gleiche Be-

schleunigung eine Kombination mit tiefer Frequenz und hoher Amplitude einer Kombination mit hoher Frequenz und tiefer Amplitude vorzuziehen ist.



Bild 12-40: Betonflächenabziehvibrationsbohle [16]

Neben Bohlen gibt es auch Vibrationsrollen oder Verdichtungswalzen, die vor allem bei Stauwänden und Fundamenten erfolgreich eingesetzt werden. Die Effizienz solcher Rollen hängt von der Betonmischung, der Schichtdicke, sowie der Rollgeschwindigkeit ab. Es werden Vibrationsrollen mit Gewichten von 4500 - 5500 kg bei Frequenzen von 25 - 42 Hz verwendet.

Schalungsvibration

Bei der Schalungsvibration ist es wichtig, die Schwingungen gleichmässig über eine möglichst grosse Schalungsfläche zu verteilen. Die Amplitude sollte auf der ganzen Oberfläche gleich sein. Dies führt zu einem maximalen Abstand von 1.5-2.5 m zwischen den Vibratoren. Bedingung für eine effiziente Verdichtung sind minimale Beschleunigungen von 1g - 3g bei einer mit flüssigem bis plastischem Beton gefüllten Schalung, was Beschleunigungen von 5g - 10g der leeren Schalung entspricht.

Die passende Frequenz von Schalungsvibratoren hängt stark von der Grösse und der Form der Schalung ab. Grosse Formen erfordern normalerweise hohe Frequenzen um eine bessere Verteilung der Schwingungen über die ganze Schalungsfläche zu ermöglichen. Frequenzen von 50 - 200 Hz sind bei der Schalungsvibration üblich.

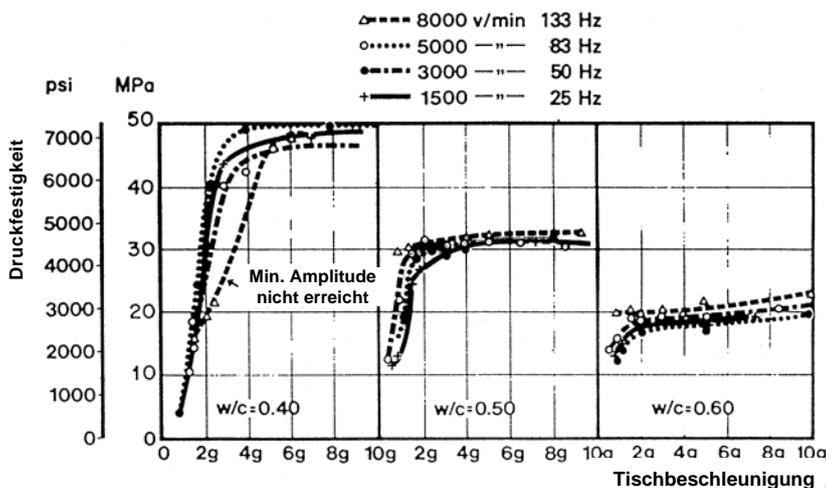


Bild 12-41: Beziehung zwischen Festigkeit und Beschleunigung während der Verdichtung [15]

Tischvibration

Es ist sehr schwierig, allgemeingültige Aussagen über Tischvibration zu machen.

Auf einem vibrierenden Tisch können sowohl die Form, als auch der Beton in der Form relativ frei schwingen, und es kann Resonanz auftreten. Ferner können die Druckwellen an der Betonoberfläche reflektiert werden, was eine ungleichmässige Amplitudenverteilung zur Folge haben kann.

Beschleunigungen von 2g - 4g sind während des Verdichtens erforderlich, was 5g - 10g des leeren Tisches entspricht. In der Praxis sind auch höhere Beschleunigungen üblich, um die Vibrationszeit zu verkürzen. Für die Tischvibration werden tiefe Frequenzen von 50 - 100 Hz eingesetzt, was dafür vergleichsweise hohe Amplituden erfordert.

Das Befestigen der Formen auf dem Tisch hat zur Folge, dass der Geräuschpegel reduziert werden kann. Bei einer lose auf den Tisch gestellten Form ist aber die Verdichtung etwas besser und die Vibrationszeit wird ein wenig kürzer, weil die Beschleunigungen durch das Aufeinanderprallen von Form und Tisch höher sind.

Wenn steife Betone verwendet werden, sollte auf die Richtung der Schwingungen des Rütteltisches geachtet werden. Eine kreisförmige Schwingung des Tisches in einer vertikalen Ebene kann, gegenüber einer horizontalen Schwingung, eine 10%-ige Steigerung der Betonfestigkeit bewirken. Verglichen mit einer vertikal kreisförmigen Schwingung kann eine rein vertikale Schwingung 10 - 15% weniger Betonfestigkeit ergeben. Bei flüssigen bis plastischen Betonen sind diese Effekte weniger ausgeprägt. In vielen Fällen wird die rein vertikale Vibration bevorzugt, weil die Bewegung des Betons gegenüber der kreisförmigen Vibration reduziert ist.

12.2.4 Festigkeitsentwicklung und Ausschalfristen

Ein Bauteil darf erst dann ausgerüstet oder ausgeschalt werden, wenn der Beton ausreichend erhärtet ist um sein Eigengewicht etc. verformungsarm abzutragen. Anhaltswerte für Ausschalfristen sind in Tabelle 12-5 dargelegt.

Tabelle 12-5: Ausschalfristen (Anhaltswerte) nach DIN 1045

Zementfestigkeitsklasse nach DIN 1164	Schalung von Wänden, Stützen und Balken (seitlich)	Deckenplatten-schalung	Rüstung von Balken, Rahmen und weitgespannten Platten
	Tage	Tage	Tage
Z 25	4	10	28
Z 35 L	3	8	20
Z 35 F und Z 45 L	2	5	10
Z 45 F und Z 55	1	3	6

Die Tabelle gilt bei einer Erhärtungstemperatur von $T = +5^{\circ}\text{C}$. Im Sommer bei Temperaturen von $+25^{\circ}\text{C}$ geht die Erhärtung wesentlich schneller voran.

Werden kürzere Ausschalfristen angestrebt, ist die Festigkeitsentwicklung zu überprüfen.

12.2.5 Nachbehandlung des Betons

Wärmehachbehandlung

Frischer Beton muss vor Kälte/Hitze/Austrocknen geschützt werden. Wird dies nicht gemacht, so erreicht der Beton nur geringere Endfestigkeiten. Folgende Massnahmen zur Qualitätssicherung können getroffen werden:

Winter:

Heizen der Zuschlagstoffe und des Wassers, damit der Beton ca. 15-20° Temperatur beim Einbringen erreicht. Abdecken der betonierten Oberflächen sowie allenfalls der Schalungen (Beispiel: Gurit-Matten)

Sommer:

Abdecken der frischen Betonoberflächen mit Plastik oder Matten; Wasserberieselung in Intervallen oder dauernd über Tage. In heissen Zonen (Beispiel Naher Osten, Irak, Saudi-Arabien etc.) wo hohe Temperaturen an der Tagesordnung sind, werden in der Betonaufbereitung anstelle von Wasser Eis-Chips beigegeben. Zudem ist eine entsprechende Nachbehandlung erforderlich (austrocknen verhindern, befeuchten).

Oberflächenglättung

Bei Betonböden wird oft eine gebrauchsfähige und dauerhaft verschleissfeste Oberfläche verlangt. Durch die Betonverdichtung steigen die Luftbläschen vertikal nach oben. Dadurch entsteht an der Oberfläche oft eine poröse Textur aus Zementleim. Eine solche Oberfläche ist rau und daher abriebgefährdet. Um die Oberfläche zu glätten, verwendet man Rotorglätter (Bild 12-42).

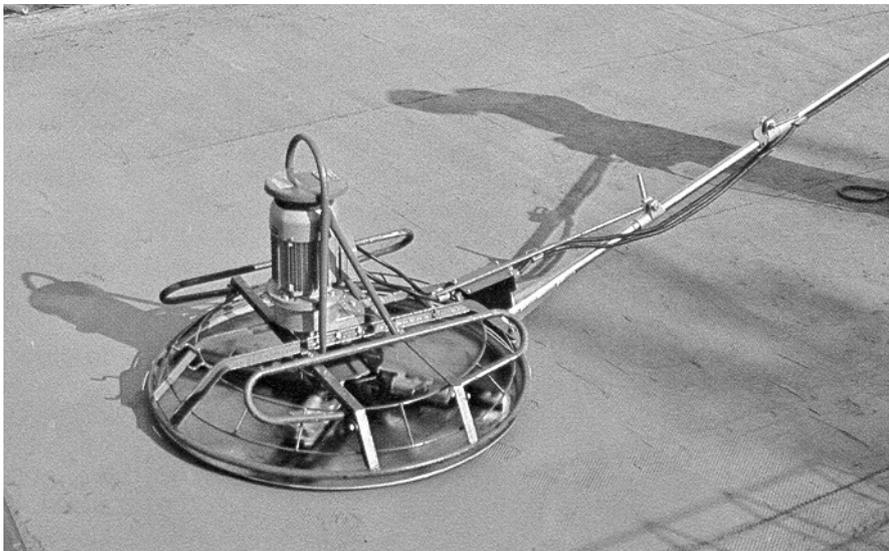


Bild 12-42: Rotorglätter [16]

12.2.6 Vakuumbeton

Soll die Oberfläche von aufsteigendem und aufgestiegenem Zementleim befreit werden, zur Erzielung einer festen, verschleissfesten Oberflächenstruktur des Betons, verwendet man das Vakuumabsaugverfahren. Beim Vakuumverfahren wird dem in üblicher Weise hergestellten Beton während des Einbaus oder nach dem Einbau ein Teil seines Wassergehaltes durch Absaugen mit Hilfe einer Vakuumpumpe und einer mit einem Filtertuch versehenen Vakuumschalung oder Vakuummatte entzogen. Das Verfahren ermöglicht das frühere Ausschalen der Bauteile, verringert das Schwinden

und verbessert die Festigkeit und Witterungsbeständigkeit des Betons an den Bauteiloberflächen.

Der Vakuum-Teppich (Filtermatten) besteht aus einem flexiblen, wasser- und luftdichten synthetischen Spezialgewebe. Er wird zum bequemen Transport und zum Umsetzen auf zwei Tragrohre aufgerollt. Entsprechend der Grösse der Betonflächen kann er stufenlos bis max. 6.0 m ausgebreitet werden. In der Mitte des Teppichs befindet sich der Sammelkanal mit dem festmontierten Vakuumschlauch, durch den das Wasser in das Vakuomaggregat gefördert wird.

Zu jedem Vakuum-Teppich gehören Filtermatten, die das Feinmaterial – speziell den Zementleim – im Beton zurückhalten und die „Drainagekanäle“ zwischen Vakuum-Teppich und Betonoberfläche für das Abfliessen des Wassers freihalten. Durch die sinnvolle Kombination der lose verlegten Filtermatten mit dem flexiblen Vakuum-Teppich ist nicht nur das Abdichten gegen Falschluff, das Umsetzen und die Reinigung problemlos, sondern vor allem das Anpassen an jede beliebige Grösse der Betonflächen unter Berücksichtigung von Aussparungen, Anschlusseisen u.ä. möglich.

Vorteile / Nachteile:

- höhere Verschleissfestigkeit / aufwendigere Installation
- glatte Oberfläche / arbeitsintensiver
- erhöhte Druckfestigkeit
- monolithischer Aufbau / kostenintensiver



Bild 12-43: Auslegen von Vakuum-Filtermatten [17]

12.2.7 Unterwasserbeton

Unterwasserbeton wird eingesetzt, wenn bei anstehendem Grundwasser keine Grundwasserabsenkung in ausgebagerten Baugruben möglich ist.

Die Anwendungsgebiete für Unterwasserbeton sind z.B.:

- Sohlplatten zur Abdichtung und Aussteifung von Baugruben, deren Gründung im Grundwasser steht und wo aus Umweltschutzgründen kein Absenken des Wasserspiegels möglich ist
- Gründungskörper, die ohne Grundwasserhaltung herzustellen sind wie z.B. Pfeilerfundamente
- Bohrpfähle und Schlitzwände, die nur mittels Unterwasserbeton (Contractor-Verfahren) hergestellt werden, weil die Bentonitstützung zur Aufrechterhaltung der Bohrpfahl- bzw. Schlitzwandstabilität notwendig ist und anschliessend durch Beton ersetzt wird

Bei der Herstellung von Sohlplatten und Gründungskörpern mittels Unterwasserbeton sind folgende Randbedingungen und Besonderheiten dieses Bauverfahrens zu berücksichtigen:

- Die Unterwasserbetonsohle muss gegen Auftrieb gesichert werden; entweder durch entsprechendes Eigengewicht oder durch zusätzlich Zugelemente (Anker).
- Die Sohle dient zur Aussteifung der Baugrube und übernimmt Normalkräfte.
- Der Querschnitt der Unterwasserbetonsohle übernimmt Biege- und Querkräfte bzw. es bildet sich ein entsprechendes Druckgewölbe zwischen den einzelnen Ankerzugelementen aus.
- Aus verfahrenstechnischen Gründen ist, unabhängig von der statisch erforderlichen Höhe einer solchen Sohlplatte, eine Mindestdicke von ca. 1 Meter erforderlich; diese ergibt sich aus dem gewählten Einbauverfahren und der Wassertiefe.
- Die Neigung einer solchen Unterwasserbetonsohle sollte aus betontechnologischen Gründen 5 bis 6 % nicht überschreiten. Grössere Höhensprünge müssen mittels Abststellungen, die durch Taucher installiert werden, realisiert werden.
- Es müssen Vorsorgemassnahmen getroffen werden, um - falls während des Lenzvorgangs einer solchen Baugrube Undichtigkeiten in der Sohle auftreten - Kompensationswasser bereit zu stellen und nachzufüllen, um ein Unterspülen der Sohle zu verhindern und diese dann unter Wasser abzudichten.
- Die Baugrube sollte nicht auf einmal gelenzt werden, sondern der Vorgang sollte nach einem Drittel des Volumens über Nacht unterbrochen werden, um den Pegelstand auf Veränderungen, die auf Undichtigkeiten schliessen lassen, zu prüfen,
- Es muss geprüft werden, ob der pH-Wert des zu lenzenden Wassers infolge der Unterwasserbetonage basisch ist und dieses somit nicht ohne Neutralisation in die Kanalisation bzw. nahe liegende Gewässer geführt werden kann.
- Die Unterwasserbauteile können bewehrt oder unbewehrt ausgeführt werden.

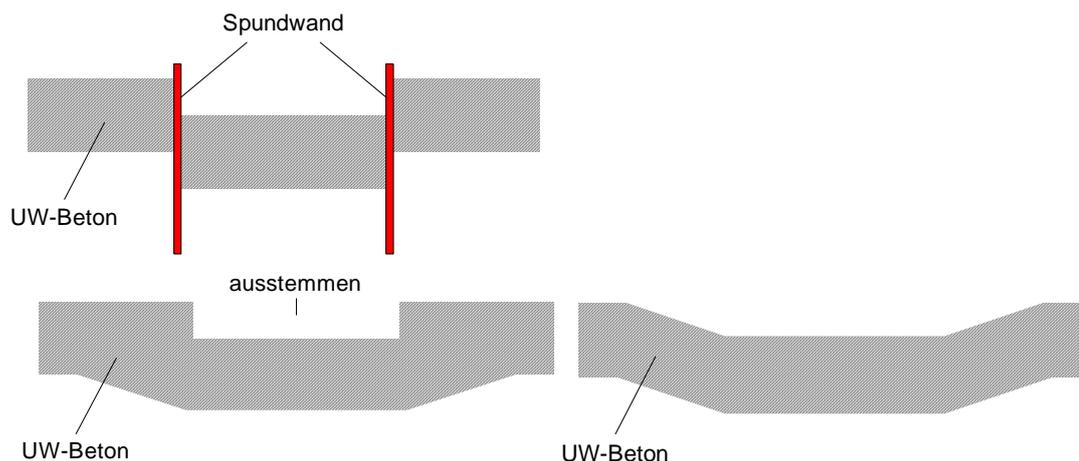


Bild 12-44: Varianten der Vertiefung in UW-Betonsohlen [18], S. 411

Bei lokalen Vertiefungen für Aufzugsschächte und Pumpensümpfe in der Bodenplatte sollte gründlich überlegt werden, ob sie in der Unterwasserbetonsohle modelliert oder ob sie anschliessend durch entsprechende Auffüllung auf der Unterwasserbetonsohle erstellt werden sollten. Entscheidet man sich für Vertiefungen in der Unterwasserbetonsohle zur Bildung eines Schachtfusses, so hat man folgende Möglichkeiten (Bild 12-44):

- Man rammt um den Vertiefungsbereich einen separaten Spundwandkasten und hebt innerhalb dieses Kastens den Baugrund vertieft aus. Dabei wird dann der Unterwasserbeton zuerst in den Spundwandkasten eingebracht und anschliessend um den Spundwandkasten selbst herum.
- Man bildet den Unterwasseraushub um den Schachtbereich, den man vertieft aushebt, mit einer entsprechenden Neigung bis auf die Höhe der umgebenden Wasserbetonsohle aus. Dann kann man die entsprechende Unterwasserbetonsohle in der konstanten Dicke einbringen und füllt später, nachdem man die Baugrube gelenzt hat, den pyramidenstumpfähnlichen Teil um den Schachtfuss herum mit Magerbeton auf.

Die Anschlüsse der Unterwasserbetonsohle an die umgebende Baugrubenumschliessung erfordert besondere Sorgfalt, da hier potentielle Undichtigkeitsstellen liegen. Dies ist dadurch begründet, dass die Aushubgeräte während des Unterwasseraushubs den anstehenden Boden im Bereich der Baugrubenumschliessung nicht sauber abschälen können; bei Spundbohlen in dem jeweiligen Talbereich ist dies besonders gravierend. Daher müssen Taucher diese Anschlussflächen vor dem Betonieren von anhaftendem Boden sowie Suspensionsmaterial reinigen. Dies erfolgt heute meistens mit der Hochdruckwasserstrahltechnik, bei der unter Wasser mit Drücken bis zu 1'000 bar gearbeitet wird. Bei einer gewissenhaften Durchführung dieser Nacharbeit kann aus praktischer Sicht auf eine technisch aufwendige und zeitraubende Montage von Injektionsleitungen zur späteren Verpressung der Anschlussfuge verzichtet werden. Vor dem Betonieren muss daher nochmals unter Wasser eine vollständige Kontrolle durch Taucher erfolgen, im Regelfall mittels Tastverfahren, da die Sichtverhältnisse äusserst schlecht sind. Aufgrund von Erfahrungswerten können die Betonierabschnitte für Unterwasserbeton bei entsprechender Betonrezeptur ohne Rissbildung (Hydratationsprozess) bis zu 60 Meter lang sein. Bei der Betonrezeptur ist darauf zu achten, dass der Unterwasserbeton eine gute Fliessfähigkeit hat und sich nicht entmischen kann.



Bild 12-45: Unterwasseraushub vom Trockenabschnitt [18], S. 412



Bild 12-46: Unterwasseraushub und Planumserstellung vom Stelzenponton [18], S. 412

Bauverfahrensablauf

Der Bauverfahrensablauf z.B. einer Unterwasserbetonsohle ist im Allgemeinen wie folgt gegliedert:

- Herstellung der Baugrubenumschliessung vom Terrain
- Aushub der Baugrube bis Grundwasserspiegel und rückwärtige Verankerung
- Oberflächenaushub bis zu einer Wassertiefe von ca. 2 Meter ab Oberfläche für die Installation von Pontons (Bild 12-45)
- Installation des Baggers auf den Pontons zum weiteren Unterwasseraushub (Bild 12-46)
- In sandigen Böden kann zum Unterwasseraushub auch eine Dredger-Pumpe genutzt werden, die an dem Ausleger eines Raupenkrans hängt. Dazu ist es erforderlich, eine Sandseparationsanlage zu installieren, die die Flüssigkeitsförderung in Wasser und Feststoffe trennt und das Wasser zur Aufrechterhaltung des Pegels in die Baugrube rückführt.
- Während des Aushubs ist die Konstanzhaltung des Wasserstands von höchster Bedeutung und muss entsprechend kontrolliert werden (keine Grundwasserabsenkung erlaubt).
- Das Aushubgerät sollte mit einer Höhensteuerung ausgerüstet sein, damit die Aushubsohle entsprechend gleichmässig mit geringen Toleranzen hergestellt werden kann. Dabei ist zu beachten, dass wegen mangelnder Sicht gewisse Unebenheiten der Aushubsohle unvermeidbar sind.
- Die Höhenkontrolle muss mittels einer Peilstange erfolgen, die an einer temporär in der Baugrube gespannten Führungsschnur oder einem Schwimmponton geführt wird. Die Peilstange erhält in der Aufstandsfläche einen Querholm (T-Profil), um

eine streifenweise Höhenkontrolle durchzuführen. Diese Streifen müssen so angelegt werden, dass die Höhenkontrolle vollflächig erfolgen kann.

- Nach Erreichen der Aushubtiefe und der endgültigen vollflächigen Sohlkontrolle wird die Baugrube flächenartig mittels Unterwassersaugpumpe gereinigt. Damit wird sichergestellt, dass loses Material und Sedimente, die während des Aushubs in der Schwebe gehalten werden, keine Schlammschicht am Boden bilden und somit den Unterwasserbeton verstärkt verunreinigen können.
- Sobald die Sohle schlammfrei ist, wird dann der Anschluss an die Baugrubenwand gereinigt.
- Anschliessend erfolgt bei einer Auftriebssicherung mittels Zugelementen das Setzen von z.B. Stabverpresspfählen (z.B. GEWI-Pfähle) oder Rüttelinjektionspfählen. Diese werden von einem Ponton oder bei Linienbauwerken von einer Arbeitsbrücke, die entlang der Trasse geführt wird, aus eingebracht.
- Vor Aufnahme des Betoniervorgangs sind die Baugrubensohle und alle Anschlussbereiche zum Baugrubenverbau nochmals von Schlamm zu reinigen und auf ihre Sauberkeit zu prüfen.
- Alle Elemente der Auftriebssicherung mit Kopfplatten und Fugenabstellungen sind nochmals von Tauchern zu kontrollieren.
- Der Wasserstand in der Baugrube muss nochmals überprüft werden.
- Durchführung der Unterwasserbetonherstellung gemäss Bild 12-47



Bild 12-47: Einbau des UW-Betons vom Ponton mit Schablone für die Betonierrohrführung [18], S. 413

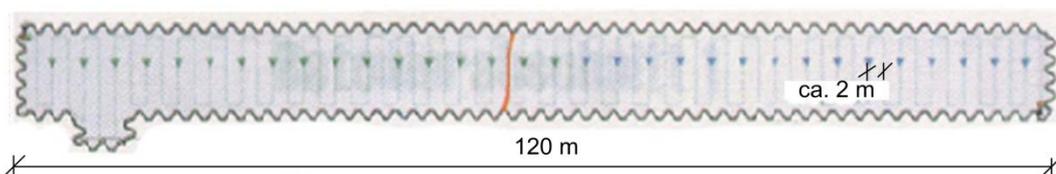


Bild 12-48: Betonierplan zur Führung des Betonierrohres [18], S. 413

Ablauf der Unterwasserbetonherstellung

Für die Herstellung der Unterwasserbetonsohle muss ein Betonierplan (Bild 12-48) erstellt werden. Mithilfe des Betonierplans erfolgt während des Betoniervorgangs die Führung der Betonierrohre entlang der Betonierspur. Die Herstellung des Unterwasserbetons erfordert einen kontinuierlichen, störungsfreien Ablauf; daher muss der Logistik der Anlieferung des Betons besonders grosse Bedeutung zugemessen werden. Im Regelfall können bei sehr grossen Unterwasserbetonsohlen 100 bis 150 m³ Beton pro Stunde mit zwei Mastausleger-Pontons eingebaut werden (Bild 12-47). Zur Sicherstellung der kontinuierlichen Beschickung der Mastpumpe müssen um die Baugrube herum entsprechende Zu- und Abfahrtsmöglichkeiten geschaffen werden, die diese grosse "just in time"-Anlieferung des Betons durch Transportfahrzeuge erlauben. Der Unterwasserbeton wird mittels Betonierrohren, die meist an einem Ponton geführt (Bild 12-47) und z.B. quer durch die Baugrube gezogen werden, und Mastpumpen über einen Trichter eingebracht.

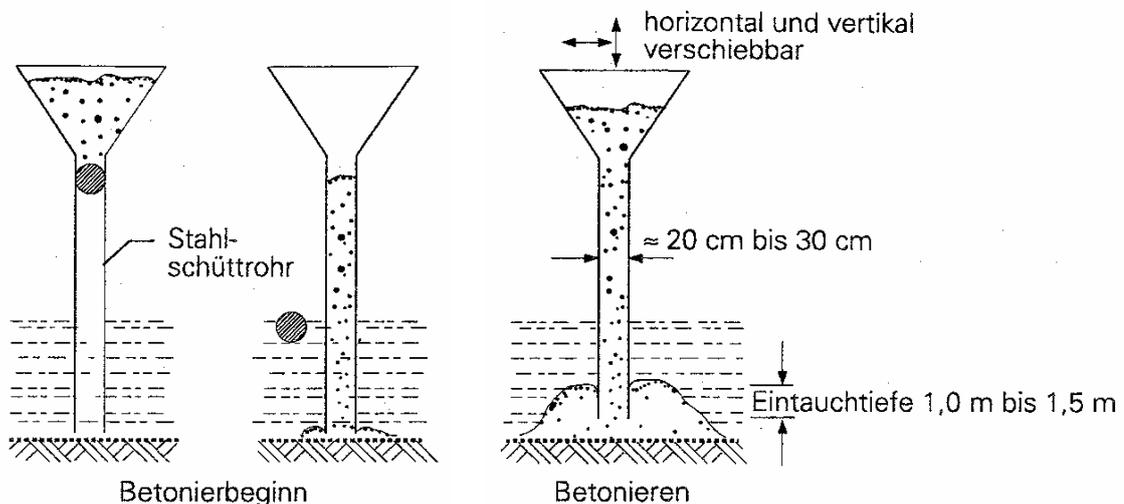


Bild 12-49: Einbauverfahren für Unterwasserbeton - Contractor-Verfahren [19]

Der Betoniervorgang wird wie folgt durchgeführt (Bild 12-49):

- 1. Phase: Das Betonierrohr wird vor dem Betonieren auf der Baugrubensohle abgestellt. Es wird nun von der Sohle bis zum Trichter mit Beton aufgefüllt.
- 2. Phase: Nachdem das Betonierrohr mit Beton voll gefüllt ist, wird es leicht angehoben, so dass der Beton infolge seiner hydrostatischen Höhendifferenz nun kontinuierlich austreten kann und seitlich entlang des Betonierrohrs nach oben steigt.
- 3. Phase: Der frisch nachdringende Beton steigt also von unten auf und verdrängt somit nach oben das Wasser. So kommt der frisch austretende Beton nicht mit dem Wasser in Berührung; dieses Contractor-Verfahren hat den Vorteil, dass keine Entmischung stattfindet.

Das Betonierrohr wird in Abhängigkeit von der sich einstellenden Betonoberfläche, die mittels Peilstab und Laser kontrolliert wird, in Quer- und Längsrichtung verzogen (Bild 12-50). Während dieses Verziehvorgangs darf das Betonierrohr niemals aus dem umgebenden Beton herausgezogen werden. Das Betonierrohr folgt der austretenden Betonwalze. In gewissen Zeitabständen oder während des gesamten Betoniervorgangs muss überprüft werden, ob durch die Betonage eine Restschlammwalze in Betonier-

richtung entsteht. Wenn ja, muss diese Schlammwalze mit einer Unterwasserschlammpumpe abgesaugt werden, damit sie sich nicht mit dem frischen Beton vermischt. Zudem muss während des Betoniervorgangs der Wasserstand in der Baugrube überprüft werden. Der Wasserstand muss wegen der ständigen Betonzugabe entsprechend dem Volumen des eingepumpten Betons reduziert werden. Nach dem Erhärten der Sohle kann die Baugrube gelenzt werden (Bild 12-51 und Bild 12-52).

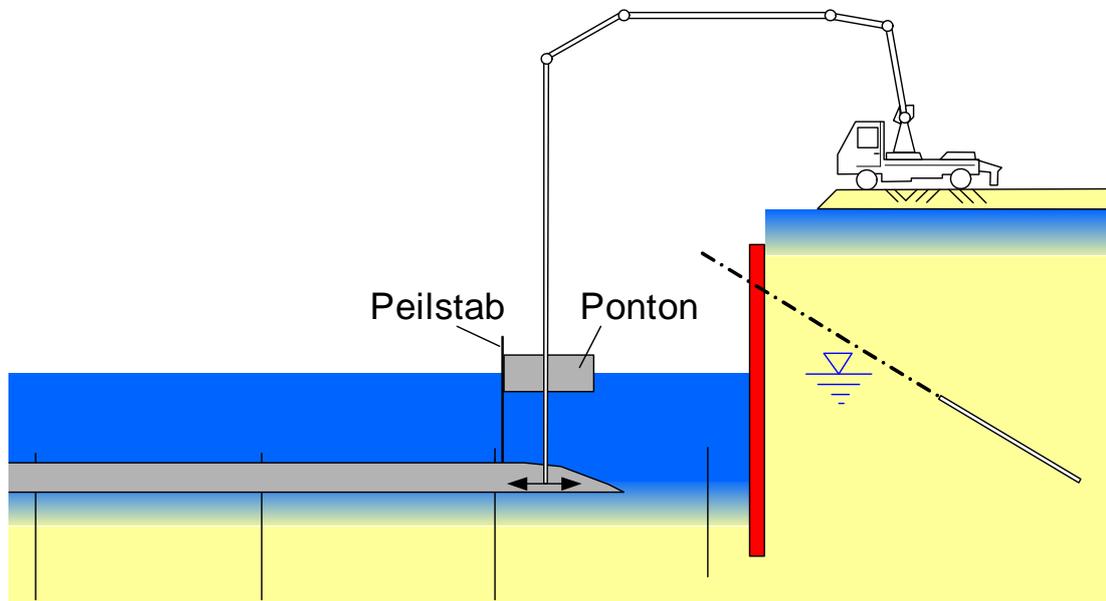


Bild 12-50: Betonieren mit Contractor-Verfahren - Betonierrohr am Ponton geführt [18], S. 414



Bild 12-51: Gelenzte Baugrube [18], S. 414



Bild 12-52: Gereinigte Baugrube [18], S. 414

Entscheidend für die Funktion und Dichtigkeit des Unterwasserbetons sind:

- sorgfältige konstruktive Planung
- sorgfältige baubetriebliche Planung
- fachkundige Ingenieure sowie Ausführungspersonal
- sorgfältig hergestellte Aushubsohle
- vollständige Absaugung abgelagerter Sedimente und des Restaushubs
- gewissenhafte Reinigung der Baugrubenumschliessung im Anschlussbereich
- vorlaufende Absaugung der Schlammwalze während des Betonierens
- optimale Betonrezeptur zur Herstellung eines dichten, fliessfähigen Unterwasserbetons
- technisch einwandfreie Ausbildung der Auftriebssicherung, besonders im Anschlussbereich der Zuelemente
- einwandfreies Führen des Betonierrohrs und Kontrolle des Eintauchens in den Beton

Literaturverzeichnis

- [1] SIA-Norm 162: Betonbauten. Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1995.
- [2] Simons K., Kolbe P.: Verfahrenstechnik im Ortbetonbau – Schalen – Bewehren – Betonieren. Teubner Verlag, Stuttgart, 1987.
- [3] König H.: Maschinen im Baubetrieb – Grundlagen und Einsatzbereich. Bauverlag, 1996.
- [4] Lexikon Bauingenieurwesen, VDI Verlag.
- [5] Riker, R.: Maschinenteknik im Betonbau. Ernst & Sohn, Berlin, 1996.
- [6] Bauer H.: Baubetrieb1, Einführung, Rahmenbedingungen, Bauverfahren. 2., neubearbeitete Auflage, Springer Verlag, 1994
- [7] Elba-Werk Maschinen-Gesellschaft, Ettlingen, Produktinformationen.
- [8] Liebherr-Hydraulikbagger GMBH, Kirchdorf/Iller, Produktinformationen.
- [9] Frischbeton AG, Bäretswil, Produktinformation.
- [10] Putzmeister AG, Stuttgart, Produktinformation.
- [11] Seeling, R.: Vor- und Nachteile sowie Risiken beim Einsatz von Betonpumpen. In: BMT, Heft 1, 1997, S. 29f.
- [12] Schwing GmbH, Herne, Produktinformationen.
- [13] Heuer H., Gubany J., Hinrichsen G.: Baumaschinentaschenbuch – Ratgeber für die Baupraxis. Bauverlag, 1994.
- [14] Drees G., Link R.: Baumaschinen für Bauingenieure. Werner- Verlag, Düsseldorf, 1969.
- [15] American Concrete Institute, ACI Manual of Concrete Practice 1987, Part 2, ACI Publication, Detroit, Michigan.
- [16] Noggerath& Co GmbH Produktinformation in König H. : Maschinen im Baubetrieb – Grundlagen und Einsatzbereich. Bauverlag, 1996.
- [17] Tremix, Generalvertretung: Wagner + Betontechnik AG, Sursee, Produktinformation.
- [18] Heinzelmann, H.: Unterwasser- Betonsohlen, Flughafen München, Tiefbau, Jahrgang 114, Ausgabe 2002, Heft 8, Seite 410 – 414.
- [19] Bayer E., Kampen R.: Betonpraxis. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V., 1999.
- [20] Girmscheid G.: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse. Springer-Verlag, Berlin 2003.

Weiterführende Literatur:

Riker, R.: Maschinenteknik im Betonbau. Ernst & Sohn, Berlin, 1996.

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 13: Bauverfahren des Stahl- betonbaus - Leistungsermittlung und Aufandswerte für Stahlbetonarbeiten

Inhaltsverzeichnis

13	Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Leistungsermittlung und Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten	667
13.1	Einleitung	667
13.2	Schalungsarbeiten	668
13.2.1	Konventionelle Elementschalssysteme (lose Schalhaut)	671
13.2.2	Grossflächen-Wandschalungen aus Systemelementen	682
13.2.3	Rahmenschalungen.....	684
13.2.4	Kletterschalungen.....	685
13.3	Armierungseinbau.....	686
13.3.1	Hochbau	688
13.3.2	Ingenieur- und Brückenbau	692
13.3.3	Spannglieder	693
13.4	Betonarbeiten.....	694
13.4.1	Lieferbeton mit Kranumschlag	695
13.4.2	Lieferbeton mit Betonpumpenumschlag	697
13.5	Dauer der Arbeitsgänge.....	699
	Literaturverzeichnis	700

13 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Leistungsermittlung und Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten

13.1 Einleitung

Für die Kalkulation von Baupreisen sowie der Berechnung des Arbeitsfortschritts ist es wichtig die Leistung von Arbeitsgruppen ermitteln zu können. Es wird hier im Besonderen die Leistungsermittlung von Arbeitsgruppen im Bereich des Stahlbetonbaus betrachtet.

Aufwandswerte für die einzelnen Tätigkeiten der Elementarprozesse können gemäss Bild 13-1 der Fachliteratur entnommen werden bzw. sollten in jeder Kalkulationsabteilung von Bauunternehmen vorhanden sein. Oft sind diese Aufwandswerte aufgrund von Erfahrung und Beobachtungen in Datenbanken angelegt. Diese sollten ständig erneuert bzw. aktualisiert werden.

	Elementarprozesse	Tätigkeiten
Stahlbetonarbeiten	Schalen	Vorbereitung
		Einschalen
		Ausschalen
		Nachbehandlung
	Armieren	Vorfertigung
		Einbau
	Betonieren	Mischen
		Einbringen
		Verdichten
		Oberflächenbehandlung

Bild 13-1: Einteilung der Arbeitsgänge und Tätigkeiten von Stahlbetonarbeiten [1], S. 208

In Bild 13-1 sind die Tätigkeiten der Elementarprozesse aufgeführt. Die Nebentätigkeiten müssen für die Beurteilung der Aufwandswerte für die Tätigkeiten in diesen enthalten sein.

Es ist daher erforderlich, dass den Aufwandswerten für die einzelnen Haupttätigkeiten eine genaue Beschreibung der Nebentätigkeiten vorliegt, die in diesen enthalten ist. So können Fehlkalkulationen vorgebeugt und Berechnungen zutreffend ausgeführt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Rüstzeit von Betonpumpanlagen und Betonverdichtern, hier können die dazu erforderlichen Mannstunden in einen Aufwandswert für den

Elementarprozess „Betonieren“ eingerechnet sein, oder können zusätzlich aufgeführt und eingerechnet werden.

13.2 Schalungsarbeiten

Der Gesamtstundenaufwand für Schalungsarbeiten setzt sich zusammen aus:

- Gesamtstundenaufwand zum Schalen
- Gesamtstundenaufwand für Schalungsvorbereitung und Demontage

Aufwandswerte für Schalarbeiten umfassen das Stellen der Rüstung (Rüstböcke oder auch Stahlspindelstützen bei konventioneller Schalung etc.) inklusive der Schalungsträger, sowie das Verlegen der Schalhaut, für Rahmentafelschalungen gilt dies sinn-gemäss.

Die Aufwandswerte werden im Allgemeinen in Zeit pro m² Schalfläche (h/m²) oder bei Sonderarbeiten in Zeit pro Leistungseinheit (h/LE) angegeben.

Gesamtstundenaufwand zum Ein- und Ausschalen T_{S,1}

$$T_{S,1} = \sum_j \left(\sum_i a_{Si,j} \right) \times A_j + \sum_k (a_{Z,k} \times Z_k) \quad [h]$$

T _{S,1}	Gesamtstundenaufwand des Ein- und Ausschalens	[h]
a _{Si,j}	Aufwandswert für die einzelnen Tätigkeiten i, für Systemschalungen: i = e : Einschalen, eventuell Umsetzen, Ölen, Abdichten i = a : Ausschalen und Reinigen	[h/m ²]
A _j	Fläche des geschalten Bauteils	[m ²]
a _{Z,k}	Zuschlag für Sonderarbeiten (Ecken, Aussparungen, Beischalarbeiten, Einbauteile an Schalung anbringen etc.)	[h/LE]
Z _k	Leistungseinheit für Sonderarbeiten z.B. LE = m ² , LE = Stück etc.	[LE]
j	unterschiedliche Schalbereiche, z.B. Wände, Unterzüge, Hauptdeckenflächen, Stützen etc.	[-]
k	Sonderarbeiten	[-]

Gesamtstundenaufwand zur Schalungsvorbereitung und Demontage T_{S,2}

$$T_{S,2} = \sum_i a_{V,i} \times A_s \quad [h]$$

T _{S,2}	Gesamtstundenaufwand zur Schalungsvorbereitung und Demontage	[h]
a _{V,i}	Aufwandswert zur Montage bzw. Demontage der Schalung als Grosselemente, Deckentische etc.: i = M : Montage / Zusammenbau	[h/m ²]

i = D : Demontage

A_S Fläche der vorbereiteten bzw. demontierten Schalung [m²]

Gesamtstundenaufwand für die Schalungsarbeiten T_S

$$T_S = T_{S,1} + T_{S,2} \quad [\text{h}]$$

T_S Gesamtstundenaufwand für die Schalungsarbeiten [h]

$T_{S,1}$ Gesamtstundenaufwand des Ein- und Ausschalens [h]

$T_{S,2}$ Gesamtstundenaufwand zur Schalungsvorbereitung und Demontage [h]

Für Wandbauteile wird der Aufwand für verschiedene Schalungsmethoden unterschieden in:

- Elementschalungen (Schalung mit Schaltafeln und Systemelementen),
- Grossflächen-Wandschalungen,
- Rahmenschalungen.

Grundsätzlich sind in den Aufwandswerten Zeiten für folgende Nebentätigkeiten berücksichtigt [2]:

- Informieren über technische Ausführung
- Befördern, Aufstellen und Umsetzen von Betriebsmitteln und Geräten, die für die beschriebene Arbeitspositionen erforderlich sind, soweit nicht Teil der Baustelleneinrichtung
- Herstellen, Einbauen und Ausbauen der Schalung sowie Transportieren auf Baustellen mit Krane innerhalb des Schwenkbereichs bzw. auf sonstigen Baustellen horizontaler Transport bis zu einer Entfernung von 30 m. Ein- und Ausschalen mit vorgefertigten Schalelementen
- Eingeschlossen sind beim Einschalen Transporte vom Montageplatz, Lagerplatz oder Zwischenlagerplatz zur Einbaustelle und beim Ausschalen Transporte zum Zwischenlagerplatz innerhalb des Arbeitsabschnitts einschliesslich Stapeln, Abstellen bzw. Ablegen
- Herrichten und Anbringen bzw. Einbauen von Schalkränzen, Zwangsbrettern (Drängbrettern) und sonstigem Zubehör
- Einbauen von Distanzhaltern sowie Ein- und Ausbauen von einteiligen Spannstäben
- Einhalten der Konstruktionsmasse der Bauteile, ausgehend von vorgegebenen Höhenmassen, Achsmassen und Fluchtpunkten
- Reinigen von Bauteilschalungen von Schalungsabfällen und dergleichen nach Fertigstellung bzw. Reinigen und Einsprühen der Schalung
- Grobreinigen des Arbeitsplatzes von Schalungsabfällen und Zubehör, Abtransport des überzähligen Schalmaterials auf Kranbaustellen innerhalb des Schwenkberei-

ches bzw. auf sonstigen Baustellen horizontaler Transport bis zu einer Entfernung von 30 m

- Sortieren und Stapeln von ausgebaute Schalung sowie Abtransport auf Kranbaustellen innerhalb des Schwenkbereichs bzw. auf sonstigen Baustellen horizontaler Transport bis zu einer Entfernung von 30 m
- Konventionelle Beischalung in Verbindung mit Rahmentafelschalungen
- Auf- und Abbauen von Arbeitsgerüsten bis 2.00 m Höhe und Transportieren auf Kranbaustellen innerhalb des Schwenkbereiches bzw. auf sonstigen Baustellen manueller horizontaler Transport bis zu einer Entfernung von 30 m

Es ist darauf zu achten, wie die Abläufe auf der Baustelle geplant sind und dass möglichst Systemschalungen verwendet werden:

- Beim einmaligen Einsatz wird die Schalung für einen Abschnitt zusammengefügt und nach dem Ausschalen wieder auseinander gebaut.
- Beim mehrmaligen Einsatz wird die für den ersten Einsatz zusammengefügte Schalung nahezu unverändert von der Leistungsgruppe wiederholt eingesetzt.
- Anteile für das Transportieren der Schalung innerhalb der Baustelle zur Arbeitsstelle beim Einschalen und von der Arbeitsstelle weg nach dem Ausschalen sind anteilmässig in den Aufwandswerten berücksichtigt.

Nachfolgend sind einige ausgewählte Aufwandswerte für die Haupttätigkeiten $a_{se,j}$ bzw. $a_{sa,j}$ sowie Zuschläge für Sonderarbeiten $a_{z,k}$ dargestellt [2]. Diese sind unterteilt in verschiedene Bauwerksteile bzw. Schalbereiche j mit charakteristischen Funktionen (Wände, Balken etc.).

Besondere Anforderungen an die Schalung sind als Erhöhung des Aufwandswerts $a_{se,j}$ zu berücksichtigen. Diese sind in Tabelle 13-5 den Bauwerksteilen zugeordnet.

13.2.1 Konventionelle Elementschalssysteme (lose Schalhaut)

j - Wände

Tabelle 13-1: Wände: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$, (Einschalen)/ $a_{sa,j}$, (Ausschalen), Schaltafeln auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.221

Höhe [m]	Fläche [m ²]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 3.25	< 100	0.63	0.22	0.53	0.22
< 3.25	> 100	0.53	0.20	0.50	0.20
3.25 – 5	< 100	0.78	0.27	0.68	0.27
3.25 – 5	> 100	0.68	0.22	0.58	0.22

Tabelle 13-2: Wände: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$, (Einschalen) / $a_{sa,j}$, (Ausschalen), Mehrschichtschalplatten auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.221

Höhe [m]	Fläche [m ²]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 3.25	< 100	0.58	0.22	0.48	0.22
< 3.25	> 100	0.48	0.19	0.38	0.19
3.25 – 5	< 100	0.73	0.27	0.63	0.27
3.25 – 5	> 100	0.63	0.22	0.53	0.22

Die Aufwandswerte der Tabelle 13-1 sind zu erhöhen, sollten besondere Anforderungen bzw. Gegebenheiten eintreffen und in den angegebenen Werten nicht berücksichtigt sein. So sollten die Aufwandswerte für den Fall von Brettschalungen, einseitig geschalteten Wänden oder auch Aussenschalungen wie in Tabelle 13-3 dargestellt erhöht werden.

Tabelle 13-3: Wände: Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} nach [2], B 1.2.221

Anforderung	Brettschalung	Einseitig geschalt	Aussenschalung *)
Erhöhung [h/m ²]	0.26	0.15	0.08

*) Erhöhung des Aufwandswerts bei Einsatz von Wandschalung über 1. Geschoss für das Installieren der Abstützkonsole (Aufhängeschuh, Arbeits- und Stützkonsole)

j - Randschalungen von Decken und Fundamente

Tabelle 13-4: Randschalungen ¹⁾ von Decken und Fundamente: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen) nach [2], B 1.2.211

Bauteil	Schalsystem	Höhe [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
			a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
Fundamente	Schaltafeln	< 1.40	0.73	0.19	0.58	0.19
	Brettschalung	< 1.40	0.88	0.15	0.43	0.15
Decken	Schaltafeln	0.20 – 0.50	0.78	0.27	0.63	0.27
	Brettschalung	< 0.20	1.33	0.32	0.88	0.37
		20 – 50	0.98	0.27	0.53	0.27

Die Aufwandswerte der Tabelle 13-4 sind zu erhöhen sollten besondere Anforderungen bzw. Gegebenheiten eintreffen und in den angegebenen Werten nicht berücksichtigt sein. So sollten die Aufwandswerte für den Fall von einseitig geschalteten Fundamenten (bei grossen horizontalen Abmessungen von Fundamenten) oder Vorsatzschalungen bei Decken und Böden wie in Tabelle 13-5 dargestellt erhöht werden.

Tabelle 13-5: Randschalungen von Decken und Fundamente: Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} nach [2], B 1.2.211

Bauteil	Anforderung	
	Einseitig geschalt	Vorsatzschalung ¹⁾
	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]
Böden / Decken	-	0.17
Fundament	0.13	-

¹⁾ Der typische Aufbau einer Rand- bzw. Vorsatzschalung ist in Kapitel 9.4 Schalungssysteme und Schalungsarbeiten dargestellt.

j – Schächte

Tabelle 13-6: Schächte: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Aus-schalen) nach [2], B 1.2.222

Schalsystem	Höhe [m]	Einmaliger Ein- satz		Mehrmaliger Ein- satz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
Schaltafeln auf Schalungsträger	< 2.50	0.58	0.22	0.48	0.22
	2.50 – 3.25	0.63	0.22	0.53	0.22
	3.25 – 5.00	0.78	0.27	0.68	0.27
Mehrschicht- schalplatten auf Schalungsträger	< 2.50	0.53	0.22	0.43	0.22
	2.50 – 3.25	0.58	0.22	0.48	0.22
	3.25 – 5.00	0.73	0.27	0.63	0.27

Die Aufwandswerte der Tabelle 13-6 sind zu erhöhen, sollten besondere Anforderungen bzw. Gegebenheiten eintreffen. Die Erhöhungen der Aufwandswerte sind in Tabelle 13-7 dargestellt.

Tabelle 13-7: Schächte: Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} nach [2], B 1.2.222

Bauteil	Anforderung	
	Einseitig geschalt	Brettschalung
	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]
Schacht	0.22	0.26

j – Überzüge und Brüstungen

Tabelle 13-8: Überzüge und Brüstungen: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Schaltafeln auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.222

Fläche [m ²]	Höhe [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 25	< 0.50	0.93	0.17	0.83	0.17
	0.50 – 1.40	0.83	0.17	0.73	0.17
> 25	< 0.50	0.78	0.17	0.68	0.17
	0.50 – 1.40	0.63	0.17	0.53	0.17

Tabelle 13-9: Überzüge und Brüstungen: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Mehrschichtschalplatten auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.222

Fläche [m ²]	Höhe [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 25	< 0.50	0.93	0.15	0.78	0.15
	0.50 – 1.40	0.83	0.15	0.68	0.15
> 25	< 0.50	0.73	0.15	0.63	0.15
	0.50 – 1.40	0.58	0.15	0.48	0.15

Die Aufwandswerte der Tabelle 13-8 und Tabelle 13-9 sind zu erhöhen, sollten besondere Anforderungen bzw. Gegebenheiten eintreffen. Die Erhöhungen der Aufwandswerte sind in Tabelle 13-10 dargestellt.

Tabelle 13-10: Überzüge und Brüstungen: Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} nach [2], B 1.2.222

Bauteil	Anforderung		
	Vorsatzschalung *)	Einseitig geschalt	Brettschalung
	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]
Überzüge, Brüstungen	0.26	0.13	0.30

*) zum Auffüttern oder zur besonderen Profilgestaltung, die von rechteckiger Schalung abweicht, siehe Kapitel 9.4

j – Stützen

Tabelle 13-11: Stützen: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Mehrschichtschalplatten auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.231

Fläche [m ²]	Abwicklung [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 15	< 1.20	1.63	0.27	-	-
	1.20 – 2.00	1.23	0.22	-	-
	> 2.00	0.98	0.17	-	-
> 15	< 1.20	1.48	0.27	1.03	0.27
	1.20 – 2.00	1.08	0.22	0.73	0.22
	> 2.00	0.88	0.17	0.63	0.17

Die Aufwandswerte der Tabelle 13-11 sind zu erhöhen, sollten besondere Anforderungen bzw. Gegebenheiten eintreffen. Die Erhöhungen der Aufwandswerte sind in Tabelle 13-12 dargestellt.

Tabelle 13-12: Stützen: Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} nach [2], B 1.2.231

Bauteil	Anforderung		
	Vorsatzschalung *)	Einseitig geschalt	Sichtbeton Schalung
	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]
Stützen	0.35	0.26	0.10

*) Der typische Aufbau einer Vorsatzschalung ist in Kapitel 9.4 Schalungssysteme und Schalungsarbeiten dargestellt.

j - Unterzüge

Tabelle 13-13: Unterzüge: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Aus-schalen), Brettschalung auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.241

Fläche [m ²]	Abwicklung [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 10	< 0.90	1.98	0.27	-	-
	0.90 – 1.60	1.43	0.27	-	-
	1.60 – 2.40	1.18	0.27	-	-
> 10	< 0.90	1.78	0.27	1.13	0.27
	0.90 – 1.60	1.28	0.27	0.83	0.27
	1.60 – 2.40	1.08	0.27	0.73	0.27

Tabelle 13-14: Unterzüge: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Aus-schalen), Schaltafeln auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.241

Fläche [m ²]	Abwicklung [m]	Einmaliger Ein-satz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 10	0.90 – 1.60	1.28	0.27	-	-
	1.60 – 2.40	1.18	0.27	-	-
> 10	0.90 – 1.60	1.13	0.27	0.93	0.27
	1.60 – 2.40	1.03	0.27	0.83	0.27

Die Aufwandswerte der Tabelle 13-13 und Tabelle 13-14 sind zu erhöhen, sollten besondere Anforderungen bzw. Gegebenheiten eintreffen. Die Erhöhungen der Aufwandswerte sind in Tabelle 13-15 dargestellt.

Tabelle 13-15: Unterzüge: Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} nach [2], B 1.2.241

Fläche [m ²]	Anforderung	
	Vorsatzschalung *)	Sichtbeton Schalung
	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]
< 10	0.35	0.10
> 10	0.30	0.10

*) Der typische Aufbau einer Vorsatzschalung ist in Kapitel 9.4 Schalungssysteme und Schalungsarbeiten dargestellt.

j - Randunterzüge

Tabelle 13-16: Randunterzüge: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Brettschalung auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.242

Fläche [m ²]	Abwicklung [m]	Einmaliger Ein- satz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 10	< 0.90	2.13	0.27	-	-
	0.90 – 1.60	1.58	0.27	-	-
	1.60 – 2.40	1.38	0.27	-	-
> 10	< 0.90	1.88	0.27	1.28	0.27
	0.90 – 1.60	1.43	0.27	1.13	0.27
	1.60 – 2.40	1.23	0.27	0.88	0.27

Tabelle 13-17: Randunterzüge: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Schaltafeln auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.242

Fläche [m ²]	Abwicklung [m]	Einmaliger Ein- satz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 10	0.90 – 1.60	1.43	0.27	-	-
	1.60 – 2.40	1.33	0.27	-	-
> 10	0.90 – 1.60	1.23	0.27	1.13	0.27
	1.60 – 2.40	1.13	0.27	1.03	0.27

Die Aufwandswerte der Tabelle 13-16 und Tabelle 13-17 sind zu erhöhen, sollten besondere Anforderungen bzw. Gegebenheiten eintreffen. Die Erhöhungen der Aufwandswerte sind in Tabelle 13-18 dargestellt.

Tabelle 13-18: Randunterzüge: Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} nach [2], B 1.2.242

Fläche [m ²]	Anforderung		
	Vorsatzschalung	Einseitig geschalt	Sichtbeton Schalung
	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]
< 10	0.35	-	0.10
> 10	0.30	0.26	0.10

j – Balken

Das Bauteil Balken ist hier als ein freies, meist horizontales, längliches Bauteil ohne eine Einbindung in eine Decke definiert. Ein Beispiel hierfür ist ein Torsturz im Hallenbau. Schalungen für Balken werden meist auf Rüstböcken verlegt. Der Aufbau der Rüstböcke ist in den angegebenen Werten enthalten.

Tabelle 13-19: Balken: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Brettschalung auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.243

Fläche [m ²]	Abwicklung [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 10	< 0.90	2.08	0.27	-	-
	0.90 – 1.60	1.63	0.27	-	-
	1.60 – 2.40	1.43	0.27	-	-
> 10	< 0.90	1.93	0.27	1.33	0.27
	0.90 – 1.60	1.48	0.27	0.98	0.27
	1.60 – 2.40	1.28	0.27	0.93	0.27

Tabelle 13-20: Balken: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Schaltafeln auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.243

Fläche [m ²]	Abwicklung [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 10	0.90 – 1.60	1.48	0.27	-	-
	1.60 – 2.40	1.38	0.27	-	-
> 10	0.90 – 1.60	1.28	0.27	1.18	0.27
	1.60 – 2.40	1.18	0.27	1.08	0.27

Die Aufwandswerte der Tabelle 13-19 und Tabelle 13-20 sind zu erhöhen, sollten besondere Anforderungen bzw. Gegebenheiten eintreffen. Die Erhöhungen der Aufwandswerte sind in Tabelle 13-21 dargestellt.

Tabelle 13-21: Balken: Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} nach [2], B 1.2.243

Fläche [m ²]	Abwicklung [m]	Anforderung	
		Vorsatzschalung *)	Sichtbeton Schalung
		Erhöhung [h/m ²]	Erhöhung [h/m ²]
< 10	< 0.90	0.30 – 0.35	0.09
	0.90 – 1.60	0.26 – 0.30	0.09
	1.60 – 2.40	0.26	0.09
> 10	< 0.90	0.30 – 0.35	0.09
	0.90 – 1.60	0.26	0.09
	1.60 – 2.40	-	0.09

*) Der typische Aufbau einer Vorsatzschalung ist in Kapitel 9.4 Schalungssysteme und Schalungsarbeiten dargestellt.

j - Decken

Tabelle 13-22: Decken: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Schaltafeln auf Schalungsträger **) nach [2], B 1.2.251

Fläche [m ²]	Höhe [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 25	< 2.50	0.65	0.22	0.57	0.19
	2.50 – 3.50	0.68	0.23	0.60	0.20
	3.50 – 5.00	0.84	0.28	0.74	0.25
25 – 80	< 2.50	0.57	0.20	0.51	0.18
	2.50 – 3.50	0.60	0.21	0.53	0.19
	3.50 – 5.00	0.74	0.26	0.66	0.23
80 – 200	< 2.50	0.52	0.18	0.47	0.16
	2.50 – 3.50	0.55	0.19	0.49	0.17
	3.50 – 5.00	0.68	0.24	0.61	0.21
> 200	< 2.50	0.48	0.16	0.42	0.14
	2.50 – 3.50	0.50	0.17	0.44	0.15
	3.50 – 5.00	0.62	0.21	0.54	0.18

**) Erhöhung der Aufwandswerte a_{se} bei Anbringung einer Vorsatzschalungen um 0.13 h/m²

Tabelle 13-23: Decken: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Mehrschichtschalplatten auf Schalungsträger nach [2], B 1.2.251

Fläche [m ²]	Höhe [m]	Einmaliger Einsatz		Mehrmaliger Einsatz	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
< 25	< 2.50	0.60	0.22	0.53	0.19
	2.50 – 3.50	0.63	0.23	0.56	0.20
	3.50 – 5.00	0.78	0.23	0.56	0.23
25 – 80	< 2.50	0.53	0.20	0.47	0.18
	2.50 – 3.50	0.56	0.21	0.49	0.19
	3.50 – 5.00	0.69	0.26	0.61	0.23
80 – 200	< 2.50	0.49	0.18	0.43	0.16
	2.50 – 3.50	0.51	0.19	0.45	0.17
	3.50 – 5.00	0.63	0.23	0.56	0.21
> 200	< 2.50	0.44	0.16	0.39	0.14
	2.50 – 3.50	0.46	0.17	0.41	0.15
	3.50 – 5.00	0.57	0.21	0.51	0.18

Deckenschaltische:

Aufwandwert für die Grundmontage von **Deckenschaltischen**

$$a_{v,M} : 0.6 - 0.8 \text{ h/m}^2$$

Aufwandwert für das Schalen von Decken mit **Deckenschaltischen** (beinhaltet den kompletten Vorgang des Umsetzens) [6]

$$a_{se} + a_{sa} : 0.25 - 0.35 \text{ h/m}^2$$

Aufwandwert für die Demontage von **Deckenschaltischen**

$$a_{v,D} : 0.15 - 0.4 \text{ h/m}^2$$

13.2.2 Grossflächen-Wandschalungen aus Systemelementen

Unter Grossflächen-Wandschalungen (GF-Wandschalungen) werden Schalsysteme verstanden, bestehend aus wandhohen vormontierten Schalelementen mit Verschub- oder Laufgerüsten und Standkonsolen. Es gibt 3 verschiedene Arten des Aufbaus:

- Stahl – Stahl Aufbau: Stahl-Schalelemente mit Stahlschalungsträgern
- Holz – Holz Aufbau: Holz-Schalelemente mit Holzschalungsträgern
- Holz – Stahl Aufbau: Holz-Schalelemente (Schalhaut und Trägerlage) mit Stahlschalungsträgern

Für die angegebenen Aufwandswerte wird von einer gleich bleibenden Elementanordnung ausgegangen. Eventuell notwendige Veränderungen der Elementanordnung werden als Zuschlag berücksichtigt.

Arbeitsabläufe beim Versetzten von GF-Schalungen können unterbrochen oder zusammenhängend gestaltet werden. Im Falle eines unterbrochenen Arbeitsablaufs wird nach dem Ausschalen die GF-Schalung zwischengelagert, also nicht direkt am nächsten Betonierabschnitt installiert. Es ist offensichtlich, dass die Aufwandswerte für zusammenhängende Arbeitsabläufe geringer ausfallen als bei unterbrochenen Abläufen, da Zeiten für den Zwischentransport, Zeiten für das Anhängen an Krangehänge etc. wegfallen.

Tabelle 13-24: GF-Wandschalungen: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{Se,j}$ (Einschalen) / $a_{Sa,j}$ (Ausschalen), Stahl-Stahl Aufbau nach [2], B 1.3.22

Elementfläche [m ²]	Spannstellen je m ² [Stück]	Arbeitsablauf un- terbrochen		zusammenhängend
		a_{Se} [h/m ²]	a_{Sa} [h/m ²]	$a_{Se} + a_{Sa}$ [h/m ²]
6.0	1	0.21	0.10	0.25
9.0	1	0.16	0.09	0.20
12.0	1	0.13	0.07	0.18
15.0	1	0.12	0.06	0.16
18.0	1	0.11	0.05	0.15
21.0	1	0.10	0.05	0.14

Tabelle 13-25: GF-Wandschalungen: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{Se,j}$ (Einschalen) / $a_{Sa,j}$ (Ausschalen), Holz-Holz Aufbau nach [2], B 1.3.23

Elementfläche [m ²]	Spannstellen je m ² [Stück]	Arbeitsablauf unterbrochen		zusammenhängend
		a_{Se} [h/m ²]	a_{Sa} [h/m ²]	$a_{Se} + a_{Sa}$ [h/m ²]
6.0	1	0.29	0.13	0.34
9.0	1	0.21	0.10	0.26
12.0	1	0.17	0.10	0.22
15.0	1	0.16	0.09	0.20
18.0	1	0.13	0.08	0.18
21.0	1	0.12	0.07	0.17

Tabelle 13-26: GF-Wandschalungen: Zuschlag für Sonderarbeiten $a_{z,k}$ (unabhängig von Elementfläche und Aufbau), Arbeiten k nach [2], B 1.3.21

k	Wandan- schlusssecke	Fenster- und Türabschalungen *)		
		0.5 – 1.0 m ²	1.0 – 2.5 m ²	2.5 – 4.0 m ²
$a_{z,k}$ [h/Stück]	0.26	0.52	1.30	1.56

*) Aussparungen werden in die Schalung als Vorsatzschalung eingebaut

Tabelle 13-27: GF-Wandschalungen: Zuschlag für Sonderarbeiten $a_{z,k}$ (unabhängig von Elementfläche und Aufbau), Stirnabschalungsarbeiten k nach [2], B 1.3.21

k	Stirn- elemente *)	Stirnab- schalung *)	Stirnelemente mit herausstehen- der Armierung	Stirnabschalung mit herausstehen- der Armierung
$a_{z,k}$ [h/Stück]	0.52	0.78	-	-
$a_{z,k}$ [h/m ²]	-	-	0.50	0.80

*) Der typische Aufbau von Stirnelementen bzw. Stirnabschalungen ist in Kapitel 9.4 Schalungssysteme und Schalungsarbeiten dargestellt.

Tunnelbau

Im Tunnelbau werden verschiedenste Schalungssysteme benutzt, diese Systeme fallen aufgrund ihrer Grösse in den Bereich der Grossflächenschalung. Richtwerte für verschiedenste Tunnelbauschalungen sind in Tabelle 13-28 angegeben. Für das Versetzen dieser Schalungssysteme werden etwa 4 – 5 Mann benötigt.

Tabelle 13-28: Richtwerte für das Umsetzen von Tunnelschalungen [5], S. 382

	Schalungs- länge [m]	Arbeits- stunden [h]
Fullround-Schalung mit Teleskopeinrichtung \varnothing 4 m, Umsetzelemente 6 – 12 m	24	4 – 5
Fullround-Schalung mit Schreitwerk \varnothing 6 m, U-Bahnstreckenröhre, einspurig	8	4
Gewölbeschalung \varnothing 12 m mit integriertem Schal- und Betonierwagen, Autobahntunnel, zweispurig	12	5 – 6
Kanalschalung mit Schreitwerk, Rechteckkanal 2 m x 2,5 m (Konterschabung)	20	2 - 3

13.2.3 Rahmenschalungen

Für Rahmenschalungen lässt sich eine Unterteilung der Aufwandswerte für Bauteile wie folgt vornehmen:

- Glatte Wände (ohne Ecken und Anschlüsse)
- Anpassen von Ecken und Anschlüssen
- Aufzugs- und Treppenhausschächte

Auch ist die Anzahl der Spannstellen pro Stoss ist zu beachten. Rahmenschalungen können als Einzelteile oder als Kombinationen aus Einzelteilen aufgestellt werden. Dies führt zu geringen Unterschieden im Zeitaufwand. Es wird bei Kombinationen zwar meist in einem Arbeitsgang eine grössere Fläche ein- bzw. ausgeschalt, der Einfluss auf den Gesamtaufwandswert ist jedoch gering.

Tabelle 13-29: Wände: Aufwandswerte der einzelnen Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen), Rahmenschalungen nach [2], B 3.223

Bauteil	System [Spannstellen / Stoss]	Einzelemente		Kombinationen	
		a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]	a_{se} [h/m ²]	a_{sa} [h/m ²]
Glatte Wand	2	0.22	0.12	0.21	0.09
	3	0.24	0.13	0.23	0.10
Wände im Grundriss	2	0.23	0.13	0.22	0.10
	3	0.26	0.14	0.25	0.11
Aufzugs- und Treppenschächte	2	0.26	0.14	0.25	0.11
	3	0.29	0.15	0.28	0.12

Tabelle 13-30: Wände: Zuschlag für Sonderarbeiten $a_{z,k}$, Rahmenschalungen nach [2], B 3.223

k	Aussparungen *)		
	Türen	Fenster	Kellerfenster
$a_{z,k}$ [h/Stück]	1.60	1.15	0.25

*) Aussparungen werden in die Schalung als Vorsatzschalung eingebaut

13.2.4 Kletterschalungen

Tabelle 13-31: Aufwandswerte der Schalungsvorbereitung $a_{v,i}$ und die Arbeitsphasen $a_{se,j}$ (Einschalen) / $a_{sa,j}$ (Ausschalen) als Summe [3]

System	Vorbereitung*) a_v [h/m ²]	Ein- / Ausschalen $a_{se} + a_{sa}$ [h/m ²]
kranabhängige Kletterfahr- schalung	1.5 – 2.2	0.5 – 0.7
selbstkletternde Schalung	2.0 – 2.5	0.40 – 0.6

*) Grundmontage

13.3 Armierungseinbau

Für die Berechnung des Stundenaufwandes für Armierungsarbeiten ist es notwendig zuvor die Armierungsarbeiten systematisch / bauwerksteilbezogen zu untergliedern.

Richtung	Bauteil	Form	Grad der Vorfertigung
horizontal	Fundamente	- Platten flächig	- Teppicharmierung - konventionell
		- Einzel Korb	- Korb- / Balkenarmierung - konventionell
	Decken	flächig	- Teppicharmierung - konventionell
	Unterzüge	stabförmig	- vorgefertigt - konventionell
	Anschlussbewehrungen für Wände, Stützen etc.		- konventionell
vertikal	Wände	flächig	- Matten, vorgefertigt - konventionell
	Stützen	stabförmig	- vorgefertigt - konventionell
	Anschlussbewehrung für Decken, Wände		- konventionell

Bild 13-2: Systematische Untergliederung von Armierungsarten [1], S. 211

Gesamtstundenaufwand zum Einbau der Armierung auf der Baustelle T_A für ein Bauteil oder Bauwerk

$$T_A = \sum_j T_{A,j} \quad [h]$$

Gesamtstundenaufwand für Armierungsarbeiten des Durchmessers j :

$$T_{A,j} = (a_{A,b} + a_{A,t} + a_{A,v})_j \times m_{A,j} + a_R \times A_S \quad [h]$$

$$T_{A,j} = \left(\sum_i a_{A,i} \right)_j \times m_{A,j} + a_R \times A_S \quad [h]$$

$$m_{A,j} = \frac{l_j \times g_{A,j}}{1000} \quad [t]$$

T_A Gesamtaufwand des Einbaus der Armierung für ein Bauteil o- [h]

	der Bauwerk	
$T_{A,j}$	Gesamtaufwand des Einbaus der Armierung j	[h]
$a_{A,i}$	Aufwandswert für die Tätigkeiten beim Einbau der Armierung, Tätigkeit: i = b : Biegen, i = t : Transport sowie Auf- und Abladen, i = v : Verlegen	[h/t]
$m_{A,j}$	Masse der einzubauenden Armierung eines bestimmten Durchmessers j	[t]
a_R	Aufwandswert für Reinigung der Schalung vor dem Betonieren	[h/m ²]
A_S	Schalungsfläche	[m ²]
l_j	Gesamtlänge der Armierung des Durchmessers j	[m]
$g_{A,j}$	Masse der Armierung eines Durchmessers j pro m	[kg/m]
j	Durchmesser der Armierung	[mm]

Gesamtstundenaufwand zum Einbau von Spanngliedern auf der Baustelle T_{Sp}

$$T_{Sp} = \sum_j T_{Sp,j} \text{ [h]}$$

Gesamtstundenaufwand für Spanngliedereinbau des Typs j:

$$T_{Sp,j} = \left(\sum_i a_{Sp,i} \right)_j \times l_{Sp,j} + \sum_k a_{Sp,k} \times n \text{ [h]}$$

T_{Sp}	Gesamtaufwand des Einbaus der Spannglieder in ein Bauteil oder Bauwerk	[h]
$T_{Sp,j}$	Gesamtaufwand des Einbaus aller Spannglieder des Typs j	[h]
$a_{Sp,i}$	Aufwandswert für den Einbau der Spannglieder, Tätigkeiten: i = h : Hüllrohr verlegen, i = l : Litzen einschiessen	[h/m]
$l_{Sp,j}$	Länge der Spannstähe des Typs j	[m]
$a_{Sp,k}$	Aufwandswert für Tätigkeiten: k = be: Anker befestigen, k = v : Vorspannen, k = p : Verpressen, k = a : Anker einbetonieren, k = ko : Koppelstelle Einbauen und Abschalen	[h/Stk]
n	Anzahl der Spannglieder	[-]
j	Spannglied Typ	[-]

Ausgewählte Aufwandswerte nach [2]:

Biegearbeiten werden heute meist nicht mehr auf der Baustelle durchgeführt, sondern von den Biegebetrieben ausgeführt und im Gesamtlieferpreis der Stahllieferfirmen berücksichtigt.

Voraussetzungen der Aufwandswerte auf der Baustelle:

- Ausreichender Lagerplatz für übersichtliche Zwischenlagerung der angelieferten Betonstähle
- Übersichtliche Lagerung des Betonstahles und der Armierungsmatten im Schwenkbereich des Krans

In den Aufwandswerten sind folgende Tätigkeiten enthalten:

- Information über die technische Ausführung
- Transport des Armierungsstahles zur Einbaustelle innerhalb des Schwenkbereichs des Krans bis max. 30 m Fahrstrecke und bis zur Decke über dem 7. Obergeschoss bzw. bei Baustellen ohne Kran bis 30 m horizontaler Entfernung
- Verlegen und Binden der Armierung
- Einbau von Distanzhaltern: Abstand zwischen der Schalung und Armierung
- Einhalten der gegebenen Konstruktionsmasse
- Auf- und Abbau von Arbeitsgerüsten bis 2 m und Transportieren innerhalb des Schwenkbereichs des Krans, bzw. manueller Transport bei Baustellen ohne Krane bis 30 m horizontaler Entfernung
- Reinigung der Schalungen von Armierungsresten nach Fertigstellung
- Grobreinigung des Arbeitsplatzes, Abtransport des Restmaterials
- Herstellen von Stabilisierungshilfen zur Sicherung überstehender Anschlussarmierungen.

13.3.1 Hochbau

Tabelle 13-32: Aufwandswerte $a_{A,v}$, Verlegen der Armierung mit Kranbetrieb nach [2], B.2.3.1

Form des Bauwerksteiles		flächig		stabförmig		Fundament	
		horizontal	vertikal	horizontal	vertikal	Einzel / Streifen	Platten
j	$g_{A,j}$	$a_{A,v}$	$a_{A,v}$	$a_{A,v}$	$a_{A,v}$	$a_{A,v}$	$a_{A,v}$
[mm]	[kg/m]	[h/t]	[h/t]	[h/t]	[h/t]	[h/t]	[h/t]
6	0.222	31.5	34.5	35.5	37.0	25.0	22.5
8	0.395	27.0	30.5	31.5	33.0	22.0	19.0
10	0.617	22.0	25.5	26.5	28.0	18.0	14.0
12	0.888	19.5	23.0	24.0	25.5	16.5	12.5
14	1.210	18.0	20.5	21.5	23.0	15.0	11.0

16	1.580	16.5	19.0	20.0	20.5	13.5	9.5
20	2.47	13.5	16.0	16.5	17.5	10.0	7.5
25	3.85	11.0	12.5	13.5	14.0	7.5	6.0
28	4.83	10.0	11.0	11.5	12.5	6.5	5.0

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, gebogene Armierung,

$a_{A,t}$: 0.7 [h/t]

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, ungebogene Armierung,

$a_{A,t}$: 0.5 [h/t]

Tabelle 13-33: Aufwandswerte $a_{A,v}$, Verlegen von Spezialarmierung mit Kranbetrieb

Form des Bauwerksteiles		Spezialarmierung	
Verlegerichtung		Teppicharmierung *)	Korb **) etc.
j [mm]	$g_{A,j}$ [kg/m]	$a_{A,v}$ [h/t]	$a_{A,v}$ [h/t]
10	0.617	5	7
12	0.888	5	7
14	1.210	5	7
16	1.580	5	7
18	2.000	5	7
20	2.470	5	7

*) Teppicharmierung: auf Flachstahl geschweisste Längs- und Querarmierung

**) Vorgefertigte Korbarmierung und abgebogene Netze etc.

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, gebogene Armierung,

$a_{A,t}$: 0.8 [h/t]

Zusätzlicher Aufwandswert für Schneiden und Biegen (Mittelwert) ca.,

$a_{A,b}$: 6 – 7 [h/t]

Tabelle 13-34: Aufwandswerte $a_{A,v}$, Verlegen von vorgeflochtenen Armierungskörben mit Kranbetrieb
*) nach [2], B 2.3.1

Form des Bauwerksteiles	stabförmig		Fundament
	horizontal	vertikal	
Verlegerichtung	horizontal	vertikal	Einzel / Streifen
j [mm]	$a_{A,v}$ [h/t]	$a_{A,v}$ [h/t]	$a_{A,v}$ [h/t]
6 - 28	2.0	2.0	2.0

*) Verlegen beinhaltet hier den Anschluss an bestehende Armierung (Stösse ausbilden etc.)

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, gebogene Armierung,

$$a_{A,t} : 0.7 \text{ [h/t]}$$

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, ungebogene Armierung,

$$a_{A,t} : 0.5 \text{ [h/t]}$$

Tabelle 13-35: Aufwandswerte, Einbau von Betonstahlmatten $a_{A,v}$ in flächige Bauteile, Verlegen mit Kranbetrieb nach [2], B.2.3.1

Gewicht [kg/m ²]	horizontal	vertikal
	$a_{A,v}$ [h/t]	$a_{A,v}$ [h/t]
< 2	28.0	31.5
2 – 3	19.0	21.5
3 – 4	15.0	16.5
4 – 6	11.5	12.5
6 – 10	9.0	10.0
> 10	7.5	8.5

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, gebogene Armierung,

$$a_{A,t} : 0.7 \text{ [h/t]}$$

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, ungebogene Armierung,

$$a_{A,t} : 0.5 \text{ [h/t]}$$

Zusätzlicher Aufwandswert für Schneiden und Abkanten

$$a_{A,b} : 0.02 \text{ [h/t]}$$

Tabelle 13-36: Aufwandswerte, Flechten von Körben ohne „Verlegen“ *) nach [2], B.2.3.2

Form des Bauwerksteiles		stabförmig		Fundament
Verlegerichtung		horizontal	vertikal	Einzel / Streifen
j [mm]	$g_{A,j}$ [kg/m]	$a_{A,v}$ *) [h/t]	$a_{A,v}$ *) [h/t]	$a_{A,v}$ *) [h/t]
6	0.222	33.5	35.0	23.0
8	0.395	29.5	31.0	20.0
10	0.617	24.5	26.0	16.0
12	0.888	22.0	23.5	14.5
14	1.210	19.5	21.0	13.0
16	1.580	18.0	18.5	11.5
20	2.47	14.5	15.5	8.0
25	3.85	11.5	12.0	5.5
28	4.83	9.50	10.50	4.50

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, gebogene Armierung,

$$a_{A,t}: 0.7 \text{ [h/t]}$$

Zusätzlicher Aufwandswert für Transport sowie Auf- und Abladen, ungebogene Armierung,

$$a_{A,t}: 0.5 \text{ [h/t]}$$

*) Es ist zu beachten, dass sich diese Aufwandswerte nur auf das Flechten von Armierungskörben beziehen, d.h. bereits gebogene Armierungsstäbe werden auf dem Armierungsplatz zu fertigen Körben verbunden (geflochten). Diese werden anschliessend an der Arbeitsstelle am Bauteil eingestellt (verlegt). Die angegebenen Aufwandswerte beinhaltet somit Teile des Aufwandswerts Verlegen ($a_{A,v}$) von Armierung. Die Aufwandswerte für das Verlegen und Anschliessen der Körbe in die Bauteile sind in Tabelle 13-33 berücksichtigt.

13.3.2 Ingenieur- und Brückenbau

Es wird von einer Normalverteilung der Durchmesseranteile der Armierung, Tabelle 13-37, ausgegangen:

Tabelle 13-37: Durchmesseranteil der Armierungen bei Standard Ingenieur- und Brückenbauwerken nach [4], S. 38

Durchmesser [mm]	Anteil an gesamter Armierung des Bauwerkes [%]
6 – 14	ca. 43
16 – 22	ca. 26
> 26	ca. 31

Tabelle 13-38: Aufwandswerte $a_{A,b}$, Scheiden, Biegen, Bündeln

Ort der Arbeiten bzw. Arbeiten	Aufwandswert $a_{A,b}$ [h/t]
Baustelle	6
Biegerei (Akkord)	4
Matten abbiegen	2 - 3

Tabelle 13-39: Aufwandswerte $a_{A,v}$, Verlegen der Armierung und Verteilung wie in Tabelle 13-37

Bedingungen	$a_{A,v}$ [h/t]
bei normalem Bügelanteil	10
bei grossem Bügelanteil	12 - 14

Tabelle 13-40: Aufwandswerte, Einbau von vorgefertigten Stahlmatten $a_{A,v}$

Durchmesser [mm]	horizontal	vertikal
	$a_{A,v}$ [h/t]	$a_{A,v}$ [h/t]
< 10 mm	6	8
> 10 mm	5	6

13.3.3 Spannglieder

Tabelle 13-41: Aufwandswert $a_{Sp,h} + a_{Sp,l}$, Hüllrohr verlegen, Litzen einschiessen nach [4], S. 39

Spannkraft [kN] / Anzahl Litzen x Durchmesser	Aufwandswert Hüllrohr verlegen, Litzen einschiessen $a_{Sp,h} + a_{Sp,l}$ [h/m]
410 / 4 x 12.2 mm	0.25
1240 / 12 x 12.2 mm	0.35

Tabelle 13-42: Aufwandswerte für Installationsarbeiten der Spannglieder $a_{Sp,k}$ nach [4], S. 39

Tätigkeit bei Installation der Spannglieder k	Spannkraft [kN] / Anzahl Litzen x Durchmesser	$a_{Sp,k}$ [h/Stk]
Anker befestigen k = be	410 / 4 x 12.2 mm	0.25
	1240 / 12 x 12.2 mm	0.35
Vorspannen k = v	410 / 4 x 12.2 mm	0.30
	1240 / 12 x 12.2 mm	1.65
Verpressen (inklusive Reinigung der Geräte) k = p	410 / 4 x 12.2 mm	0.50
	1240 / 12 x 12.2 mm	2.30
Anker einbetonieren k = a	410 / 4 x 12.2 mm	0.15
	1240 / 12 x 12.2 mm	0.20

Spannstahl-Koppelstellen

Aufwandswert für Koppelstellen Einbauen und Abschalen:

$$a_{Sp,ko}: \quad 2.5 \text{ h/Stk}$$

13.4 Betonarbeiten

Der Einbau des Frischbetons ist von vielen Faktoren abhängig. Es ist daher, wie auch bei den zuvor aufgeführten Aufwandswerten, notwendig die Bedingungen unter denen diese Aufwandswerte ermittelt wurden mit den Baustellenbedingungen zu vergleichen, um so eine möglichst genaue Einschätzung der Situation zur Ermittlung des projektspezifischen Gesamtstundenaufwandes zu erhalten. Es seien hier einige Punkte genannt, die entscheidend auf die Einbauzeit des Frischbetons Einfluss nehmen können:

- Art des Betontransportes (Kran, Pumpen),
- Baustellenorganisation und Auslastung des Krans,
- Zugänglichkeit des Bauteils bzw. der Baustelle,
- Volumen des zu betonierenden Bauteiles,
- Geschick der Geräteführer etc.

Gesamtstundenaufwand der Betonarbeiten T_{Bet}

$$T_{\text{Bet}} = T_{\text{R}} + a_{\text{Bet}} \times V_{\text{Bet}} + \sum_i a_{\text{Zu},i} \times A_{\text{Bet},i} \quad [\text{h}]$$

T_{Bet}	Gesamtstundenaufwand der Betonarbeiten	[h]
T_{R}	Rüstzeit für die Betonierarbeiten (Verlegen der Pumpleitung / Kübel an Kran anhängen bzw. reinigen, Anschluss Rüttler etc.)	[h]
a_{Bet}	Aufwandswert für den Einbau des Betons	[h/m ³]
V_{Bet}	Gesamtbetonvolumen	[m ³]
$a_{\text{Zu},i}$	Zusatzaufwand für Oberflächenbehandlung, Tätigkeiten: i = g : Abgleichen der Betonhöhe, i = z : Abziehen der Oberfläche, i = r : Abreiben / Glätten der Oberfläche	[h/m ²]
$A_{\text{Bet},i}$	Oberfläche des nachzuarbeitenden Betons	[m ²]

Ausgewählte Aufwandswerte [2]:

Grundsätzlich gelten für die Aufwandswerte von Betonierarbeiten die gleichen Grundsätze wie für die Aufwandswerte der Schalungs- bzw. Armierungsarbeiten. Die Aufwandswerte berücksichtigen Zeiten für folgende Tätigkeiten:

- Informieren über technische Ausführung
- Nässen der Schalung vor und während des Betoniervorgangs
- Verteilen des Betons mit Schlauch innerhalb des Schwenkbereiches des Verteilmastes
- Einhalten des Masses der Betonoberkante oder Betonoberfläche, ausgehend vom gegebenen Meterriss
- Umsetzen von vorgefertigten Betoniergerüsten innerhalb des Betonierabschnittes oder Betoniervorganges auf Baustellen mit Kran
- Reinigen der Betriebsmittel, Geräte, Maschinen, Gerüste nach dem Gebrauch, mit Ausnahme der Betonpumpe
- Reinigen der Aussparungen und Öffnungen von eingelaufenem Beton

- Grobreinigen des Arbeitsplatzes, verschmutzter Bauteile und Aussenschalflächen unmittelbar nach dem Betoniervorgang
- Befördern, Aufstellen und Umsetzen von Betriebsmitteln und Geräten, die für die beschriebene Arbeitspositionen erforderlich sind, soweit sie nicht Teil der Baustelleneinrichtung sind

13.4.1 Lieferbeton mit Kranumschlag

Tabelle 13-43: Hochbau: Rüstzeit T_R und Aufwandswerte Betonarbeiten a_{Bet} , Lieferbeton mit Kranumschlag nach [2], B 3.2.2.1f.

Bauteil		Rüstzeit	unarmiert		armiert	
			Kübelgrösse 500 l	Kübelgrösse 750 l	Kübelgrösse 500 l	Kübelgrösse 750 l
Beton	Abmessungen (Stärke bzw. Durchmesser)	T_R [h]	$a_{Bet}$ [h/m^{3}]	$a_{Bet}$ [h/m^{3}]	$a_{Bet}$ [h/m^{3}]	a_{Bet} [h/m ³]
Füllbeton		1.50	0.31	0.28	-	-
Sauberkeits-schicht		1.50	0.48	0.43	-	-
Einzel – und Streifenfunda-mente		1.50	0.41	0.37	0.46	0.45
Böden	< 10 cm	1.50	0.41	0.37	0.46	0.45
Platten	10 – 20 cm	1.50	0.37	0.34	0.42	0.37
Decken	> 20 cm	1.50	0.34	0.31	0.38	0.34
Balken, Stür-ze, Unterzüge		1.50	-	-	0.42	0.37
Stützen	< 0.05 m ²	1.50	-	-	1.25	-
	0.05-0.12 m ²	1.50	-	-	1.20	1.00
	> 0.12 m ²	1.50	-	-	1.10	0.85
Wände, Brüs-tungen, Licht-schächte, At-tikas	< 10 cm	1.50	-	-	1.60	-
	10 – 15 cm	1.50	1.05	0.95	1.20	0.90
	15 – 20 cm	1.50	0.80	0.75	0.90	0.65
	20 – 30 cm	1.50	0.65	0.60	0.75	0.55

	30 – 50 cm	1.50	0.50	0.50	0.60	0.45
Treppen und Podeste		1.50	-	-	1.25	0.95

Tabelle 13-44: Hochbau: Aufwandswerte, Zusatzarbeiten $a_{Zu,i}$, Lieferbeton mit Kranumschlag nach [2], B 3.2.2.1

Bauteil		Zusatzarbeiten		
		Ableichen	Abziehen	Abreiben
Beton	Abmessungen (Stärke bzw. Durchmesser)	$a_{Zu,g}$ [h/m ²]	$a_{Zu,z}$ [h/m ²]	$a_{Zu,r}$ [h/m ²]
Füllbeton		0.05	-	-
Sauberkeits-schicht		0.10	-	-
Einzel – und Streifenfunda-mente		0.03	0.06	0.08
Böden	< 10 cm	0.03	0.06	0.08
Platten	10 – 20 cm	0.03	0.06	0.08
Decken	> 20 cm	0.03	0.06	0.08
Treppen und Podeste		0.05	0.10	0.25

13.4.2 Lieferbeton mit Betonpumpenumschlag

Tabelle 13-45: Hochbau: Rüstzeit T_R und Aufwandswerte, Betonarbeiten a_{Bet} , Lieferbeton mit Betonpumpenumschlag nach [2], B 3.1.2

Bauteil		Rüstzeit	unarmiert		armiert	
			Pumpenleistung < 20 m^3/h	Pumpenleistung 20 - 40 m^3/h	Pumpenleistung < 20 m^3/h	Pumpenleistung 20 - 40 m^3/h
Beton	Abmessungen (Stärke bzw. Durchmesser)	T_R [h]	a_{Bet} [h/ m^3]	a_{Bet} [h/ m^3]	a_{Bet} [h/ m^3]	a_{Bet} [h/ m^3]
Füllbeton		1.5	0.25	0.15	-	-
Sauberkeitsschicht		1.5	-	-	-	-
Einzel- und Streifenfundamente		1.5	0.30	0.15	0.33	0.17
Böden	< 10 cm	1.5	0.30	0.15	0.36	0.17
Platten	10 – 20 cm	1.5	0.25	0.13	0.29	0.15
Decken	> 20 cm	1.5	0.23	0.11	0.27	0.13
Balken, Stürze, Unterzüge		1.5	-	-	0.29	0.15
Stützen	< 0.05 m^2	1.5	-	-	1.35	-
	0.05-0.12 m^2	1.5	-	-	1.25	-
	> 0.12 m^2	1.5	-	-	1.15	-
Wände, Brüstungen, Lichtschächte, Attikas	< 10 cm	1.5	-	-	1.65	-
	10 – 15 cm	1.5	1.05	-	1.25	-
	15 – 20 cm	1.5	0.62	-	0.95	-
	20 – 30 cm	1.5	0.50	-	0.60	-
	30 – 50 cm	1.5	0.38	-	0.45	-
Treppen und Podeste		1.5	-	-	1.35	-

Tabelle 13-46: Hochbau: Aufwandswerte, Zusatzarbeiten $a_{zu,i}$, Lieferbeton mit Betonpumpenumschlag nach [2], B 3.1.2

Bauteil		Zusatzarbeiten		
		Abgleichen	Abziehen	Abreiben
Beton	Abmessungen (Stärke bzw. Durchmesser)	$a_{zu,g}$ [h/m ²]	$a_{zu,z}$ [h/m ²]	$a_{zu,r}$ [h/m ²]
Füllbeton		0.05	-	-
Sauberkeits- schicht		0.10	-	-
Einzel- und Streifenfunda- mente		0.03	0.06	0.08
Böden	< 10 cm	0.03	0.06	0.08
Platten	10 – 20 cm	0.03	0.06	0.08
Decken	> 20 cm	0.03	0.06	0.08
Treppen und Podeste		0.05	0.10	0.25

13.5 Dauer der Arbeitsgänge

Die Dauer der einzelnen Elementarprozesse, wie z.B. Aufstellen von Schalung, Armierung von Bauteilen oder Einbringen von Beton, kann anhand der Gruppen- oder Kolonnenleistungen hergeleitet werden. Die Gruppenleistung setzt sich zusammen aus den Einzelleistungen aller Mitglieder n . Da in einer Gruppe parallel gearbeitet wird, summieren sich daher die Arbeitsstunden der einzelnen Mitglieder ($n \times h$). Es ist folglich für eine Gruppe möglich n Arbeitsstunden (Mannstunden) in einer Stunde abzuleisten.

In der Literatur finden sich verschiedenste Bezeichnungen solcher summierten Stunden einer Gruppe. Es ist wichtig die Unterscheidung zwischen Mannstunden und Arbeitszeit zu beachten, um in der Berechnung der Dauern von Aktivitäten und Leistungen von Gruppen den Faktor n nicht unberücksichtigt zu lassen.

Der Gesamtstundenaufwand obiger Elementarprozesse T_k (Armieren, Schalen, Betonieren) ist gewissermassen bezogen auf einen Arbeiter, der alleine das Bauwerk erstellt. Durch die Gruppe kann daher die Dauer der Arbeiten herabgesetzt werden, da mehrere Arbeiter parallel die Leistung erbringen.

Dauer der Aktivität:

$$D_k = \frac{T_k}{q_{\text{Grup}}} \quad [\text{h}] \text{ oder } [\text{d}]$$

Gruppenleistung:

$$q_{\text{Grup}} = n \quad [\text{h} / \text{h}]$$

D_k Dauer der Elementarprozesse k [h oder d]

T_k Gesamtstundenaufwand der Elementarprozesse k [h/LE]
(Schalungsarbeiten, Armierungseinbau, Betonarbeiten)

q_{Grup} Gruppenleistung [nxh/h]

k Elementarprozesse: [-]
 $k = S$: Schalungsarbeiten,
 $k = A$: Armierungseinbau,
 $k = \text{Bet}$: Betonarbeiten

n Leistungsmitglieder der Gruppe [-]

Beispiele für Gruppengrößen:

$n = 4 - 5$ Aufstellen Grossflächenschalungen wie Wandelemente oder Deckentische

$n = 4 - 6$ Verlegen von Armierung für Decken und Wände

$n = 3 - 6$ Betonieren von Wänden und Decken, Betonierpumpe 1 Person, Verteilen des Betons auf Decke bzw. Wand ca. 3 – 5 Personen

Literaturverzeichnis

- [1] Girmscheid G.: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse. Springer-Verlag, Berlin 2003.
- [2] Arbeitszeit Richtwerte Hochbau. Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V., Zeittechnik Verlag GmbH, Neu-Isenburg, 2001.
- [3] DOKA Schalungstechnik GmbH, Maisach, Produktinformation.
- [4] Drees, G. & Kurz, Th.: Aufwandstabellen von Lohn- und Gerätestunden im Ingenieurbau. Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1979.
- [5] Girmscheid G.: Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau. Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2000.
- [6] Hoffmann M.: Zahlentafeln für den Baubetrieb. B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1999.

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 14: Bauverfahren des Stahl- betonbaus - Ausführungsbedingte Fehler bei der Betonherstellung

Inhaltsverzeichnis

14 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Ausführungsbedingte Fehler und Rissursachen bei der Herstellung von Betonbauwerken	707
14.1 Ausführungsbedingte Fehler.....	707
14.2 Rissursachen	710
Literaturverzeichnis	713

14 Bauverfahren des Stahlbetonbaus – Ausführungsbedingte Fehler und Rissursachen bei der Herstellung von Betonbauwerken

14.1 Ausführungsbedingte Fehler

Auf den folgenden zwei Seiten sind tabellarisch mögliche Fehler beim Betonieren aufgeführt [1], S. 309.2R-2 f.

Bezeichnung	Beschreibung	Konstruktion des Bauteils	Schalung	Bedingungen beim Betonier- und Abbindeprozess	Eigenschaften des Frischbetons	Einbringvorgang
Honigwabenstruktur	Kiesige Oberfläche mit Luftporen; Feinanteile fehlen	Enge Querschnitte, engliegende kreuzende Armierung, Armierungsstösse	Undichte Schalungsfugen, gravierender Verlust von Zementschlümmen und Feinkornanteil	Hohe Temperaturen, Wind, Armierung zu nahe an der Schalung, Zugänglichkeitsprobleme	Ungenügender Feinkornanteil, schlechte Verarbeitbarkeit, frühes Ansteifen, zu langes Mischen, für die Einbaubedingungen zu grobe Körnung	Zu hohe freie Fallhöhe, zu langer Weg des Betons in der Schalung, zu hohe Schichtdicke, keine oder zu kurze Betonrinnen / Betonleitungen verwendet, zu dünnes Kontraktorbetonrohr, Entmischung
Oberflächennahe Luftporen	Kleine einzelne Löcher, unregelmässig, bis 25 mm Durchmesser	Geneigte Bauteile etc.	Schalhaut undurchlässig, geringe Saugfähigkeit, Schalung zu flexibel, Einsatz von ungeeignetem Schalöl	Zu grosse Mengen Schalöl, hohe Temperaturen	Mager, schlechte Verarbeitbarkeit, Zu hoher Zement- oder Puzzolananteil, zu hoher Sandanteil, hoher Luftgehalt, zu hoher W/Z-Wert	Zu langsam wegen zu geringer Pumpenleistung oder zu kleinem Betonkübel
Schalungsschlieren	Sandige oder kiesige Oberflächenbereiche, kaum zementhaltig, häufig begleitet von dunklen Rändern zu den benachbarten Flächen		Undichtigkeit an Fugen, Ankerlöchern usw.			
Korntransparenz	Dunkle oder helle Bereiche von ähnlicher Grösse und Form wie die Grobkörner, fleckiges Aussehen		Zu flexibel, High density surface finish		Tiefer Sandgehalt, Ausfallkörnung, Zuschlagstoffe trocken oder porös, hoher Grobkornanteil, zu grosses Ausbreitmass bei Leichtbeton	
Senkungsrisse	Kurze Risse, variabel in der Breite, häufiger waagrecht als senkrecht	Behinderter Zugang	Schlechte thermische Isolation, unebene Schalung oder unregelmässige Form, die gleichmässiges Setzen verhindert, zu hohe Saugfähigkeit	Ungenügendes Zeitintervall zwischen dem Errichten der Stützen und Platten oder Balken	Tiefer Sand-, hoher Wassergehalt	Zu schnell

Bezeichnung	Beschreibung	Konstruktion des Bauteils	Schalung	Bedingungen beim Betonier- und Abbindeprozess	Eigenschaften des Frischbetons	Einbringvorgang
Farbunterschiede	Farbunterschiede werden an der Oberfläche wenige Stunden nach dem Ausschalen sichtbar	Schwere Armierung nahe der Schalung	Schädl., chemische Reaktionen zwischen Schalung und Beton, Unterschiede in der Absorptionskapazität		Uneinheitliche Färbung der Ausgangsmaterialien, uneinheitliche Kornabstufung, veränderliche Mengenverhältnisse, unvollständiges Mischen, Calciumchlorid kann dunkle Schlieren verursachen, zu grosses Ausbreitmass, unterschiedliche Zementsorten innerhalb des Bauwerks	Entmischung
Sandstreifen	Unterschiede in Farbton und Schattierung wegen Abtrennung der Feianteile durch Bluten parallel zur Schalung		Tiefes Absorptionsvermögen	Tiefe Temperaturen, nasse Mischungen	Magermischung, oversanded bleeding mix, sand deficient in fines, tiefer Luftgehalt	Zu schnell für diese Mischung
Betonierschichtgrenzen	Dunkle Schlieren und Linien entlang den Schichtgrenzen	Internal Interference		Ungenügendes Abziehen, hohe Temperaturen	Nasse Mischung mit Tendenz zum Bluten	Zu langsames Einbringen aus Mangel an Ausrüstung oder Personal
Schalungsabsätze	Sanfte bis abrupte Unregelmässigkeiten der Oberfläche		Ungenügende Steifigkeit oder Verankerung, zu dünn, ungleichmässige Holzqualität, schlechte Schreinerarbeit			Zu schnell
Ungewollte Fugen, Nähte	Unbeabsichtigte Diskontinuität, Verfärbungen	Internal Interference		Mangelndes Abziehen oder ungenügende Betonherstellungs- oder Transporteinrichtungen	Zu trocken, frühes Ansteifen	Zu späte Lieferung

14.2 Rissursachen

Auf den folgenden zwei Seiten sind tabellarisch mögliche Ursachen zum Auftreten von Rissen im Beton aufgeführt [1], S. 224.1R-3 ff.

Zeile	Rissursache	Merkmale der Rissbildung	Zeitpunkt des Entstehens von Rissen	Rissbildung kann beeinflusst werden durch
1	Setzen des Frischbetons	Längsrisse über der oberen Bewehrung, Rissbreite u.U. über 1 mm; Risstiefe i. Allg. gering	Innerhalb der ersten Stunden nach dem Betonieren, solange der Beton noch plastisch verformbar ist	Wahl der Betonzusammensetzung (Wassergehalt, Sieblinie), Verarbeitung des Betons, Nachverdichtung
2	Frühschwinden (plastisches Schwinden, auch als Schrumpfen bezeichnet)	Oberflächenrisse vor allem bei flächigen Bauteilen; oft ohne ausgeprägte Richtung; Rissbreite u.U. grösser als ein 1 mm; Rissbreite gering bis gross	Wie Zeile 1	Vermeiden von raschem Austrocknen durch Nachbehandlung, sonst durch Massnahmen wie in Zeile 1
3	Abfliessen der Hydratationswärme	Trennrisse, bei dicken Bauteilen zusätzlich Biegerisse; Rissbreite u.U. über 1 mm; Schalenrisse wenig kritisch	Einige Tage nach dem Betonieren	Betonzusammensetzung, Zementwahl, ggf. Kühlung (bei massigen Bauteilen), Nachbehandlung, Bewehrung (Menge, Anordnung), Wahl der Betonierabschnitte, Gradient!
4	Schwinden (Trocknungsschwinden)	Wie Zeile 3	Einige Monate nach dem Betonieren	Betonzusammensetzung, Massnahmen zur Begrenzung der Austrocknung, Bewehrung, relative Luftfeuchte
5	Äussere Temperatureinwirkungen	Biege- und Trennrisse; Rissbreite u.U. über 1 mm	Während der gesamten Lebensdauer des Bauwerks, wenn Temperaturänderungen auftreten	Bewehrung, Massnahmen zur Begrenzung der Zugspannung, Betonzusammensetzung, Aufbringen einer Vorspannung
6	Änderung der Auflagerbedingungen (z. B. durch Setzungen, Lagerverformung)	Wie Zeile 5	Bei Änderung der Auflagerbedingungen	Wie Zeile 5
7	Eigenspannungszustände (z.B. infolge Vorspannung und Spannungsführung, Spannungs- oder Schnittgrössenumlagerungen, Abweichungen von der technischen Biegelehre	Je nach Ursache unterschiedlich		

Zelle	Risursache	Merkmale der Rissbildung	Zeitpunkt des Entstehens von Rissen	Risbildung kann beeinflusst werden durch
8	Äussere (direkte) Lasten	Haar-, Biege- oder Trennrisse, Sammelrisse, Schubrisse	Während der Nutzung	Zweckmässige Wahl und Anordnung der Bewehrung
9	Frost	Längsrisse und/oder Absprengungen im Bereich wassergefüllter Hohlräume	Bei Frost	Vermeidung wassergefüllter Hohlräume
10	Korrosion der Bewehrung	Risse entlang der Bewehrung und an Bauteilecken, Absprengungen	Nach mehreren Jahren	Vermeidung von Korrosion durch Betonüberdeckung (Dicke und Qualität), Nachbehandlung
11	Sonstige Ursachen (chemische Vorgänge)	Siehe hierzu Spezialliteratur		

Literaturverzeichnis

- [1] American Concrete Institute, ACI Manual of Concrete Practice 1987, Part 2, ACI Publication, Detroit. Michigan.

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 15: Bauproduktionsprozess – Industrielles Bauen

Inhaltsverzeichnis

15	Bauproduktionsprozess – Industrielles Bauen	721
15.1	Systematisierung, Gliederung und Merkmale.....	721
15.2	Implementierung des industriellen Bauens in Unternehmen	726
15.2.1	Wege zur Neuorientierung.....	726
15.2.2	Massnahmen im Unternehmen.....	728
15.2.3	Kundenfokus der Industrialisierung	736
15.3	Unterscheidung und Auswahl von Fertigteilen	738
15.3.1	Vorteile und Nachteile der Werksfertigung	738
15.3.2	Häufig verwendete Fertigteile.....	739
15.3.3	Halbfertig-Rohbauelemente.....	740
15.3.4	Rohbauelemente	742
15.3.5	Fertigelemente – Sandwich-Wandelemente.....	745
15.3.6	Fertigmodule – Fertigteil-Räume	745
15.3.7	Fertigteile im Holzbau.....	747
15.3.8	Vorauswahl Beton-Deckentypen	748
15.3.9	Quantitative Entscheidungskriterien zur Bauverfahrenswahl im Betonbau	750
15.4	Industrielle Vorfertigung im Betonbau.....	753
15.4.1	Produktionsverfahren auf stationären kurzen Bahnen.....	754
15.4.2	Produktionsverfahren auf stationären langen Bahnen.....	758
15.4.3	Produktionsverfahren mit mobiler Schalung – Umlaufproduktionsverfahren (Fließfertigung).....	762
15.4.4	Einsatz von CAD/CAM in der Vorfertigung	767
15.5	Industrielle Vorfertigung im Holzbau.....	773
15.5.1	Brettschichtholz	773
15.5.2	Brettstapelelemente.....	775
15.5.3	Wandtafeln für die Tafelbauweise	776
15.6	Konstruktionsprinzipien der Montagebauweise	777
15.6.1	Skelettbauweise	777
15.6.2	Rippenbauweise	780
15.6.3	Wand- oder Tafelbauweise.....	781
15.6.4	Raumzellenbauweise	782
15.6.5	Sonderbauweisen im Brückenbau	784
15.6.6	Elementverbindungen, Auflagerpunkte und Fugen.....	786

15.7 Industrielle Baustellenfertigung.....	790
15.7.1 Industrialisierung der Montage von Fertigteilen.....	790
15.7.2 Industrialisierung der Ortbetonbauweise	797
15.8 Ausblick.....	802
Literaturverzeichnis	811

15 Bauproduktionsprozess – Industrielles Bauen

15.1 Systematisierung, Gliederung und Merkmale

Das industrielle Bauen bezeichnet die „Rationalisierung von Arbeitsprozessen zur Erreichung von Kosteneffizienz, höherer Produktivität und Qualität“. Mit dem industriellen Bauen bzw. der Industrialisierung im Bauwesen werden nun auch im Bauwesen Paradigmen umgesetzt, die ansonsten nur aus der industriellen Konsumgüterproduktion bekannt sind. Das industrielle Bauen bezeichnet ein Bauen mit Methoden und Mitteln, die dem derzeitigen oder zukünftigen technologischen, wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungsstand entsprechen. Hierzu gehört ebenfalls, dass trotz standardisierter und automatisierter Prozesse eine differenzierte und individuelle Gestaltung der einzelnen Bauten möglich ist.

Industrialisierung im Bauwesen bedeutet das Bauen unter Anwendung industrieller Arbeitsmethoden, Verfahren und Organisationsformen in Bezug auf die Planung, die Entwicklung, die Herstellung und das Produkt. Daraus ist abzuleiten, dass sich das industrielle Bauen nicht nur auf die Herstellung vorgefertigter Bauteile bezieht. Vielmehr umfasst das industrielle Bauen auch folgende Bereiche:

- Ganzheitliche Planung von Gebäuden und Gebäudestrukturen
- Entwicklung, Erprobung, Anwendung von Baukomponenten und Bausystemen
- Herstellung, Transport, Montage von Baukomponenten, Bausystemen, Gebäuden
- Reparatur, Instandhaltung, Umnutzung von Gebäuden
- Abbruch, Rückführung und Wiederverwendung von Baustoffen, Bauteilen, Gebäuden

Überträgt man die Merkmale der industriellen Produktion auf die Bauproduktion, so erhält man die in Tabelle 15–1 dargestellten Merkmale des industriellen Bauens.

Tabelle 15–1: Merkmale industrieller Produktion und deren Übertragung auf die Bauwirtschaft

Merkmale industrieller Produktion	Übertragung auf die Bauwirtschaft
Zentralisierte Produktion	Vorfertigung von Bauteilen im Werk
Massen-, Serien- und Einzelfertigung auf Basis von Lösungsplattformen	Entwicklung und Produktion variabler Grundtypen
Fertigung auf Basis standardisierter Lösungen und Produktion von Varianten auf der Basis von Plattformen	Standardisierung von Bauteilen bei Flexibilität in der Gestaltung
Spezialisierung	Konzentration auf bestimmte Marktsegmente
Integration von Planung, Produktion und Marketing	Interaktion von Planung, Arbeitsvorbereitung und Bauausführung (CIM) sowie Marketing
Optimierte Prozesse (Fertigungsstrassen) und Organisation	Optimierung der Planungs- und Produktionsprozesse in Bezug auf Automatisierung und Mechanisierung

Wie in Tabelle 15–1 dargestellt, bedeutet die Umsetzung von Methoden des industriellen Bauens die Trennung von Produktions- und Endstandort. Mit dieser räumlichen

Trennung sind die Vorfertigung von Bauteilen (Fertigteilen) und die anschliessende Montage auf der Baustelle verbunden.

Der Begriff Fertigteil bezeichnet Bauteile mit einem gewissen Vorfertigungsgrad. Fertigteile werden entweder auf der Baustelle oder einem Fertigteilwerk vorgefertigt, anschliessend transportiert und am Einbauort montiert.

Die Fertigteile können gemäss der Systemtheorie untergliedert werden in:

- Halbfertig-Rohbauelemente
- Fertigrohbauelemente
- Fertigelemente
- Rohbauräummodule
- Fertigräummodule
- Gebäudesysteme

Dies bedeutet im Einzelnen:

Halbfertig-Rohbauelemente (hybrid constructions), fungieren als verlorene Schalung oder als Verbundbauteil (Bsp. Filigrandecke).

Fertigrohbauelemente werden als vorgefertigte Elemente zum Einbauort befördert. Anschliessen sind die Anschlüsse auf der Baustelle herzustellen (z.B. Treppenläufe, Stützen, Wandplatten) und ggf. Ausbauarbeiten (z.B. Oberflächengestaltung) durchzuführen.

Fertigelemente werden als vorgefertigte, funktionsfertige Elemente zum Einbauort befördert. Anschliessen sind nur die Anschlüsse auf der Baustelle herzustellen (z.B. Fassadenelemente)

Fertigräummodule sind räumlich abgegrenzte, funktionsfertige funktionale Einheiten, die aus mehreren Elementen/Bauteilen bestehen können (Bsp. Bad- oder Sanitärzellen). Im Gegensatz zu Rohbauräummodulen sind Ausbauarbeiten bei Fertigräummodulen bereits in der Vorfertigung durchgeführt worden.

Gebäudesysteme aus Fertigteilen bestehen aus einzelnen vorgefertigten Elementen, wobei erst aus deren Anordnung im Verbund die beabsichtigte Aufgabe (Tragwirkung, ästhetische Wirkung) realisiert wird. Gebäudesysteme als Fertigteilssysteme können aus einzelnen Fertigräummodulen oder Fertigelementen errichtet werden (Bsp.: Industriehallen im Stützen-Riegel-System).

Diese Einteilung führt zu der in Bild 15-1 dargestellten Systematisierung der Elemente bezüglich des inhaltlichen und räumlichen Integrationsgrades.

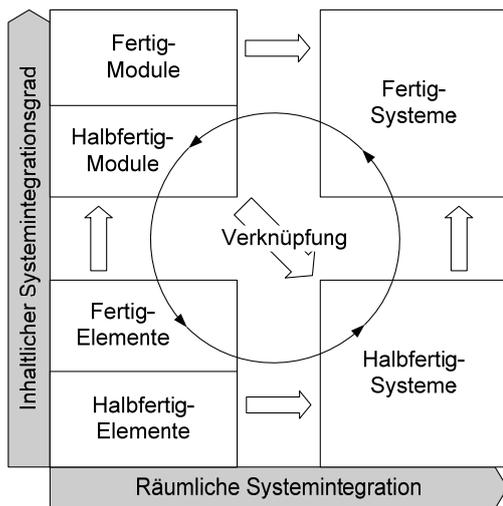


Bild 15-1: Systematisierung der Fertigteile gemäss ihres Integrations- und Verknüpfungsgrades

Eine weitere Differenzierung kann gemäss Bild 15-2 erreicht werden durch die Charakterisierung des inhaltlichen Integrationsgrades und räumlichen Verknüpfungsgrades.

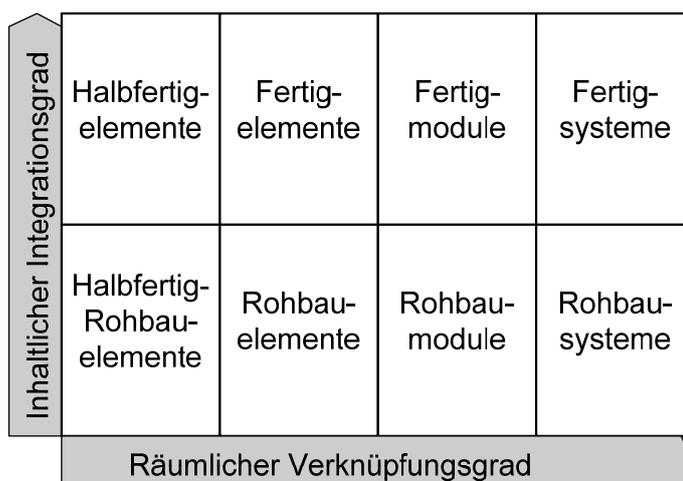


Bild 15-2: Begriffliche Differenzierung der Fertigteile in Bezug auf inhaltliche Integration von konstruktiven und Ausbauelementen sowie des räumlichen Integrationsgrades

Unter **inhaltlicher Integration** wird die Integration verschiedener, ursprünglich unterschiedlichen Bauelementen zugeordneten Eigenschaften in ein Bauteil oder Modul verstanden. Verdeutlicht werden kann der zunehmende Grad der inhaltlichen Integration am Beispiel eines Aussenwandelementes:

- Betonscheibe – ausschliessliche Funktion der Lastabtragung
- Betonscheibe mit Isolierung – Funktionen Lastabtragung und Wärmeschutz
- Betonscheibe mit Isolierung, Installationsleitungen Haustechnik und Putz/Anstrich – Funktionen Lastabtragung, Wärmeschutz und Funktionen entsprechend gewünschtem Gesamtausbau (z. B. Vorbereitung Anschluss Steckdosen/PC-Netz/Telefon)

Mit zunehmender inhaltlicher Integration steigt der Planungs- und Koordinationsbedarf hinsichtlich der sicherzustellenden Eigenschaften des Bauelements, Moduls oder Systems. Meist nimmt mit der inhaltlichen Integration auch die Anzahl der zu beteiligenden Gewerke zu. Vorteilhaft ist, dass mit zunehmender inhaltlicher Integration die Möglichkeiten der Verlagerung in die Vorfertigung steigen.

Im Gegensatz dazu beschreibt die **räumliche Integration** die Komplexität eines Bauteils, Moduls oder Systems in Bezug auf die räumliche Ausdehnung, Dimensionalität, Zusammensetzung aus Subsystemen sowie die begrenzenden Schnittstellen. Verdeutlicht werden soll die zunehmende räumliche Integration am Beispiel:

- Einzelstäbe (1 Dimension) mit definierten Anschlussdetails an den Stabenden – Einzelstab als Element
- Aus den Einzelstäben zusammengesetzter Dachbinder (2 Dimensionen) mit Schnittstellen zur räumlichen Aussteifung in Träger-Querrichtung (Dachträger als Modul)
- Aus Dachträgermodulen zusammengesetztes und ausgesteiftes Dachtragsystem (3 Dimensionen)

Ein Baukastensystem ist ein Ordnungsprinzip, das aus einer Sammlung genormter Bauelemente (Baukasten) den Aufbau verschiedener Kombinationen gestattet. Diese genormten Bauelemente werden anhand eines Bauprogramms oder eines Baumusterplanes zu der beabsichtigten Kombination zusammengesetzt. Verschiedene Kombinationen können entstehen, indem

- aus dem Baukasten immer wieder andere Elemente,
- unterschiedliche Anzahl der selben Elemente,
- dieselbe Anzahl derselben Elemente in verschiedenen räumlichen Anordnungen verwandt werden.

Je nach Anzahl und Art der unterschiedlichen zur Verfügung stehenden Elemente des Baukastensystems wird in geschlossene und offene Systeme unterschieden (Bild 15-3).

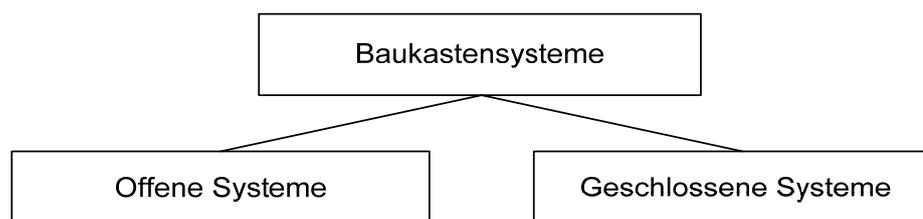


Bild 15-3: Unterteilung in offene und geschlossene Systeme

Ein geschlossenes Bausystem ist ein System, dessen Subsysteme als integrierter Satz von Elementen entwickelt und für die ausschliessliche Verwendung innerhalb dieses Satzes produziert werden. Systemfremde Bauelemente finden in einem geschlossenen System keine Verwendung. Verschiedene Subsysteme des geschlossenen Bausystems müssen nicht von einem, sondern können auch von unterschiedlichen Herstellern produziert werden.

Das offene Bausystem besteht aus austauschbaren Subsystemen verschiedener, unabhängiger Hersteller. Offene Systeme sind durch definierte und für andere Subsysteme zugängliche Schnittstellen gekennzeichnet, so dass mit dem offenen Bausystem neben einer gewissen Unabhängigkeit auch im Allgemeinen eine grössere Alternativen- und Variantenvielfalt gegeben ist. Eine Anpassung an sich ändernde Bedarfsanforderungen ist mittels einer Anpassung oder des Austauschs von Subsystemen möglich. Im Bild 15-4 ist ein offenes Bausystem schematisch dargestellt.

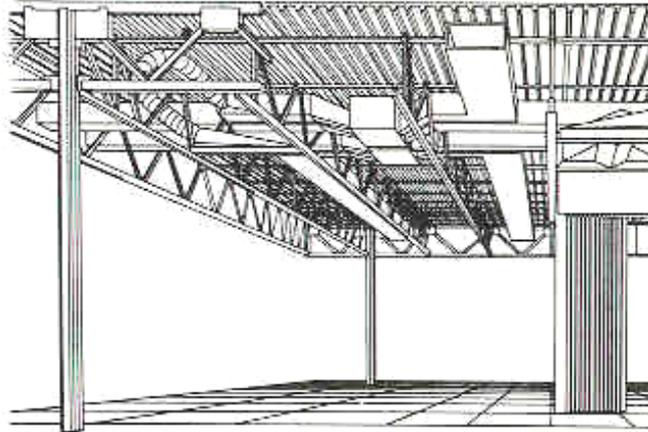


Bild 15-4: Schematische Darstellung eines offenen Bausystems [4]

Plattformssysteme bezeichnen ein Grundgerüst, bei dem signifikante Aspekte wie z. B. Modulmasse, Anschlussdetails, Materialien oder Bauteildicken standardisiert sind, darüber hinaus jedoch eine individuelle Gestaltung der einzelnen Bauteile realisiert werden kann. Durch die Standardisierung ergeben sich Kostenvorteile bei der Planung, Herstellung und Montage von den Bauteilen, gleichzeitig ist jedoch eine individuelle Anpassung an die jeweiligen Kundenwünsche möglich.

Mit dem Grad der funktionalen und organisatorischen Komplexität steigt auch der Integrationsgrad unterschiedlicher Gewerke. Die oben genannten Bezeichnungen sind somit nicht auf den Betonbau begrenzt.

15.2 Implementierung des industriellen Bauens in Unternehmen

15.2.1 Wege zur Neuorientierung

Unternehmen in der Bauwirtschaft sehen sich einem steten Preisdruck ausgesetzt, dem nur standgehalten werden kann, wenn vorhandene Effizienzpotentiale erschlossen werden. Für jedes einzelne Unternehmen steht daher die Frage, wie diese Effizienzpotentiale z. B. mit Hilfe des industriellen Bauens erschlossen werden können.

Bei einer analytischen Betrachtung der möglichen Rationalisierungsoptionen ist es sinnvoll, die jeweilige Kostenstruktur der erstellten Leistung näher zu betrachten, um relevante Kostenbereiche zu identifizieren. In Tabelle 15–2 [1] ist die typische Verteilung der Gesamtkosten bei der Bauwerkserstellung in der Schweiz dargestellt. Erkennbar sind die beiden Hauptkostengruppen Material und Arbeitsaufwand. Beide Kostengruppen befinden sich im Einflussbereich der bauausführenden Unternehmen in der Bauwirtschaft.

Tabelle 15–2: Verteilung von Baukosten und Investitionskosten nach Kostengruppen

Kostengruppen	Gesamte Baukosten			Investitionskosten
	Anteil Arbeitskraft / Ausrüstung	Materialanteil	Baukosten	
	%	%	%	%
Bauland				25 %
Planung/ Bauleitung			~ 10 %	5 %
Entwurf	70 %	30 %	14 %	
Rohbau	50 %	50 %	36 %	
TGA	40 %	60 %	30 %	
Ausbau		40 %	20 %	
Baukosten	~ 50 %	~ 50 %	100 %	53 %
Outdoor Facilities				7 %
Finanzierung				5 %
Marketing				5 %
Gesamt				100 %

Circa 50 % der Baukosten entfallen auf den Arbeitslohn bzw. die Maschinennutzung. In Bild 15-5 ist daher beispielhaft die Nutzung der Arbeitszeit auf einer Baustelle näher aufgeschlüsselt.

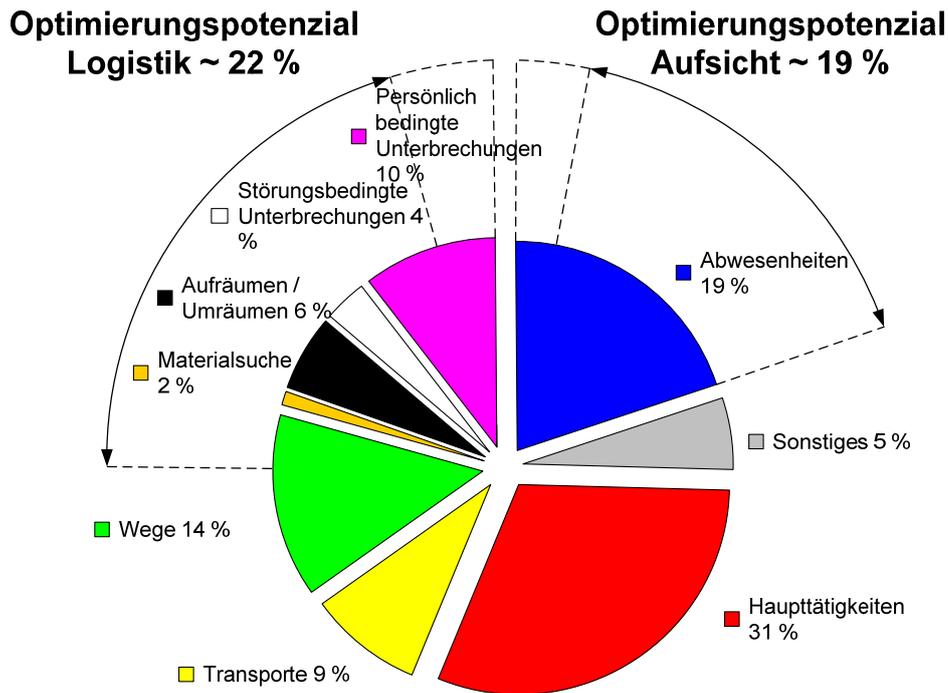


Bild 15-5: Potentiale zur Kostenreduktion: Nutzung der Arbeitszeit [23]

Erkennbar ist, dass ausgehend von der derzeitigen Situation durchaus Rationalisierungspotentiale vorhanden sind, die entscheidende Auswirkungen auf die Kostenstruktur eines Unternehmens haben. So liegt hier z. B. das Einsparungspotential durch eine optimierte Baustellenlogistik bei über 20% der gesamten Personalkosten.

Eine isolierte Betrachtung der einzelnen Kostengruppen würde jedoch nur eine suboptimale Umgestaltung im Bauunternehmen ermöglichen, da systemimmanente Nachteile nicht erkannt und überwunden werden können. Es ist somit nicht nur eine Ausrichtung von Optimierungsvorhaben auf operative Teilaspekte erforderlich, vielmehr müssen auch strategische Denkweisen und Ausrichtungen überprüft werden (Bild 15-6). Ohne eine Überprüfung der jeweiligen Unternehmensstrategie sind Effizienzpotentiale nicht vollständig realisierbar. Jede Aktivität eines Unternehmens, so also auch die in Abschnitt 15.2.2 betrachteten Lösungskuster des industriellen Bauens, enthalten sowohl strategische als auch operative Komponenten.

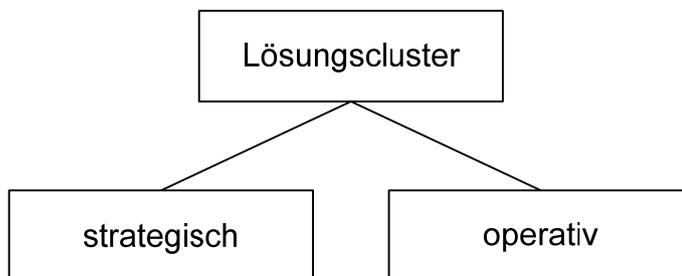


Bild 15-6: Lösungskuster zur Erschließung von Effizienzpotentialen

15.2.2 Massnahmen im Unternehmen

Paradigmenwechsel - strategische Neuorientierung

Bild 15-7 stellt die Gliederung der Bauindustrialisierung in verschiedene Industrialisierungsparadigmen mit zugehörigen Marktstrategien und den möglichen Einsatzbereichen dar. Die klassischen, noch weit verbreiteten Handlungsparadigmen bezeichnen die ausschliessliche Orientierung an einzelnen operativen Aspekten. So erschliesst die ausschliessliche Optimierung von Herstellprozessen nicht das gesamte Effizienzpotential.

Für eine ganzheitliche Optimierung ist ein Paradigmenwechsel notwendig, der auch die Anpassung der jeweiligen Unternehmensstrategie mit umfasst. Dauerhaft werden sich nur die Unternehmen am Markt durchsetzen, die je nach Projektauftrag investitorientiert oder life-cycle-orientiert handeln, sich auf ihre Kernfähigkeiten konzentrieren und jene Geschäftsfelder bearbeiten, die ausreichende Deckungsbeiträge erwirtschaften. Dies kann nur erreicht werden, wenn man die Marktsegmente bearbeitet, bei denen die Kernfähigkeiten komperative Konkurrenzvorteile für den Kunden erzeugen und wenn man die internen Prozesse systematisch industrialisiert und somit immer effizienter gestaltet. Für die Umsetzung eines solchen Paradigmenwechsels werden ggf. Kooperation mit externen Planern und Spezialunternehmen erforderlich, wobei auch neue Projektabwicklungs- und Geschäftsmodelle geschaffen und umgesetzt werden müssen [11]. Eine auf diesen Paradigmenwechsel ausgerichtete Unternehmensstrategie muss in den Unternehmen implementiert werden.

Paradigma	Prozess-orientierung	Baustellen-produktion	Vorfertigung	Design to build	Produkt-orientierung	Lebenszyklus-Orientierung
	Orientierung an der Herstellung			Produkt- und Herstellungsorientiert		
				Interaktion zwischen Entwurf Gebäude und Herstellungsprozessen		
				Investment-orientiert	Life-cycle orientiert	
				Partnerschaften zwischen Entwurf und Bauausführung		
					Entwurf und Bauausführung in Kooperation	
Strategische Ziele	Kosteneffizienz	Kosteneffizienz	Kosteneffizienz	Kosteneffizienz	Kosteneffizienz und/oder Differenzierung	Kosteneffizienz und Differenzierung

Bild 15-7: Industrialisierungs-Paradigmen mit zugehörigen strategischen Zielen

Entsprechend der klassischen Managementlehre gibt es folgende Strategieoptionen auf Unternehmensebene [25]:

- **Kostenführerschaft:** Differenzierung gegenüber Mitbewerbern ausschliesslich über den Preis der angebotenen Produkte
- **Nischenstrategie:** Besetzen und Bearbeitung von besonders attraktiven Teilmärkten (Marktnischen)
- **Differenzierungsstrategie:** Bearbeitung von ausgewählten Kundengruppen mit der Absicht, sich gegenüber Mitbewerbern durch Alleinstellungsmerkmale abzuheben

Unabhängig von der Unternehmensstrategie, für die sich Bauunternehmen entscheidet: die Möglichkeiten des industriellen Bauens sind nicht nur auf den Bereich einer angestrebten Kostenführerschaft begrenzt. So kann der verkürzte Bauablauf, der sich durch den Einsatz vorgefertigter Bauteile ergibt, ein entscheidender Baustein einer Differenzierungsstrategie bezüglich der Kundengruppe „Bauherr“ sein. Gleichzeitig kann für ein Bauunternehmen die Transparenz und schnelle Informationsweiterleitung, welche mit dem Einsatz eines abgestimmten Daten- und Informationssystems verbunden ist, auch entscheidender Bestandteil einer Nischenstrategie gegenüber den Auftraggebergruppen Projektsteuerer und GU sein. Dementsprechend können ohne eine genaue unternehmensbezogene Analyse keine unternehmensspezifischen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Industrialisierung für eine KMU in der Bauwirtschaft bedeutet:

- Marktorientierung
 - Konzentration auf bestimmte Marktsegmente
 - Überregionale Spezialisierung auf Arbeitsgebiete
- Ressourcenorientierung
 - Interaktion von Planung, Arbeitsvorbereitung und Bauausführung
 - Optimierte Prozesse und optimierte Organisation
 - Einsatz vorgefertigter Bauteile
 - Einsatz variabler Grundtypen
 - Standardisierung von Bauverfahren und verwendeten Baustoffen,

Für das Bauunternehmen hat die Umsetzung dieser Punkte u.a. folgende Auswirkungen:

- Konzentration auf die wirtschaftlichsten Tätigkeitsfelder im Unternehmen
- Erhöhung des Anteils wertschöpfender Arbeiten, Verringerung unproduktiver Support- und Nebenarbeiten
- Verbesserung der Produktqualität
- Ausnutzen von Lernkurveneffekten
- Senkung der internen Kosten
- Bessere Kostentransparenz und Planbarkeit
- ggf. Erschliessung neuer Marktbereiche und/oder Kundensegmente

Operative Lösungsansätze

Da nur die Kombination aus strategischen und operativen Ansätzen zu einer nachhaltigen und langfristigen Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit führt, sind neben strategischen auch folgende operative Lösungscluster umzusetzen:

- Standardisierung von Material, Bauteilen und Bauverfahren
- Systematisierung und Rationalisierung der integrativen, interaktiven Ausführungsplanungs- und Produktionsplanungsprozesse
- Rationalisierung des Inventareinsatzes durch gezielten Einsatz von „Allround-Inventar“ zur Erhöhung des Ausnutzungsgrades oder zeitlich befristete Beschaffung von optimal auf die Arbeitsaufgabe abgestimmten Maschinen
- Rationalisierung durch Nutzung der standardisierten Informationstechnologien für den internen und externen Datenaustausch
- Rationalisierung und Standardisierung durch Vorfertigung von Bauteilen

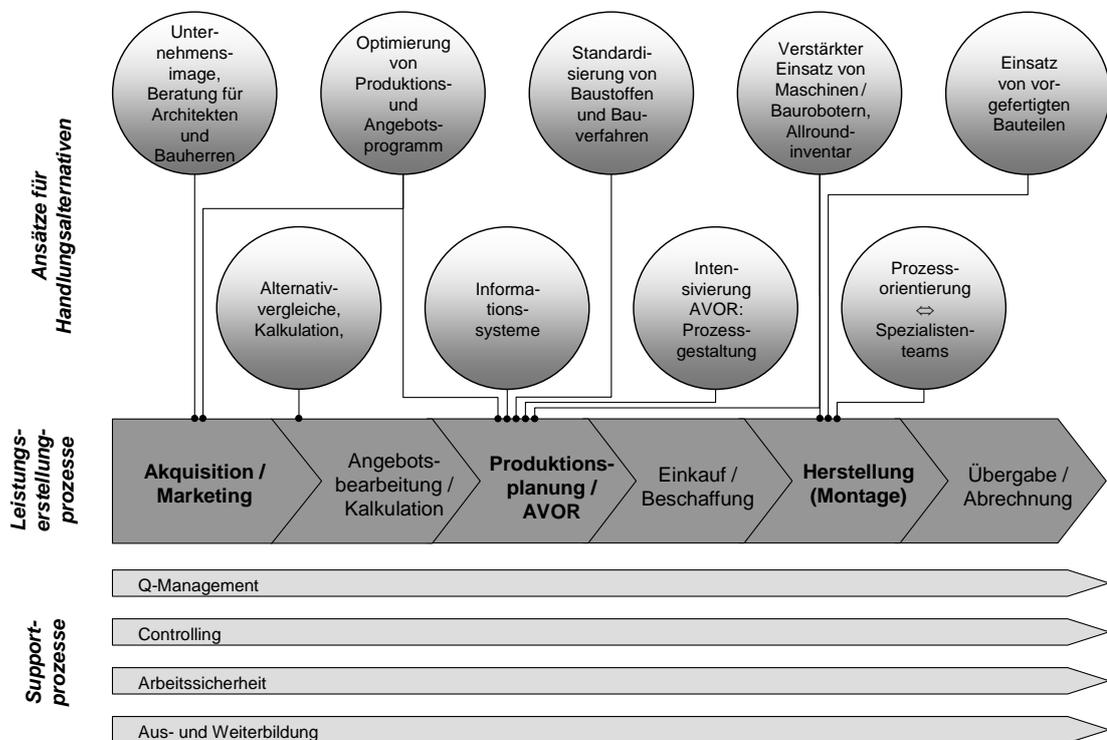


Bild 15-8: Industrialisierung des Leistungserstellungsprozesses in KMU

Zur qualitativen Ausgestaltung und Umsetzung der einzelnen Lösungscluster sind im jeweiligen Bau- bzw. Planungsunternehmen spezifische Handlungsalternativen auszuarbeiten. Diese Ansätze umfassen z. B. die Betrachtung von Herstell- und Logistikprozessen oder des Informationsflusses in Unternehmen. Weitere Industrialisierungsansätze basieren auf der Tatsache, dass durch Innovationen im Maschinen- und Anlagenbau die Produktion von Fertigteilkleinserien und Einzelanfertigungen wirtschaftlich geworden ist, da die zugehörigen Umrüst-, Transaktions- und Komplexitätskosten gering geworden sind. Die jeweiligen Industrialisierungsansätze sowie ihre Zuordnung zu den Primärprozessen der Wertschöpfungskette können Bild 15-8 entnommen werden.

Industrialisierung am Bau ist somit ein generischer Prozess, der Folgendes umfasst:

- Standardisierung
- Systematisierung, Mechanisierung
- Flexibilisierung/Variabilisierung
- Rationalisierung

Nachfolgend ist beispielhaft aufgeführt, wie Aspekte des industriellen Bauens auf operativer und strategischer Ebene in Unternehmen implementiert werden können:

Mechanisierung und Robotisierung der Baustellenproduktion

Das Ziel dieses konzeptionellen Ansatzes ist die Steigerung der Arbeitsproduktivität durch die Erhöhung des Mechanisierungs- und Automatisierungsgrads der Baustellenproduktion. Auf Baustellen fallen viele Tätigkeiten an, die

einfach und monoton sind,

- häufige Wiederholungen von Handgriffen beinhalten,
- gleich bleibende Qualität erfordern sowie
- einen hohen Aufwand zum Schutz des ausführenden Mitarbeiters bedeuten.

Tätigkeiten mit diesen Merkmalen sind aus den nachfolgend beschriebenen Gründen potentielle Einsatzgebiete für Baumaschinen und eventuell sogar Roboter. Häufige Wiederholungen von Handgriffen und Arbeitsabläufen bedeuten eine höhere Auslastung von angeschafften Spezialmaschinen. Baumaschinen und Roboter sind oft in der Lage – insbesondere über einen längeren Zeitraum – genauer zu arbeiten (Beispiel: gleich bleibende Schichtdicke beim Streichen oder Beschichten). Bei Tätigkeiten mit gesundheitsgefährdenden Substanzen (Beispiel: Anstrich mit lösemittelhaltigen Farben) oder in grossen Arbeitshöhen (Beispiel: Fassadenarbeiten) kann auf teure Arbeitsschutzmassnahmen verzichtet werden, wenn sich infolge des Maschineneinsatzes kein Mitarbeiter der Gefahr auszusetzen braucht. Besonders im konventionellen Tunnelbau hat man für gefährliche Arbeiten mit einem hohen Wiederholungsgrad zur Erzielung hoher gleichmässiger Qualität unter schweren Arbeitsbedingungen roboterisierte Geräte entwickelt, wie z. B.:

- automatisierte, dreiarmige Bohrjumbos [12]
- automatisierte Spritzroboter, die von der ETH-Zürich gemeinsam mit der Industrie entwickelt wurden [12], [22]

Neben dem erzielbaren Produktivitätsgewinn und den Anschaffungskosten muss eine unternehmerische Entscheidung für eine neue Baumaschine auch den evtl. mit dieser Maschine verbundenen logistischen Aufwand berücksichtigen.

Baumaschinenhersteller entwickeln ihr Angebot an Baumaschinen ständig weiter, so dass für immer mehr Arbeitsgänge und Arbeitsschritte Baumaschinen zur Verfügung stehen. Dieser Trend wird sich weiter fortsetzen. Für eine weitere Automatisierung werden jedoch vor allem die technische Robustheit sowie günstige Anschaffungskosten von Baustellenrobotern und Vorfertigungsrobotern Voraussetzung sein. Diesen beiden Forderungen werden ausschliesslich Seriengeräte gerecht. Mit zunehmender Automatisierung gewinnt die exakte Arbeitsvorbereitung an Bedeutung.

Standardisierung - Modular bauen

Mit modularen Bauweisen lässt sich erreichen, dass gleiche Bauteile sowohl innerhalb eines Projekts also auch bei unterschiedlichen Bauvorhaben verwendet werden. Eine solche Wiederholung bedeutet die Produktion in Kleinserien auf einer sogenannten Plattformbasis mit den damit verbundenen Vorteilen, die sich durch eine Standardisierung und Optimierung der Prozesse ergeben. Die Herstellung einer Serie gleicher Bauteile auf einer sogenannten Plattformbasis ermöglicht die wirtschaftlichere Vorfertigung und Automatisierung und rechtfertigt es, mehr Arbeitszeit für die Detailplanung und Arbeitsvorbereitung zu verwenden. Neben Bauzeit- und Kostenvorteilen ergeben sich deshalb auch Qualitätsvorteile.

Mit der Standardisierung und Vorfertigung ist jedoch nicht die Vereinheitlichung der Endprodukte und der Wegfall der Individualität von Bauwerken verbunden. Mit dem industriellen Bauen werden Bauteile durch Plattformsysteme modularisiert. Dies erhöht auf der einen Seite die Flexibilität bei den Herstellprozessen, auf der anderen Seite soll der Kunde im Endzustand die Modularisierung nicht wahrnehmen. Modular bauen ist vor allem eine Herausforderung für die Planer. Den Bauunternehmen stellt sich die Aufgabe, modulare Bauweisen anzubieten und den Dialog mit den Planern zu suchen. Auch bei Projekten, die ohne vorgefertigte Bauteile gebaut werden, lassen sich, z. B. indem durch geringfügige Massänderungen der mehrmalige Einsatz derselben Schalung ermöglicht wird, Einsparungen erzielen.

Standardisierung - Informationstechnologie für den Datenaustausch nutzen

Da an Planung und Ausführung eines Bauprojekts in der Regel sehr viele Personen beteiligt sind, erhalten die Kommunikation und der Datenaustausch zwischen ihnen besondere Beachtung. Ein durchgängiges bzw. kompatibles Datensystem hat dabei folgende Vorteile:

- Einfacher und schneller Datenaustausch zwischen den Projektbeteiligten
- Vermeidung von Mehrfacherfassung von Daten
- Vermeidung des Verlustes von Daten und Erkenntnissen früherer Projektphasen
- Einfache Aktualisierung von Kostenschätzungen und -ermittlungen
- Einfache Erstellung von Soll-Ist-Vergleichen
- Nutzung der Daten für die Produktionsplanung, einschliesslich Einkauf

Standardisierung - Material, Bauteile und Bauverfahren

Die unternehmensinterne Standardisierung muss die verwendeten Baustoffe und die Bauverfahren einbeziehen. Unternehmenslösungen für sich wiederholende technische Problemstellungen sind in den Unternehmen zu entwickeln und zu dokumentieren. Das Ziel der Standardisierung ist es, die Variabilität der Herstellprozesse zu verringern, um Ausführungsmängel zu reduzieren und die mit der Wiederholung von Tätigkeiten verbundenen Effizienz- und Kostenvorteile zu nutzen (z. B. geringere Einarbeitung und höhere Auslastung von Spezialmaschinen).

Rationalisierung - Bauteile vorfertigen

Der Vorfertigung kommt im Rahmen der Industrialisierung besonders grosse Bedeutung zu, da sie ermöglicht, die für eine industrielle Produktion ungünstigen Baustellenbedingungen wie wechselnde Produktionsorte und den Einfluss der Witterung, zu umgehen. Die Produktionsprozesse in einem Fertigteilwerk lassen sich wesentlich leichter wirtschaftlich mechanisieren und automatisieren als auf der Baustelle. Das Bauen mit Fertigteilen entzerrt den Bauablauf. Vorfertigungskonzepte können über die Produktion von Rohbau-Bauteilen hinausgehen und Leistungen mehrerer Arbeitsgattungen in sich vereinen (Beispiele: Integration von Dämmungen, Installationen und Oberflächenbehandlungen). Bestimmte Konstruktionen und Finish-Arbeiten (Beispiele: komplizierte Schalungen oder hohe Genauigkeitsanforderungen) lassen sich nur in der Vorfertigung wirtschaftlich realisieren.

Die Wirtschaftlichkeit der Vorfertigung steigt mit der Plattformkonformität und der sich daraus ergebenden Seriengrösse mit einer definierten Variabilität. Die Weichen für den Fertigteileneinsatz sollen daher bereits in der Planung gestellt werden. Industriell bauende Unternehmungen müssen deshalb den Kontakt zu Planern frühzeitig suchen. Ist die Ausschreibung eines Projekts auf Basis von Ausführungsplänen und detaillierten Leistungsverzeichnis erfolgt, ist das Potenzial der Vorfertigung begrenzt. In diesem Fall kann die industriell bauende KMU nur noch für einzelne Bauteile Fertigteile vorschlagen. Ein Ausweg aus diesem Dilemma könnte sich in der Zukunft durch die konsequente Nutzung der Informationstechnologie für die Produktion im Fertigteilwerk ergeben. Wenn der Herstellprozess weitgehend automatisiert ist und eine mit dem CIM-System des Fertigteilwerks kompatible CAD-Planung vorliegt, ist auch die wirtschaftliche Einzelfertigung von architektonisch anspruchsvollen Bauteilen auf Plattformsystemen möglich. Bild 15-9 beschreibt schematisch den für eine integrierte Produktionsplanung notwendigen Informationsfluss.

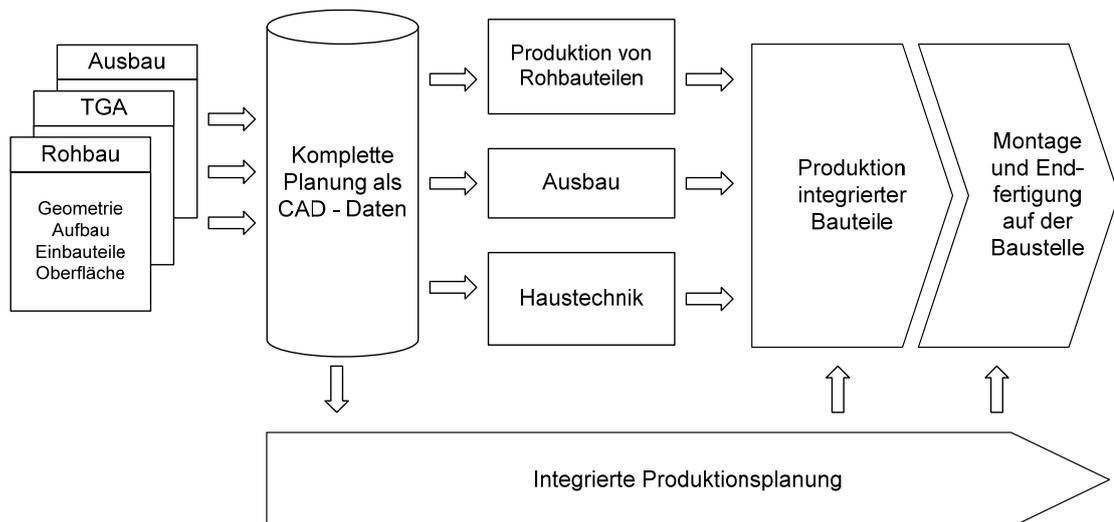


Bild 15-9: Informationsfluss als Basis integrierter Produktion

Rationalisierung - Entwurfs- und Produktionsplanung abstimmen

Die heute übliche traditionelle Praxis, Bauunternehmen erst in der eigentlichen Ausführungsphase einzubeziehen, ist ein grosses Handicap für die Weiterentwicklung von Bauverfahren und Bauprozessen. Weder das Know-how des ausführenden Unternehmens noch dessen unternehmensspezifischen Anforderungen an eine kostengünstige Produktion, die sich z. B. durch die Nutzung spezieller on-site bzw. off-site Bauverfahren, potentieller Plattformsysteme mit variabler Gestaltungsbreite sowie vorhandener Ressourcen wie Personal, Inventar, Erfahrungen und Geschäftsbeziehungen ergeben, können dann noch berücksichtigt werden. On-site und off-site Produktionserfahrungen oder die Kenntnis von Plattformsystemen mit variabler Gestaltungsbandbreite fliessen nur in geringem Umfang in die Planung zurück. Natürlich möchte der Bauherr seinen Auftrag zu Marktpreisen vergeben und fordert deshalb zu Recht Wettbewerb zwischen den Bauunternehmen, aber er sollte nicht nur den Preis, sondern auch die Leistung zum Gegenstand des Wettbewerbs machen. Ein Preis-Leistungs-Wettbewerb erfordert eine funktionale Ausschreibung auf Basis der Baubewilligungsplanung, die aus Plänen und einer den Qualitätsstandard definierenden Baubeschreibung einschliesslich Raumbuch besteht. Ausführungsvarianten sollten ausdrücklich zugelassen werden. Die Bauunternehmen können – innerhalb der durch die funktionale Ausschreibung gesetzten Grenzen – innovative Unternehmenslösungen mit einem hohen Anteil an modularer und plattformorientierter Vorfertigung anbieten. Die Wertung der Angebote ist im Vergleich zur Ausschreibung mittels Einzelleistungsverzeichnis aufwendiger, dafür erhält der Bauherr jedoch Zugang zu einem Verbesserungs- und Kostensenkungspotenzial, das ihm sonst verschlossen bleibt. In Branchen wie dem Schiffs- und Anlagenbau, in denen ebenfalls Prototypen hergestellt werden, erfolgt die Ausführungsplanung durch den bzw. im Auftrag des Produzenten. Damit kann der Produzent Einfluss auf die qualitätsdefinierte, aber kostenoptimierte Planung nehmen und sein Know-How einfliessen lassen. Übertragen auf die Bauwirtschaft bedeutet eine solche Projektabwicklungsform, dass die Erfahrungen, Kenntnisse und das Wissen von Bauunternehmen in die Ausführungsplanung einfliessen und sich dadurch Kostenvorteile für den Bauherrn ergeben. Somit könnten z. B. folgende Effizienzpotentiale erschlossen werden:

- Unternehmenslösungen mit Gewährleistungsübernahme für Dichtigkeits-, Wärmeschutz-, Schallschutz- und Tragfähigkeitsanforderungen entwickelt werden,
- zwischen Vorfabrikation und Baustellenproduktion einzelner oder aller tragender Bauteile entschieden werden,
- unbedeutende Änderungen des Architektenentwurfs abgestimmt werden, um mehrfachen, standardisierten Schalungseinsatz und/oder Fertigteileinsatz oder den Einsatz grossformatige Mauersteine zu ermöglichen,
- alternative Baustoffe eingesetzt werden.

Damit könnten für den Bauherrn die Industrialisierungsstärken des Unternehmens beim Bauen zur Geltung gebracht werden.

Der Einfluss der Bauunternehmen auf die Ausführungsplanung ist Voraussetzung für die Investitionsbereitschaft der Bauunternehmen in neue Maschinen und Informationstechnik sowie in die damit verbundene Ausbildung der Mitarbeiter. Mit diesen Massnahmen ist die Entwicklung von Unternehmenslösungen als komparative Konkurrenzvorteile möglich.

Rationalisierung - Prozesse optimieren

Rationalisierung von Prozessen in Unternehmen bedeutet, sich auf die wertschöpfenden Aktivitäten zu konzentrieren und die nicht-wertschöpfenden in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess zu eliminieren. Rationalisierung bedeutet auch gleichzeitig, alle Mitarbeiter zu motivieren, daran mitzuarbeiten. Hierzu eignet sich der KVP-Ansatz (Kontinuierlicher Verbesserungs-Prozess) als bottom-up-Ansatz besonders. Hinzu kommt, dass in einem top-down-Ansatz die technologischen Innovationen des Umfeldes in den bottom-up-Ansatz durch das Management integriert werden.

Die Prozessrationalisierung beginnt nach Girmscheid [13] bereits mit dem Angebotsmanagement und setzt sich über das Ausführungsmanagement fort, d.h. es umfasst im Unternehmen den gesamten Wertschöpfungsprozess sowie die Supportprozesse.

Prozessoptimierung beginnt bereits bei der Marktbeobachtung und Selektion der Ausschreibungen auf dem Markt. Hier muss das Unternehmen klare Selektionskriterien vorgeben, die aus der risikobasierten Unternehmensstrategie abgeleitet werden. Die Angebotsbearbeitung muss effizient und systematisiert durchgeführt werden. Dazu ist eine klare, risikobasierte Bearbeitung der Ausschreibung nach vertraglichen, ökonomischen und technischen Aspekten sowie eine dezidierte Kostenanalyse mit Einbezug der kosten-qualitätseffizienten Beschaffung auf dem Markt notwendig. Der Prüfung von Unternehmensalternativen kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu. Hier helfen besonders Checklisten zum systematischen, schnellen Vorgehen sowie systematische, marktaktuelle Datenbanken bezüglich

- Leistungsansätzen
- Beschaffungskosten vom Nachunternehmer
- internen Kostenansätzen
- Nachunternehmerbewertungslisten

Ziel muss es sein, die Angebotsbearbeitung gezielt:

- nur für Ausschreibungen durchzuführen, die mit dem Leistungsangebot und Know-How des Unternehmens optimal übereinstimmen, um die kompetitiven Konkurrenzvorteile zu entfalten
- schnell und ergebnisorientiert mit relativ geringen Transaktionskosten durchzuführen
- die Erfolgsquote am Markt zu erhöhen und die angestrebten Deckungsbeiträge zu erzielen.

In der Ausführungsphase werden die Prozesse durch eine systematische Arbeitsvorbereitung auf Basis der Kostenkalkulation optimiert. Die AVOR ist somit die Grundvoraussetzung für eine Prozessoptimierung in der Ausführung. Die AVOR kann bei den meisten Firmen für die einzelnen strategischen Geschäftsfelder standardisiert bzw. systematisiert werden, z. B. für den Bau von Einfamilienhäusern oder Mehrfamilienhäusern. Die Systematisierung der AVOR stellt sicher, dass man nichts vergisst und alle Baustellen auf einem hohen, gleichmässigen Niveau vorbereitet. Die Verwendung von Checklisten sollte die Entwicklung und den Einsatz innovativer Bauverfahrensalternativen jedoch nicht verhindern, sondern im Gegenteil sogar fördern. Zur Prozessoptimierung gehört auch die Standardisierung von Einrichtungscontainern für die Baustellenleitung bis hin zum Kleingerätecontainer. Die Schalungssysteme bei on-site Produktion sollten auf die Tragkonstruktionstypen von Gebäuden systematisiert werden. Auch der Einsatz von Halbfertigteilen und Fertigteilen muss in Bezug zum Bau-

ablaufplan, zur Konstruktion und zur Parallelisierung von Abläufen systematisch geprüft werden.

Die Prozesse müssen während der Ausführung systematisch und kontinuierlich verbessert werden. Dazu müssen repetitive Arbeitsabläufe bezüglich der Zeitoptimierung von Anfang an geprüft werden. Diese Optimierung wird mit Hilfe von Zeitstudien erreicht, bei denen die nicht wertschöpfenden Aktivitäten klassifiziert und anschließend eliminiert werden. Voraussetzung hierfür ist auch eine systematische Wochenplanung bis auf Gruppenebene, welche dann auf Basis des Ablaufplanes durch Bauleitung und Poliere umgesetzt wird. Die Poliere müssen auf der Basis des Wochenplans den Tagesplan aufbauen und täglich anpassen. Der Monats-, Wochen- und Tagesplan soll die kostenintensive Improvisation des Poliers mit dem Handy ersetzen, denn auf heutigen Baustellen wird der Arbeitsablauf noch stark durch improvisierte, kurzfristige Material- und Gerätebestellungen sichergestellt, die erhebliche Nebenkosten erzeugen und das positive Baustellenergebnis in Frage stellen. Ein kontinuierliches Berichtswesen, in der die Leistung sowie die Kosten erfasst werden, ermöglicht eine zielsichere Steuerung der Prozesse auf der Baustelle. Der Einsatz von on-site und off-site Produktionsmitteln ist dabei eingeschlossen.

Der Einsatz von innovativen Techniken und Bauverfahren gehört als wichtiger Bestandteil zur Prozessverbesserung auf der Baustelle. Als Beispiel hierfür ist der alternative Einsatz von Self-Climbing-Plattformen (SCP) bei Hochhäusern [14]

Kooperationen - Unternehmensübergreifende Zusammenarbeitsformen

Kooperationen und Allianzen eröffnen besonders KMU die Möglichkeit, angestrebte Leistungsangebote im Verbund mit anderen Unternehmungen ressourcenoptimal zu realisieren. Komplementäre Kernkompetenzen auf der Seite der beteiligten Unternehmungen lassen sich verknüpfen, um neue, marktgerichtete und vor allem kundenorientierte Gesamt- und Systemangebote zu erarbeiten.

15.2.3 Kundenfokus der Industrialisierung

Wenn man die Industrialisierung der Bauproduktion vorantreibt ist ein Paradigmenwechsel in den Bauprozessen notwendig. Dabei ist es unumgänglich, dass bei der Industrialisierung der Produktion und Prozesse die architektonische Gestaltungsfreiheit erhalten bleibt. Zur Erzielung der Wirtschaftlichkeit verlangt jedoch die Industrialisierung eine Systematisierung und Standardisierung.

Um gleichzeitig eine hohe Varianz bei der Herstellung und Nutzung von Elementen, Modulen und Systemen zu gewährleisten ist es notwendig, dass die Planungs- und Produktionsprozesse eine hohe Anpassungsfähigkeit bezüglich der gestalterischen Verschiedenartigkeit der Elemente, Module und Systeme aufweisen. Daher erfordert die Systematisierung und Standardisierung gleichzeitig eine Variabilisierung auf Basis sogenannter Plattformen, welche die Anpassungsfähigkeit der industriellen Bauprozesse und Bauprodukte sowie die gestalterische Verschiedenartigkeit der Elemente ermöglichen.

Im Rahmen der Industrialisierung muss man die gestalterische Verschiedenartigkeit in eine herstellerbedingte und eine nutzungsbedingte Anpassungsfähigkeit unterscheiden.

Die **herstellbedingte Anpassungsfähigkeit** umfasst die Flexibilität in der Planungs-, Produktions- und Ausführungsphase für die Hersteller. Plattform- und Baukastensysteme basieren auf diesem Konzept. So können mit verstellbaren Magnetschalungen in der Vorfertigung unterschiedliche Wandelemente etc. hergestellt werden. Mit der Planung und Produktion auf Basis von Plattform- oder Baukastensystemen ist auch die Verwendung von optimierten Standarddetails verbunden.

Die Industrialisierung erfordert eine herstellerbedingte Flexibilität, um mit individuelle Elemente, Module und Systeme einer gestalterischen Vielfältigkeit industrialisierungsgerecht zu fertigen. Industrialisierungsgerecht bedeutet auch die Produktion von hohen Stückzahlen, wobei durch die Verwendung von Plattform- oder Baukastensystemen jedes einzelne Endprodukt individuell gestaltet sein kann.

Die **nutzerbedingte Anpassungsfähigkeit** gibt dem Nutzer Flexibilität, die Nutzung der baulichen Anlage mit einfachen Aufwendungen auf seine Bedürfnisse anzupassen. So können Elemente und Module des Gebäudes nach Bedarf ausgetauscht (Bsp.: Fassaden) oder verschoben (Bsp.: Innenwände) werden.

Die Planung und Herstellung in Modulen und Elementen, d. h. die Definition von Bauteilen und Schnittstellen, eröffnet sowohl die Möglichkeit der Vorfertigung als auch die einer nutzungsbedingten Anpassung. Die Beziehung zwischen der produkt- und prozessbedingten Anpassungsfähigkeit sowie der gestalterischen Variabilität sind in Bild 15-10 dargestellt.

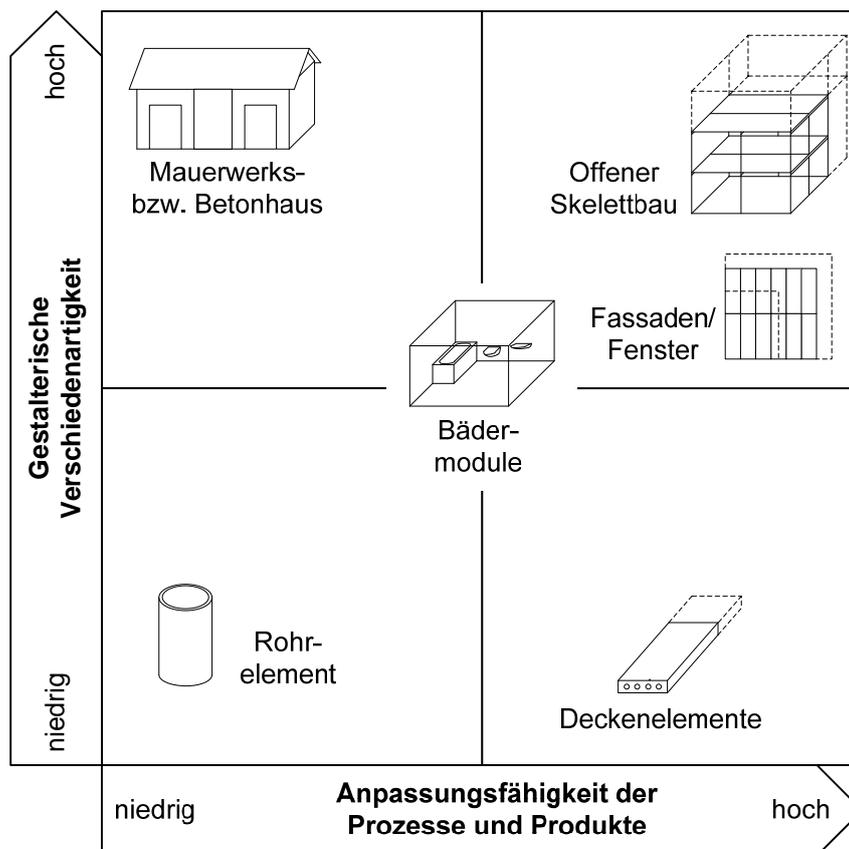


Bild 15-10: Matrix der gestalterischen Verschiedenartigkeit und prozess- und produktbedingter Anpassungsfähigkeit.

15.3 Unterscheidung und Auswahl von Fertigteilen

15.3.1 Vorteile und Nachteile der Werksfertigung

Die **Vorteile** der Vorfertigung von Betonbauteilen in einem Fertigteilwerk lassen sich in die 3 grossen Teilbereiche Qualitätsverbesserung, Verringerung der Herstellkosten und Verkürzung der Bauzeit gliedern (vgl. [2], [6]):

a) Qualitätsverbesserung

- Bessere Arbeitsbedingungen mit höherer Arbeitsleistung
- Witterungsunabhängige Fertigung
- Grössere Masshaltigkeit durch Verwendung von Stahlschalungen
- Bessere Betonnachbehandlung als auf der Baustelle
- geringere Streubreite der Betonqualität
- Herstellung architektonisch strukturierter und farblicher Betonbauteile für Fasadengestaltung
- Möglichkeit variablerer Oberflächengestaltung (Strukturierung, Einfärben)
- Realisierung eines effizienteren Qualitätsmanagements mit einer standardisierten, prozessorientierten Qualitätskontrolle

b) Verringerung der Herstellkosten

- Verringerung der nichtwertschöpfenden Arbeitszeit durch repetitive, logistikunterstützte Herstellprozesse im Werk
- Reduzierung der Gerüstkosten auf der Baustelle
- Verminderung von Arbeitsstunden durch erhöhte Effizienz in der Vorfertigung
- Materialersparnis – keine witterungsbedingten / ordnungsbedingten Verluste
- Vorspannung im Spannbett – repetitive Nutzung
- Indirekte Preisvorteile: Einhaltung der kalkulierten Kosten durch Festpreise
- Reduzierung der Schalungskosten durch effizienteren, standardisierten Einsatz der Schalungen
- Durch Verkürzung der Bauzeit geringere Finanzierungskosten und frühzeitigere Nutzungserträge

c) Verkürzung der Bauzeit

- weitestgehend witterungsunabhängig (Produktion und Montage kann auch im Winter erfolgen)
- Gleichzeitige Produktion im Werk z. B. der Wand- und Deckenelemente bei parallel laufender Fundamentherstellung
- Keine aufwendige Baustelleneinrichtung,
- Rohbau nach Errichtung trocken und sofort belastbar
- Verkürzte Planungszeit und Vorbereitungsarbeiten bei möglichem Rückgriff auf typisierte bzw. modularisierte Plattformelemente
- Möglichkeit der Zwischenlagerung und Lieferung auf Abruf

Als **Nachteile** der Werksfertigung sind folgende Punkte zu nennen:

- Mangelhafte firmenübergreifende Standardisierung erschweren eine firmenübergreifende Zusammenarbeit
- Höhere Transportkosten bei grossen Bauteilen bzw. Einschränkung des Auslieferungsradius
- Montage benötigt leistungsfähigen Mobilkran (Platzbedarf / Standsicherheit / Kosten)
- Bemessung der Fertigteile auch für den Lastfall Transport notwendig
- Hoher Fixkostenanteil durch hohe Mechanisierung in der Produktion
- Bei Einzellösungen höhere Planungsaufwendungen
- ggf. veränderte Baumassen durch andere statische Systeme (Durchlaufträger Ortbeton und Einfeldträger Fertigteil)
- Toleranzprobleme bei der Kombination Ortbeton mit Fertigteilen

Einige Nachteile lassen sich durch eine entsprechende Markt- und Angebotsstrategie sowie durch die Abstimmung der Termin- und Konstruktionsplanung und der Toleranzen umgehen.

15.3.2 Häufig verwendete Fertigteile

Die Liste der von den Betonwerken angebotenen Fertigteile ist sehr umfangreich, wobei die Einsatzhäufigkeit der unterschiedlichen Elemente sehr stark schwankt. Häufig verwendet werden folgende Elementgruppen:

- Wände
 - Massivwände
 - Sandwichplatten
 - Hohlwände
- Fassaden
 - Fassadenplatten
 - Sandwichfassaden
- Decken
 - Flächen:
 - Spannbeton – Hohldecken (Bild 15-17)
 - Elementdecken (auch bekannt unter Markenname Filigrandecke)
 - Rippendecken (T – Elemente, TT – Elemente, U – Elemente)
 - Balkendecken:
 - Vorgefertigte Füllelemente
 - Ortbeton – Füllelemente
- Stützen
 - Rundstützen
 - Rechteckstützen
- Treppen
 - Gewendelte Treppen
 - Gerade Treppen
 - Treppenpodest

- Balkon
 - Balkonbrüstungen
 - Balkonplatten
- Fenster
 - Fensterstürze
 - Fensterumrahmungen
- Liftschächte (Bild 15-18)
- Dachbinder
- Sonderbauteile
 - Maste, Rohre
 - Gleisschwellen
- Systemmodule, z.B. Fertigbäder

15.3.3 Halbfertig-Rohbauelemente

In verschiedenen Stahlbetonbauweisen werden vielfach Mischformen zwischen Baustellenfertigung und Vorfertigung angewandt; z. B. werden vorgefertigte, leichte **Elementplatten** als Halbfertig-Rohbauelemente mit der ersten Bewehrungslage als verlorene Schalung eingebaut (Bild 15-11, auch bekannt unter Markennamen Filigrandecke) und an der Einbaustelle mit zusätzlicher Bewehrung und Ortbeton oder **Stahlfaserbeton** zu monolithischen Decken vergossen (Bild 15-12).

Nach analogem Prinzip funktionieren auch **Holz-Beton-Verbunddecken**, bei denen Brettstapelholz und Aufbeton durch schubfeste Verbindungen eine gemeinsame Lastabtragung bewirken (Bild 15-13).

Eine weitere Verbreitung als die Holzverbunddecke hat jedoch die **Verbunddecke mit Stahlprofilblechen** (Bild 15-14). Bei dieser Verbunddecke fungiert das Stahlprofilblech (Halbfertig-Rohbauelement) als verlorene Schalung und als aussen liegende Bewehrung für die Lastabtragung. Diese Bauweise wird sehr häufig beim Hochhausbau in den USA angewandt.



Bild 15-11: Verlegen einer Elementdeckenplatte [47]

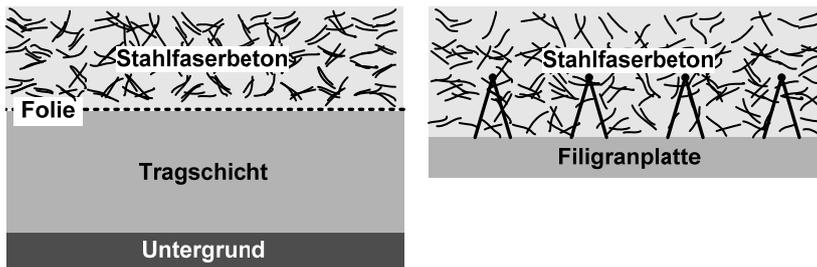


Bild 15-12: Stahlfaserbeton als Aufbeton auf einer Filigrandeckenplatte oder als Bodenplatte

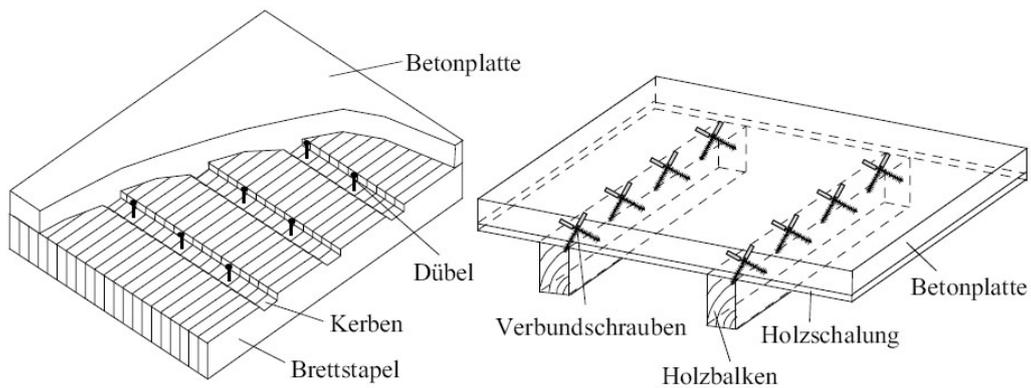


Bild 15-13: Aufbau einer Holz-Beton-Verbunddecke [34]



Bild 15-14: Stahlprofilblech-Verbunddecke [50]
Die Kopfbolzendübel sind auf dem Unterzug (Verbundträger) aufgeschweisst.

Ebenso wie bei den genannten Deckenarten werden Wandelemente in Form von **Hohl- oder Doppelwände** verwendet (Bild 15-15). Bei diesen werden die bewehrten Wand-aussenseiten als Halbfertig-Rohbauelement auf die Baustelle geliefert und dort an der Einbaustelle mit Ortbeton verbunden und verfüllt. Somit entfällt die Schalung und Bewehrung auf der Baustelle.



Bild 15-15: Hohl- oder Doppelwände mit Ortbetonausfüllung [48]

15.3.4 Rohbauelemente

Als Rohbauelement werden häufig Elemente eingesetzt, die eine komplexe geometrische Form haben oder bei denen besonderen Anforderungen an die Qualität gestellt werden. So werden häufig Liftschächte (Bild 15-18) und Treppen (Bild 15-16), aber auch Fassadenelemente, Balkonplatten und Brüstungen als Fertigteile eingesetzt.



Bild 15-16: Fertigteil-Treppe beim Einbau [46]

Weiterhin werden vielfach Rohbau-Deckenelemente (u.a. Spannbeton-Hohldecke, Bild 15-17) und Stützen (Bild 15-19) als Fertigteile montiert.



Bild 15-17: Spannbeton-Hohldecke [39]



Bild 15-18: Liftschachtelemente [39]

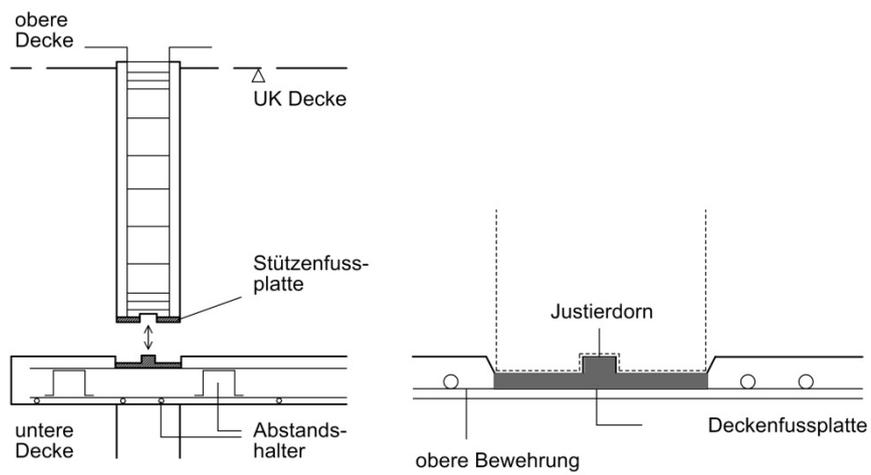
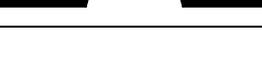


Bild 15-19: Einbau einer Fertigteilstütze im Hochbau

Tabelle 15-3: Querschnitte für weitgespannte Träger [31]

	Geschossbau	Hallenbau	Brückenbau
	X	X	X
	X	X	X
	X	X	X
	X	X	X
	X	X	X
			X
	X		X
			X
		X	X
	X	X	X
		X	

15.3.5 Fertigelemente – Sandwich-Wandelemente

Sandwich-Wandelemente bestehen aus der inhaltlichen Integration mehrerer, miteinander im Verbund stehender Schichten. Bei einer Beton-Sandwich-Fassade wird die Tragwand, die thermische Isolation und die wetterschützende Betonaussenwand in ein Element montiert und komplett auf die Baustelle geliefert.

Die Tragschicht eines Sandwichelementes kann dünner ausgeführt werden als bei einem vergleichbares Einzelement, da die Schichten bei einem Sandwichelement im Verbund tragen und die Gesamtsteifigkeit der Verbundplatte grösser ist als die von vergleichbaren Einzelplatten. Dementsprechend beträgt die übliche Wandstärke der Tragschicht eines Sandwichelementes 12 cm. Im Bild 15-20 sind verschiedene Sandwich-Wandelemente dargestellt.

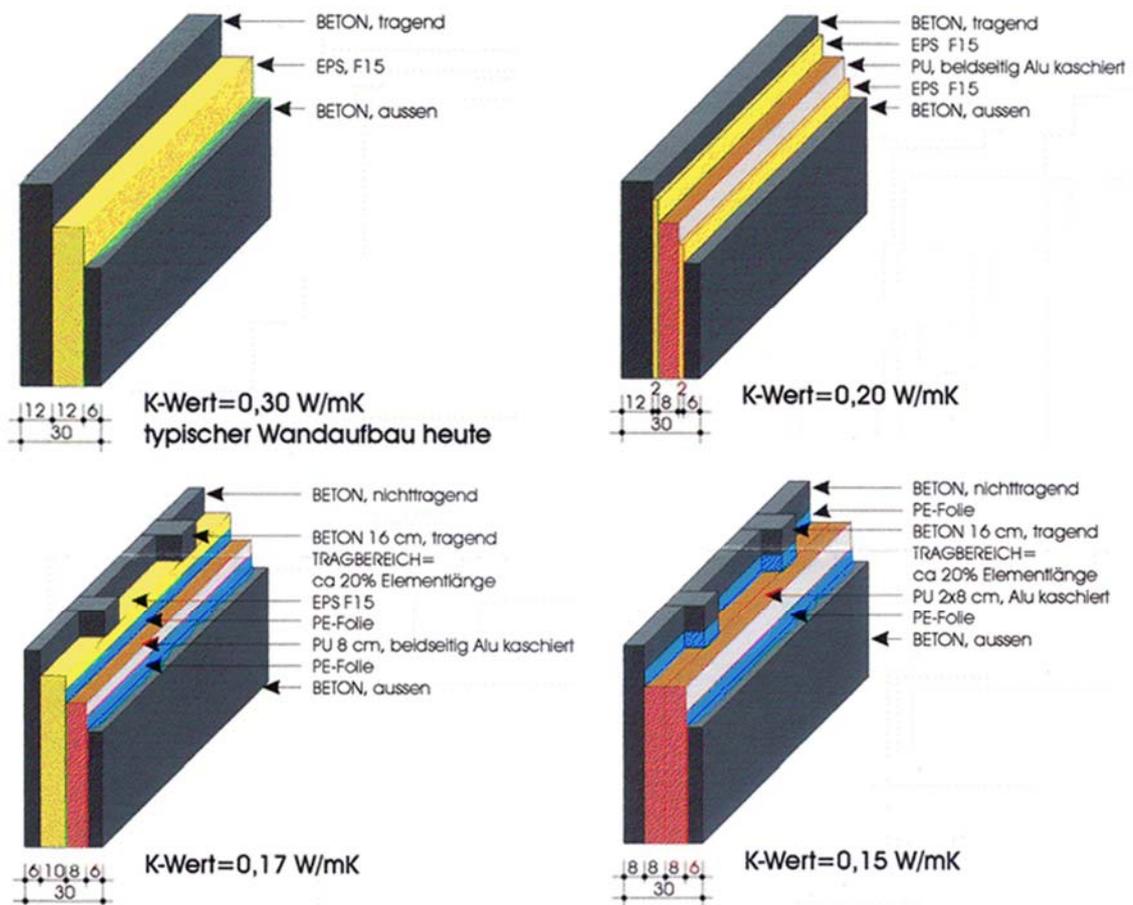


Bild 15-20: Fertigwandelemente - Querschnitt durch Sandwichwand k-Werte 0.15 bis 0.3 [64]

15.3.6 Fertigmodule – Fertigteil-Räume

Bei hochinstallierten Räumen wie z. B. Bädern können fertig montierte Einheiten als Fertigteilmodul eingebaut werden. Bei der konventionellen Herstellung von **Bädern** und **Sanitäräumen** müssen eine Vielzahl von Gewerken koordiniert und abgestimmt werden, um gegenseitige Behinderungen zu vermeiden. Bei wiederkehrenden oder standardisierbaren Grundrissen sowie bei einer angestrebten minimalen Bauzeit ist es möglich, die notwendigen Arbeitsschritte zur Erstellung eines Bades in die Vorfertigung vorzulegen und damit erhebliche Kosteneffizienz auszuschöpfen und den Qualitätsstandard zu erhöhen.

Anwendung finden vorgefertigte Bad- und Sanitärräume insbesondere beim Neu- oder Ausbau von:

- Krankenhäusern
- Alten- und Pflegeheimen
- Studentenwohnheimen
- Hotels
- im Schiffbau (Luxusliner-Bereich)

Vom Hersteller wird sowohl die Inneneinrichtung des Bades nach den Vorgaben des Bauherren oder Planers vorgefertigt, wobei die Vorfertigung bei der Wahl von Standardabmessungen oder der Abnahme grösserer Stückzahlen finanziell attraktiver wird [9].

Durch Spezialisierung, Arbeitsteilung und optimierte Prozesse lassen sich bei einem kontinuierlichen Auftragseingang, leistungsmässiger Auslastung und industrieller Logistik rationell Einzelanfertigungen in der Vorfertigung produzieren. Diese Einzelanfertigungen werden im Entwurf nur durch ein produktionsspezifisches, modular aufgebautes Masssystem sowie die Transportmöglichkeiten begrenzt. Der grosse wirtschaftliche Vorteil besteht darin, dass das gewerkeintensive Bad in Fließfertigung ohne Schnittstellenprobleme stationär hergestellt wird.



Bild 15-21: Kompaktes Fertigbad beim Einbau und Raumzelle von innen [44]

Neben Sanitärräumen werden im Einzelfall auch andere hochinstallierte Räume vorgefertigt, angeliefert und eingebaut (z.B. EDV-Räume/Serverräume).

Weiterhin werden ausser den genannten hochinstallierten Räumen auch Bauten mit kleineren Abmessungen vollständig vorgefertigt. **Fertigteilgaragen** sind ein typisches Beispiel hierfür (Bild 15-22).



Bild 15-22: Fertigteilgarage als Anbau an bestehendes Gebäude [45]

15.3.7 Fertigteile im Holzbau

Der Einsatz von Schnitthölzern auf dem Bau ist naturgegeben sowohl in den maximalen Abmessungen als in der zulässigen Festigkeitsgrößen begrenzt. Durch ein für den Transport günstiges, geringeres spezifisches Gewicht, die umfangreicheren Möglichkeiten industriell herzustellenden Verbindungen und die gute maschinelle Bearbeitbarkeit eignen sich die vergleichsweise kostengünstigen Holzwerkstoffe für eine industrialisierte Vorfertigung. Zum Einsatz kommen insbesondere folgende vorgefertigte Elemente:

- Brettschichtholz für weitgespannte und ggf. gebogene Träger (Bild 15-23)



Bild 15-23: Brettschichthölzer als Tragwerk eines Gebäude [72]

- Brettstapelholz für Wand- und Deckenbauteile
- vorgefertigte Wandtafeln in Tafel- oder Rippenbauweise
- Sonderbauteile als Hohlkastenprofile für den Einsatz als Decken- oder Wandbauteil

15.3.8 Vorauswahl Beton-Deckentypen

Vor der Herstellung von Bauten gilt es, verschiedene Baumethoden gegeneinander abzuwägen. So stellen die Deckentypen (Bild 15-25) Elementdeckenplatte, Rippendecke und Spannbeton-Hohldecke eine Alternative zur Herstellung einer Ortbetondecke dar. Eine schnelle Vorentscheidung für einen Deckentyp kann mittels eines Entscheidungsbaums (Bild 15-24) erfolgen. Die Deckentypen, die die geforderten projektspezifischen Bedingungen nicht erfüllen, können dann bei der Entscheidung für oder gegen einen Deckentyp verworfen werden.

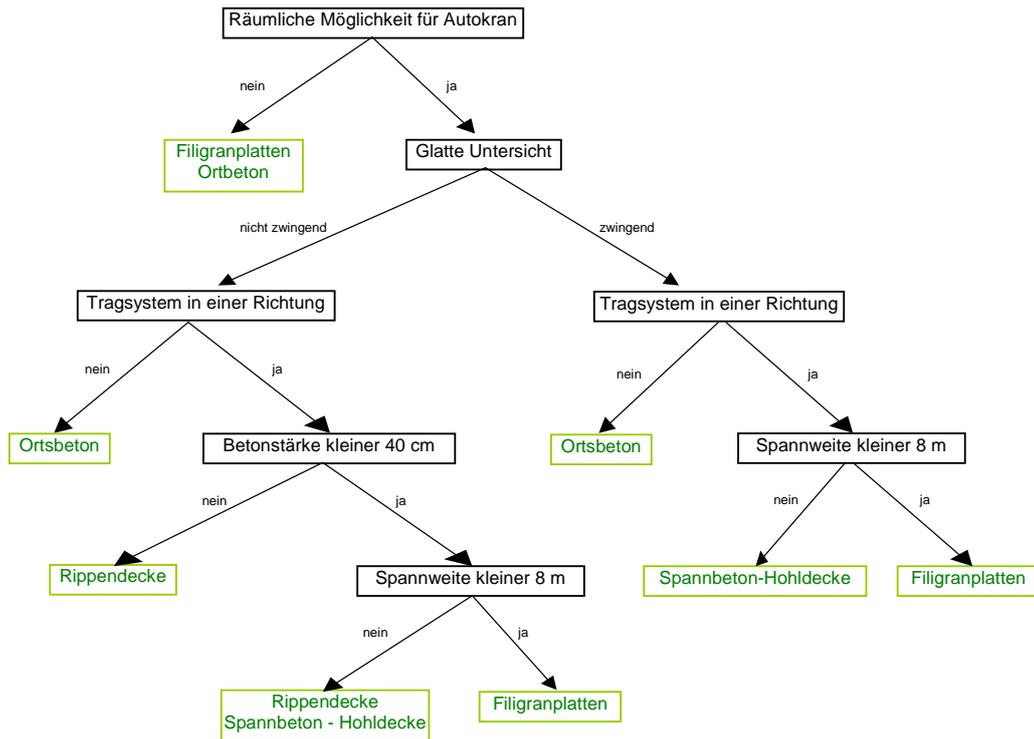


Bild 15-24: Entscheidung Deckentypen [39]

Deckenart	Deckenart	Spannweite [m]	Höhe [mm]	Verhältnis von Höhe / Spannweite
Massive Decke (nicht vorgespannt)		1.00 – 6.00	100 – 200	1:25 – 1:30
Hohldecke (vorgespannt)		4.00 – 20.00	140 – 500	1:30 – 1:40
Doppel-T-Decke (vorgespannt)		10.00 – 25.00	300 - 800	1:20 – 1:25
T-Decke (vorgespannt)		15.00 – 30.00	300 - 1200	1:20 – 1:25
Elementdecke mit Aufbeton		2.00 – 6.00	100 – 200	1:25 – 1:30

Bild 15-25: Vorauswahl Deckentypen [1]

In Bild 15-25 sind für verschiedene Deckenkonstruktionen typische Anwendungsfälle aufgelistet.

Vorauswahl Beton-Wandsysteme

Die Vorauswahl eines Wandsystems kann qualitativ nach Bild 15-26 erfolgen. Anhand verschiedener Anforderungen, denen die Wände entsprechen müssen, werden erste Systeme ausgeschlossen. Zuerst ist zu entscheiden, ob aufgrund der räumlichen Randbedingungen des Projektes ein Autokran eingesetzt werden kann (Bild 15-26).

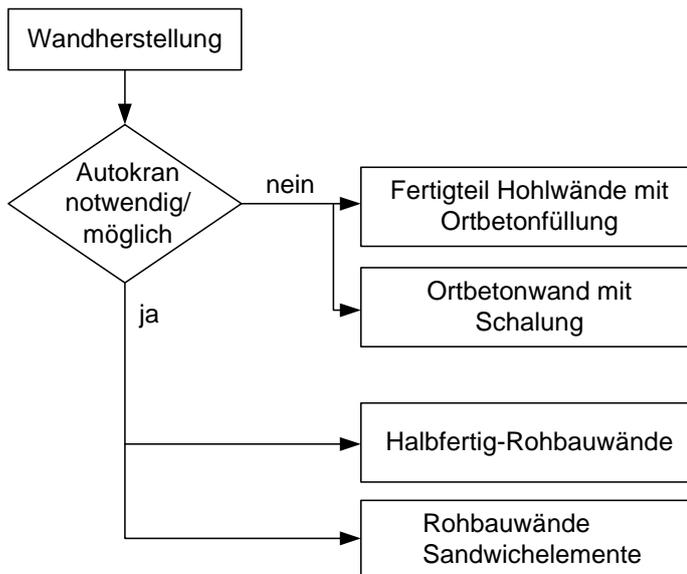


Bild 15-26: Vorentscheidung Wandsysteme

Grob können die Wandsysteme der Betonelemente in zwei Kategorien unterteilt werden

- Leichte Wandsysteme: Hohlwände
- Schwere Wandsysteme: Massivwände

Heute sind auf Baustellen vorwiegend 35t-Turmdrehkrane im Einsatz. Wird eine Gebäudeabmessung von 10 m x 10 m angenommen, kann der Tragarm für den entferntesten Montagepunkt von mindestens 15 m lediglich eine Last von 2.0 t bewegen. Mit einer durchschnittlichen Wandstärke von 25 cm und einer mittleren Wandhöhe von 2.7 m ergibt sich somit eine Elementlänge von 1.1 m. Diese Elementgröße ist nicht wirtschaftlich herzustellen und zu montieren. Zudem erhöhen sich die Anzahl der Fugen mit zusätzlichem Verbindungsaufwand.

Deshalb soll bei einem Projekt, bei welchem der Autokran aufgrund der nicht gegebenen örtlichen Voraussetzungen wie Stellplatz und Zufahrt nicht eingesetzt werden kann, die Variante Hohlwände (siehe Bild 15-15) als Alternative zur reinen Ort betonherstellung weiter verfolgt werden. Die wirtschaftliche Abstimmung von Kran- und Elementgröße ist in Bild 15-27 dargestellt.

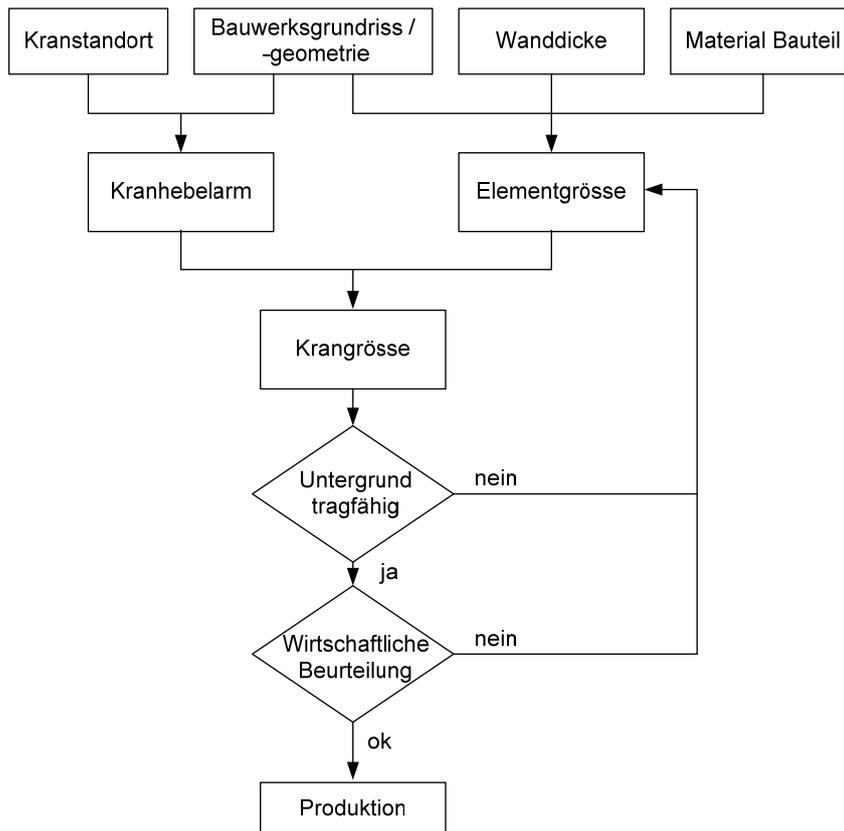


Bild 15-27: Wechselbeziehung zwischen Kran- und Elementgröße

Besteht die Möglichkeit, dass ein Autokran auf der Baustelle eingesetzt werden kann, stehen grundsätzlich alle Systeme zur Auswahl.

15.3.9 Quantitative Entscheidungskriterien zur Bauverfahrenwahl im Betonbau

Entscheidungskriterien Ortbeton- bzw. Fertigteilausführung

Häufig können bauliche Anlagen sowohl in Ortbeton, in Mischbauweise mit Halbfertigteilen als auch vollständig in Fertigteilbauweise ausgeführt werden. Der Planer steht daher vor der Entscheidung, die für das jeweilige Bauvorhaben optimale (wirtschaftliche und dauerhafte) Bauart bzw. Bauverfahren auszuwählen. Zum Beispiel sollte der Planer diese Entscheidung bewusst fällen und nicht einfach die Ortbetonmethode wählen.

Als Entscheidungskriterien sind sowohl wirtschaftliche als auch terminliche Aspekte von hoher Bedeutung. Das ausführende Unternehmen muss folgende qualitative Aspekte bei einer Berücksichtigung von Fertigteilen bei der Ausführung beachten:

- Wirtschaftlichkeit
 - Ist die Fertigteillösung wirtschaftlicher
 - Auslastung eigener Ressourcen (Mannschaft, Inventar) beurteilen
 - Bonus durch früheres Fertigstellen bei Verwendung von Fertigteilen durch Parallelisierung der Prozesse

- Termine und Fristen
 - Ist genügend Zeit für eine Umplanung Ortbeton/Fertigteil vorhanden
 - Ist genügend Zeit für eine Vorfertigung (mind. 2-4 Wochen) vorhanden
 - Steht nach Baubeginn ausreichend Zeit für eine Ortbetonerstellung zur Verfügung oder ist nur Zeit für eine Fertigteilmontage
- Geschäftspolitische Entscheidungen
 - Ist von Seiten des Bauherren oder der eigenen Geschäftsführung eine Bauweise vorgeschrieben oder ausschliesslich akzeptiert, wenn ja, warum
 - Wie ist die Auslastung der eigenen Arbeiter/Angestellten (Hinweis: Dieses Kriterium wird von KMU häufig genannt [39]; Eigentlich müsste sich jedoch stattdessen die Fragestellung auf generelle geschäftspolitische Entscheidungen beziehen.)
 - Ist das Know-How zur Koordinierung und Abstimmung eines Fertigteilensatzes firmenintern vorhanden, wenn nicht, wie und von wo sollte es beschafft werden.
- Risikobetrachtung
 - Ist die Baukonstruktion verbindlich festgelegt oder ist mit grösseren Umplanungen zu rechnen
 - Ist eine verursacherbezogene Zuordnung der Kosten von Umplanungen vertraglich gesichert
 - Ist mit witterungsbedingten Einflüssen auf den jeweiligen Bauablauf zu rechnen und welche finanziellen Auswirkungen hätten diese
 - Wie hoch ist das Nacharbeitungspotential bzw. die kalkulatorische Unsicherheit bei der Ortbetonherstellung einzuschätzen. Bei der Verwendung von Fertigteilen ist die Vereinbarung von Festpreisen möglich.

Vergleich der Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Bauverfahren

Die Kosten einer Ausführung mit Fertigteilen bzw. in Ortbeton sind sehr von den örtlichen Gegebenheiten anhängig. Je nach Abmessung der Bauteile, dem Transportweg, dem Schalungs- und Gerüstaufwand auf der Baustelle sowie der Anzahl der entsprechenden Bauteile kann die Ortbeton- oder die Fertigteilausführung kostengünstiger sein. Durch die Abhängigkeit von einer Vielzahl von Randbedingungen kann daher im Folgenden nur die Struktur eines Kostenvergleiches aufgezeigt werden.

Kosten Fertigteil-Bauweise

- Transaktionskosten
 - Ausschreibung der Fertigteillösung
 - Bewertung der Angebote/Zuschlag
 - Kosten der möglicherweise notwendigen Umplanung (Elementierung, Anschlüsse etc.)
- Direktkosten
 - Kosten der Fertigteile frei Baustelle
 - Montagekosten (Hebezeugmiete, Montagehilfsabstützungen, Lohn)
 - Zusatzkosten für Massnahmen zur Einhaltung der Toleranzen für die Anschlüsse Ortbetonkonstruktion – Fertigteile

- Kosteneinsparungen (für den Bauherren)
 - frühere Fertigstellung (Mieteinnahmen)

Kosten Ortbeton-Bauweise

- Direktkosten
 - Materialkosten (Beton, Stahl, Schalung Verbrauchsmaterial)
 - Schalungskosten (Abschreibung/Miete)
 - Gerätekosten (Abschreibung/Miete) Kleingeräte, Geräte zur Betonherstellung, Hebezeuge
 - Lohnkosten (Bewehrung, Schalung, Nebenarbeiten)

Kostenrelevant können weiterhin notwendige Änderungen am statischen System sein. Monolithisch hergestellte Decken können meist mehrachsig tragen. Die statischen Systeme der meisten Fertigteil Ausführungen sind meist Einfeldträgersysteme, was bei der Verwendung gleicher Materialien zu grösseren Bauhöhen führt. Durch die entsprechende konstruktive Ausbildung der Anschlüsse ist es heute jedoch auch möglich, biegesteife Anschlüsse im Fertigteilbau herzustellen. Weiterhin ist zu prüfen, ob neben statische Anforderungen die Schallschutzanforderungen entscheidend für die Deckenstärke sind, so dass Fertigteilkonstruktionen mit gegebenenfalls grösserer Bauhöhe keine nachteilige Wirtschaftlichkeit aufweisen.

Neben dem Vergleich der reinen Ortbeton- oder Fertigteilbauweise kann auch die Ausführung in einer Mischbauweise am rationellsten und wirtschaftlichsten sein. So werden für ein Gebäude häufig Stützen als Fertigteile geliefert und gleichzeitig Decken in Ortbeton oder als Kombination Halfertig-Rohbauelementdecke (Filigranplatte) mit Ortbeton hergestellt.

15.4 Industrielle Vorfertigung im Betonbau

Die Methoden der Werksfertigung haben sich in den vergangenen Jahren weiter zu industrialisierten, d. h. mechanisierten und automatisierten Verfahren entwickelt. Derzeit dringt auch die Automatisierung unter Verwendung der neuesten CAD/CAM-Technologie in Bereiche des Fertigteilbaus ein. Die Fertigteilindustrie ist gezwungen, beträchtliche Investitionen zu tätigen, um den Marktanteil des Fertigteilbaus gegenüber anderen Bauweisen zu sichern. Dabei gilt der Flexibilität der Einrichtungen zur Herstellung von individuellen Einzelbauteilen und Kleinserien eine grosse Aufmerksamkeit, da die Herstellung von Grossserien weitgehend der Vergangenheit angehört.

Die meisten industrialisierten Fertigungsmethoden für die Herstellung von konstruktiven Betonfertigteilen können folgenden Produktionsverfahren zugeordnet werden:

- Produktionsverfahren mit stationärer Einzelschalung
 - Fertigung auf kurzen Bahnen, z.B. „Short-Line-Produktionsverfahren“
 - Fertigung auf langen Bahnen, z.B. „Long-Line-Produktionsverfahren“
- Produktionsverfahren mit mobiler Schalung – Umlauf-Produktionsverfahren bzw. Fliessfertigung

Die Basis-Produktionsverfahren unterscheiden sich durch folgende Charakteristik:

- Produktionsverfahren mit stationärer Schalung – Stationäre Schalung, mobile Arbeitsabläufe im Zyklusprozess
- Produktionsverfahren mit mobiler Schalung / Umlaufverfahren – stationäre Arbeitsstätten/ Arbeitsabläufe und mobile Schalungsführung im Fliessprozess

Das **stationäre Produktionsverfahren mit fester Einzelschalung** (Short-Line-Produktionsverfahren) wird nur für spezielle Herstellprozesse, wie z. B. für Segmentbrücken mit variablem, aber im „Match-Cast-Verfahren“ hergestellte Kastenträgersegmente verwendet. Für andere Elemente bevorzugt man das Umlaufverfahren.

Das „Match-Cast-Verfahren“ ist ein Verfahren zur Herstellung kongruente Flächen zwischen benachbarten Fertigteilsegmenten und der damit verbundenen Sicherstellung einer exakten Passgenauigkeit der Fugen zwischen den Fertigteilen. Bei dem Verfahren wird jeweils das zuletzt betonierte Segment (Match-Cast-Segment) als Stirnabschalung für das nächstfolgende Segment verwendet.

Die Gründe für den selteneren Einsatz des Herstellverfahrens mit fester Einzelschalung liegen darin, dass beim stationären Verfahren mit fester Einzelschalung an alle Schaleinheiten alle notwendigen Arbeitsmittel und Materialien herangeführt werden müssen. Dies ist nicht optimal hinsichtlich der Arbeitsabläufe und der Logistik, aber wegen der Passform und der Reduzierung der Schaleinheiten beim „Match-Cast-Verfahren“ unabdingbar.

Das **stationäre Produktionsverfahren auf langen Bahnen** (Long-Line-Produktionsverfahren) wird zur Herstellung von Trägern, Deckenplatten etc. verwendet, die meist horizontal ohne Umlenkung im Spannbett vorgespannt sind. Diese können bezüglich ihrer Länge mittels Trennschalung abgeschalt oder durch einen vertikalen Trennschnitt auf die projektspezifischen Masse zugeschnitten werden. Die Bewehrung muss entsprechend angepasst werden. Die Arbeitsmittel und Materialien werden entlang der langen Bahnen bewegt, die Schalung ist stationär. Dieses Produktionsver-

fahren wird auch im Segmentbrückenbau zur Herstellung von „Match-Cast-Elementen“ bei Brücken mit gekrümmter Unterseite verwendet.

Beim **Umlaufproduktionsverfahren** sind die einzelnen Arbeitsplätze stationär und die Schalung fährt von einem spezialisierten Arbeitsplatz zum nächsten spezialisierten Arbeitsplatz.

Im Hochbau verwendet man meist das Umlaufverfahren oder das stationäre Produktionsverfahren auf langen Bahnen. Das stationäre Produktionsverfahren auf langen Bahnen eignet sich für Standardfertigteile, deren Variabilität meist nur in der Anpassungsfähigkeit an die gestalterische Variabilität „Länge“ besteht. Das Umlaufverfahren bietet im Vergleich mit dem Produktionsverfahren auf langen Bahnen eine grössere Anpassungsfähigkeit an die gestalterische Variabilität in der Dicke, Länge, Breite sowie bei Aussparungen und Einbauten.

15.4.1 Produktionsverfahren auf stationären kurzen Bahnen

Zu den Produktionsverfahren mit stationären, kurzen Einzelschalungen müssen die Arbeitsmittel und Materialien zeitlich sequentiell an einen Punkt (Einzelschalung) herangeführt werden (Bild 15-28).

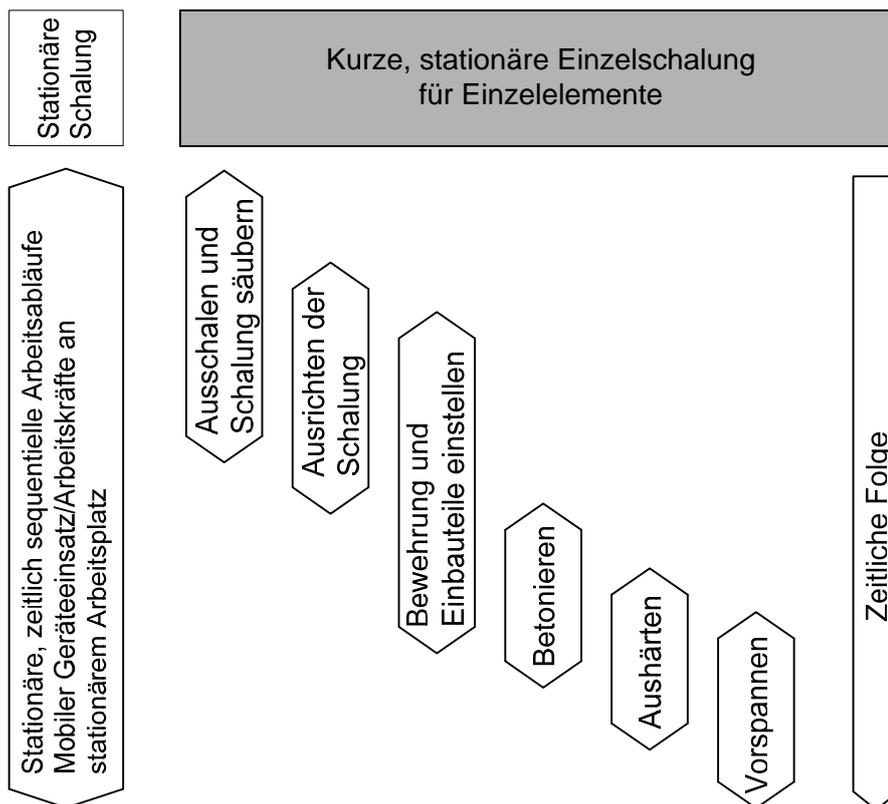


Bild 15-28: Produktionsverfahren mit stationärer Einzelschalung

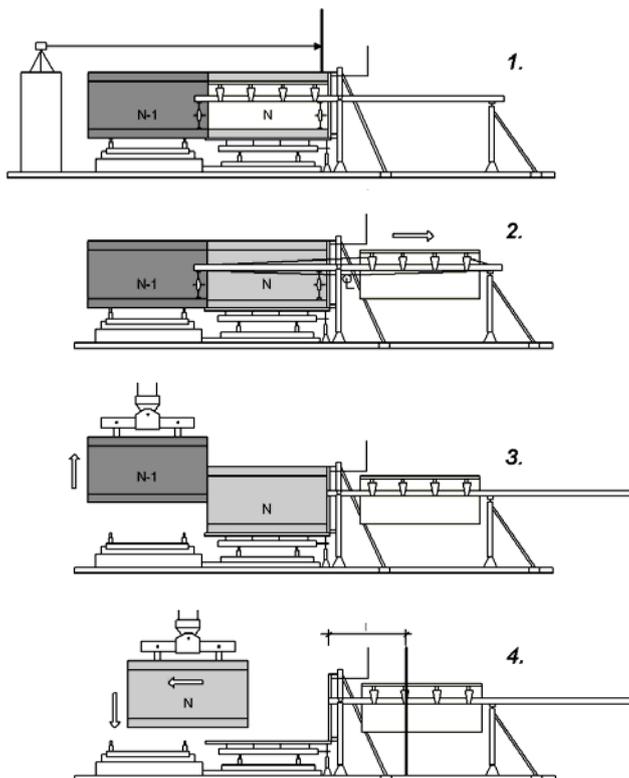
Zu diesen zählen das

- Short-Line-Produktionsverfahren
- Batterieschalungs-Produktionsverfahren
- Schleuderbeton-Produktionsverfahren

Short-Line-Produktionsverfahren

Um eine kontinuierliche Produktion von **Segmenten einer Hohlkastenbrücke** zu erreichen, sollte die Erstellung eines Segments pro Tag und Schalung angestrebt werden. Der Beton kann in diesem Fall über Nacht abbinden. Am nächsten Morgen wird das Segment ausgeschalt und in die Position des neuen Match-Cast-Segmentes umgesetzt. Vor dem Umsetzen wird bei Elementen einer Hohlkastenbrücke meist noch das Aufbringen einer teilweisen Quervorspannung erforderlich.

In Bild 15-29 ist der Herstellungszyklus von Segmenten einer Hohlkastenbrücke in den einzelnen Arbeitsvorgängen eines Tages unter Berücksichtigung der Vermessungs- und Kontrollvorgänge dargestellt. Die Herstellung beginnt mit einer Kontrollmessung des am Vortag betonierten Segmentes (N) und dem Match-Cast-Segment (N-1) (Bild 15-29 1.). Je nach Schalungskonstruktion wird danach in einer oder mehreren Stufen die Innenschalung entfernt (Bild 15-29 2.). Im Anschluss wird das Match-Cast-Segment (N-1) von einem Hebegerät übernommen und zum Lagerplatz transportiert (Bild 15-29 3.). Das zuletzt betonierte Segment (N) wird aus der Schalung gehoben und an die Match-Cast-Position gesetzt (Bild 15-29 4.). Gleichzeitig erfolgt die Ausrichtung der hinteren Stirnabschalung. Als nächstes wird das neue Match-Cast-Segment (N) vertikal und horizontal eingemessen (Bild 15-29 5.). Danach werden die unteren und äusseren Schalungsteile positioniert, ihre korrekte Verbindung mit der hinteren Stirnabschalung kontrolliert und mit Hilfe der Justier- und Vermessungseinrichtungen ihre Lage den geforderten Segmentabmessungen angepasst (Bild 15-29 6.). Nun kann der bereits erstellte Bewehrungskorb in die Schalung gesetzt werden (Bild 15-29 7.). Bevor mit der Betonage des neuen Segmentes (N+1) begonnen werden kann, ist die Innenschalung wiederum in ein oder mehr Stufen an ihre Position im neuen Segment (N+1) zu verfahren (Bild 15-29 8.).



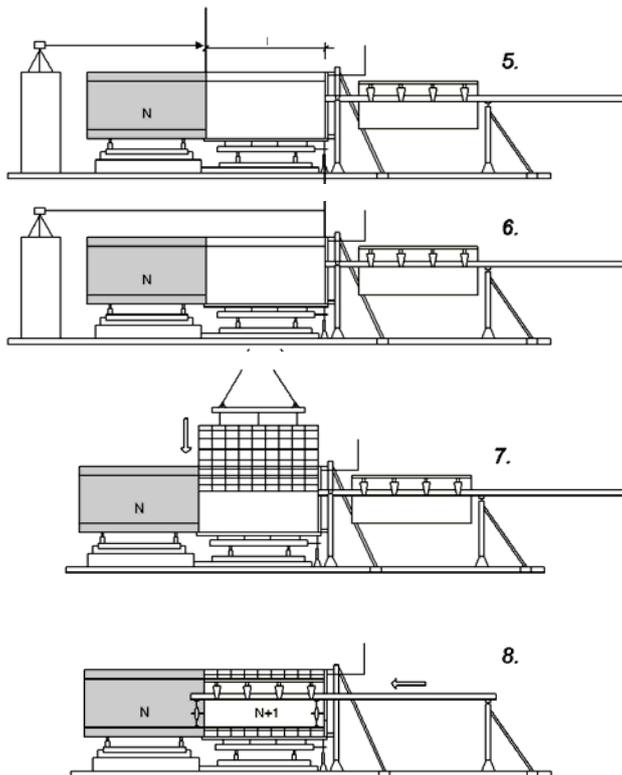


Bild 15-29: Zyklus der Segmentherstellung

Die einzelnen Fertigungsvorgänge zur Herstellung der Segmente, die in einer bestimmten technischen und organisatorischen Reihenfolge ablaufen, geben den Ausschlag für die räumliche Anordnung der einzelnen Einrichtungselemente am Herstellungsstandort. Sie bestimmen die Fertigungsrichtung und die Aufteilung der Segmente in Fertigungsabschnitte.

Als Grundelemente der Vorfertigungseinrichtung sind zu nennen:

- Fertigungshalle/-platz der Bewehrungskörbe,
- Turmkran zum Einheben des Bewehrungskorbes und für die Betonage,
- Stahl- oder Stahlrahmenschalungen für die Betonage der Segmente (Bild 15-30),
- Betonmischanlage und/oder Transportbeton,
- Portalkran, Shuttlelift, etc. für den Transport der Segmente zum Lagerplatz und
- Lagerplatz.

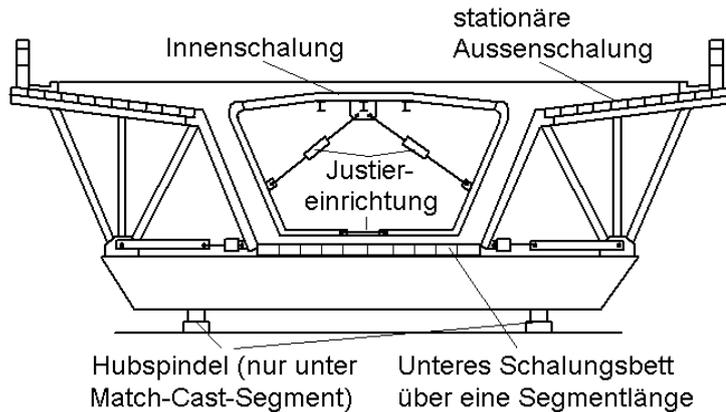


Bild 15-30: Prinzipieller Schalungsaufbau bei der Segmentherstellung im Short-Line-Produktionsverfahren

Um die Anzahl der Fertigungsschritte gering zu halten, sollte die Bewehrung bereits im vorgebogenen Zustand geliefert werden, so dass nur der Bewehrungskorb in der Segmentvorfertigung aus den einzelnen Positionen zusammengesetzt wird.

Damit ergibt sich für die Baustellenfertigung bei Anwendung des Short-Line-Verfahrens die in Bild 15-31 dargestellte prinzipielle räumliche Organisation bei der Segmentherstellung.

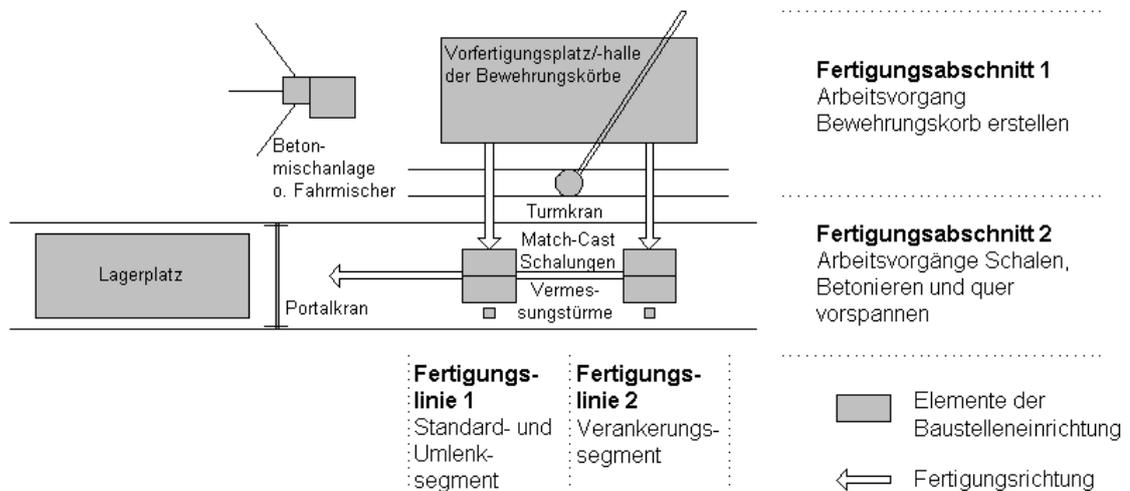


Bild 15-31: Prinzip der räumlichen Organisation bei der Segmentherstellung

Batterieschalungs-Produktionsverfahren

Ebenfalls zu den Produktionsverfahren mit stationärer Schalung zählt das Produktionsverfahren mit Batterieschalungen. Dieses Produktionsverfahren eignet sich insbesondere für die Herstellung grossformatiger Platten. In der Batterieschalung werden mehrere Fertigteile nebeneinander vertikal angeordnet, so dass die Oberflächen beider Plattenseiten an Schalungen anliegen und somit schalungsglatt sind. Im Gegensatz zu horizontalen Schalungstischen, bei denen die jeweilige Oberseite des Fertigteils geglättet oder gesondert nachbehandelt werden muss, entfallen diese Arbeitsschritte bei der Herstellung in Batterieschalungen.

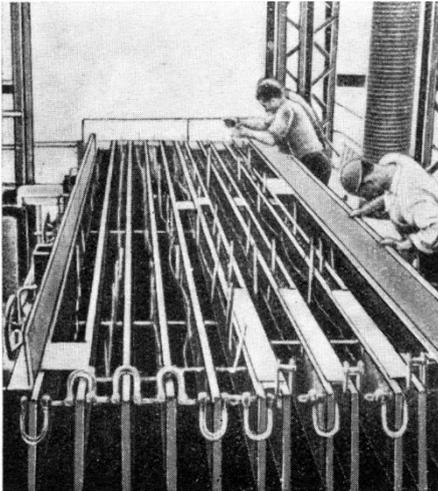


Bild 15-32: Batterieschaltung [28]

Schleuderbeton-Produktionsverfahren

Ein weiteres Short-Line-Verfahren mit stationärer Einzelschalung ist das Schleuderbeton-Produktionsverfahren. Radialsymmetrische Querschnitte, wie z. B. Stützen, Masten und Rohre, können im Schleuderverfahren hergestellt werden. Bei diesem Verfahren werden die Bewehrung und der Beton in Schalungen eingebracht, die anschließend schnell um ihre eigene Achse rotieren. Durch die Fliehkraft wird der Beton an die Schalungswand gedrückt und gleichzeitig verdichtet.

Durch dieses Verfahren entstehen Betonfertigteile mit sehr glatten Oberflächen und hoher Betonfestigkeit.

15.4.2 Produktionsverfahren auf stationären langen Bahnen

Bei dem Produktionsverfahren mit stationären langen Schalungsbahnen müssen die Arbeitsmittel und Materialien zeitlich sequentiell mit Parallelisierungsmöglichkeiten über bzw. entlang der langen Bahn geführt werden. In Bild 15-33 ist das Prinzip des Produktionsverfahrens auf langen Bahnen schematisch dargestellt.

Zu diesen Produktionsverfahren mit stationären langen Schalungsbahnen zählen das Long-Line-Produktionsverfahren

- mit Abstellen der Einzelemente mittels Stirnschalung in den langen Schalungen
- mit Schnitttrennung (Sägeschnitt) der Einzelemente in der langen Schalung.

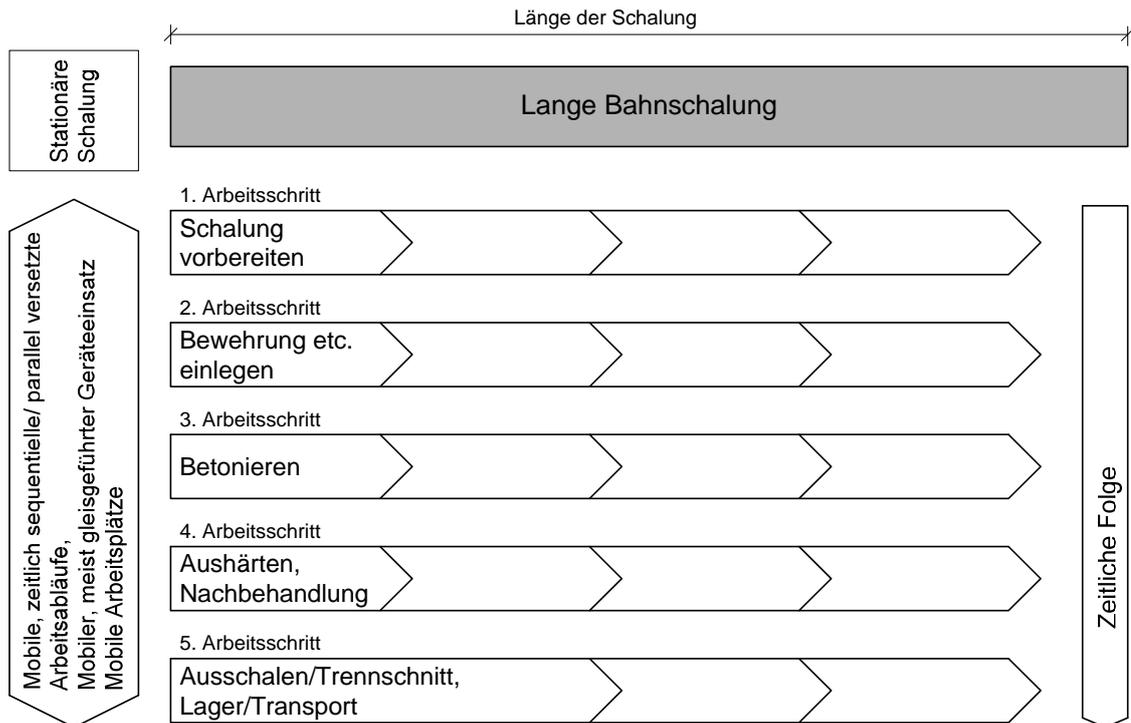


Bild 15-33: Prinzip der Fertigung auf langen Bahnen – Stationäre Schalung, mobile Arbeitsabläufe

Produktionsverfahren lange Bahnen – Schnitttrennung der Elemente

Grundsätzlich gibt es dabei diesem Fertigungsprinzip zwei unterschiedliche Verfahren:

Bei der **Gleitfertigung** wird zuerst ein Fertigungsstreifen eingeschalt und bewehrt. Danach fährt der sogenannte Gleitfertiger über den Fertigungsstreifen und führt die Arbeitsgänge Betonieren, Verdichten und Abziehen/Oberfläche Glätten aus (Bild 15-34). Gegebenenfalls wird anschliessend eine Nachbehandlung analog dem Umlaufverfahren mittels Wärme und Wasserdampf durchgeführt.

Bild 15-34 zeigt einen automatisierten Betonverteiler für das Fertigungsverfahren auf langen Bahnen. Eingesetzt wird er in einer Produktion sowohl für schlaffarmierte als auch für vorgespannte Deckenelemente.

Beim Einsatz eines **Extruders** wird relativ steifer Beton durch Förderschnecken in die vorab bewehrten Fertigungsstreifen eingebracht und mit hohem Druck und Hochfrequenzrüttlung verdichtet. Nach dem Eindrück- und Verdichtungsvorgang hat der Beton eine Festigkeit, dass sich der Extruder am gefertigten Betonstrang abstützen und selbst vorwärts schieben kann.



Bild 15-34: Automatisierter Betonverteiler [42]

Nach dem Erreichen der notwendigen Betonfestigkeit erfolgt sowohl beim Verfahren mittels Gleitfertigung als auch mittels Extruder das Trennen der betonierten Streifen in Elemente variabler Länge mit dem Trennschnittverfahren.

Mit den Verfahren werden insbesondere Deckenplatten hergestellt. Die stationären Fertigungsstreifen ermöglichen den Einbau von Spannstählen in die Fertigteile, so dass die Verfahren häufig zur Herstellung vorgespannter Bauteile angewendet werden.

Produktionsverfahren lange Bahnen – Stirnabschalung der Elemente

Neben der Herstellung von Deckenelementen findet das „Long-Line-Verfahren“ z. B. auch bei der Herstellung einer Brücke mit gekrümmter Untersicht Anwendung, bei der die einzelnen Segmente im Match-Cast-Verfahren vorgefertigt werden. Die Fertigung umfasst jeweils die Segmente eines ganzen Brückenfeldes von Stützenachse zu Stützenachse. Die Bodenschalung ruht auf einem gewölbten Betonunterbau (Bild 15-37). Betoniert wird jeweils jedes zweite Element zwischen Stirnschalungen, die gleichzeitig dem genauen Einbau der Hüllrohre für die Spannglieder dienen. Nach Ausbau der Stirnschalungen und Verziehen der Innenschalung werden die zwischenliegenden, restlichen Segmente im Match-Cast-Verfahren betoniert. Damit passen die miteinander zu verklebenden Fugenflächen einwandfrei aneinander.

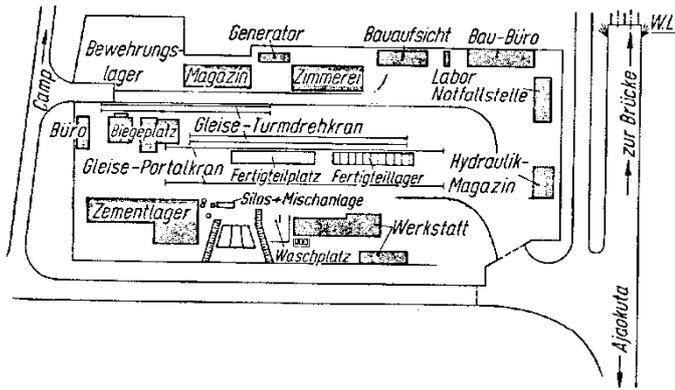


Bild 15-35: Fertigungsplatz, Installationen der Segmentproduktion

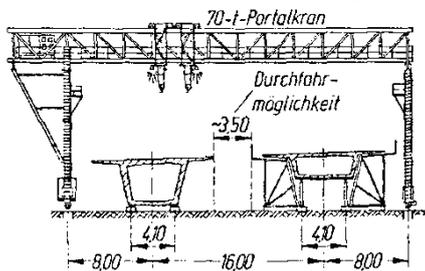


Bild 15-36: Fertigungsstrasse

Für die Fertigung eines 80 m Feldes müssen Schalungsboden und Aussenschalung in dieser Länge vorgehalten werden. Da die Innenschalung verschoben wird und damit je 2 Segmente bedient, wird nur die halbe Vorhaltung erforderlich. Die Stirnschalungen haben Öffnungen für den Anschluss und das Befestigen der Hüllrohre.

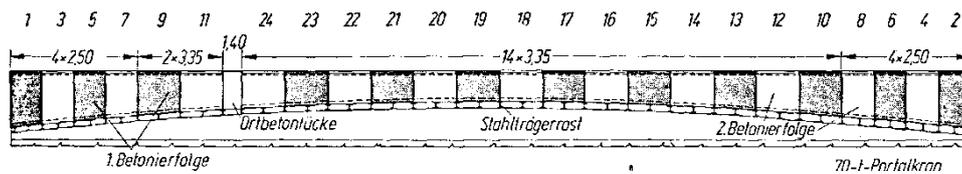


Bild 15-37: Segmentherstellung (match casting)

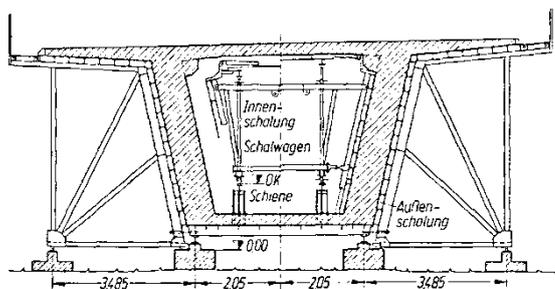


Bild 15-38: Schalung

Zwischen dem Herstell- und Verlegerhythmus besteht eine gewisse Phasenverschiebung, da die Herstellung von Achse zu Achse, die Verlegung jedoch von Kragarm zu Kragarm erfolgt.

Die Hüllrohre der im ersten Schritt betonierten Segmente müssen beim Betonieren der restlichen Segmente sicher gegen Eindringen von Beton und Zementleim geschützt werden. Hierzu werden Gummischläuche in die Hüllrohre eingezogen und aufgeblasen. Diese sorgen gleichzeitig für den einwandfreien Übergang der Hüllrohrachsen in den Segmentfugen.

15.4.3 Produktionsverfahren mit mobiler Schalung – Umlaufproduktionsverfahren (Fließfertigung)

Bei dem Umlaufproduktionsverfahren werden die Elemente auf Rollenförderer oder Schiebebühnen durch das Werk von einem Arbeitsgang zum anderen befördert. Dieses Herstellungsverfahren wird für flächenhafte Elemente wie Wand- und Deckentafeln oder für Tunnel-Tübbinge angewendet.

Die Umlaufproduktion ist hinsichtlich des Fertigungsverfahrens als Fließfertigung zu klassifizieren, da die Maschinen entsprechend des Produktionsprozesses stationär angeordnet sind und eine kontinuierliche, örtlich und zeitlich aufeinander folgende Bearbeitung der Fertigteile durchgeführt wird.

Bild 15-39 zeigt die Herstellung von Deckenelementen mittels Umlaufverfahren, bei dem horizontale Schalungstische mit variablen Seitenschalungen verwendet werden. Die Herstellung eines Deckenelements erfolgt beim Umlauf-/Fließproduktionsverfahren in folgenden Prozessschritten mit mobiler Schalung an jeweils folgenden stationären Arbeitsplätzen:

- Reinigen der Schalung und Abstellen der Seitenschalung für das individuelle Wandelement
- Einlegen des unteren Bewehrungsnetzes mit Betonabstandshaltern, Einlegen der Einbauteile wie z.B. Steckdosen/Hohlleitungen, Rohre etc., Einlegen der Distanzkörbe für die obere Bewehrung, anschliessend Einlegen der oberen Bewehrung
- Betonieren, Verdichten mittels Schalungsrüttler, Abziehen mittels Glättbohlen oder Glättscheiben
- Aushärten in einer Dampfhärtungsanlage bei 60 – 100 °C
- Ausschalen, Nachbehandeln der Elemente und Lagerung

Zur Unterstützung des Ausschalens sind die Schalungstische meist mit einem hydraulischen Kippsystem ausgestattet. In Bild 15-40 ist das Prinzip des Umlaufverfahrens schematisch dargestellt.



Bild 15-39: Herstellung von Deckenelementen mittels Umlaufproduktionsverfahren [41]

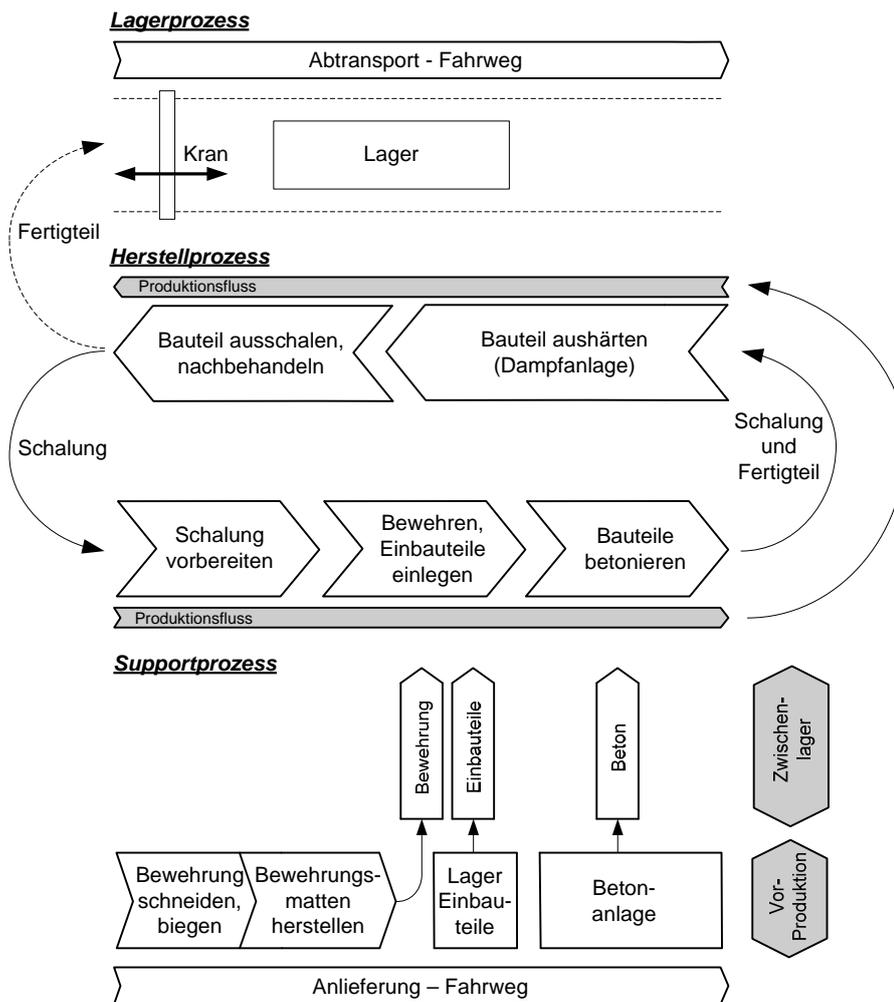


Bild 15-40: Prinzipdarstellung Umlauf- bzw. Fließproduktionsverfahren

Bei der Verwendung horizontaler Schalungstische ist verfahrensbedingt nur eine Oberfläche schalungsglatt. Zwei schalungsglatte Oberflächen werden bei der vertikalen Herstellung von Betonfertigteilen mittels Batterieschalungen erreicht (vgl. Abschnitt 15.4.1).

Umlaufproduktionsverfahren sind heute so ausgelegt, dass eine grosse Flexibilität bei der Fertigteilherstellung möglich ist. Mit den entsprechenden Schalungstischen ist eine weitgehende Automatisierung der Schalungseinstellung, des Bewehrungseinbaus sowie des Betoniervorganges gegeben. **Dadurch ist auch eine wirtschaftliche Fertigung von Kleinserien bzw. die Fertigung von individuellen Fertigteilen möglich.**

Die Fertigung im Umlaufproduktionsverfahren hat grundsätzlich folgende Vorteile:

- Bessere Organisation des ganzen Produktionsablaufes: Die notwendigen Materialien können ohne kreuzende (örtlich, zeitlich), innerbetriebliche Transporte bereitgestellt werden und der einzelne Arbeiter verrichtet die gleiche Arbeit an der gleichen Stelle (Monotonie)
- Reduzierte Anlagekosten, weil die einzelnen Arbeitsgänge an dafür speziell eingerichteten Stationen optimal durchgeführt werden können und z. B. die Rüttler oder die Kipphydraulikausrüstung nur einmal, dafür aber komfortabler ausgestattet, vorgehalten werden können [6].
- Ein typisches Anwendungsfeld einer Umlaufproduktion ist bei der Tübbingherstellung im Tunnelbau zur Auskleidung von Tunneln mittels TVM zu finden.

Die Installationen einer Tübbingfabrikation bestehen aus folgenden Teilfabrikationsanlagen (Bild 15-41):

- Umlaufproduktionssystem („Karussellsystem“) mit fahrbaren Stahlschalungen auf einer schienengebundenen Produktionsstrasse mit sequentiell folgenden Arbeitsbereichen
- Schneid- und Biegeanlage sowie Bewehrungskorbinstallationsplatz
- Betonmischanlage mit Materialsilos
- Dampfbehandlungsanlage nach dem Wärmerückstauverfahren
- Lagerplatz
- Neutralisationsanlage zur Entsorgung von mit Bindemitteln kontaminiertem Abwasser
- Beim Umlaufproduktionssystem sind die Einzelarbeitsgänge wie folgt:
 - Schalungen von Betonresten reinigen
 - Schalungen mit Schalöl einsprühen
 - Bewehrungskörbe mit Abstandhaltern, Einbauteilen und Aussparungskörpern einlegen
 - Schalungsseitenteile schliessen (wenn nicht bereits vor dem Einlegen der Bewehrungskörbe geschlossen)
 - Betonieren der Tübbinge und Verdichten mittels Aussenrüttlern am Rütteltisch
 - Betonoberflächen sehr sorgfältig abziehen, z. B. mittels in Rollrichtung entgegengesetzt drehender Nivellier- und Glättwalzen
 - seitliche Schalungdeckel schliessen
 - Verschiebung und Behandlung in der Dampfanlage
 - Herausschieben aus dem Dampfkanal

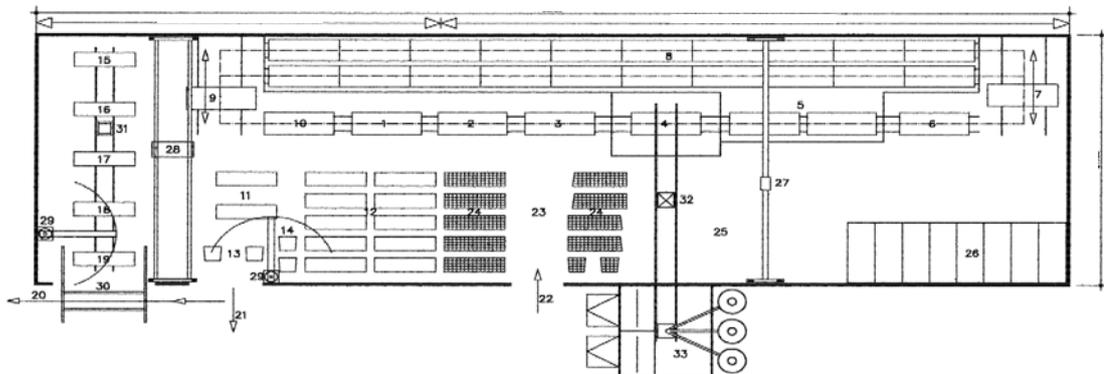
- Öffnen der Schalungen, Herausheben und Nachbehandlung der Tübbinge
- Überprüfung der Masshaltigkeit der Tübbinge (bei einschaliger Bauweise jeden, bei zweischaliger Bauweise stichprobenartig jeden z. B. vierten Tübbing)
- Lagerung der Tübbinge

Die Dampfanlage mit den Dampfkanälen dient zur Schnellerhärtung der Fertigteile. Als Wärmemedium wird gesättigter Wasserdampf mit Temperaturen bis zu 110 °C verwendet. Dabei steigt die Betontemperatur während der Einwirkzeit des Dampfes von 4 –5 Stunden auf die Tübbinge auf 70 –80 °C.

Für Dampfanlagen sind folgende Installationen notwendig:

- Boiler (Dampfkessel)
- Dampfspeicher
- Druckregulierung und Leitungssysteme usw.
- Dampftunnel

Der dampfbehandelte Beton sollte nachbehandelt werden, damit er während der Abkühlphase nicht zuviel Wasserdampf verliert. Wird dies versäumt, kann es zum frühzeitigen Austrocknen mit Nachteilen hinsichtlich der weiteren Festigkeitsentwicklung kommen. Daher sollte die Oberfläche mit einer weitgehend wasserundurchlässigen Schicht versiegelt werden.



- | | | | |
|----|--|----|--|
| 1 | Vorbereiten der Schalung | 17 | Vermessung Tübbinge |
| 2 | Einlegen Bewehrung, Schliessen der Schalung | 18 | Ausrüstung Tübbinge |
| 3 | Endkontrollen | 19 | Ausrüstung Tübbinge |
| 4 | Betonieren | 20 | Verlad und Abtransport Tübbinge |
| 5 | Vorlagerung (max. 2 Stunden) | 21 | Verlad und Abtransport Schlusssteine |
| 6 | Oberflächenbearbeitung | 22 | Anlieferung Bewehrung + Kleinmaterial |
| 7 | Verschiebung zur Härtekammer | 23 | Materialumschlag |
| 8 | Härtekammer (2 Linien) | 24 | Lager Bewehrung |
| 9 | Verschiebung zur Arbeitslinie | 25 | Lager Klein- und Verbrauchsmaterial |
| 10 | Entschalen | 26 | Büro, Werkstatt, Labor, Sanitär, etc. |
| 11 | Oberflächenversiegelung Tübbinge | 27 | Einträger Laufkran 5 to |
| 12 | Zwischenlager 24 h Tübbinge | 28 | Zweitträger Laufkran 15 to |
| 13 | Oberflächenversiegelung + Ausrüstung Schlusssteine | 29 | Schwenkkran |
| 14 | Zwischenlager 24 h Schlusssteine | 30 | Wende- und Verladevorrichtung Tübbinge |
| 15 | Überarbeitung Tübbinge | 31 | Hubwagen |
| 16 | Überarbeitung + Vermessung Tübbinge | 32 | Kübelbahn (Betonverteilung) |
| | | 33 | Betonzentrale |

Bild 15-41: Tübbingumlaufproduktionsanlage Wesertunnel, Ceresola Tunnelbautechnik AG [67]

Eine typische gleisgeführte Umlauf-Tübbingschalung ist in Bild 15-42 dargestellt.

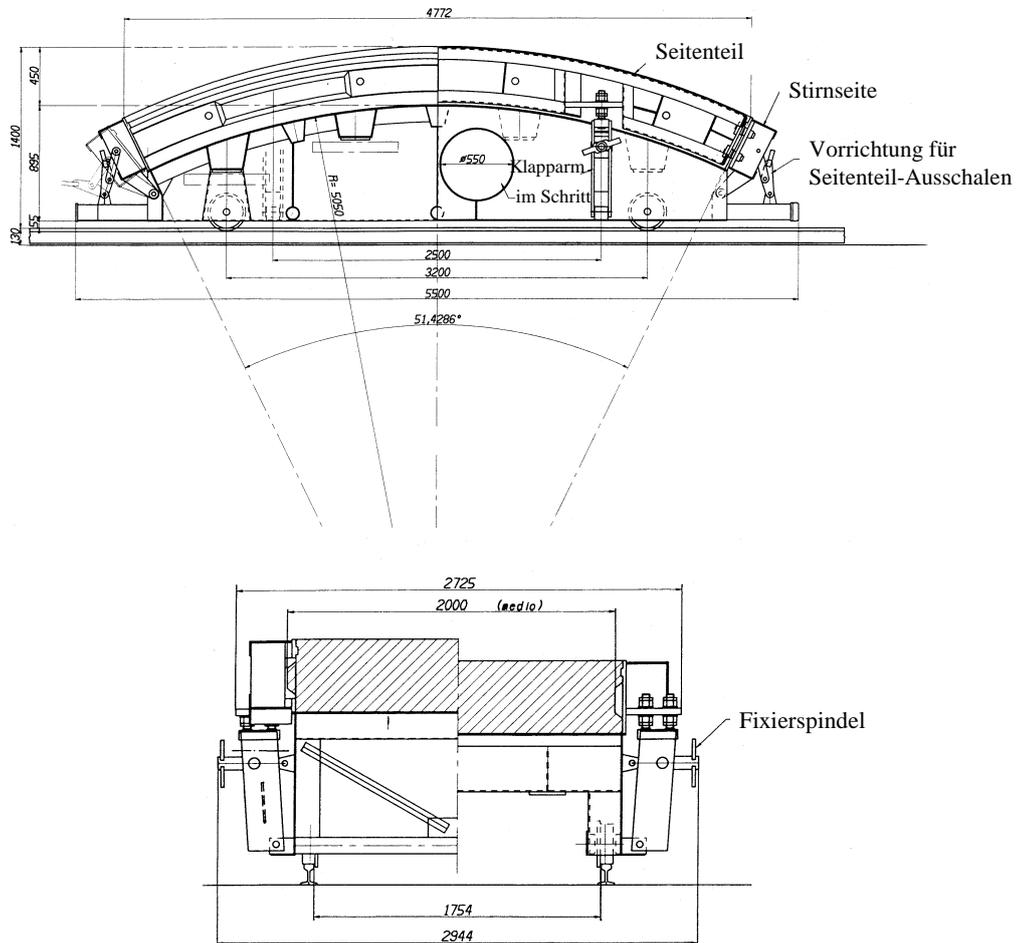


Bild 15-42: Umlauf-Tübbingschalung der Firma Bernhold [12]

Auch kleinere Fertigteile, wie z.B. Betondachsteine, werden im Umlaufproduktionsverfahren hergestellt. In Bild 15-43 sind Umlaufsysteme für die Herstellung von Betondachsteinen dargestellt.

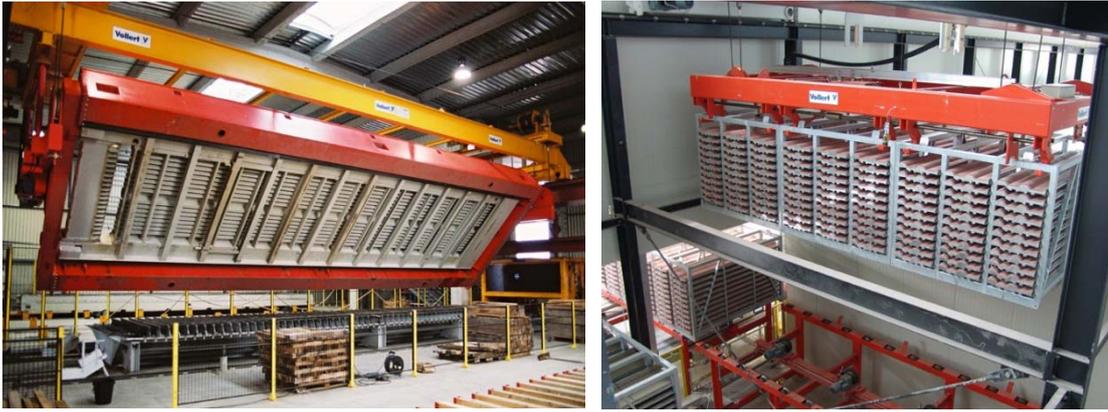


Bild 15-43: Herstellung von Betondachsteinen [83]

15.4.4 Einsatz von CAD/CAM in der Vorfertigung

Bei der Produktion von Deckenplatten und Wandelementen werden die computerunterstützten Methoden beim Entwurf (CAD – Computer Aided Design) und für die Erstellung von Ausführungs- und Verlegeplänen schon seit einiger Zeit praktiziert. Darüber hinaus wird aber auch die computergestützte Produktion (CAM – Computer Aided Manufacturing) im Betonfertigteiltbau verwirklicht.

So sind in jüngster Zeit im Fertigteiltbau beträchtliche Fortschritte in den drei klassischen Automatisierungsbereichen erzielt worden:

- Konstruktion und Entwicklung (CAD)
- Produktionsplanung und Steuerung (PPS) mit Materialwirtschaft
- Prozessablauf (CAM – Computer Aided Manufacturing) und Betriebsdatenerfassung (BDE)

Das Bild 15-44 stellt schematisch ein Schalungsroboter für die Werksfertigung dar. Auf der Palette (Basisschalung) wird mittels Magneten und verschiedener vertikaler Schalungsprofile prozessgesteuert für die gewünschte Schalungsform zusammengestellt und anschliessend das Fertigteil bewehrt und betoniert. Ebenso werden heute die Einrichtung von Schalungen entsprechend den individuellen Anforderungen, das Einlegen von Bewehrungen und Einbauteilen sowie die Betoneinbringung über CAM voll automatisch gesteuert [6].

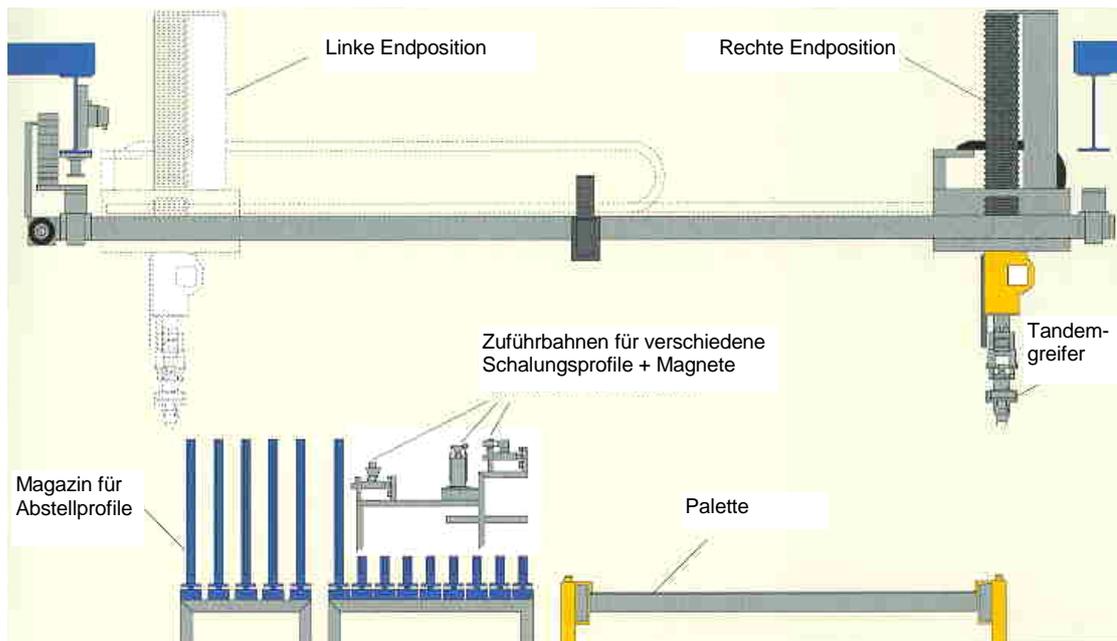


Bild 15-44: Schalungsrobotersystem [42]

Während früher die Konstruktion eines Fertigteiltes hauptsächlich durch äusserste Minimierung des Materials geprägt wurde (Querschnittsanpassung an die Schnittkräfte), wird heute die Form eines Fertigteiltes vor allem durch moderne Fertigungs- und Montageeinrichtungen bestimmt, die eine Lohnkostensenkung ermöglichen.

So werden Schaltische und Fertigungsbahnen maschinell und automatisch gereinigt, die Spannritzen werden automatisch verlegt und der Betonierprozess erfolgt rechnergestützt. Bei der Gleitfertigung bzw. der Fertigung mittels Extruder werden die hergestellten Platten mit einer vollautomatischen Betonsäge voneinander getrennt [6]. Nicht zuletzt werden die Abmessungen durch optische Ablese- und Vermessungsverfahren erfasst und mit den geforderten Soll- oder Planungsdaten verglichen.

Die Querschnittsanpassung von Fertigteilen erfolgt schalungsabhängig durch Einstellungen der Randschalungen bzw. durch den Einbau von entsprechenden Einlagen. Hohlräume z.B. für Hohlplatten entstehen durch vorab eingebaute und gegen Aufschwimmen beim Betonieren gesicherte Hohlprofile.

In Bild 15-45 ist ein Schalungsroboter abgebildet, mit dem das Anzeichnen der Lage und der Einbau von Stirnabschalungen und Einbauteilen auf der Schalungspalette vollautomatisch durchgeführt wird. Die Bewehrung für die Fertigteilte wird in einem vorgelagerten Arbeitsschritt angefertigt und in die vorbereiteten Schalungen eingelegt. In Bild 15-46 ist die vorgefertigte Bewehrung zum Herstellung eines Fertigteiltes (hier: Elementdeckenplatte) abgebildet. Nach dem Einlegen der Einbauteile und der Bewehrung erfolgt der Einbau des Beton durch einen Betonverteiler (Bild 15-47).



Bild 15-45: Schalungsroboter [84]



Bild 15-46: Vorgefertigte Bewehrung [83]



Bild 15-47 Betonverteiler [84]



Bild 15-48 Hebetraverse [84]



Bild 15-49 Automatisierte horizontale und vertikale Transportprozesse [83]



Bild 15-50 Automatisierter, kran- und gleisgeführter Transport [83]

Nach dem Betonieren ist der Transport der Elemente zu verschiedenen weiteren Stationen im Fertigteilwerk notwendig (Oberflächenbehandlung, Ausschalen, Dampfanlage etc.). Diese Prozesse verlaufen ebenfalls vollautomatisiert. Sowohl horizontale als auch vertikale Transporte werden durch Krane oder durch gleisgeführte Schubwagen/Transportanlagen bewältigt. In Bild 15-48 bis Bild 15-50 sind entsprechende Anlagen abgebildet.

Flächige Fertigteile müssen häufig zum Transport auf die Baustelle oder entsprechend ihrer endgültigen Einbaulage aus einer horizontalen Lage (Herstellzustand) in eine vertikale Lage überführt werden. Damit hierbei keine unzulässige Momentenbelastung quer zur Plattenrichtung eingetragen wird, werden die Elemente auf durch Klapptische in eine vertikale Position befördert (Bild 15-51).



Bild 15-51 Klapptische [83]

Eine vollautomatische Fertigungsstrasse für Gleisschwellen ist in Bild 15-52 und Bild 15-53 dargestellt.



Bild 15-52 Automatisierte Fertigungsanlage für Gleisschwellen (1) [83]



Bild 15-53 Automatisierte Fertigungsanlage für Gleisschwellen (2) [83]

Durch eine weitere Verzahnung von Planung und Fertigteilherstellung wird beim Umlaufverfahren bei entsprechender Ausbildung automatischer Schalungs- und Betoniersysteme eine wirtschaftliche Fertigung von Kleinserien bis hin zur individuellen Anfertigung von Einzelstücken realisierbar. Beim Fertigungsverfahren auf langen Bahnen ist verfahrensbedingt eine ausreichende Stückzahl von Systemfertigteilen für eine rationelle Fertigung erforderlich.

15.5 Industrielle Vorfertigung im Holzbau

15.5.1 Brettschichtholz

Brettschichthölzer bestehen aus mindestens 3 Lagen faserparallel miteinander verklebten Hölzern. Verwendet werden üblicherweise Fichtenholz, seltener auch Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie.

Zur Herstellung von Brettschichtholz werden die einzelnen Holzbretter zuerst technisch auch eine Holzfeuchte von ca. 12 % getrocknet und danach vorgehobelt. Anschliessend werden die Bretter technisch oder visuell nach Festigkeitsklassen sortiert. Bei Brettern mit festigkeitsmindernden Fehlstellen wie Ästen und Rindeneinschlüssen werden diese Fehlstellen ausgesägt. Die neu entstandenen Stirnflächen werden anschliessend zueinander passend keilförmig angesägt und zu (theoretisch) unendlich langen Brettlamellen zusammengefügt (Bild 15-1/Bild 15-54). Nach einer Hobelung auf die entsprechende Lamellendicke (bis 45 mm) erfolgt der Leimauftrag auf diese Bretter (Bild 15-55). Im nächsten Arbeitsgang werden die Bretter in einem Pressbett aufeinander geleimt. Die Form des Pressbettes legt dabei die endgültige Form des Bauteils fest (Bild 15-56). Nach der Aushärtung des entstandenen Brettschichtholz-Rohlings werden die Oberflächen nochmals gehobelt. Meist erfolgt anschliessend der Einbau von Stahlbauteilen zum Anschluss an andere Bauteile.

Brettschichthölzer haben durch die Trocknung, Homogenisierung und Festigkeits-sortierung eine bis zu 80% höhere zulässige Biegespannung als normales Bauschnittholz. Durch die sehr dünnen Klebstoffugen ist der Anteil des Klebstoffes am fertigen Brettschichtholz unter 1%.

Brettschichthölzer werden dort eingesetzt, wo die naturgegebene Form oder die Abmessungen normaler Hölzer nicht ausreichen. Sie kommen daher häufig als weit gespannte Träger zum Einsatz.

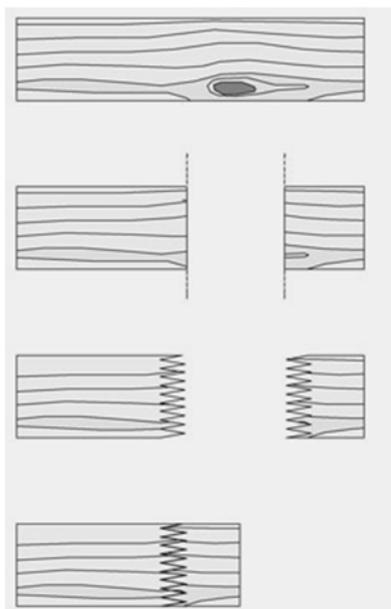


Bild 15-54: Aussägen von Fehlstellen und Neuverbindung der Stirnflächen [70]

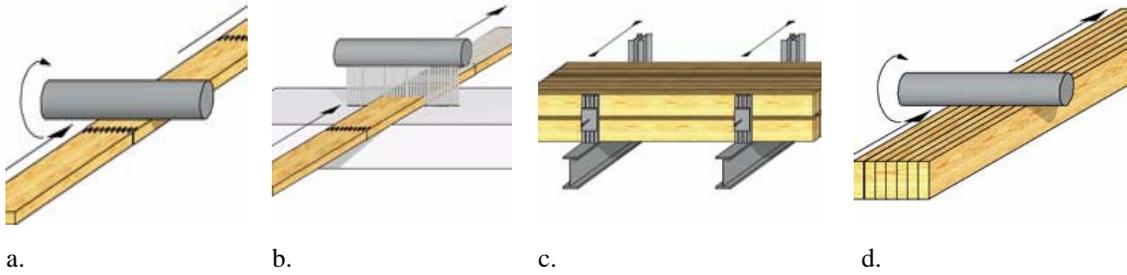


Bild 15-55: Arbeitsschritte bei der Herstellung von Brettschichtholzern [70]:

- a. Hobeln der Brettlamellen
- b. Leimauftrag
- c. Formgebung und Herstellung Pressbett
- d. Hobeln, ggf. Einbau Verbindungsmittel, Verpacken



Bild 15-56: Verpressen der Lamellen in einem Pressbett [70]

15.5.2 Brettstapelelemente

Im Gegensatz zu Brettschichthölzern werden bei Brettstapelelementen (Bild 15-57) die einzelnen Bretter nicht verleimt, sondern mit mechanischen Verbindungsmitteln zu flächigen Bauteilen verbunden. Hierzu werden einzelne Bretter in entsprechenden Halterungen hochkant nebeneinander gelegt und nachfolgend maschinell vernagelt (Bild 15-58). Als Verbindungsmittel kommen entweder Holzdübel oder metallische Verbindungsmittel zum Einsatz.



Bild 15-57: Aufbau von Brettstapelelementen [58]



Bild 15-58: Herstellung von Brettstapelelementen [69]

Bei einer üblicherweise angewandten Verbindung der Bretter mittels metallischer Nägel ist eine umfangreiche Nachbearbeitung nur unter größerem Werkzeugverschleiss möglich. Schon mit der Anordnung der Bretter bei der Herstellung wird daher die endgültige Form der Brettstapelelemente festgelegt, so dass abschliessend nur kleinere

Nacharbeiten im Bereich der Stirnflächen der Brettstapelelemente durchgeführt werden.

Brettstapelelemente werden sowohl als Decken- als auch als Wandbauteil eingesetzt.

15.5.3 Wandtafeln für die Tafelbauweise

Die in der Tafelbauweise verwendeten Wandtafeln bestehen meist aus tragenden Pfosten und Riegeln und einer zweiseitigen Beplankung, die das Tragwerk der Platten aussteift. Die zwischen der Beplankung verbleibenden Hohlräume werden durch Dämmstoffe ausgefacht, bei Bedarf ist auch ein mehrschichtiger Aufbau möglich. Insbesondere im Fertigteilhausbau werden in die vorgefertigten Wandtafeln auch die notwendigen Installationen (Elektro, Leitungen) sowie Fenster und Türen eingesetzt. Neben diesen zweiseitig beplankten Wandtafeln kommen auch einseitig beplankte Wandtafeln (Rippenbauweise, vgl. Abschnitt 15.6.2) zum Einsatz.

Die Herstellung erfolgt meist halbautomatisiert, d. h. mit Unterstützung von automatisierten Maschinen (CAM). Die einzelnen Bauteile der Elemente werden gemäss der Planung angeordnet, vernagelt und mit den jeweiligen Einbauteilen versehen.

15.6 Konstruktionsprinzipien der Montagebauweise

Nachfolgend werden folgende Konstruktionsprinzipien bei der Montagebauweise unterschieden:

- Skelettsysteme
 - Rahmentragwerke
 - Gelenksysteme
 - Fachwerke
- Rippenbauweise
- Tafelbauweise
- Raumzellenbauweise
- Sonderbauweisen

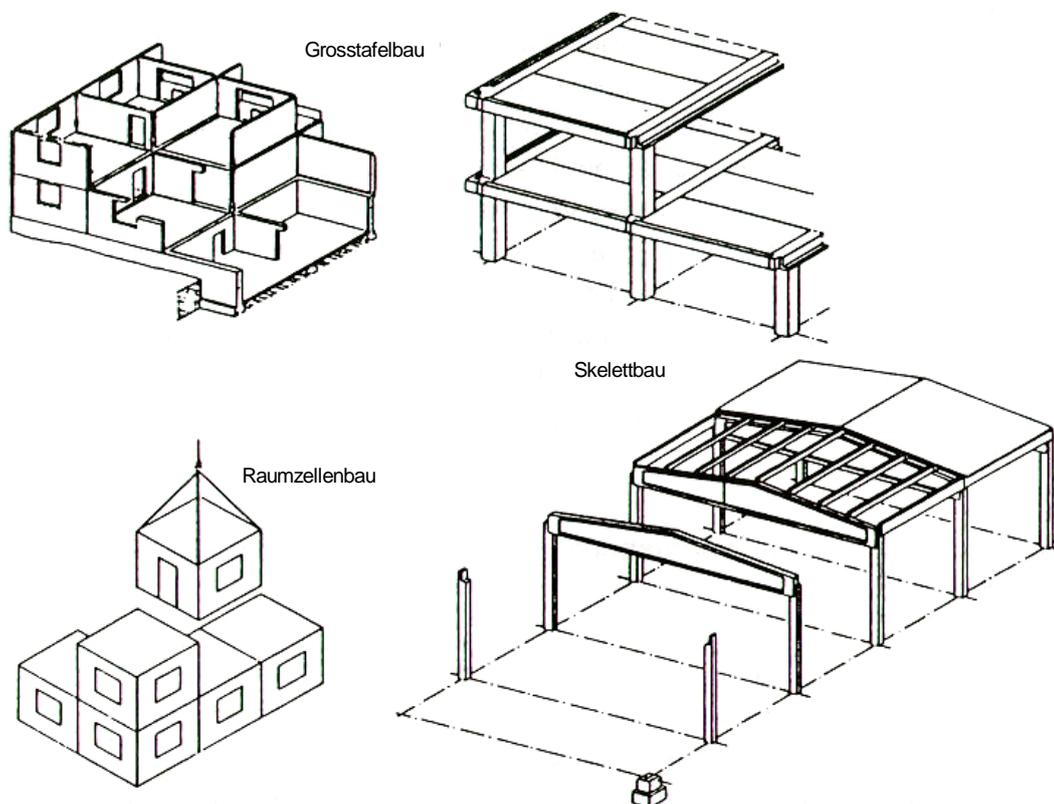


Bild 15-59: Fertigteilbauweisen [24]

15.6.1 Skelettbauweise

Bei der Skelettbauweise (Bild 15-60) bildet ein System von Stützen und Riegeln die tragende Konstruktion, die Aussteifung des Tragsystems kann durch unterschiedliche Prinzipien erfolgen. Die gesamte Bauwerkskonstruktion – tragende und raumabschließende Teile – wird vorgefertigt und montiert. Zum Einsatz kommende Dachschalen und Dachfaltwerke sind Sonderkonstruktionen bei den Skelettsystemen.

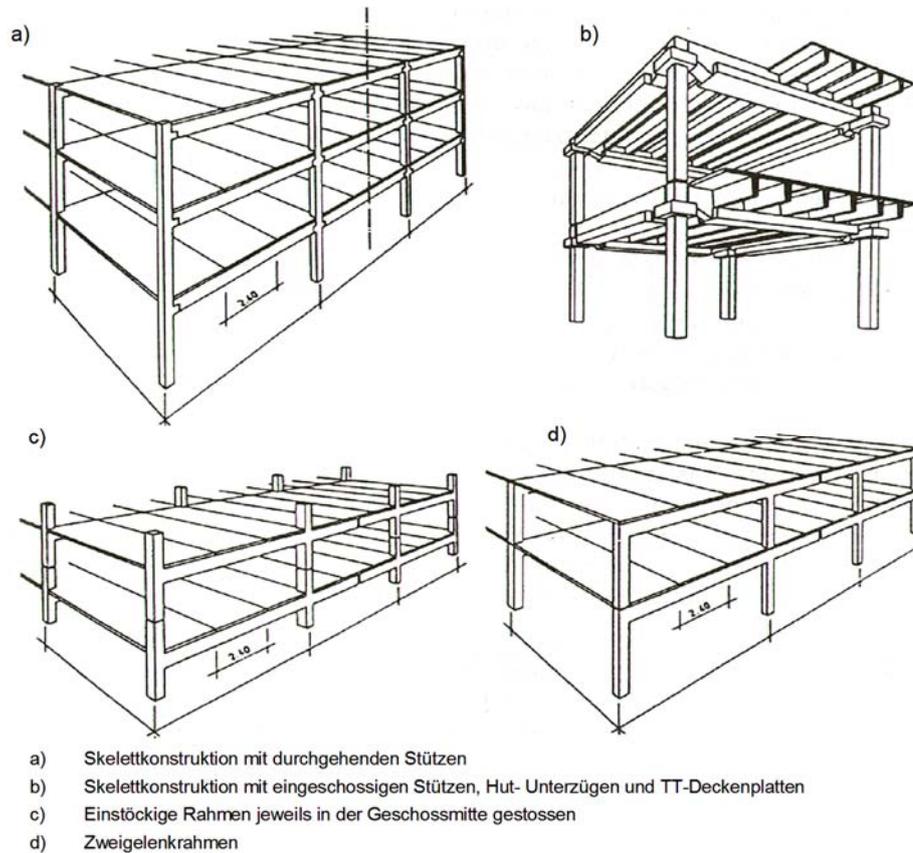


Bild 15-60: Beispiele zum Tragwerkskonzept von Fertigteil-Skelettkonstruktionen [27]

Skelettbauweise in Rahmenkonstruktion

Bei einem Gebäude in Skelettbauweise stellt sich sowohl bei der Errichtung als auch für den Endzustand die Frage nach der Gesamtstabilität. Als aussteifendes System wird im Skelettbau häufig ein Rahmentragwerk angewendet, wobei hier zwischen zwei grundsätzlichen Anwendungen unterschieden werden muss.

Im ersten Fall wird die Aussteifung des Gebäudes über in die Fundamente eingespannte Kragstützen erreicht, die Querriegel sind jeweils gelenkig an die Stützen angeschlossen und fungieren als Einfeldträger. Die Einspannung in Fundamente ist jedoch meist nur bei eingeschossigen Hallen möglich.

Im Zweiten Fall wird die Aussteifung durch biegesteif ausgeführte Rahmentragwerke erreicht. Hierzu sind die horizontalen Bauteile (z.B. Dachbinder) biegesteif mit den Stützen verbunden. Werden nur in eine Richtung Rahmentragwerke ausgeführt, z. B. in Hallenquerrichtung, so ist die Stabilität in die andere Richtung anderweitig sicherzustellen (aussteifende Wandscheiben). Bild 15-61 verdeutlicht beispielhaft das statische Prinzip von Rahmentragwerken.

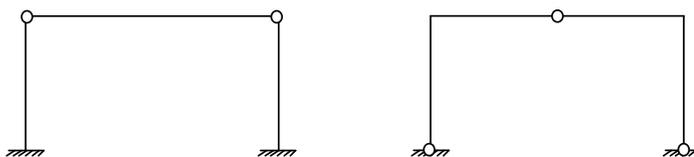


Bild 15-61: Rahmentragwerke

Rahmentragwerke finden als Konstruktionsprinzip sowohl im Betonbau als auch im Stahl- und Holzbau Anwendung.

Skelettbauweise in Gelenkkonstruktion

Sobald ein Gebäude in Skelettbauweise mit Scheiben oder Kernen ausgestattet ist, beteiligen sich, bedingt durch die grossen Steifigkeitsunterschiede, andere aussteifende Konstruktionen nur in geringem Masse an der Abtragung der Horizontalkräfte. Da Rahmentragwerke fertigungstechnisch vergleichsweise grössere Schwierigkeiten bereiten, finden wegen der damit verknüpften statischen, fertigungs- und montagetechnischen Vorteile Gelenksysteme mit aussteifenden Kernen oder Scheiben in Ortbeton (Bild 15-62 a) breite Anwendung.

Bei Gelenksystemen wirken die horizontalen Riegel als Einfeldbalken, die Stützen tragen als eingeschossige Pendelstäbe oder als Durchlaufsystem über mehrere Geschosse. Der Fundamentanschluss erfolgt in der Regel gelenkig (auf Blockfundamenten), aus montagetechnischen Gründen erfolgt bisweilen auch eine Einspannung im Köcherfundament. Die Aussteifung des Gebäudes erfolgt durch vereinzelt im Grundriss angeordnete Scheiben und/oder Kerne.

Ein weiteres Skelettsystem zeigt Bild 15-62 b. Hier werden die Stützen grundsätzlich als eingeschossige Pendelstützen ausgebildet, während die Deckenriegel als Gerberträger wirken. Vorteile dieses Systems sind einfache Schalformen für die Stützen und eine bis zu ca. 20 % geringere Bauhöhe der Unterzüge gegenüber dem vorgenannten System.

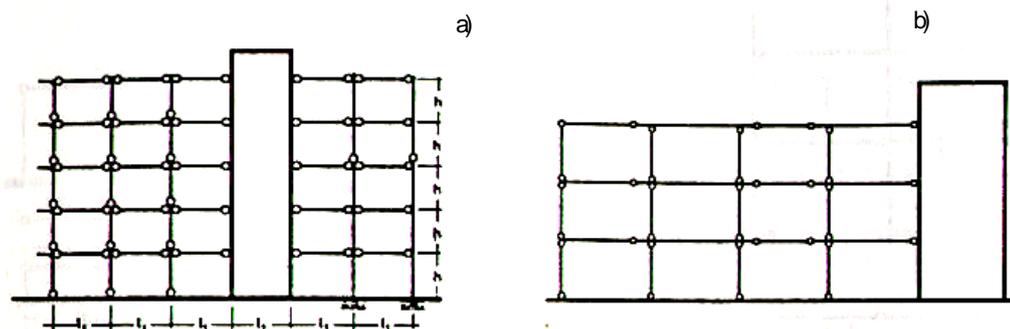


Bild 15-62: Gelenksysteme im Fertigteilskelettbau [31]

Skelettbauweise in Fachwerkkonstruktion

Neben den Rahmentragwerken und der Möglichkeit, gelenkige Systeme durch massive Gebäudekerne auszusteifen wird im Holzbau, im Stahlbau und im Stahlverbundbau das Aussteifungsprinzip des Fachwerkes häufig angewandt.

Bei Fachwerken werden stabförmige Bauteile miteinander gelenkig verbunden, so dass die Bauteile (beim reinen Fachwerk) nur auf Zug oder Druck belastet werden, gleichzeitig jedoch durch die Anordnung der Bauteile ein ausgesteiftes, stabiles Tragsystem entsteht. In Bild 15-63 ist ein aus Stahlbauteilen bestehendes Fachwerk-Aussteifungssystem eines Hochhauses dargestellt.

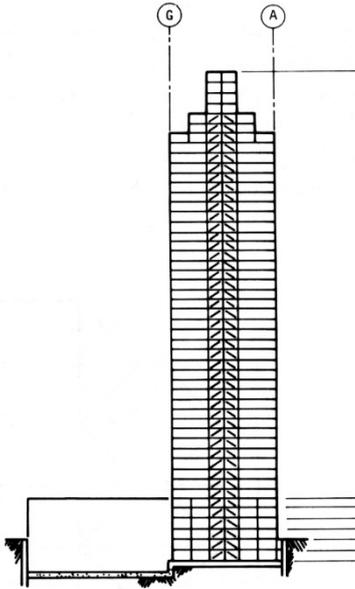


Bild 15-63: Aussteifendes Fachwerk in einem Hochhaus [59]

15.6.2 Rippenbauweise

Die Rippenbauweise nimmt eine Mittelstellung zwischen der Skelettbauweise und der Wandbauweise ein. Bei der Rippenbauweise haben die Rippen bzw. Ständer wie bei der Skelettbauweise tragende Funktion, sie werden jedoch wie bei der Wandbauweise durch statisch notwendige Wandscheiben beplankt. Die Beplankung der Ständer oder Rippen erfolgt in der Vorfertigung jedoch nicht wie bei der Wandbauweise auf beiden Wandseiten, sondern nur auf einer. Die Komplettierung des Wandaufbaus erfolgt im Unterschied zur reinen Wand- oder Tafelbauweise somit auf der Baustelle.

Die Rippenbauweise ist im Holzbau relativ verbreitet. Hier werden Kanthölzer als tragende Elemente durch raumabschliessende und kraftschlüssig verbundene Holzwerkstoffplatten ausgesteift.



Bild 15-64: Wandbauteil in Rippenbauweise [71]

15.6.3 Wand- oder Tafelbauweise

In der Tafelbauweise (Bild 15-65) verwendete Wand- und Deckentafeln erfüllen sowohl statisch tragende als auch raumabschliessende Funktion. Vorzugsweise werden raumhohe Tafeln verwendet, die als Grosstafeln bezeichnet werden. Die Tafelbauweise wird vorwiegend im Wohnungsbau angewandt.

Das Prinzip der **Grosstafelbauweise** besteht darin, raumhohe Scheiben- und Plattenelemente zu einem räumlichen System zu verbinden. Die grossen flächenhaften Elemente werden miteinander entlang der Raumkanten durch vertikale Stossfugen und horizontale Lagerfugen verbunden.

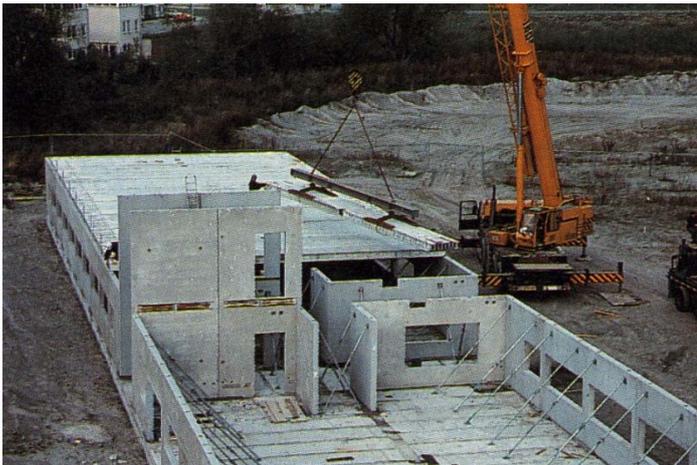


Bild 15-65: Tafelbauweise mit tragenden Wandscheiben [33]

Die Deckentafeln übertragen die an den Rändern auftretenden Schnittkräfte auf die Quer- und Längswände. Sie werden durch zug-, druck-, und schubfeste Anschlüsse entlang der Stosskanten zu einem tragfähigen Gesamtsystem zusammengefügt.

Auch im **Holzbau** ist die **Tafelbauweise** (Bild 15-66) weit verbreitet. Zum Einsatz kommen hier vorgefertigte Wandelemente, die gleichzeitig als tragendes und raumabschliessendes Element wirken.



Bild 15-66: Errichtung eines Gebäudes in Tafelbauweise (Holzbau)

Als Wandelemente kommen zum Einsatz:

- vorgefertigte, beidseitig beplankte und mit entsprechenden Einbauten für Elektro und Installation versehene Wandtafeln
- einseitig beplankte Wandtafeln (Rippenbauweise)

Als Wand- oder Deckenelemente werden verwendet:

- Brettstapelelemente (vgl. Abschnitt 15.5)
- massives Brettsperrholz und vorgefertigte Hohlprofile als aus Holzbaustoffen (Bild 15-67)



Bild 15-67: Brettsperrholz sowie zusammengesetzte Hohlprofile [71]

15.6.4 Raumzellenbauweise

Die Raumzelle ist eine tragende, in sich abgeschlossene räumliche Einheit, die als Einzelelement oder im Zusammenwirken mit anderen gleichartigen Raumeinheiten Bauwerksfunktionen übernimmt.

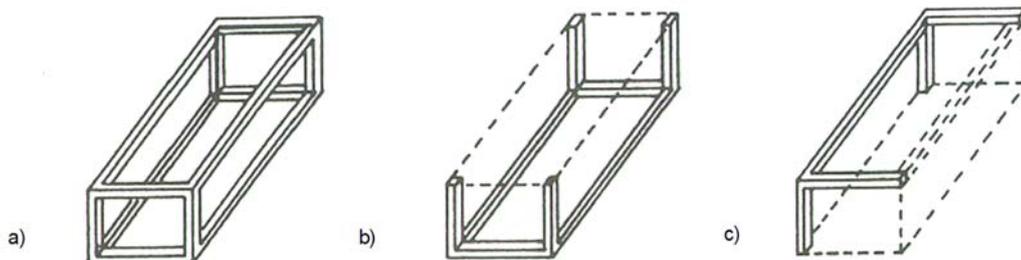


Bild 15-68: Grundvarianten für Raumzellen in Skelettbauweise [30]

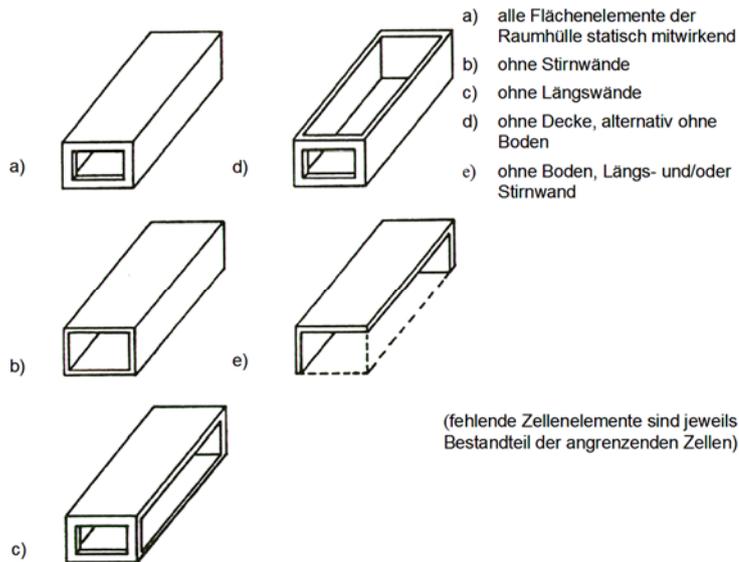


Bild 15-69: Grundvarianten der Raumzellen mit Tafel-elementen [30]

Bei der Raumzellenbauweise werden möglichst komplette Grundeinheiten eines Bauwerkes vorgefertigt und montiert. Eine Raumzelle besteht als Bauteil aus grossformatigen Tafel-elementen mit oder ohne Verwendung skelettartiger Bauelemente. Hierbei ist es durchaus möglich, die tragende Konstruktion als Skelett auszubilden und die verbleibenden Restflächen mit grossformatigen Wand- oder Deckenelementen zu schliessen. In Bild 15-68 sind Grundvarianten für Raumzellen in Skelettbauweise dargestellt, Bild 15-69 zeigt Beispiele für die Variante mit Tafel-elementen. Ein in Raumzellenbauweise (Holzbau) errichtetes Gebäude ist in Bild 15-70 abgebildet.



Bild 15-70: In Raumzellenbauweise errichtetes Gebäude [71]

15.6.5 Sonderbauweisen im Brückenbau

Bei der im Brückenbau zum Einsatz kommenden **Segmentbauweise** mit Match-Cast-Elementen wird der Brückenträger aus einer Vielzahl von kurzen, vorgefertigten Querschnittselementen mit montierbaren Einzellängen zu einem monolithisch wirkenden Tragsystem abschnittsweise zusammengespannt. Die einzelnen Elemente haben dabei in der Regel bereits den endgültigen Querschnitt. Bild 15-71 zeigt die Montage der einzelnen Segmente [17], [18], [19].

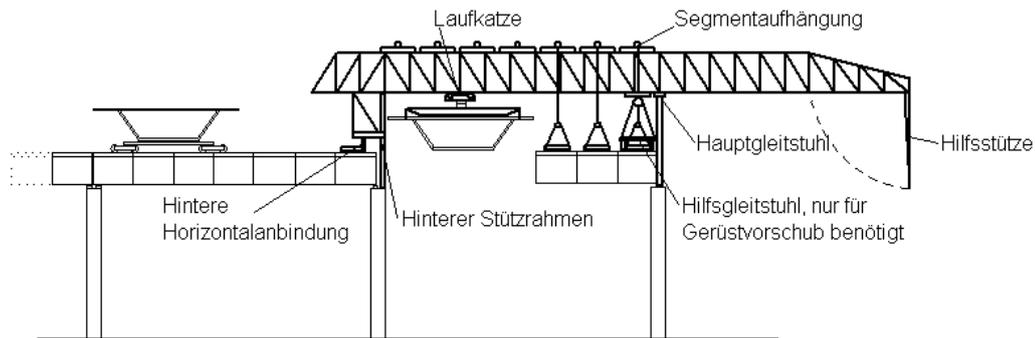


Bild 15-71: Segmente mit oben liegendem Verlegegerüst [18], [19]

Neben der Segmentbauweise werden im Brückenbau auch andere Möglichkeiten genutzt, die die Vorteile eines Fertigteileinsatzes bieten. So werden die einzelnen Brückenfelder bei der Herstellung mittels **Taktschiebverfahren** an einem fest installierten Ort nahe eines Brückenwiderlagers hergestellt. Nach der Fertigstellung des Brückenfeldes, welches schon bei der Herstellung direkt an die vorgängig gefertigten Brückenfelder angrenzt, wird die gesamte bis dahin hergestellte Brücke über die bestehenden Brückenpfeiler in Richtung der endgültigen Lageposition verschoben. Ein Vorbauschubanker unterstützt die Brücke während des Verschiebevorganges.

Gegenüber der konventionellen Herstellung in Endposition der Brücke bietet das industrialisierte Taktschiebverfahren insbesondere folgende Vorteile:

- Der aufwendiger Gerüstbau- und Schalungsbau unterhalb der Brücke entfällt.
- Durch standardisierte Abläufe können Schalungen optimal ausgenutzt werden.
- Es ist ein vergleichsweise kleiner Gerätepark notwendig.
- Es gibt eine einheitliche Lager- und Transportlogistik.

Beim Taktschiebverfahren (Bild 15-72) erfolgt die Vorfertigung somit nahe dem endgültigen Einbauort.

Auch bei der **Herstellung von Stahlverbundbrücken** entfällt meistens die aufwendige Bereitstellung eines Leegerüstes für die Brückenfelder. Der im Werk hergestellte Stahltrög wird als Halbfertigteil auf die Baustelle geliefert. Abhängig von den Transportbedingungen werden dort die verschiedenen Einzelteile zusammengesetzt, mittels Mobilkran oder mittels Zugstangen und Hydraulikzugeinrichtungen (Bild 15-73) in die Brückenachse gehoben und dort montiert. Auf diesen Stahlbauteilen wird nachfolgend der Betonoberbau hergestellt.

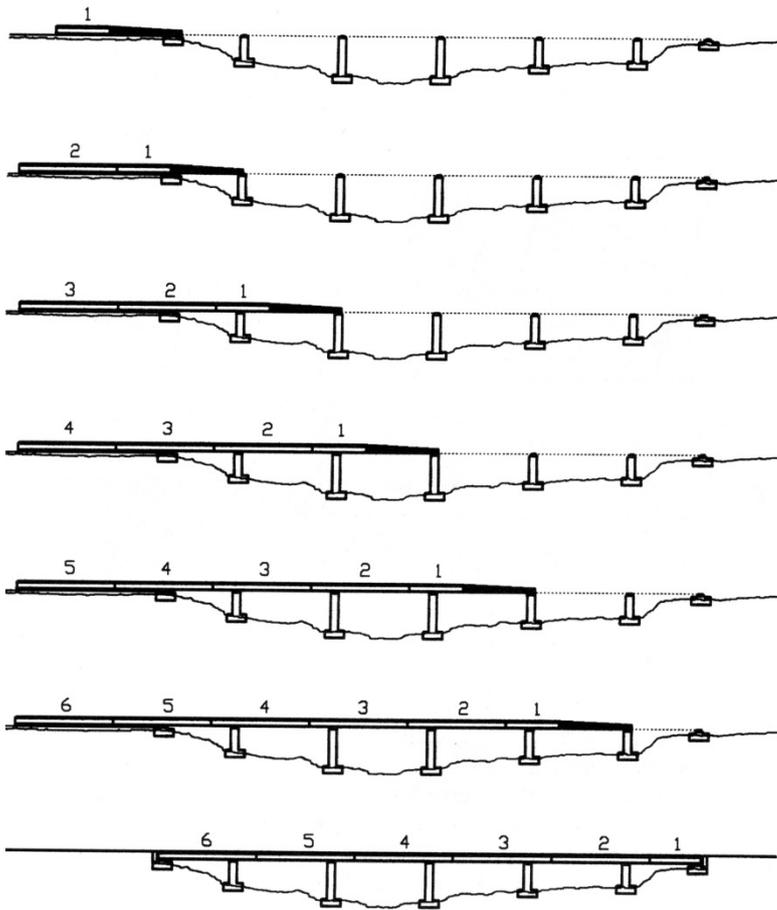


Bild 15-72: Prinzip des Taktchiebeverfahrens [62]

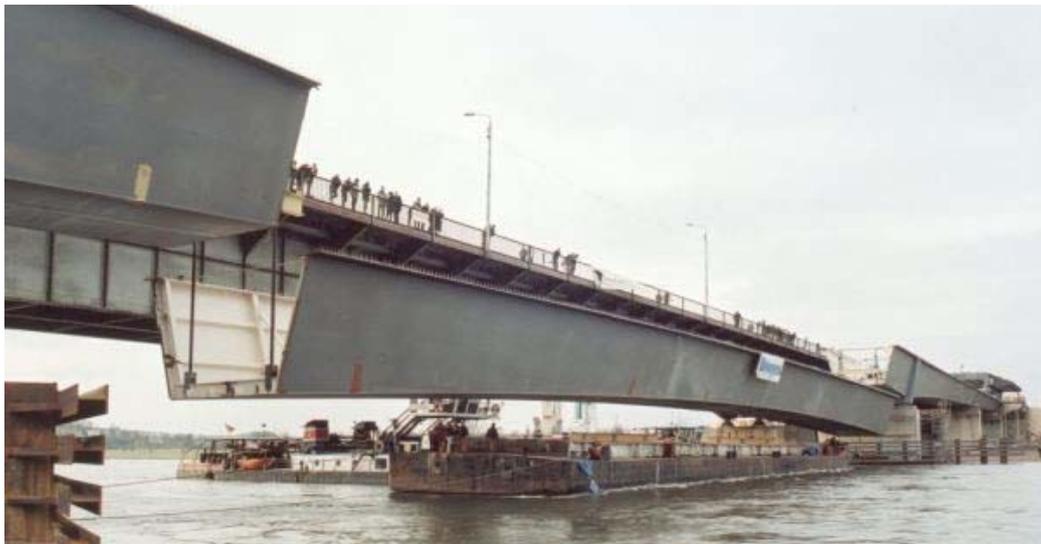


Bild 15-73: Einheben des Stahltrags einer Verbundbrücke [63]

15.6.6 Elementverbindungen, Auflagerpunkte und Fugen

Kräfte und Momente müssen in den Verbindungspunkten entsprechend dem vorgesehenen statischen System übertragen werden. Die Fugen und Detailpunkte sind somit aus konstruktiver und montage technischer Sicht zu entwerfen und auszuführen.

Im Montagebau gibt es verschiedene Möglichkeiten, Fertigteile untereinander oder mit angrenzenden Strukturen zu verbinden. Die Montagevorgänge des Fügens, Verbindens und Abdichtens sollten zum Zwecke der Kostensenkung robust, einfach, schnell und dauerhaft ausgeführt werden. Einen kurzen Überblick über die vielfältigen Fügeverfahren zum lösbaren und nicht lösbaren Verbinden von Bauteilen untereinander gibt Tabelle 15–4.

Tabelle 15–4: Übersicht von lösbaren und nicht lösbaren Fügeverfahren [4]

Vorwiegender Anwendungsbereich	Lösbares Verbinden	nicht lösbares Verbinden
Stahlbetonbau	Verschrauben von eingegossenen Stahlverbindungsteilen	Vergiessen mit Mörtel; Verschweissen von eingegossenen Stahlverbindungsteilen; Verkleben
Stahlbau	Verschrauben; Einstecken	Verschweissen, Vernieten; Verkleben
Holzbau	Verschrauben; Einstecken	Nageln; Klammern; Einpressen von Stahlverbindungsteilen; Verkleben

Alle Fügeverfahren mittels lösbarer Verbindungen können weitgehend unabhängig von den Witterungsbedingungen ausgeführt werden. Die Fügeverfahren des Verklebens und Vergiessens erfordern jedoch möglichst trockene und frostfreie Witterung bzw. bestimmte Mindesttemperaturen zum Aushärten der verwendeten Klebe- und Vergusswerkstoffe. Die lösbaren Verbindungen sind ferner eine wichtige Voraussetzung, um eine spätere zerstörungsfreie Demontage zum Zwecke des Umbaus oder der Rückführung für eine Wiederverwendung zu ermöglichen.

Fugentypen

Bei Fugen in Wandscheiben wird nach der statischen Funktion und Herstellungsweise zwischen Wand-Wandfugen und Wand-Deckenfugen unterschieden.

- Vertikalfugen von Wandscheiben sind vorwiegend auf Schub beanspruchte, kraftschlüssige Verbindungen der vertikalen Ränder benachbarter Wandtafeln. Die Schubübertragung ist durch entsprechende Profilierungen der Fugenränder und Bewehrungen senkrecht zur Fuge sicherzustellen.
- Horizontalfugen von Wandscheiben werden vorwiegend auf Schub und Druck beansprucht, wobei die Schubübertragung bei hinreichendem Querdruck über Reibung erfolgen kann.
- Horizontalfugen im Anschluss von Wandscheiben und Deckenplatten werden meist auf Schub, Biegung und Druck beansprucht
- Horizontalfugen von Deckenplatten werden meist auf Schub und Biegung beansprucht. Zugkomponenten sind dabei generell der Bewehrung zuzuweisen, während die Aufnahme von Druckkomponenten dem Fugenbeton übertragen wird.

Die vielfältigen Verfahren des **Abdichtens von Bauteifugen** sind bei der Verwendung vorgefertigter Dichtprofile weitgehend witterungsunabhängig. Bei Verwendung von Dichtungsmassen müssen diese jedoch bei einer bestimmten Mindesttemperatur auf trockenen und frostfreien Untergrund aufgebracht werden. Voraussetzung für die einwandfreie Dichtwirkung von Dichtprofilen oder Dichtmassen sind glatte porenfreie Bauteiloberflächen im Bereich der Fugen, welche während der Montage staubfrei und trocken sein müssen.

Die gleichzeitige Erfüllung zahlreicher Funktionen bei der Abdichtung von Bauteifugen stellt an die Dauerelastizität und die Witterungsbeständigkeit der Dichtwerkstoffe grosse Anforderungen. So müssen vor allem erhebliche Massänderungen in der Fugenbreite in oft wiederkehrendem Wechsel von Stauchung und Dehnung aufgenommen werden. Verursacht werden diese infolge Verkehrs- und Windlasten sowie Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen. In Bild 15-74 ist die Änderung der Fugenbreite durch saisonale Temperaturunterschiede und der damit verbundene Einfluss auf die Formänderung einer Fugendichtmasse dargestellt.



Bild 15-74: Änderung der Fugenbreite [4]

Ortbetonverbindungen

Die Kraftübertragung in einer Ortbetonfuge ist stark von der Güte des verwendeten Mörtels oder Betons ab. Der zum Fugenverguss verwendete Beton oder Mörtel muss möglichst schwindarm sein, ggf. sind entstehende Fugen nochmals nachträglich zu verschliessen. Weiterhin muss eine ausreichende Verdichtung und Nachbehandlung sichergestellt werden.

Zugkräfte in der Fuge müssen durch die Verbindung von Bewehrungsstäben aufgenommen werden. Ist die Ausbildung einer ausreichenden Übergreifungslänge aufgrund der Fugendimensionen nicht möglich, so sind die Bewehrungsstäbe zu schweißen oder mittels Schraubverbindungen zu verbinden.

Stahlbaumässige Verbindungen

Oft wird zur Vereinfachung der konstruktiven Ausbildung von Anschlusspunkten auch im Beton- und Holzbau auf Verbindungstechniken aus dem Stahlbau zurückgegriffen. So werden schon bei der Vorfertigung entsprechende Stahlbauteile in die Fertigteile eingebaut und verankert. In Bild 15-75 sind Ankerbolzen für die stahlbaumässige Verbindung von Stahlbetonfertigteilen abgebildet. Neben Ankerbolzen für Schraubverbindungen kommen auch Stirnplatten aus Stahl für Schweissverbindungen zum Einsatz.



Bild 15-75: Ankerbolzen zur stahlbaumässigen Verbindung von Stahlbetonfertigteilen [43]

Masstoleranzen

Bei der Planung und Ausführung eines Anschlussdetails ist auf die Problematik der zulässigen **bauteilspezifischen Masstoleranzen** zu achten. So kann entsprechend SIA 414/10 bzw. DIN 18203-1 die Länge eines 15 m langen Spannbetonträgers um ± 16 mm von der Solllänge abweichen. Als Auflagerpunkte des Binders dienen Stützen, welche entsprechend der Normen zusätzlich eine Abweichung von bis zu ± 30 mm zulassen. Die Auflagerpunkte müssen dementsprechend so konstruiert sein, dass auch ungünstige Überlagerungen der Masstoleranzen aufgenommen werden können.

Neben den bauteilspezifischen Masstoleranzen innerhalb einer Bauweise sind die **unterschiedlichen Masstoleranzen bei der Kombination verschiedener Bauweisen (Stahlbau, Betonbau)** zu berücksichtigen. Die in den gültigen Normen zulässigen Masstoleranzen für unterschiedliche Bauelemente und Materialien unterscheiden sich teilweise um Zehnerpotenzen (Stahlbau: mm-, Betonbau: cm-Toleranzen). Diese führen ohne eine gesonderte, projektspezifische Abstimmung zu unüberwindbaren Problemen bei der Montage der Bauteile. Ein typisches Beispiel für die Anschlussproblematik zwischen zwei Bauweisen ist der Anschluss von Stahl-Glas-Fassadenelementen an die Stahlbetonkonstruktion eines Hochbaus.

Für die kraftschlüssige Verbindung der entsprechenden Fassadenelemente mit der Rohbaukonstruktion hat sich die Verwendung spezieller Anschlusselemente etabliert. Diese bieten eine hohe konstruktive Flexibilität und Anpassungsfähigkeit zum Ausgleich der Masstoleranzen und stellen eine Justierung und Fixierung der Fassadenelemente an den Betonbauteilen sicher (z.B. Halfen-Verbindungselemente Bild 15-76, Bild 15-77).

15.7 Industrielle Baustellenfertigung

15.7.1 Industrialisierung der Montage von Fertigteilen

Logistikplanung

Die Planung der Logistik ist bei der Verwendung von Fertigteilen einer der entscheidenden Erfolgsfaktoren. Die Logistik beinhaltet dabei die Integration der Ausführung in die Planung mit ihren

- statisch-konstruktiven
- zeitlichen
- produktionstechnischen
- transporttechnischen
- montagetechnischen

und beschaffungs- und auslastungsmässigen Anforderungen. Bereits mit der Ausführungsplanung müssen neben statischen und konstruktiven Erfordernissen grundlegende Eigenschaften wie z. B. durch Transportmöglichkeiten gegebene maximale Abmessungen und Massen festgelegt werden. Mit der Elementierung wird auch das jeweilige Zeitfenster für die Lieferung, resp. Montage definiert. Hierbei sind auch die Produktions- und Lieferzeiten sowie die dafür notwendigen Betriebsabläufe zu beachten.

Im Voraus müssen die Baupläne mit den Montageabfolgen definiert werden. Entsprechend dem Montageplan erfolgt die Beladung der Transportmittel, die zeitgerecht und möglichst ohne Zwischenlagerung auf die Baustelle liefern. Auf der Baustelle selbst sind dann entsprechende Transportmöglichkeit an den gewünschten Einbauort sicherzustellen. Die Zufahrt, der Wendeplatz und die Entladestellen für die Lastkraftwagen (meist Tieflader) müssen genügend gross und ausreichend tragfähig konzipiert werden. Gegebenenfalls ist auf der Baustelle auch ein Zwischenlager für die Fertigteile vorzusehen, wenn die Elemente nicht unmittelbar nach der Lieferung montiert werden können oder aus Sicherheitsgründen bei der Prozessfolge ein Puffervorrat bestimmter Fertigteile vorhanden sein soll.

Transport

Der Transport vorgefertigter Teile aus Stahlbeton umfasst einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an den Gesamtkosten der Fertigteile. Unter Transport versteht man sämtliche Bewegungen, die ein Element erfährt. Hierbei handelt es sich im Einzelnen um den Transport

- von der Fertigungsstelle zur Baustelle
- ggf. vom Zwischenlager oder Transportfahrzeug zur Einbaustelle

Entscheidende Einflussgrößen für die Transportkosten sind

- die Anzahl der Transporttakte
- die Wahl des Transportmittels
- die Wartezeiten für Ent- und Beladen
- die Wahl und Auslastung des Krans
- Konstruktion der Transportbefestigungen
- Transportwege und -entfernungen

Zur Montage der Fertigteile ist in der Regel ein Turmdreh- oder Autokran mit entsprechendem Hebezeug erforderlich.

Der Kran muss so gewählt werden, dass von dem gewählten bzw. bedingten Standplatz die jeweiligen Fertigteile unter Beachtung der Bauwerksgeometrie sicher ohne Umsetzen des Gerätes versetzt werden können. Zudem müssen die Transportflüsse in dieser Lieferkette so zeitlich organisiert werden, dass die Auslastung des Kranes sichergestellt ist. Kurze Hakenzeiten lassen sich nur erzielen, wenn einfach montierbare Fertigteilverbindungen und einfache Justierhilfen zum Einsatz kommen. Üblicherweise werden Autokrane nur für kurze Zeit angemietet, während Turmdrehkrane (kleinere Tragkraft) häufig über die gesamte Bauzeit zur Verfügung stehen.

Aus den zulässigen Strassentransportabmessungen ergeben sich die heute üblichen Abmessungen für Elementbreiten von $b \leq 2,40$ bzw. $2,50$ m und für Elementhöhen von $h < 3,60$ m (zulässige Gesamthöhe Fahrzeug $4,00$ m). Bei grösseren Abmessungen oder einem Gesamtgewicht 40 t überschreitet, wird für den Strassentransport eine Sondergenehmigung erforderlich. Bei der Beantragung dieser Sondergenehmigungen bedarf es einer frühzeitigen Abklärung bezüglich der in Frage kommenden Transportroute und Transportzeiten (ggf. nur Nachttransport) [6].

Montage

Der Montageablauf wird durch die, in der Planung der Elemente festgelegten Abmessungen, Massen und Schnittstellen bestimmt.



Bild 15-79: Helikoptertransport [39]



Bild 15-80: Montage mit einem Mobilkran [60]

Mit üblichen Turmdrehkränen können nur relativ leichte Teile – allerdings mit grosser Ausladung und vollem Schwenkbereich – gehoben werden (Bild 15-81). Die bisher grössten Turmdrehkrane Deutschlands können bei einer Ausladung von 100 m noch 42 t tragen. Ein Autokran kann bei ausgefahrenen Abstützpratzen schwere Elemente versetzen, benötigt jedoch hierfür einen befestigten Standort. Zum Heben von schwereren Lasten, wie sie z. B. bei der Montage von kompletten Brückenelementen auftreten, kommen Raupenkranne zum Einsatz. Diese können z. B. bis zu 1000 t bei einer Ausladung von 12 m heben (Bild 15-82).

Der Montageablauf ist so zu gestalten, dass für die die Baukonstruktion zu jedem Zeitpunkt eine ausreichende **Stabilität** gegeben ist. Für einzelne Bauteile kann deshalb der Einsatz von Montagstützen erforderlich werden.

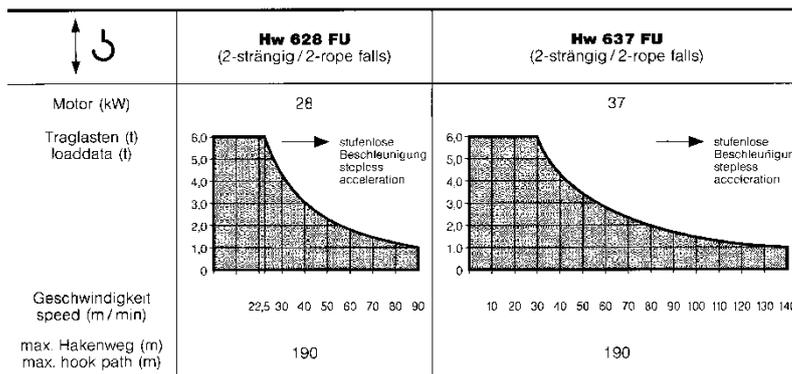
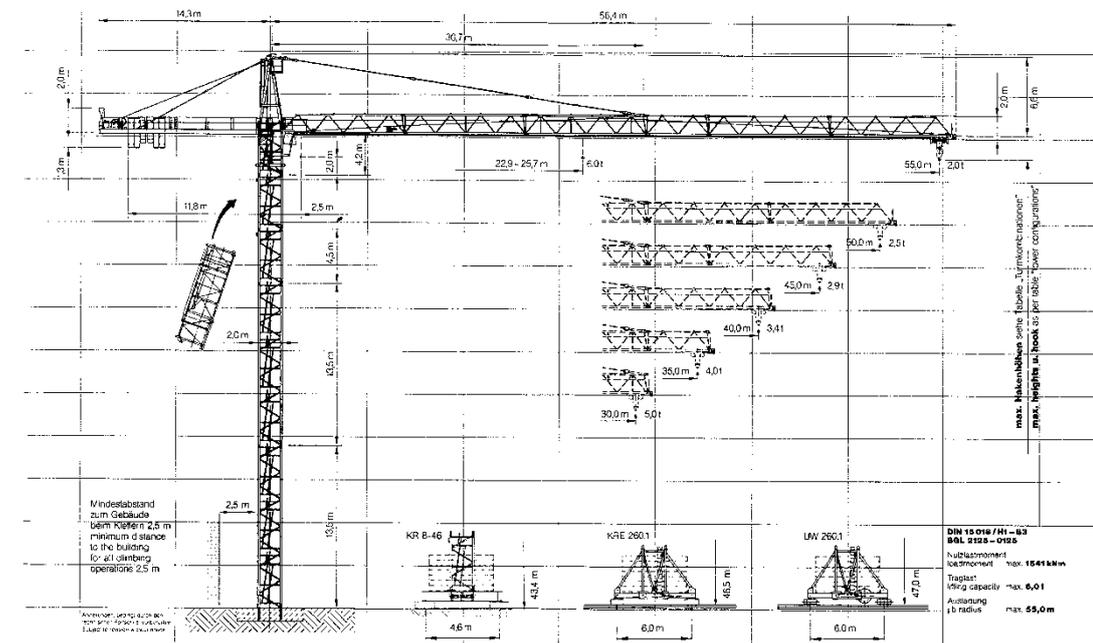


Bild 15-81: Aufbau und Traglasten eines Turmdrehkranes [68]

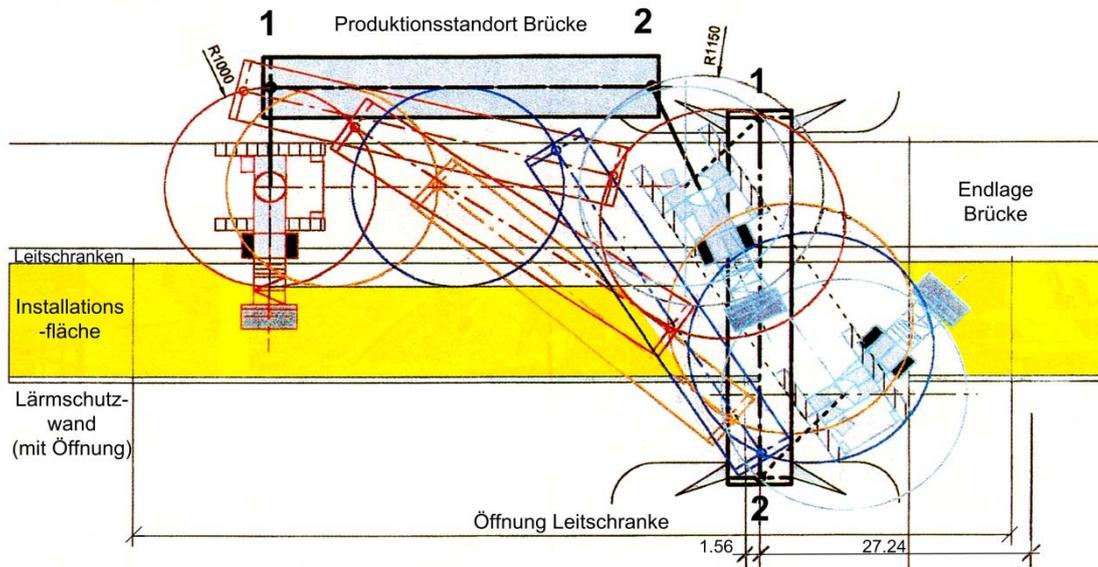


Bild 15-82: Versetzen eines Brückenelementes mit einem Raupenkran im Grundriss

Umsetzung der Transport- und Montagelogistik

Zur koordinierten, zielorientierten Umsetzung der Gesamtlogistik dienen standardisierte, systematisierte Logistik-Checklisten. Diese Logistik-Checklisten wurden am Institut für Bauplanung und Baubetrieb als interne Optimierungsmassnahmen in KMU für den Einsatz von Betonfertigteilen erstellt [39]. Mit der Anwendung der Checklisten wird erreicht, dass bei jedem Projekt standardisiert und systematisch vorgegangen wird und so Routineabläufe entstehen, die eine effiziente und effektive Arbeit ermöglichen. Dadurch werden Fehler vermieden und das vorhandene Wissen auf neue Mitarbeiter übertragen.

Für den internen Gebrauch in KMU wurden die

- Checkliste AVOR – zur generellen, projektspezifischen Vorbereitung der Massnahmen
- Checkliste Polier – zur Kontrolle der Umsetzung der projektspezifischen Massnahmen

entwickelt.

Checkliste AVOR

Die Checkliste AVOR [39] ist eine Zusammenstellung der Informationen über das Projekt mit:

- Projektangaben

Zusammenstellung von Projektangaben mit Projektnamen, interne Nummer, Bauherrn, Planer, Bauleiter, Polier, usw.

- Montageplan

Es wird definiert, wer den Montageplan erstellt. Entweder erstellt ihn das eigene Unternehmen oder der Montageplan wird als Fremdleistung eingekauft. Im Falle einer extern beauftragten Firma soll diese mit einer Ansprechperson genannt werden.

- Montageablauf, Montagezeiten und Termine

Der ganze Bauablauf soll grob konzipiert und terminiert werden. Alle Betonelemente sollen in Gruppen eingeteilt werden. Jeder Elementgruppe soll eine Montagezeit und ein Zeitfenster zugewiesen werden.

- Montage-Inventar

Der Turmdreh- oder Autokran, der speziell für die Betonelemente benötigt wird, soll genauer definiert werden. Der Standort, das angenommene Elementgewicht, die Krangrösse, die Platzverhältnisse und die entsprechenden Kapazitäten sind dabei aufeinander abzustimmen.

- Montageequipe

Es soll entschieden werden, in welcher Form die Montage durchgeführt wird. Entweder stellt das Unternehmen eine eigene Montageequipe, oder die Montage wird in Fremdleistung vergeben.

Montiert das Unternehmen selbstständig, soll der Verantwortliche die entsprechenden Mitarbeiter benennen. Damit soll im Vorfeld überdacht werden, welche Arbeiter Kenntnisse in Bezug auf die Montage von Betonelementen haben.

Wird die Montage vergeben, soll die beauftragte Firma inklusive Kontaktperson genannt werden.

- Montage-Material

Das jeweilige Befestigungs- und Montagmaterial soll bereits vor der Montage definiert und bestellt werden. Weiter soll bei der Montage in Eigenleistung abgeklärt werden, ob die notwendigen Werkzeuge im Baustellenmagazin vorhanden sind.

- Zusatzmaterial

Systembedingtes Zusatzmaterial soll aufgelistet werden, damit der Polier auf der Baustelle diese Liste als Informationsgrundlage benutzen kann.

- Randbedingungen

Für jede Elementgruppe sollen die Auflagerbedingungen und speziellen Anforderungen definiert werden.

- Toleranzvorgaben

Für Fertigteile, Verbindungselemente und den Rohbau müssen kompatible Toleranzen festgelegt werden. Meist ist das Bauteil mit Baustellenfertigung massgebend (grösste Toleranzmasse)

- Verteiler

Im Verteiler müssen alle Personen vermerkt werden, denen die zusammengetragenen Informationen und Überlegungen die spätere Arbeit erleichtert. Dazu gehören mindestens der Polier und der Bauleiter.

Checkliste Polier

Die Checkliste des Poliers ist im Wesentlichen eine Auflistung von auszuführenden Kontrollen. Als Ausgangslage für die Kontrollen dient die Checkliste der AVOR.

- Kontrolle des Vorhandenseins der Checkliste AVOR
- Kontrolle Inventar für die Montage, das heisst Vorhandensein und Kapazität von Baustellen- oder Autokran, usw.
- Kranstandplatzvorbereitung kontrollieren (Last und Nutzung)

- Kontrolle Montageablauf, Montagezeiten und Termine hinsichtlich Projekt-, Termin- und Ablaufänderungen
- Kontrolle Montageequipe. Bestätigung fremder Montageequipe oder Informationen der eigenen Arbeiter über den bevorstehenden Einsatz.
- Kontrolle des Montagematerials. Sind das erforderliche Befestigungsmaterial und das notwendige Werkzeug bereits auf der Baustelle oder muss es noch geordert werden.
- Kontrolle des notwendigen Zusatzmaterials. Als Grundlage dient die Checkliste AVOR. Für den Fall, dass das Material noch nicht vorhanden ist, muss es umgehend angefordert werden.
- Kontrolle der Toleranzen der Rohbaukonstruktion beim Einschalen und nach Betonieren
- Toleranzabweichung sofort ans Fertigteilwerk melden / Korrekturmaßnahmen einleiten
- Kontrolle der Randbedingungen. Für den Fall, dass nicht alle Randbedingungen für die Montage erfüllt sind, müssen diese umgehend in die Wege geleitet werden.

Baustellenbesichtigung am Vortag der Montage

Um sicherzustellen, dass auf der Baustelle ohne Hindernisse montiert werden kann, sollte die Baustelle von einem sachkundigen Mitarbeiter des Montageteams am Tag zuvor besichtigt werden.

Im Falle einer Nichterfüllung der Randbedingungen auf der Baustelle bestehen zwei Möglichkeiten: entweder kann das Defizit bis zum Montagebeginn noch behoben werden oder die Montage wird auf einen späteren Zeitpunkt verschoben.

Mit dieser Maßnahme wird verhindert, dass die Montageequipe auf der Baustelle erscheint und nicht oder nur beschränkt zum Einsatz kommt. Das Risiko einer nicht wertschöpfenden Montagezeit wird verkleinert und somit Kostenerhöhungen verhindert [39].

Arbeitsschutz bei der Fertigteilmontage

Aufgrund des schnellen Baufortschrittes sowie mangelnder Arbeitsvorbereitung und Koordination kommt es im Montagebau immer wieder zu der unzulässigen Situation, dass verschiedene Arbeitsschritte ohne die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen durchgeführt werden. Zu den erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen gehört insbesondere die Absturzsicherung, wobei sowohl die Absturzsicherung ins Gebäudeinnere (Absturzhöhen ca. 3 m) als auch nach aussen (Absturzhöhen bis Gebäudehöhe) sicherzustellen ist.

Folgende Absturzsicherungen sind möglich (Bild 15-83):

- Montage eines 3-teiligen Seitenschutzes
- Bau eines Fanggerüsts
 - Fassadengerüst
 - Konsolgerüst
 - Montage von Netzen
- Auslegergerüst
- persönliche Schutzausrüstung („Anseilen“) – meist jedoch wegen eingeschränktem Arbeitsradius nur bedingt einsetzbar



Bild 15-83: Absturzsicherung im Fertigteilbau [65]

Die Montage und Befestigung der Absturzsicherungen ist schon bei der AVOR mit zu planen. Insbesondere empfehlen sich folgende Lösungen:

- Montage der Absturzsicherung mittels Hubarbeitsbühnen
- Vormontage der Seitenschutzpfosten an Fertigteil- Randelementen vor der Fertigteilmontage
- Vorsehen von Montagehilfen für die Absturzsicherung schon beim Fertigteilentwurf (Bild 15-84)
 - Gewindekronen
 - Hülsen im Fertigteil
- Gestaltung des Montageablaufes so, dass Brüstungselemente der Fassade als Absturzsicherung fungieren

Neben der zimmermannsmässigen Ausführung von Absturzsicherungen gibt es auch Systembauteile am Markt, die bei entsprechender Planung eine rationelle Ausführung der Absturzsicherung ermöglichen.



Bild 15-84: Montagehilfen für Absturzsicherungen im Fertigteilbau [66]

15.7.2 Industrialisierung der Ortbetonbauweise

Das Ziel der Industrialisierung der Ortbeton- Rohbauprozesse ist die Effizienzsteigerung mit einhergehender Vergleichsmässigung der Qualität, Beschleunigung der Abläufe sowie der Kostenminimierung. Exemplarisch werden im Folgenden einige Ansätze gezeigt, wie die Bauproduktion auf der Baustelle mit dem Ziel der Kostenminimierung durch

- Vorproduktion von halb- oder ganz gefertigten Elementen
- Systematische Nutzung standardisierter aber variabler Bauhilfsmaterialien
- Nutzung neuer Materialien, die verschiedene arbeitsintensive Arbeitsgänge eliminieren

ersetzt werden kann. Dabei steht im Vordergrund, die gestalterische Variabilität durch prozess- und produktionstechnische Anpassungsfähigkeit zu industrialisieren und individuelle „Massenproduktion“ sicherzustellen. Diese ist bei dem heutigen Industrialisierungsparadigma „individuelle Massenproduktion“ unumgänglich.

Für eine konsequente Industrialisierung der Bauproduktion sind weitere, wesentliche Investitionen und Innovationen notwendig. Dies erfordert aber als Grundvoraussetzung eine konsequente Interaktion und Integration von Planung, Produktion und Ausführung.

Aufgerollte Bewehrungsteppiche

Anstelle der Verlegung von einzelnen Bewehrungsstäben auf der Baustelle ist es bei flächigen Bauteilen rationeller, vorgefertigte Bewehrungsteppiche auszulegen. Diese Bewehrungsteppiche werden anhand der statischen Bemessung im Werk vorgefertigt. Jeder Bewehrungsteppich besteht aus parallel verlaufenden Bewehrungsstäben, die auf Montagebändern fixiert sind.

Pro Decke sind bis zu vier Teppichlagen erforderlich: jeweils eine obere und untere Lage in x- und y-Richtung, wobei diese Richtungen nicht notwendig senkrecht zueinander verlaufen müssen.

Insgesamt werden zwei Bewehrungspläne erstellt: ein Teppichplan zur Herstellung und ein Verlegeplan für die Baustelle. Im Verlegeplan werden die Positionen der einzelnen Teppiche genau definiert, Startpunkt und die Richtung des Ausrollens auf der Baustelle werden angegeben.

Die Ausdehnungen und das Gewicht der Bewehrungsteppiche werden durch das Handling auf der Baustelle und die Kapazität der entsprechenden Hebezeuge begrenzt. Da Bewehrungsteppiche manuell auf der Baustelle ausgerollt werden, ist das Gewicht von Bewehrungsteppichen auf 1,5 t begrenzt.

Das Verlegen der Teppiche ist denkbar einfach (Bild 15-85). Nachdem der Kran die Teppiche an ihren Startpunkt gehoben hat, können sie von den Arbeitern mühelos ausgerollt werden. So wird die Zeit für den Einbau der Bewehrung bei gleichzeitig hoher Lagegenauigkeit und Ausführungsqualität minimiert [35].

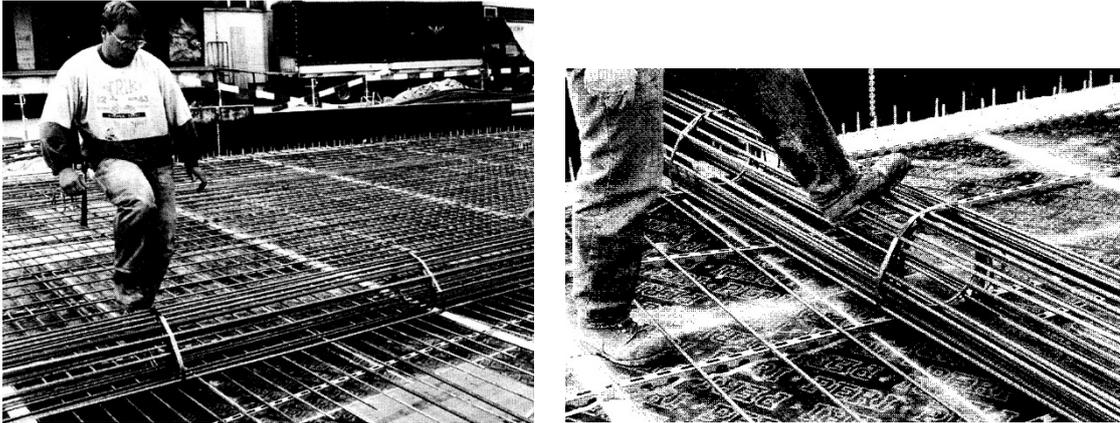


Bild 15-85: Montage der Armierungsteppiche, Montage im Detail [35]

Schalungsverfahren

Abweichend vom Einsatz konventioneller Schalung gibt es Schalungsverfahren, die eine Standardisierung des Herstellungsprozess umfassen. Nach den verfahrensspezifischen Merkmalen unterscheidet man die folgenden wichtigen Schalungsverfahren:

- **Grosstafelschalungsverfahren** zum taktweisen, nacheinander erfolgenden Herstellen von tragenden Wänden und Decken
- **Tunnelschalungsverfahren** zu taktweisen, gleichzeitigen Herstellen von tragenden Wänden und Decken
- **Kletterschalungsverfahren** mit selbstkletternden Plattformen (SCP)
- **Gleitschalungsverfahren** zum kontinuierlichen Herstellen von tragenden Kernzonen und turmartigen Bauten

Bild 15-86 bis Bild 15-89 zeigen die 3 beschriebenen Schalungsarten schematisch.

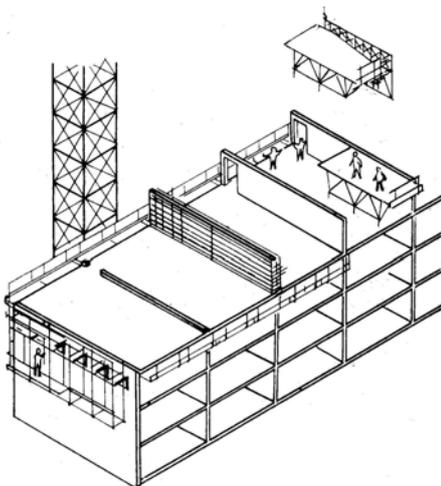


Bild 15-86: Grosstafelschalungsverfahren [4]



Bild 15-87: Im Gleitschalungsverfahren errichtete Treppen/Aufzugskerne [49]



Bild 15-88: Selbstkletternde Schalung [82]

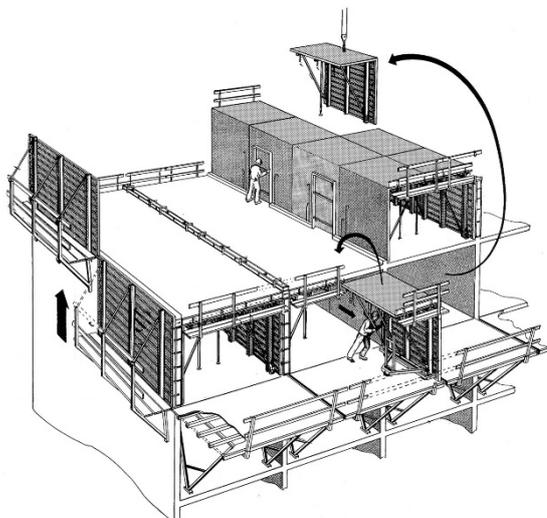


Bild 15-89: Tunnelschalungsverfahren und entsprechende Schalung [1]

SCC-Beton

Self-compacting concrete (SCC) ist eine Weiterentwicklung in Bereich der Biontechnologie. Der SCC ist selbstverdichtend und selbstnivellierend. Die ersten Anwendungen in der Schweiz datieren aus dem Jahr 1998. Die Verwendung von SCC hat folgende Vorteile:

- Problemloser Einbau in komplizierte Schalungsformen sowie bei dichter Bewehrung
- Hohe Einbauleistungen
- Gleichmässigere Betonqualität über den gesamten Betonquerschnitt
- Höhere Betonqualität, die zu geringeren Bauteilabmessungen führen kann
- Verringerte Lärmbelastung
- Verkürzte Bauzeit

Zu den Nachteilen und Risiken zählen:

- Kosten – Höhere Dosierungen von Zement, Zusatzstoffen und Zusatzmittel
- Qualität – Tendenziell grösseres Schwinden

In Japan wurden Empfehlungen zur Mixtur, Herstellung und Anwendung herausgegeben. In der Schweiz müssen die SCC in der Regel den Anforderungen der Normengruppe SIA 162 entsprechen. Die Einsatzgebiete von SCC sind u.a.:

- Brücken
- Industriebauten
- Hochhäuser
- Tunnel
- Vorfabrikation
- Instandsetzungen in Hoch- und Tiefbau

Eine Abschätzung des Marktpotenzials von SCC in der Schweiz ergab etwa 0,65 – 1,65 Mio. m³ bzw. 5 – 15 % des jährlichen Betonverbrauches. Erfahrungen in einem Transportbetonwerk haben gezeigt, dass wenn die Rezepturenentwicklung abgeschlossen ist und die Herstellung von SCC keine Probleme bereitet. Wichtig ist allerdings eine genaue Anlagensteuerung; die Komponenten müssen genau eingewogen und ihr Wassergehalt muss sorgfältig berücksichtigt werden. Für den Transport haben sich Fahr-mischer bewährt. Auf der Baustelle muss unbedingt aufgemischt werden, da SCC sich durch die Vibrationen während der Fahrt entmischen kann [40].

Stahlfaserbeton

Ein bedeutender Anteil der Gesamtkosten bei der Herstellung von Stahlbetonbauteilen resultiert aus der mit dem Einbau der Bewehrung verbundenen Arbeitszeit. Mit der Reduzierung des Zeitaufwandes zum Bewehrungseinbau ist daher eine signifikante Senkung der Gesamtkosten zu realisieren. Neben der Verwendung von vorgefertigten Bewehrungsteppichen ist auch der Einsatz von Stahlfaserbeton eine Möglichkeit, um den Zeitaufwand zum Bewehrungseinbau zu minimieren, z. B. in Verbindung mit Filigranplatten (Halbfertig-Rohbauelementen) als Aufbeton oder bei Kellerwänden in EFH- und MFH-Bau.

Stahlfaserbeton enthält Zuschlagsstoff aus feinen Stahlfasern. Diese Stahlfasern haben im fertigen Betonbauteil im Gegensatz zur konventionellen Bewehrung keine gerichtete Struktur, ermöglichen aber die Aufnahme von Zugkräften. Bei der Verwendung von Stahlfaserbeton kann bei entsprechender Bemessung bzw. bei einfachen Bauteilen der Einbau von konventioneller Bewehrung entfallen. Damit verbunden ist die Reduzierung der Arbeits- und Lohnkosten. Zu beachten ist, dass derzeit die Bemessung von Stahlfaserbeton noch nicht genormt ist und somit bei der Anwendung gesonderte Verwendbarkeitsnachweise zu erbringen sind. Aufgrund dieser Situation wird Stahlfaserbeton heute vorwiegend bei der Herstellung von Fussböden im Industriebau, als Spritzbeton im Tunnelbau oder zur Rissbreitenminimierung eingesetzt bzw. er kommt für Bauteile zur Anwendung, die nur eine konstruktive Rissbewehrung benötigen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Stahlfaserbeton zukünftig eine verstärkte Verwendung finden wird. Schon heute sind Projekte realisiert worden, wo durch den Einsatz von Stahlfaserbeton der Einbau von konventioneller, zusätzlicher Bewehrung entfällt. Das Einsatzspektrum reicht hierbei vom Aufbeton auf Filigrandecken bis zur Herstellung vorgespannter Deckenplatten [56].

Vorfertigung der Bewehrung

Auch die Erstellung der Bewehrung für Fertigteile und für den Einsatz im Ortbetonbau kann automatisiert erfolgen. Auf dem Markt gibt es inzwischen eine grosse Zahl von Bewehrungsmaschinen (Bild 15-90), mit denen die gängigen Bewehrungsformen von Matten bis zu Körben hergestellt werden können. Für stationäre Schalsysteme gibt es ausserdem automatisierte Verlegeeinrichtungen für Matten, Rundstahl und Gitterträger bei Elementdecken.



Bild 15-90: Bewehrungsschweissanlage [77]

15.8 Ausblick

Mit der Industrialisierung und Einführung der Fließbandproduktion in der Automobilindustrie hiess es noch:

„Jeder Kunde kann sein Auto in jeder gewünschten Farbe bekommen, solange diese Farbe schwarz ist.“ Henry Ford (1863-1947)

Nachdem sich heute aufgrund der Vielzahl von Modulen und Ausführungsvarianten jeder Käufer seinen Wunsch-PKW zusammensetzen kann, ist eine ähnliche Entwicklung auch bei der Industrialisierung im Bauwesen zu erwarten. Eine Einheits-Architektur der 60er und 70er Jahre, die heute häufig mit dem industriellen Bauen in Verbindung gebracht wird, ist nicht die Zukunft der Bauindustrie. Vielmehr wird die Industrialisierung im Bauwesen zu einer Rationalisierung der Bauprozesse bei gleichzeitiger Sicherstellung einer individuellen, variablen Gestaltung der einzelnen Bauwerken führen.

Um das in der Industrialisierung im Bauwesen enthaltene Potential nutzbar zu machen, ist mit einer weiteren Entwicklung insbesondere in folgenden Bereichen zu rechnen:

- a) Prozessinteraktion – stärkere Verzahnung der einzelnen Prozesse, erhöhte Interaktion, verstärkte zielorientierte Kommunikation, ganzheitliches Projektmanagement, verstärkte Kundenorientierung
- b) Vorfertigung – Automatisierte Produktionsanteile in der Bauwirtschaft erhöhen
- c) Baustellenroboter – effizientere Durchführung verbleibender Baustellenarbeit

Prozessinteraktion

Soll das bisher ungenutzte Potential im Interesse des Kunden nutzbar gemacht werden, bedarf es einer verstärkten Abstimmung und Kommunikation zwischen Planern, Unternehmen und Herstellern von Fertigteilen. Zu klären sind z. B. folgende Schnittstellenproblematiken:

- Einheitliches Projektmanagement
- Ganzheitliches Denken und Planen
- Marketing und Kundenbetreuung
- Definition und Vereinbarung von einheitlichen Standards

Ein möglicher Planungs- und Produktionsablauf bei einem Betonelementeinsatz unter Beibehaltung der heutigen traditionellen Projektabwicklungsformen ist in Bild 15-91 dargestellt. Dies ist jedoch nicht ausreichend, sondern nur ein Versuch, suboptimale Prozessphasen zu verbessern. Generell ist ein Paradigmenwechsel bei neuen integrativen, interaktiven sowie ausführungs- und produktionsorientierten Bauprozessen notwendig.

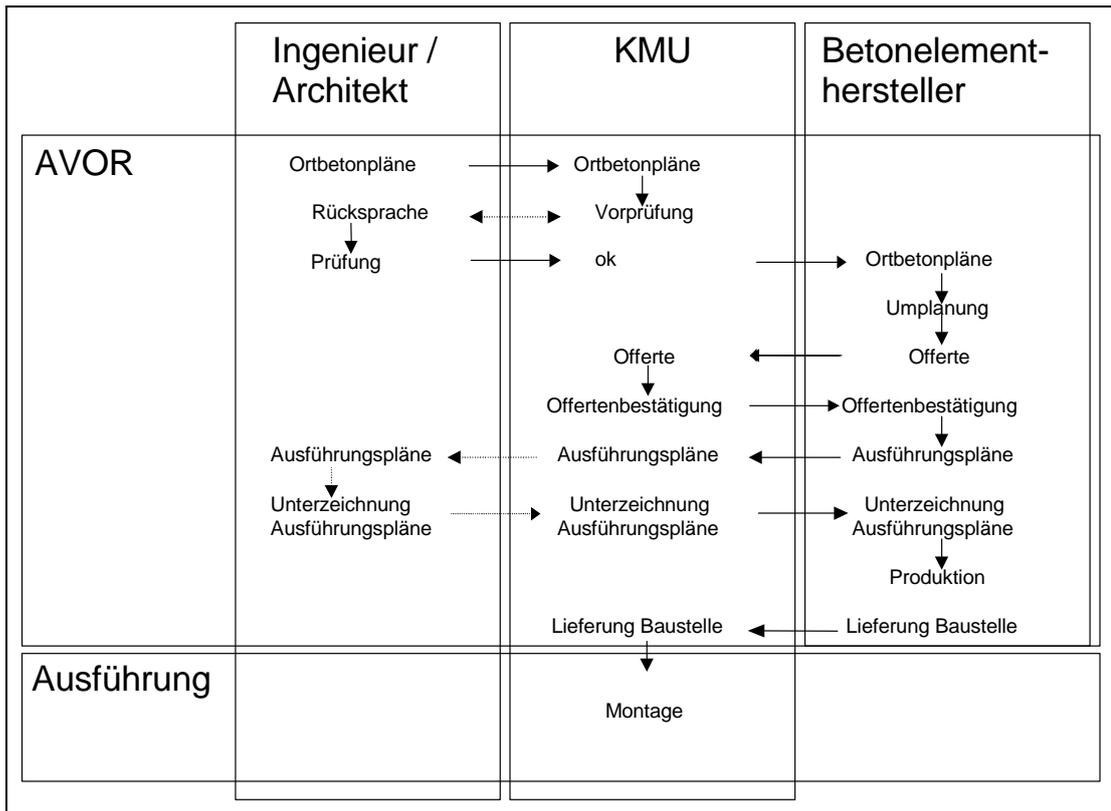


Bild 15-91: Planungs- und Produktionsablauf bei einem Betonfertigteileinsatz gemäss traditioneller Projektabwicklungsformen

Vorfertigungsgrad erhöhen

Ein Grossteil der Kosten bei der Herstellung von Betonbauteilen entfällt auf die Schalungskosten. Es rentiert sich daher, schalungsintensive Bauteile sowie häufig verwendete Bauteile vorzufertigen. In der Vorfertigung ist es möglich, den Schalungseinsatz zu optimieren und so Kosten zu sparen.

Schwerpunkt der Entwicklung automatisierter Schalungssysteme in der Vorfertigung sind die sogenannten Schalungsroboter (Bild 15-92, Bild 15-93). Hierbei handelt es sich um Geräte, die automatisiert auf der Schalfläche Haftmagneten und Abschaltungsbauteile montieren. Der Einsatz erfolgt hauptsächlich bei der Herstellung von Wand- und Deckenelementen (vgl. Abschnitt 15.4.4).

Ergänzt wird diese Anlage durch ein Plotter- oder Laserprojektionssystem, das als optische Kontrolle und für manuelle Ergänzungen, z. B. von der Lage von Einbau-/ Einlegeteilen, die Geometrie des Bauteils und der Elemente auf der Schalfläche aufzeichnet (Bild 15-94).

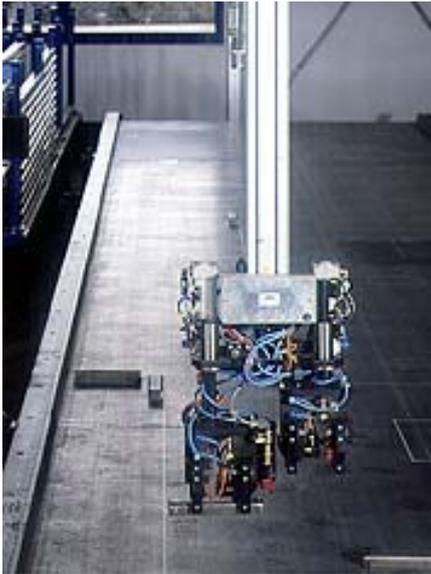


Bild 15-92: Schalungsroboter [79]

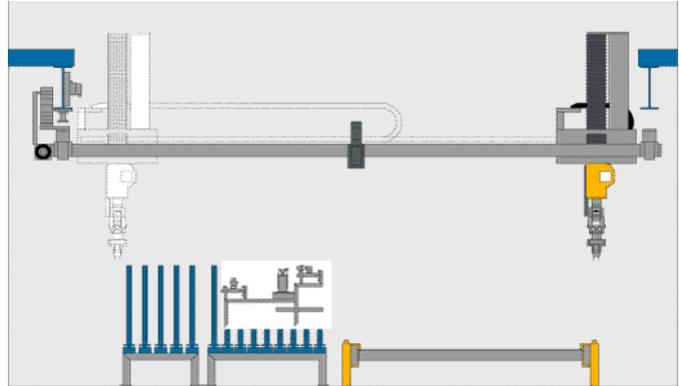


Bild 15-93: Systemskizze [79]

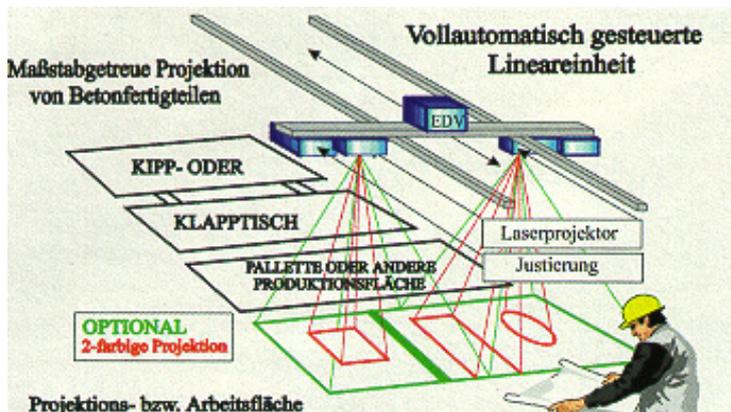


Bild 15-94: Laserprojektionsanlage [79]

Auch Nebenarbeiten wie das Ölen der Schalung erfolgen durch automatisierte Spritzeinrichtungen, ebenso wie das Reinigen der Flächen mit Bürsten- und Schleifköpfen.

Schon heute ist es möglich, nicht nur Fertigteile aus Beton oder Holz herzustellen, sondern auch **Mauerwerk** mittels Robotern auf der Baustelle anzufertigen (Bild 15-95). Meist werden jedoch Mauerwerksroboter in Fertigteilwerken zur Herstellung transportabler Wandscheiben eingesetzt [51]. Kombiniert mit der entsprechenden Planungs- und Steuerungssoftware ist die individuelle Gestaltung und Formgebung von Mauerwerksscheiben sogar als Einzelstück ohne zusätzliche Kosten möglich, da die im Betonbau notwendigen Schalungsarbeiten entfallen. In Bild 15-95 sind solche Wandelemente dargestellt, in Bild 15-96 sind die Maschinen zur Herstellung und für den Transport der Wandelemente abgebildet.

Die Wandtafeln werden auf Wunsch mit Putz, Fliesen, Türen, Fenstern sowie Leerrohren für die Elektroverkabelung auf die Baustelle geliefert. Dort erfolgt dann die Montage zu kompletten Häusern. Die Vorfertigung von Mauerwerkswänden mit kleinformatigen Mauerwerksteinen ist insbesondere dort sinnvoll, wo die Steinflächen sichtbar bleiben sollen (Fassadenelemente).



Bild 15-95: Mauerwerksroboter für den Einsatz auf der Baustelle [10]



Bild 15-96: Vorgefertigte Wandscheiben aus Mauerwerk [83]



Bild 15-97: Herstellung und Transport von Mauerwerks-Elementen [83]

In Japan ist die Entwicklung in der Vorfertigungsbranche noch weiter vorangeschritten [52]. Bei der Firma **TOYOTA HOME** können sich die Kunden ihr Wunschhaus aus mehr als 350.000 Einzelteilen am Computer zusammenstellen und das Gebäude vorab virtuell begehen (Bild 15-98). Nach Unterzeichnung des Kaufvertrages erfolgt die Fertigung des Gebäudes im 4-Tages-Takt: ein Tag ist für die Auftragsbearbeitung, zwei Tage für die Vorfertigung im Werk und ein Tag für die Auslieferung vorgesehen. Die Auslieferung erfolgt in mehreren, mit der entsprechenden Haustechnik versehenen Raummodulen; der Aufbau des Gebäudes dauert nur 4 bis 6 Stunden. Je nach Gebäude erhält der Kunde eine Garantie von 10 bis 20 Jahren auf das Gebäude. Die ausgeprägte Kundenorientierung sowie die Verknüpfung von Marketing und industrieller Fertigung haben dafür gesorgt, dass der Hersteller auf dem Eigenheimmarkt in Japan inzwischen beträchtliche Marktanteile besitzt. Analog dieser Entwicklung ist zu erwarten, dass sich auch im europäischen Raum der Grad der Vorfertigung am Bau erhöhen wird.



Bild 15-98: Eine Variante des Toyota Home's [57]

Baustellenroboter – Effizientere Baustellenarbeit

Aufgrund des ortsgebundenen Charakters von Immobilien wird stets ein gewisser Anteil von Arbeiten auf der Baustelle verbleiben und sich nicht in Werke der Vorfertigung verlegen lassen. Die Trennung zwischen potentieller Vorfertigung und Baustellenprozessen liegt in der Schnittstelle Gründung – Hochbau (Bild 15-99).

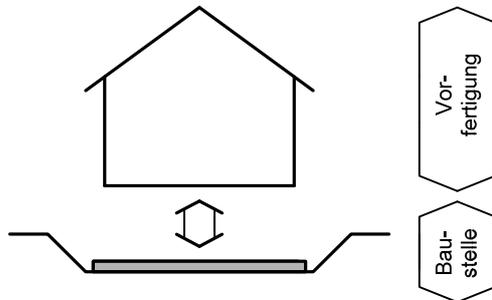


Bild 15-99: Interaktion Gründung -Hochbau

Auf der Baustelle sind viele Tätigkeiten auszuführen, die arbeitsaufwändig, gesundheitsschädlich oder gefährlich sind. Es liegt nahe, diese Arbeiten durch Maschinen oder Roboter selbsttätig ausführen zu lassen.

Die Arbeitsbedingungen auf Baustellen bieten jedoch per se keine günstigen Voraussetzungen für die Anwendung automatisierter und damit technisch aufwendiger und möglicherweise empfindlicher Fertigungsverfahren. Bei der Baustellenfertigung sind die Geräte permanent äusseren Einflüssen wie Wetterbedingungen, Schmutz, Staub und Erschütterungen ausgesetzt. Hinzu kommt, dass die Geräte selbst mobil sein müssen, also ein hochentwickeltes und exaktes Navigationssystem benötigen, das mit der Navigation innerhalb des eigentlichen Arbeitsbereichs koordiniert sein muss. Daraus resultiert ein erheblich grösserer Steuerungsaufwand als bei stationären Geräten.

Auch die Logistik und die Einsatzbedingungen müssen diesen speziellen Anforderungen angepasst werden. So sind ausreichend freie Flächen innerhalb des Bauwerks zur Verfügung zu stellen, die Materialbeschickung hat in exakt definierter Weise zu erfolgen und für die Planung des Bauwerks wird eine bisher nicht benötigte Exaktheit gefordert.

Bisher wurden für den Einsatz in der Bauproduktion Roboter für folgende Anwendungen entwickelt:

Tabelle 15-5: Serviceroboter für Bauanwendungen [81]

Einsatzbereich	Kurzbeschreibung	Land
Hochbau	Rechnergesteuerter stationärer Betonverteiler	Deutschland Japan
	Roboter zum Nivellieren und Verdichten von Beton	Japan Schweden
	Autonome Systeme zum Glätten von Betonflächen	Japan
	Autonome Systeme zum Armieren von Betonflächen	Japan
	Mauerroboter	Deutschland Grossbritannien
	Automatisierte Bausysteme für den Hochbau	Japan
Ausbau	Autonomer Materialtransport innerhalb von Baustellen	Japan
	Roboter zum Verlegen von Fliesen in Innenräumen und an Fassaden	Finnland Israel Japan
	Handhabungssystem zum Anbringen von Deckenverkleidungen	Japan
	Teilautomatisiertes Handhabungssystem zum Aufsprühen eines feuerhemmenden Anstrichs	Japan
	Roboter für den Aussenanstrich	Japan

Ein wichtiger Faktor für den wirtschaftlichen Einsatz von Robotern ist die Qualität der Planung. Ein automatisiertes System erfordert eine Exaktheit der Planung, die in der konventionellen Bauproduktion aufgrund der Improvisationsmöglichkeiten vor Ort nicht erforderlich war. Sollen Roboter eingesetzt werden, ist sowohl für die Steuerung des Arbeitsablaufs, als auch für die Aufbereitung des Materials eine detaillierte Vorplanung der Prozesse nötig, vergleichbar der Planung im Maschinenbau.

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich aus der Steuerung der Geräte. Problematisch ist hier insbesondere eine im Planungs- und Herstellungsprozess nicht durchgängige Datenstruktur, d.h. die mangelnde Kompatibilität von Programmen und Datenformaten.

Roboter und automatisierte Geräte für den Baustelleneinsatz

Es gibt bereits im **Betonbau** mechanisierte Arbeitsgänge bei speziellen Anwendungen. So haben einige japanische Unternehmungen die Automatisierung von Geräten für den Betonbau soweit vorangetrieben, dass sie unter Baustellenbedingungen einsetzbar sind.



Bild 15-100: Betonverteiler [76]

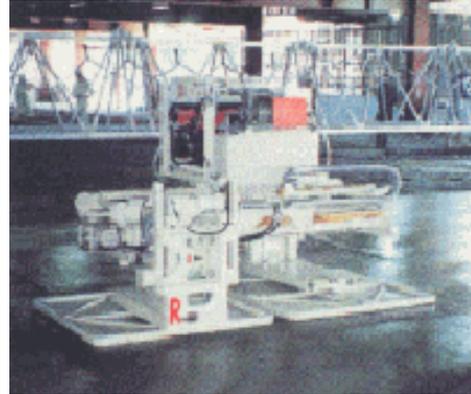


Bild 15-101: Oberflächenbehandlung und Wasserabsaugung [76]

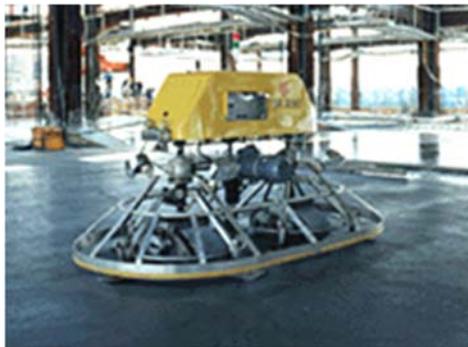


Bild 15-102: Flächenglätter [76]

Es handelt sich hierbei um konventionelle Geräte (Betonverteiler, Oberflächenbehandlung und Flächenglätter), die mit automatisierten Steuerungen und Navigationssystemen versehen sind. Die Anwendung setzt jedoch grosse Flächen und gleichförmige Arbeitsgänge voraus, wie auch auf Bild 15-100, Bild 15-101 und Bild 15-102 zu erkennen ist. Die Geräte sind jedoch noch nicht auf die im konventionellen Wohnungsbau vorhandenen kleinteiligen Strukturen der Bauwerke optimiert.

Weiterhin sind Geräte zur Erhöhung des Mechanisierungsgrades für den **Mauerwerksbau** entwickelt worden. Es handelt sich hierbei um Versetzgeräte für grossformatige Steine und Geräte zur Mörtelverteilung. Diese Geräte arbeiten nicht autark oder vollautomatisiert, sondern werden manuell gesteuert. Einen Effizienzvorteil gegenüber manueller Herstellung bieten diese Geräte in Verbindung mit grossformatigen Steinen, deren Einsatz die Leistung am Bau erhöht, die jedoch aufgrund ihrer Steingrösse nicht manuell vermauert werden können.



Bild 15-103: Versetzgeräte [78]

In Verbindung mit dem Einsatz grossformatiger Steine und entsprechend geschultem Personal können diese Geräte Rationalisierungseffekte bis zu 40 % erzielen [78].

Weiterhin werden heute

- Reparaturarbeiten an Strassen durch automatisierte und ferngesteuerte Fertiger ausgeführt [53];
- automatisierte Walzen steuern die Verdichtung von Böden
- GPS-gesteuerte Planiertrauen, Scraper und Grader erstellen Dämme und Einschnitte
- ferngesteuerte Roboter reparieren Kanäle
- automatisierte Spritzbetonroboter betonieren Spritzbetonschalen in Tunneln
- Bohrjumbos bohren automatisch Sprenglöcher in die Ortsbrust
- Maschinen und Roboter übernehmen schwere bzw. gesundheitsgefährdende Arbeiten im Innenausbau [54].

Es ist davon auszugehen, dass im Zuge der Industrialisierung verstärkt arbeitsaufwändige, gesundheitsschädliche oder gefährliche Tätigkeiten durch Maschinen/ Roboter übernommen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Warszawski, A.: Industrialization and automated Building Systems. E&FN Spon, London, 1999
- [2] Kotulla, B.; Urlaub-Clever, B.-P.: Industrielles Bauen, Bd. 1 Grundlagen. Expert-Verlag, Ehningen 1992
- [3] Kotulla, B.; Urlaub-Clever, B.-P.: Industrielles Bauen, Bd. 2 Fertigteile. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim 1994
- [4] Weller, K.: Industrielles Bauen 1, Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. Kohlhammer, Stuttgart 1985
- [5] Weller, K.: Industrielles Bauen 2, Industrielle Fertigung und Anwendung von Montagebauweisen aus Stahlbeton, Stahl, Holz und Entwicklung zum umweltbewussten Bauen. Kohlhammer, Stuttgart 1989
- [6] Steinle, A.: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau. Ernst & Sohn, Berlin 1998
- [7] Drosse, S.: Elementdecken für Wohnhäuser: Stahlfaserbeton ersetzt Bewehrungsarbeiten am Bau. Vortrag zur Fachveranstaltung Fertigelemente im Hochbau: Herausforderung und Bauausführung. TFB, Wildegg 10.05.2000
- [8] Hoffmann, E.: Industrielles Bauen – Neue Wege für innovative KMU. ETH Zürich, 1999
- [9] Girmscheid, G.; Bärthel, J.: Industrielles Bauen – auch im individuellen Wohnungsbau?, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich, Juni 2001
- [10] Bärthel, J., Girmscheid, G.: Industrielles Bauen. Leitfaden für KMU-Geschäftsführer. vdf Hochschulverlag ETH Zürich, 2002
- [11] Girmscheid, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement: Prozess-orientiertes integriertes Management für Unternehmen in der Bauwirtschaft. Springer-Verlag, Berlin, 2006
- [12] Girmscheid, G.: Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2000
- [13] Girmscheid, G.: Angebots- und Auftragsmanagement im Baubetrieb. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2004
- [14] Martin, L.; Schaiter, B.; Girmscheid, G.: Leistungspotentiale automatisierter Schalungsplattformen. ETH-Eigenverlag, Zürich, 2003
- [15] Girmscheid, G.: Industrialisation in Building Construction – Production technology or management concept? In Proceedings: 11th Joint CIB Int'l Symposium "Combining Forces", Helsinki, 2005
- [16] Girmscheid, G.: Industrialisation processes in Swiss SME`s. In Proceedings: International Conference On Adaptable Building Structures, Eindhoven, The Netherlands, 2006
- [17] Girmscheid, G.: Kapitel "Schrägseilbrücken" und Kapitel "Segmentbauweise". In: Brücken – Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten (Hrsg. G. Mehlhorn). Springer Verlag, 2006
- [18] Girmscheid, G.: Spannbeton-Hochstrasse in Bangkok – Planung und Ausführung. In: Beton- und Stahlbetonbau, Verlag Ernst & Sohn, Juni 1993

- [19] Girmscheid, G.; Terjung, M.: IMO-River Bridge, Einzelliger Spannbetondurchlaufträger, hergestellt mit einem Vorschubgerüst. In: Bautechnik, Verlag Ernst & Sohn, August 2003
- [20] Hofmann, E.: Planungsprozesse komplexer Hochbauprojekte - Krankenhausbau - . In: Bauingenieur, Springer Verlag, Heft 02, 2005
- [21] Hofmann, E.: Ausführungsprozesse komplexer Hochbauprojekte - Krankenhausbau - . In: Bauingenieur, Springer Verlag, Heft 03, 2005
- [22] Moser, S. B. : Vollautomatisierung der Spritzbetonapplikation – Entwicklung der Applikations-Prozesssteuerung. Dissertation an der ETH-Zürich, 2004
- [23] Boenert, L.; Blömeke, M.: Logistikkonzepte im Schlüsselfertigbau zur Erhöhung der Kostenführerschaft. In: *Bauingenieur*, Heft 06, 2003
- [24] Brandstetter, K.: Haben wir die richtige Massordnung für das Bauen mit Fertigteilen? Vortragsveröffentlichungen aus dem Haus der Technik, Nr. 348, Vulkan-Verlag, Essen
- [25] Porter, M.: Wettbewerbsstrategie, Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. Campus-Verlag, Frankfurt (Main), 1999
- [26] Koncz, T.: Bauen industrialisiert., Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin
- [27] Frenzel, D.: Einige Kriterien für die Planung bei der Auswahl von Skelettsystemen aus Stahlbetonfertigteilen., Fertigteiltbau und industrialisiertes Bauen, F+I-Bau 8 (1973)
- [28] Lewicki, B.: Hochbauten aus grossformatigen Fertigteilen. Verlag Franz Deutige, Wien, 1967
- [29] Hampe, K.-H. ; Gajewski, K.-H.: Konstruktion und baubetriebliche Ausführung der Fugen und Verbindungen für Wand- und Deckenelemente im Montagebau, Berichte aus der Bauforschung, Heft 96, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn
- [30] Huth, S.: Bauen mit Raumzellen, 1975, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin
- [31] Frenzel, G.: Einige grundsätzliche Überlegungen für weitgespannte Konstruktionen aus Fertigteilen, Betonwerk und Fertigteilttechnik 40 (1974), Heft 9
- [32] Schmitz-Riol, E.: Baukonstruktive Innovationen für den Geschosswohnungsbau unter nachhaltigen Kriterien, Dissertation an der Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, 1999
- [33] Swiss Beton: Handbuch für die Planung und Entwurf von Betonfertigteiltbauten. Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, 2004
- [34] Andrea Frangi: Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken. Diss. ETH Zürich, 2001; Birkhäuser Verlag, 2001
<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=incoll&nr=771> (30.03.2006)
- [35] SFS Locher: Prospekt: Bausysteme
- [36] Flumroc: Prospekt: "Estra" Die Estrichboden-Dämmung, Flumroc AG, Flums
- [37] Bergmeister, K.: Konstruieren mit Fertigteilen. In: Betonkalender 2005
- [38] Abdallah, Ahmed Abdelhamid: Betriebswirtschaftliche Optimierung für den Betonfertigteiltbau in der modernen Architektur. Dissertation an der TU Wien, Institut für Hochbau und Entwerfen, Fakultät für Raumplanung und Architektur, Wien, 1996
- [39] Wicki, K.: Effizienzsteigerung in KMU durch Optimierung des Einsatzes von Betonfertigteilen. Diplomarbeit am IBB der ETH Zürich 2001 (CH)
- [40] Jacobs, F; Hermann, K.: Das „Cementbulletin“, Januar 2000: Self-compacting concrete; Hrsg: TFB, Wildegg

- [41] Vollert Anlagenbau: Prospekt: Vollert aktuell, Automatisierte Decken- und Wandfertigung, April 1992; Hrsg: Vollert GmbH + Co KG, Maschinenfabrik
- [42] Weckenmann: Prospekt: WeckenmannAnlagentechnik GmbH (D)
- [43] Firmenprospekt der Peikko Deutschland GmbH:
http://www.peikko.de/software/pdf/P_PPM-HPM_Ankerbolzen_1005.pdf
(30.03.2006)
- [44] Hellweg Badsysteme: <http://www.hellweg-badsysteme.de/de/produktionsablauf.php?s=6> (30.03.2006)
- [45] Pfaff Fertigaragen AG: <http://www.fertigaragen.ch> (30.03.2006)
- [46] HIEBER Betonfertigteilewerk GmbH: Produktunterlagen:
http://www.hieber-beton.de/produkte/download/52_Treppen_gewendelt.pdf
(30.03.2006)
- [47] Produktinformation Max Boegl: <http://www.max-boegl.de/boegldip/web/ifsbinary.jsp?fsId=353490&disposition=inline> (30.03.2006)
- [48] Lösch Systembauteile GmbH: <http://www.loesch-beton.de> (30.03.2006)
- [49] Gleitbau GmbH: http://www.gleitbau.com/images/product/telekom_1_m.jpg
(30.03.2006)
- [50] Draheim Ingenieure Planungsgesellschaft mbH: <http://www.draheim.com/bilder/verbunddecke.jpg> (30.03.2006)
- [51] Ainedter Robotersysteme GmbH: <http://www.aiatech.com/html/roboer.html>
(30.03.2006)
- [52] Bock, Thomas: Technologiefusion als Innovationstriebkraft in der japanischen Bauwirtschaft. In: Japan Analysen Prognosen Nr. 167 vom Mai 2000, Japan-Zentrum der Ludwig-Maximilians-Universität, München
- [53] Advanced Highway Maintenance and Construction Technology Center:
<http://www.ahmct.ucdavis.edu/index.htm?pg=CrackSealing> (30.03.2006)
- [54] Bayerische Forschungsstiftung : http://www.forschungsstiftung.de/download/geofoerderte_projekte/Lindner_Automatisierung.pdf (30.03.2006)
- [55] Halfen-Deha Vertriebsgesellschaft bH: Produktinfo B-P 04 Halfenschienenen.
http://www.halfen.de/d/22_696/de/media/catalogues/fixingsystems/b-p-d.pdf
(02.05.2006)
- [56] Grad, J.; Grad, Th.; Kassner, U.: Vorspannung ohne Verbund und Flachdecken aus Stahlfaserbeton. In: Beton- und Stahlbetonbau 101, Heft 02/2006
- [57] Toyota home: http://www.toyotahome.co.jp/home/since_raison/top.html
(03.05.2006)
- [58] Longin Holzbau: <http://www.longin.at/produkte/a.gif>
- [59] Beedle, L. S.: Second Century of the Skyscraper. Council on Tall Buildings an Urban Habitat, Van Norstrand Reinhold Company, New York, 1998
- [60] August Bammer: <http://atriumhaus.at/2004/fertigteil-bautechnik.htm> (01.06.2006)
- [61] Liebherr: Firmenunterlagen Raupenkrane
www.liebherr.com/downloads/LR_Fotomappe.pdf (08.05.2006)
- [62] Rosignoli, M.: Bridge Launching. Thomas Telford Limited, USA, 2002
- [63] Donges Stahlbau GmbH :
http://www.donges.de/produktgruppen/bruecken/strassenbruecken/10906_FLUEGE_LWEG_EINSCHW_B405.jpg (10.05.2006)

- [64] Stuessi AG: <http://www.stuessi-ag.ch/produkte2.htm> (30.05.2006)
- [65] Combisafe Deutschland GmbH: <http://www.combisafe.com/deu/index.asp> (19.05.2006)
- [66] Leisering, H.: Schutzmassnahmen gegen Absturzgefährdungen im Fertigteilbau. In: Tiefbau 05/2006
- [67] Ceresola Tunnelbautechnik AG: Technische Unterlagen. Magden (CH), 1997
- [68] Heuer, H.; Gubany, J.; Hinrichsen, G.: Baumaschinen-Taschenbuch – Ratgeber für die Baupraxis. Bauverlag, 1994
- [69] Holzbau Weizenegger GmbH: <http://www.holzbau-weizenegger.de/> (02.06.2006)
- [70] Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.: <http://www.brettschichtholz.de/> (02.06.2006)
- [71] Informationsdienst Holz: Holzbausysteme. Holzbau Handbuch Reihe 1 Teil 1 Folge 4, 12/2000
- [72] Leimholz Haag AG: www.leimholz.ch (02.06.2006)
- [73] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 18202, Oktober 2005
- [74] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 18203-1, April 1997
- [75] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: SIA 414
- [76] Takenaka Corp.: <http://www.takenaka.co.jp>, 08.06.2006
- [77] Betonwerk + Fertigteiltechnik, Ausgabe 3/99
- [78] Bilfinger+ Berger AG: Rationalisierungsmöglichkeiten im Mauerwerksbau, Mannheim, 1998
- [79] Weckenmann Schalungssysteme GmbH, <http://www.weckenmann.de> (April 1999)
- [80] Betonwerk + Fertigteiltechnik, Ausgabe 10/98
- [81] Schraft, R., Volz, H.: Serviceroboter, Springer Verlag, Berlin, 1996
- [82] DOKA Schalungstechnik GmbH, Maisach, Produktinformation
- [83] Vollert GmbH + Co. KG Anlagenbau: www.vollert.de (15.06.2006)
- [84] Weckenmann Anlagentechnik GmbH+Co.KG: www.weckenmann.de (15.06.2006)

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 16: Bauproduktionsprozess – Bereitstellungs-, Arbeitsablaufplanung und Controlling

Inhaltsverzeichnis

16 Bauproduktionsprozess – Bereitstellungs-, Arbeitsablaufplanung und Controlling.....	823
16.1 Einleitung	823
16.2 Bereitstellungsplanung	824
16.3 Ablaufplanung	826
16.4 Zielüberwachung durch das Baustellencontrolling	829
Literaturverzeichnis	833

16 Bauproduktionsprozess – Bereitstellungs-, Arbeitsablaufplanung und Controlling

16.1 Einleitung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Entscheidungskriterien und deren Zusammenhänge vorgestellt, die zur Auswahl eines bestimmten Bauverfahrens für eine Aufgabe im Bauproduktionsprozess führen. Im Folgenden soll dargestellt werden, dass die Bauverfahrensauswahl kein singulärer Prozess ist, sondern dass eine iterative Einbettung in den Bauproduktionsprozess erforderlich ist. Erst das Ergebnis dieses iterativen Integrationsprozesses der Bauverfahren in den Bauproduktionsprozess liefert ein konkurrenzfähiges Bauprodukt, das die Anforderungen des Kunden hinsichtlich technischer Problemlösung, Kosten, Termine und Nachhaltigkeit optimal erfüllt (Bild 16-1).

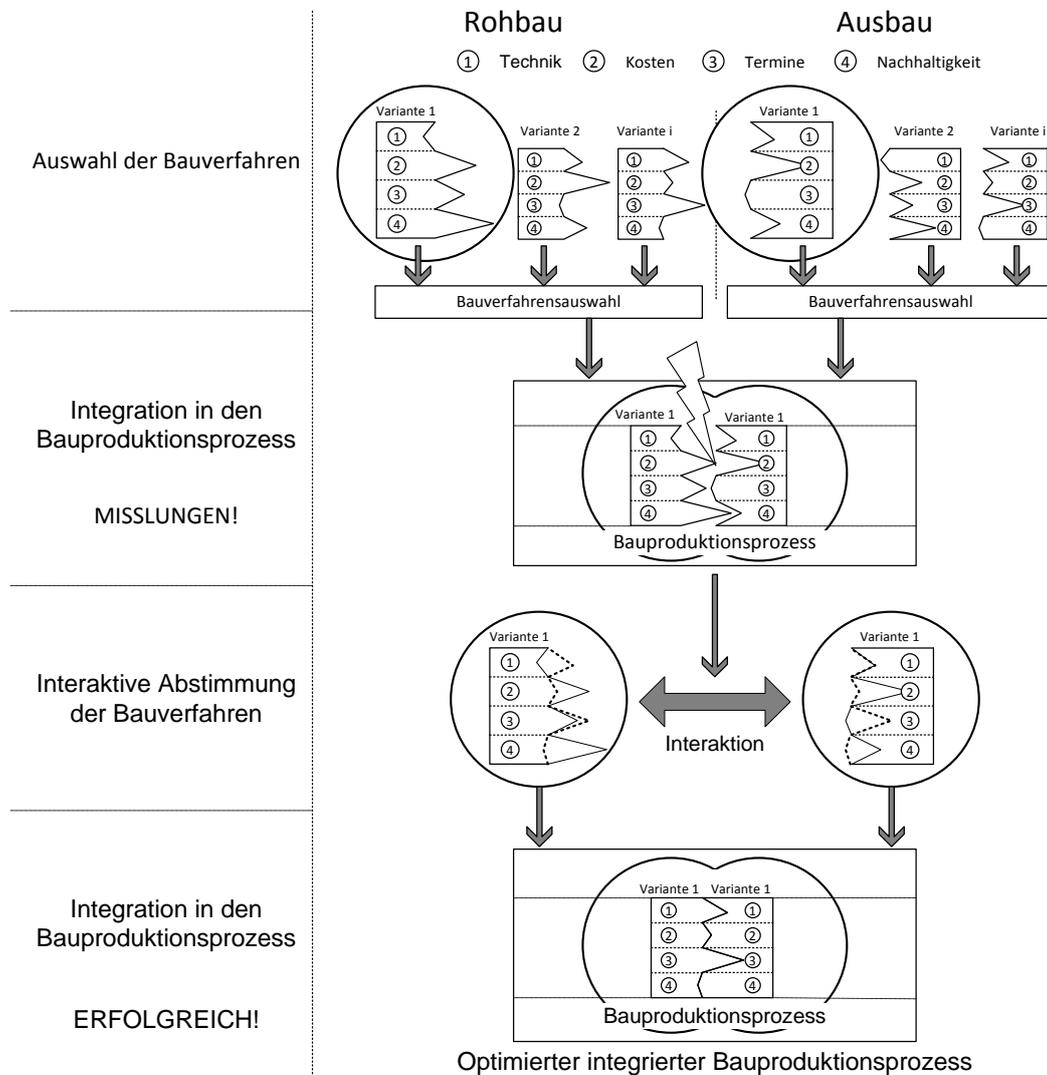


Bild 16-1: Optimierter Bauproduktionsprozesses durch iterative, interaktive Modifizierung der Bauverfahren

Aus der Besonderheit des Bauproduktionsprozesses im Gegensatz zu den Produktionsprozessen der Güterindustrie ergibt sich, da es sich bei den Produkten der Bauindustrie in der Regel um Unikate handelt, dass sich der iterative Integrationsprozess über die Planungsphase hinaus in die Ausführungsphase erstreckt. In der Planungsphase ist diese Integration Teil der **Bereitstellungs-** sowie der **Arbeitsablaufplanung**. Im Rahmen des **Baustellencontrollings** werden während der Ausführungsphase die Abläufe der Bauverfahren unter Berücksichtigung gesetzter Ziele und Anforderungen sowie erzielter (Zwischen-)Ergebnisse optimiert.

16.2 Bereitstellungsplanung

Die Bereitstellungsplanung ermittelt die für die Realisierung der Bauaufgabe erforderlichen Produktionsfaktoren (Ressourcen)

- Materialien,
- Inventar und
- Personal

und weist diese den entsprechenden Prozessen zu.

Dabei sind drei wesentliche Prämissen zu erfüllen:

1. Personal und Inventar sind so zu planen, dass sie möglichst kontinuierlich über die Dauer des Bauproduktionsprozesses ausgelastet sind. Warte- oder Stillstandszeiten sind zu vermeiden.
2. Spitzen in der Konzentration der Ressourcen sind zu vermeiden, um eine gleichmäßige Auslastung der Baustelleninfrastruktur über die Dauer des Bauproduktionsprozesses sicherzustellen.
3. Materialien sind nach dem just-in-time-Prinzip zur richtigen Zeit in der erforderlichen Menge an den Einbauort zu liefern, um Lagerhaltung auf der Baustelle zu minimieren, nicht Transportkapazitäten innerhalb der Baustelle unnötig zu binden und die Gewerkegruppen optimal auszulasten.

Aus der Höhe des für den Bauproduktionsprozess benötigten personellen Aufwandes, den terminlichen sowie wirtschaftlichen Randbedingungen, ergibt sich die auf der Baustelle notwendige **Personalstärke**. Die Bereitstellungsplanung sorgt dafür, dass der Bedarf an Arbeitskräften durch Mitarbeiter des Unternehmens, Leiharbeiter entsprechender Dienstleistungs- oder Subunternehmen gedeckt ist.

Bild 16-2 zeigt eine mögliche Art der Aufteilung der Arbeitszeiten auf einer Baustelle. Die Qualifizierung der Arbeitszeit erfolgt dabei in Anlehnung an das Prozessmodell der Leistungserstellung bei der Projektabwicklung (s.a. Kapitel 1).

Die der Baustelle zur Verfügung stehende Arbeitszeit lässt sich in die dem Leistungserstellungsprozess zuordbare wertschöpfende Arbeitszeit und die nicht-wertschöpfende Arbeitszeit differenzieren. Im Zuge der iterativen, interaktiven Optimierung der Bauverfahren zum Leistungserstellungsprozess wird für diese Arbeitszeit ein Höchstmass an Effizienz erreicht. Die nicht-wertschöpfende Arbeitszeit muss zur Optimierung weiter differenziert werden in die Arbeitszeit zur Führung des Leistungserstellungsprozesses, die Arbeitszeit für Supportprozesse, reine Verlustzeiten und die gesetzlich vorgeschriebenen Ausfallzeiten. Während die gesetzlich vorgeschriebenen Ausfallzeiten von der Planung nicht beeinflussbar sind, sind die Arbeitszeit zur Führung des Leistungserstellungsprozesses, die Arbeitszeit für Supportprozesse und die

reinen Verlustzeiten steuer- und damit optimierbar. Arbeitszeiten zur Führung des Leistungserstellungsprozesses sind im Nutzen-Aufwand-Verhältnis zu optimieren und die Führungsinstrumente regelmässig daraufhin zu überprüfen, ob sie direkt positiven Einfluss auf die Effizienz des Leistungserstellungsprozess haben. Das Gleiche gilt für die Arbeitszeit, in der Supportprozesse abgearbeitet werden. Reine Verlustzeit sind durch die Planungs- und Führungsprozesse zu eliminieren.

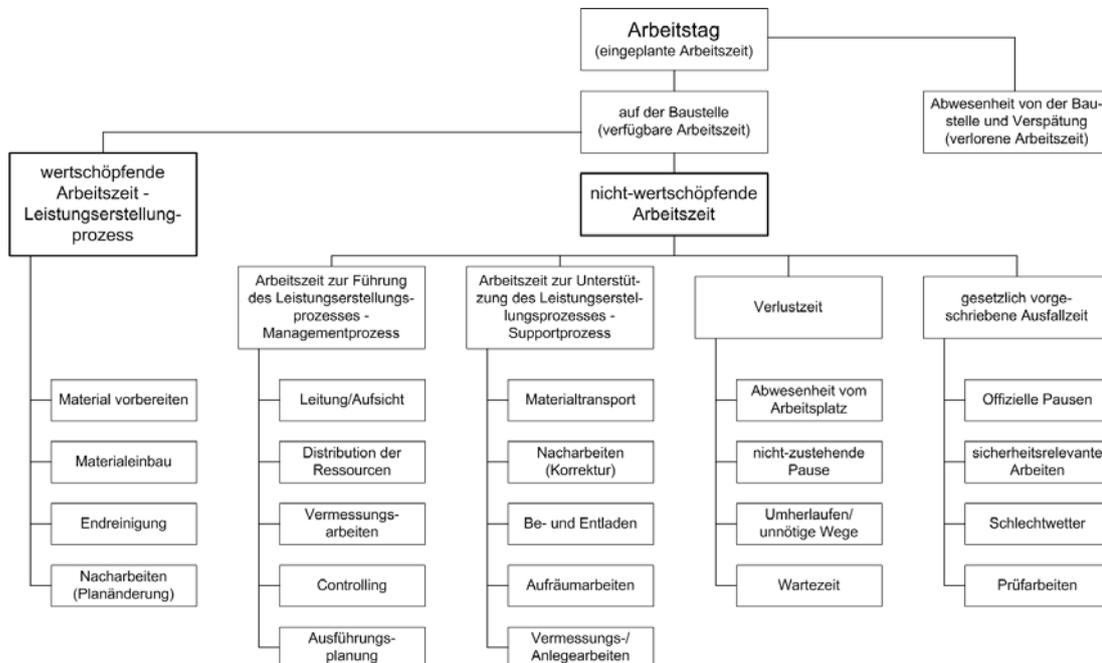


Bild 16-2: Systematisierung der Arbeitszeit auf einer Baustelle nach [3]

Verlustzeiten entstehen durch Wartezeiten auf nicht termingerechte Lieferungen, die Materialsuche auf der Baustelle, Umlagerungen von Material, die behindernd auf den Leistungserstellungsprozess wirken, sowie nicht zustehende Pausen. Das Ziel einer leistungsorientierten AVOR muss es sein, diese Verlustzeiten bereits in der Planung z.B. durch ein Logistikkonzept analog Kapitel 4 zu minimieren. Damit werden zumindest die Such- und Umlagerungszeiten minimiert bzw. eliminiert. Entscheidend für die Minimierung von Verlustzeiten ist eine ergebnisorientierte Baustellen-Projektleitung. Die AVOR unterstützt die Führung der Baustelle in dem unvermeidliche zeitliche Veränderungen im Ablauf des Leistungserstellungsprozesses in der Terminplanung nachgeführt werden, die Planung angepasst und entsprechende Steuerungsmassnahmen eingeleitet werden. Das Projektmanagement kann nicht zustehende Pausenzeiten durch motivierende Führung des Baustellenpersonals auf ein Minimum reduzieren. Eine so geplante und geführte Baustelle wird ein optimales Ergebnis in Bezug auf die Unternehmenskosten erzielen und somit zum Erfolg des Unternehmens beitragen.

Die Massenermittlung in der AVOR listet die für das Bauprojekt benötigten **Materialmengen** auf. Die Bereitstellungsplanung liefert die Grundlage für den Einkauf, der Lieferantenverträge mit jenen Lieferanten abschliesst, die in der Lage sind, die gewünschten Materialien zum budgetierten Preis in geforderter Qualität und Quantität termingerecht zu liefern.

16.3 Ablaufplanung

Die Bauablaufplanung stellt das **zentrale** Planungselement dar, in dem der Unternehmer die Ergebnisse der Planungsphasen *Bauverfahrensauswahl*, *Bereitstellungsplanung* und *Baustelleneinrichtungsplanung* zusammenführt, aufeinander abstimmt und optimiert.

Die Ablaufplanung bestimmt

- den Zeitpunkt,
- die Produktionsmenge und
- den Ort

der Bauproduktion.

Rahmenbedingungen werden der Bauablaufplanung vor allem durch den Bauvertrag mit dem Auftraggeber, die eigenen Kapazitäten und externe Randbedingungen, wie Witterung und Gesetze (Arbeitszeiten etc.), gesetzt.

Die Bauablaufplanung wird in einem **iterativen Planungsprozess** in Interaktion mit der Bauverfahrensauswahl, der Bereitstellungsplanung und der Baustelleneinrichtungsplanung in folgenden Schritten durchgeführt (Bild 16-3):

1. Unter Berücksichtigung der Ausschreibungs- bzw. Vertragsunterlagen ist zunächst die Bauaufgabe zu analysieren. Eine Vorgabe des Bauherrn ist neben der Beschreibung der zu erbringenden Leistung in der Regel der Rahmenterminplan. In diesem sind vor allem der Baubeginn, der geforderte Fertigstellungstermin, sowie entscheidende Zwischentermine (Planbereitstellungstermine, Rohbaufertigstellung, Beginn der Ausbauarbeiten etc.) festgelegt.
2. Auswahl der geeigneten Bauverfahren unter Berücksichtigung von Terminen und Kosten
3. Identifizierung der einzelnen Prozesse, Teilprozesse und Elementarprozesse und ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten, sowie Festlegung, welche Prozesse parallel und welche sequenziell abgearbeitet werden können
4. Bestimmung der Aufwands- und Leistungswerte für die Elementarprozesse
5. Iteratives Abgleichen von Prozessdauer und Ressourcen (Inventar, Personal)
 - a. Ermittlung der Dauer der Prozesse
 - b. Ermittlung der zur Verfügung stehenden Ressourcen
 - c. Abgleich der Dauer der Prozesse mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen
 - d. Adaptierung der zur Verfügung stehenden Ressourcen unter Berücksichtigung der geforderten Prozessdauern
6. Darstellung eines groben, vorläufigen Ablaufplanes
7. Erstellen eines Baustelleneinrichtungsplanes
8. Überprüfung des Planungsstandes hinsichtlich der Vorgaben (1.)
9. Gegebenenfalls Variation der Bauverfahren (2.) und Modifizierung der Prozessdauern und Ressourcen (5.)
10. Erstellung der endgültigen Ablaufplanung und Übergabe an die Bauleitung bzw. das Baustellencontrolling

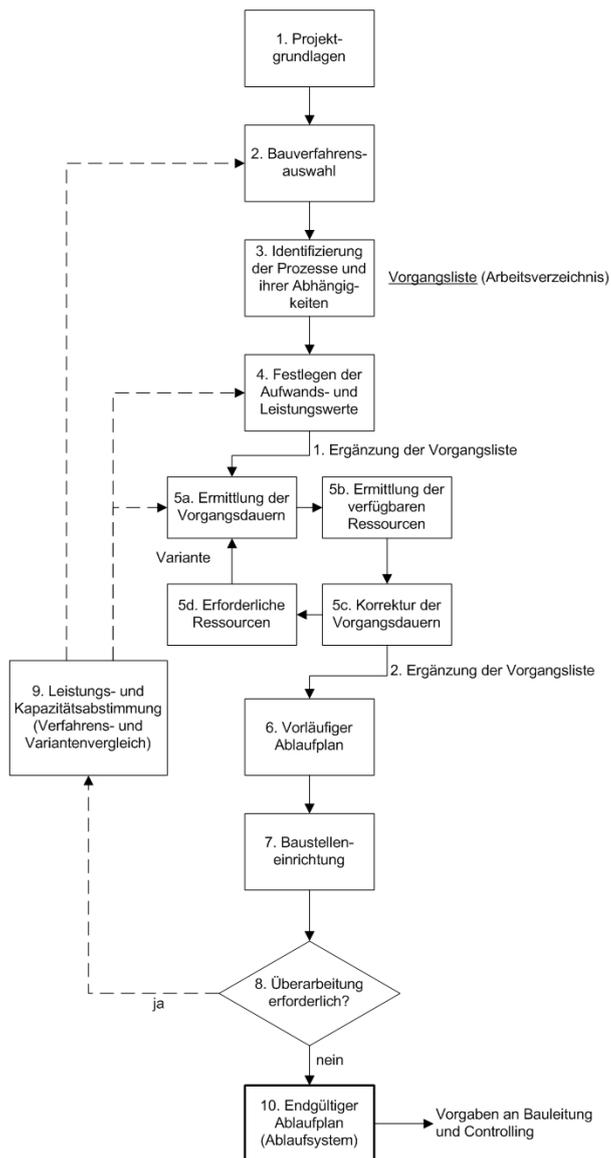


Bild 16-3: Planungsschritte der Bauablaufplanung nach [1]

Die Abstimmung der Einzelbauverfahren untereinander und die Integration zu einem zusammenhängenden integrierten Bauproduktionsprozess sind entscheidende Faktoren für den erfolgreichen Projektabschluss.

Beispiel

Um dem zunehmenden Termin- und Kostendruck der Auftraggeber gerecht zu werden, wird die Ausbauphase immer weiter in die Rohbauphase ververlegt. So finden im letzten Drittel des Bauproduktionsprozesses die Prozesse der verschiedenen Gewerkegruppen weitgehend parallel statt. Diese Parallelisierung der Prozesse in der Bauproduktion erfordert eine sehr gewissenhafte Bauablaufplanung, bei der der Blick der beteiligten Ingenieure für den Gesamtherstellungsprozess nie verloren gehen darf. Oft unterliegen die Beteiligten der Versuchung vor allen Dingen „ihren“ Bauabschnitt im Ablauf zu optimieren. Dabei gehen zum Beispiel in der Hochbauschnittstelle *Rohbau/Ausbau* Chancen der interaktiven Optimierung verloren und es kommt zu zeitraubenden, kostenintensiven Konflikten, denen durch das Baustellencontrolling zum

Zeitpunkt ihres Auftretens nur noch mit unbefriedigenden Kompromissen zu begegnen ist.

Werkzeuge

Für die terminliche Bauablaufplanung und ihre Darstellung stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung:

- Netzplan
- Linienplan
- (vernetzter) Balkenplan

Netzplan

Grundlage der Erstellung eines Netzplans ist die Zusammenstellung der Elementarprozesse eines Projektes in einem Vorgangsverzeichnis. In diesem muss sich der Ersteller bewusst machen, welche Elementarprozesse für das Projekt notwendig sind, wie lange sie dauern und in welchen Abhängigkeiten sie zueinander stehen. Die Elementarprozesse in einem Netzplan werden Vorgänge genannt und als Knoten dargestellt. Die gegenseitigen Abhängigkeiten werden als die Vorgangsknoten verbindende Pfeile dargestellt und als Anordnungsbeziehung (Anfang – Anfang, Anfang – Ende, etc.) bezeichnet. Jeder Netzplan muss kreisfrei sein, d.h. es sind keine (Endlos-)Schleifen zulässig und jeder Weg durch den Netzplan muss vom Anfang bis zum Ende laufen („Sackgassen“ weisen auf einen Fehler im Netzplan hin). Aus den Anordnungsbeziehungen ergeben sich bei der Vorwärtsrechnung *frühster Anfang* (FA) und bei der Rückwärtsrechnung *spätestes Ende* (SE); aus den Vorgangsdauern ergeben sich jeweils *frühestes Ende* (FE) und *spätester Anfang* (SA). Die Berechnung des Netzplans liefert drei wesentliche Ergebnisse:

- Der **totale Puffer (TP)** als Zeitdifferenz zwischen seiner frühest möglichen und seiner spätest zulässigen Lage gibt an, wie viel Zeitreserve in einem Vorgang enthalten ist.
- Der **freie Puffer (FP)** gibt an um wie viel Zeiteinheiten man einen Vorgang verschieben kann ohne den frühest möglichen Termin seiner Nachfolger zu beeinflussen.
- Die Aneinanderreihung der Vorgänge ohne Pufferzeit ergibt den **kritischen Pfad**. Vorgänge auf diesem kritischen Pfad können nicht verschoben werden ohne den Projektendtermin zu beeinflussen.

Die Netzplantechnik eignet sich vor allem zur Ablaufplanung grosser, komplexer Bauprojekte, bei denen eine grosse Anzahl voneinander abhängiger Prozesse zu koordinieren sind. Die Datenmengen sind mit modernen EDV-Programmen leicht zu beherrschen.

Linienplan

Der Linienplan, auch besser **Weg-Zeit-Diagramm**, eignet sich vor allem zur Planung von Linienbaustellen (z.B. Strassenbau, Tunnelbau etc.). In ein orthogonales Koordinatensystem werden in Richtung des Baufortschrittes der Weg und orthogonal dazu die Zeit eingetragen. Die Vorgänge werden als Linien dargestellt. Kreuzen sich zwei Linien so ist dies dahingehend zu interpretieren, dass der eine Vorgang den anderen überholt – die Zulässigkeit des Überholvorganges ist zu überprüfen. Die Steigung einer Linie im Weg-Zeit-Diagramm stellt die Leistung des entsprechenden Vorganges dar, eine Änderung der Steigung stellt demnach eine Leistungsänderung durch Ände-

rung der eingesetzten Ressourcen dar. Abhängigkeiten sind aus einem Weg-Zeit-Diagramm in der Regel nicht mehr ersichtlich. Bei komplexen Bauvorhaben mit vielen Teilprozessen verliert ein Weg-Zeit-Diagramm schnell an Übersichtlichkeit und ist dann für die Darstellung eher ungeeignet.

Balkenplan

Balkenpläne sind die übersichtlichste Form der Darstellung der Ablaufplanung. (Teil-)Prozesse werden als Balken dargestellt aus denen ein Anfangstermin, die Dauer und ein Endtermin ersichtlich sind. Um Abhängigkeiten darzustellen bedient man sich gegebenenfalls der Elemente der Netzplantechnik. Balkenpläne eignen sich gut zum Soll-Ist-Vergleich im Rahmen des Baustellencontrollings.

16.4 Zielüberwachung durch das Baustellencontrolling

Die Aufgabe des Baustellencontrollings besteht darin, den Bauproduktionsprozess zu planen, zu steuern und zu kontrollieren. Basis des Baustellencontrollings ist die Arbeitskalkulation. Um Soll-Ist-Abweichungen ermitteln zu können, müssen die Soll-Werte definiert werden. Während die Plan-Werte in der Auftragskalkulation festgelegt werden, beinhaltet die Soll-Auftrags-Arbeitskalkulation die Soll-Werte für die Steuerung der Baustelle.

Durch das Baustellencontrolling soll eine wirtschaftlich optimale Bauausführung unterstützt werden. Dies bedeutet im Einzelnen [2]:

- Kostenreduzierung durch optimierten Bauablauf
- laufende Überwachung der Baustellenergebnisse
- frühzeitige Erkennung von Störungen im Bauprozess
- Einleitung von Gegensteuerungsmassnahmen
- Korrektur von Vorgabewerten
- Lieferung von Prognosewerten für das laufende Projekt
- Lieferung von Erfahrungswerten für zukünftige Projekte

Das Baustellencontrolling gliedert sich in die Phasen

- Vorbereitung vor der Bauausführung
- Durchführung während der Bauausführung
- Nachbereitung nach der Bauausführung

und stützt sich dabei auf eine zweigliedrige Arbeitskalkulation (Soll-Auftrags-Arbeitskalkulation und Ist-Prognose-Arbeitskalkulation).

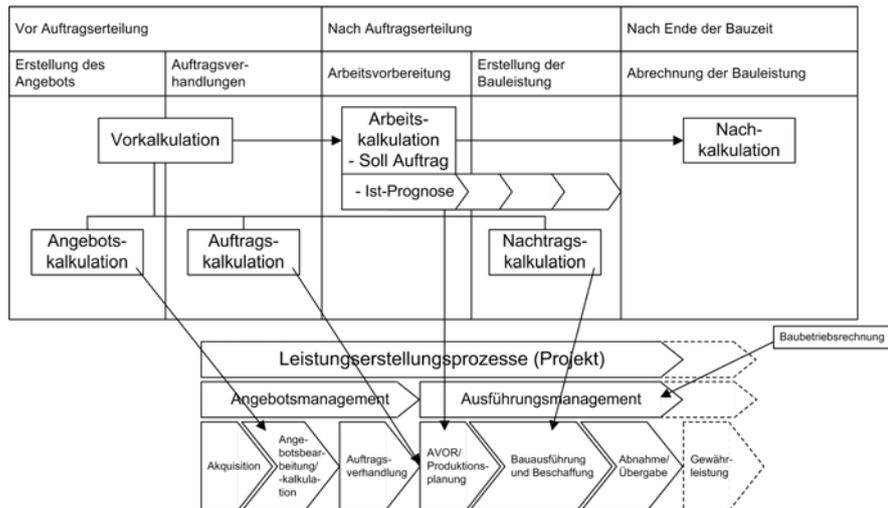


Bild 16-4: Kalkulationsphasen

Die Soll-Auftrags-Arbeitskalkulation liefert die Soll-Werte für das Baustellencontrolling. Die für das Baustellencontrolling durchzuführenden Soll-Ist-Vergleiche können in fünf Bereiche eingeteilt werden (Bild 16-4):

- Leistung
- Termine
- Ergebnis
- Kosten
- Mengen (Arbeitsstunden, Gerätestunden und Baustoffmengen)

Diese fünf Bereiche sind sehr eng miteinander verzahnt.

Die **(Bau-)Leistung** stellt die nach Vertrag erbrachte, abrechenbare Bauproduktion dar. In den Arbeitskalkulationen wird die gesamte, vertraglich geschuldete Leistung erfasst. Schuldet der Auftragnehmer beispielsweise die schlüsselfertige Erstellung eines Bürogebäudes und hat hierfür 2'000 m² Deckenfläche zu erstellen, liegt diese Soll-Leistung den Arbeitskalkulationen zugrunde.

Die Soll-**Termine** ergeben sich aus den Soll-Leistungsmengen der Soll-Auftrags-Arbeitskalkulation, verknüpft mit den Plan-Aufwandswerten der Soll-Auftrags-Arbeitskalkulation. Wird in der Arbeitskalkulation beispielsweise für die Deckenschalung ein Aufwandswert von 0.75 h/m² vorgesehen, so kann mit Hilfe der Soll-Leistungsmenge von beispielsweise 2'000 m² Deckenfläche der erforderliche Zeitbedarf ermittelt werden. Unter Berücksichtigung des vorgesehenen Personals und der Zwänge des Bauablaufs kann ein Soll-Termin definiert werden.

Das Ist-**Ergebnis** ergibt sich aus der Differenz zwischen der Ist-Leistung und den Ist-Kosten.

Für das Controlling des Bauproduktionsprozesses werden sowohl die Soll-**Baustoffmengen** als auch die Soll-**Gerätestunden** und die Soll-**Arbeitsstunden** in der Soll-Auftrags-Arbeitskalkulation als Soll-Werte definiert. Die Soll-Baustoffmengen ergeben sich aus der Soll-Leistungsmenge, beispielsweise der einzubauenden Menge Deckenbeton. Die Soll-Gerätestunden werden über die Leistungswerte der von den Geräten zu erbringenden Leistung definiert und in der Arbeitskalku-

lation fixiert, beispielsweise $x \text{ h/m}^3$ Erdaushub. Die Soll-Stunden sind über die bereits beschriebenen Aufwandswerte in der Arbeitskalkulation berücksichtigt.

Im Folgenden ist die Leistungsmeldung eines grossen Brückenbauprojekts dargestellt (Bild 16-5 bis Bild 16-9). Da es sich um ein TU-Projekt mit baubegleitender Planung handelt, werden die Planungsleistung sowie die Bauausführung überwacht. Die ausführungsbegleitende Leistungsmeldung ist auf die ablaufbestimmenden Bauelemente wie Pfahlherstellung, Pfahlkopfplatte, Pfeiler sowie die Vorproduktion der Segmente für die Herstellung der Brückenüberbauten im Fertigteilwerk abgestellt. Ferner sind die Herstellung der Überbauten aus den vorgefertigten Segmenten und die gesamten Kosten der Leistungserstellung übersichtlich in einer Grafik dargestellt.

In den Histogrammen und Summenkurven der ablaufbestimmenden Bauelemente sind die monatlichen Planleistungen vorgegeben und die Ist-Leistung zum Vergleich dargestellt. In der monatlichen Leistungsmeldung werden dann die monatlich erzielten Leistungen eingetragen. Aus der Ist-Summenlinie erkennt man relativ deutlich die akkumulierte Abweichung. In der Projektkostenübersichtsgrafik werden die monatlichen und akkumulierten Plan- und Soll-Kosten gegenübergestellt. Daran lässt sich sehr gut auch der Gesamtleistungsstand des Projekts/der Baustelle ablesen. Die Ist-Kosten lassen sich damit jedoch nicht feststellen, sondern nur die erbrachte, abrechenbare Leistung. Die Ist-Kosten müssen in der kaufmännischen, betrieblichen Kostenrechnung ermittelt werden.

Durch eine solche Darstellung erhält man eine schnelle Übersicht über die Leistung im Bauproduktionsprozess der Baustelle. Es ist jedoch nicht erkenntlich, ob die Leistungsdefizite bei einzelnen Bauverfahren der Bauelemente den kritischen terminlichen Ablauf der Baustelle tangieren. Diesen Aufschluss gibt nur der Terminnetzplan, der zu einer solchen Leistungsmeldung mit den Soll- und Ist-Terminen gehört. Für die Leistungsmeldung ist monatlich ein Aufmass aller Bauhilfs- und Baumassen notwendig. Dieses Aufmass bildet die Grundlage zur Ermittlung der Ist-Leistung und der verbrauchten Materialien. Zur Ermittlung der Soll-Kosten werden die erbrachten Ist-Leistungen mit den Soll-Kostenansätzen der Arbeitskalkulation gewichtet.

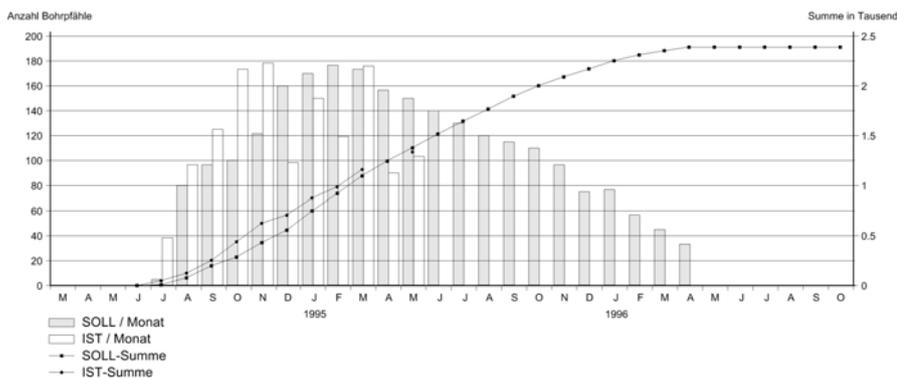


Bild 16-5: Leistungsmeldung Bohrpfähle

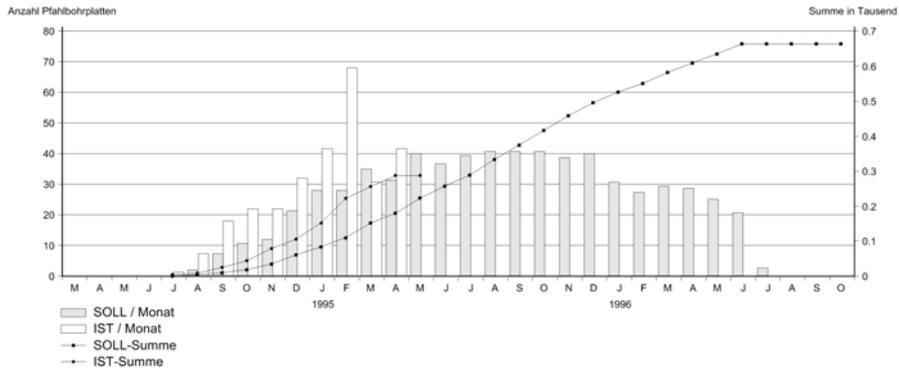


Bild 16-6: Leistungsmeldung Pfahlkopfplatte

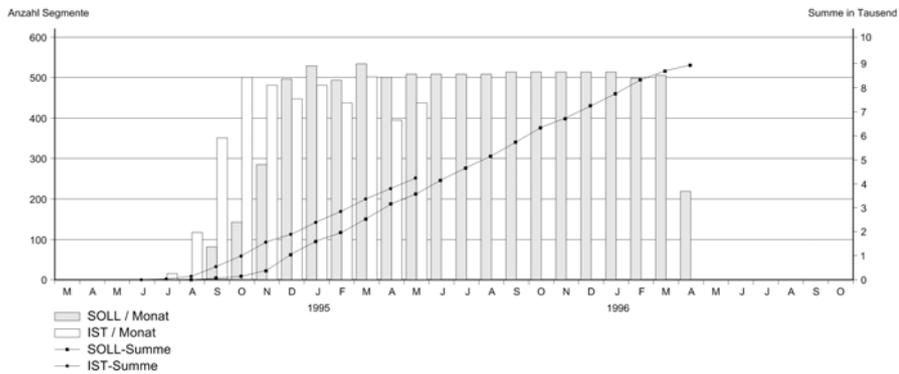


Bild 16-7: Leistungsmeldung des Fertigteilwerks: Brückensegmentherstellung

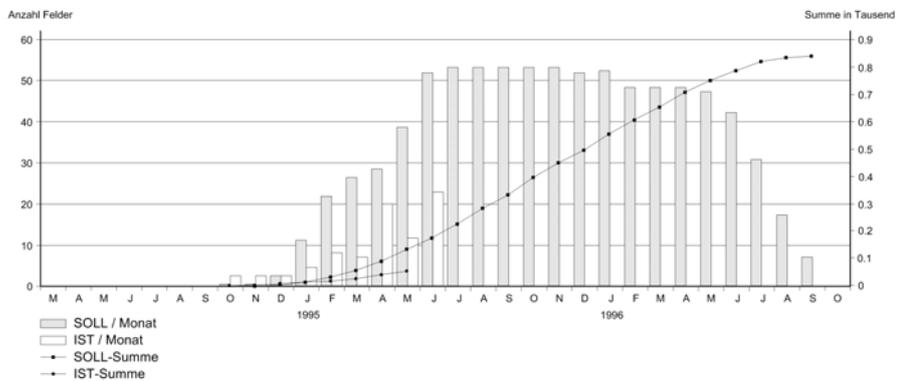


Bild 16-8: Leistungsmeldung Überbauerherstellung (Anzahl der Felder)

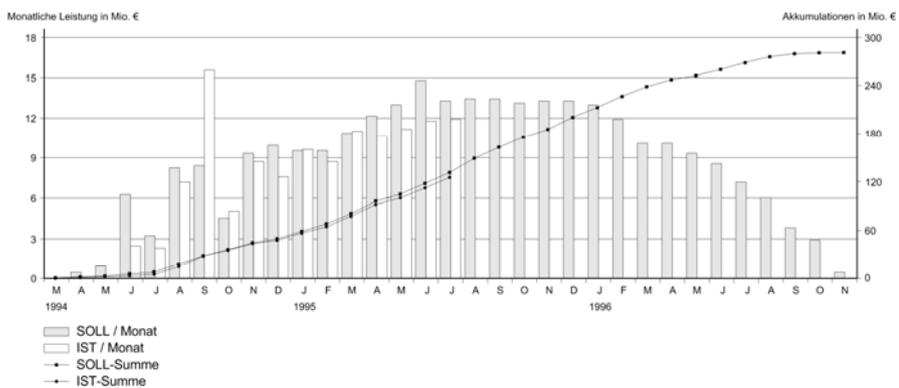


Bild 16-9: Monetäre Leistungsmeldung

Literaturverzeichnis

- [1] Bauer, H.: Baubetrieb 2 – Bauablauf, Kosten, Störungen. Springer-Verlag, Berlin 1994.
- [2] Leimböck, E., Klaus, U. R., Hölkermann, O.: Baukalkulation und Projektcontrolling unter Berücksichtigung der KLR Bau und der VOB. 10. Aufl. Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden 2002.
- [3] Winch, G., Carr, B.: Benchmarking on-site productivity in France and the UK: a CALIBRE approach. Construction Management and Economics, 19, 577-590, 2001.

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:



Girmscheid, G.:

Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus

Kapitel 17: Bauproduktionsprozess - Sicherheitsmanagement

Inhaltsverzeichnis

17 Bauproduktionsprozess – Sicherheits-management	841
17.1 Einleitung	841
17.2 Sicherheit und Gesundheit auf Baustellen – Grundlagen.....	843
17.3 Sicherheit und Gesundheit auf Baustellen – Umsetzung	845
17.4 Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie.....	850
17.4.1 Begriff und Ziele	850
17.4.2 Konzept der Integralen Sicherheit	852
17.4.3 Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase	853
17.4.4 Eingegangene Risiken.....	857
17.4.5 Sicherheitsorganisation und Notmassnahmen	858
17.5 Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften	860
17.5.1 Motivation	860
17.5.2 Sicherheitsplanung	861
17.5.3 Umsetzung des Sicherheitsplans	863
17.6 Zusammenfassung	864
Literaturverzeichnis	865
Anhang: Vorschriften zum Arbeits- und Unfallschutz	866

17 Bauproduktionsprozess – Sicherheitsmanagement

17.1 Einleitung

Baustellen sind europaweit die gefährlichsten Arbeitsbereiche mit einer hohen Unfallrate. Rund 7.5 % aller Erwerbstätigen in der EU arbeiten im Baugewerbe. Auf sie entfallen 15 % aller Arbeitsunfälle und 30 % aller tödlichen Unfälle. Bezogen auf die geleisteten Arbeitsstunden ist die Zahl der Unfälle am Bau doppelt so hoch wie die Durchschnittszahl über alle Gewerbebezüge. Der Bau zählt aus der Sicht des Arbeitsschutzes zu den Risikosektoren.

Dies liegt sicher nicht daran, dass Bauarbeiter weniger sicherheitsbewusst als andere Arbeitnehmer sind. Die Ursachen ergeben sich aus den Besonderheiten der Bauwirtschaft:

- Jedes Bauvorhaben ist nach Zweck, Form, Umfang, Bauweise und Örtlichkeit anders geartet: ein Unikat.
- Jede Baustelle wird praktisch als eine neue Produktionsstätte mit neuen Arbeitsplätzen und neu organisierten Arbeitsabläufen aufgebaut.
- Die Verhältnisse auf der Baustelle ändern sich ständig. Verschiedene Arbeitsgruppen müssen gleichzeitig vor-, neben- und übereinander arbeiten.
- Die Bauwirtschaft ist durch eine heterogene Betriebsstruktur der einzelnen Unternehmen geprägt, die sehr unterschiedliche Massnahmen zur Schulung und Durchsetzung von Arbeitssicherheitsmassnahmen durchführen.
- Durch den freien Verkehr von Personen und Dienstleistungen sind heute auf Grossbaustellen Arbeitskräfte aus unterschiedlichen EU-Ländern tätig. Dies hat zur Folge, dass unterschiedliche Sicherheitsgepflogenheiten und Sprachbarrieren mit den sich daraus entwickelnden Risiken für die Arbeitssicherheit aufeinander treffen.

Untertagearbeiten unterliegen einem besonders hohen Risiko. Zu den genannten Faktoren kommen noch:

- Helligkeitsprobleme trotz Beleuchtung
- Konzentration beweglicher Maschinen auf engem Raum
- Gefährdungspotential durch das meist heterogene Gebirge (siehe Klassifizierung des Gebirges)

Die Erfahrung zeigt, dass sich das Unfallpotential nicht nur über die Prämienstruktur steuern lässt.

Mängel in der Bauvorbereitung haben wesentlichen Einfluss auf das Unfallgeschehen. Statistiken aus England und Belgien belegen, dass mehr als die Hälfte der tödlichen Unfälle auf Entscheidungen zurückzuführen sind, die vor Baubeginn getroffen werden. Ein hoher Anteil an Unfallursachen lässt sich in die Planungsphase zurückverfolgen. Es zeigt sich insbesondere, dass bei der Vorbereitung der sicherheitstechnischen Einrichtungen und Arbeitsschutzmassnahmen oft folgende Unzulänglichkeiten auftreten:

- In der Planungsphase werden Risiken und Gefahren nicht angemessen durchdacht bzw. unzureichend funktionstüchtige Schutzmassnahmen geplant.
- Sicherheitsmassnahmen werden nicht fachgerecht ausgeschrieben.
- Schutzmassnahmen werden nicht angemessen bauvertraglich geregelt.
- Sicherheitseinrichtungen stehen auf der Baustelle nicht rechtzeitig in erforderlicher Menge und/oder Qualität zur Verfügung.

Aus diesen Gründen wurde auf europäischer Ebene mit der Baustellenrichtlinie 92/57/EWG [1] ein neuer Ansatz für den Arbeitsschutz am Bau gewählt. Unter bestimmten Voraussetzungen, dies gilt besonders für Untertagebauwerke, müssen Bauherren künftig bereits in der Planungsphase Koordinatoren für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz als besondere Sachverständige benennen. Als Planungsinstrument dient der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan, der die Grundlage für die späteren Arbeiten bildet.

17.2 Sicherheit und Gesundheit auf Baustellen – Grundlagen

In der Schweiz sind die Sicherheit und Gesundheit auf Baustellen durch den Schweizer Bundesrat in der (Bild 17–1) „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten“, kurz „Bauarbeiterverordnung, BauAV“ [2] geregelt. Diese BauAV ist massgebend für die:

- Sicherheitsplanung der Baustelle
- Sicherheitsorganisation der Baustelle

sowie für weiter detaillierte Vorgaben für Hoch-, Tief-, Graben-, Brücken- und Tunnelbauarbeiten.

Ferner sind die folgenden Gesetze und Verordnungen des Bundesrates zu berücksichtigen:

- Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG)
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über Unfallverhütung VUV) [3].

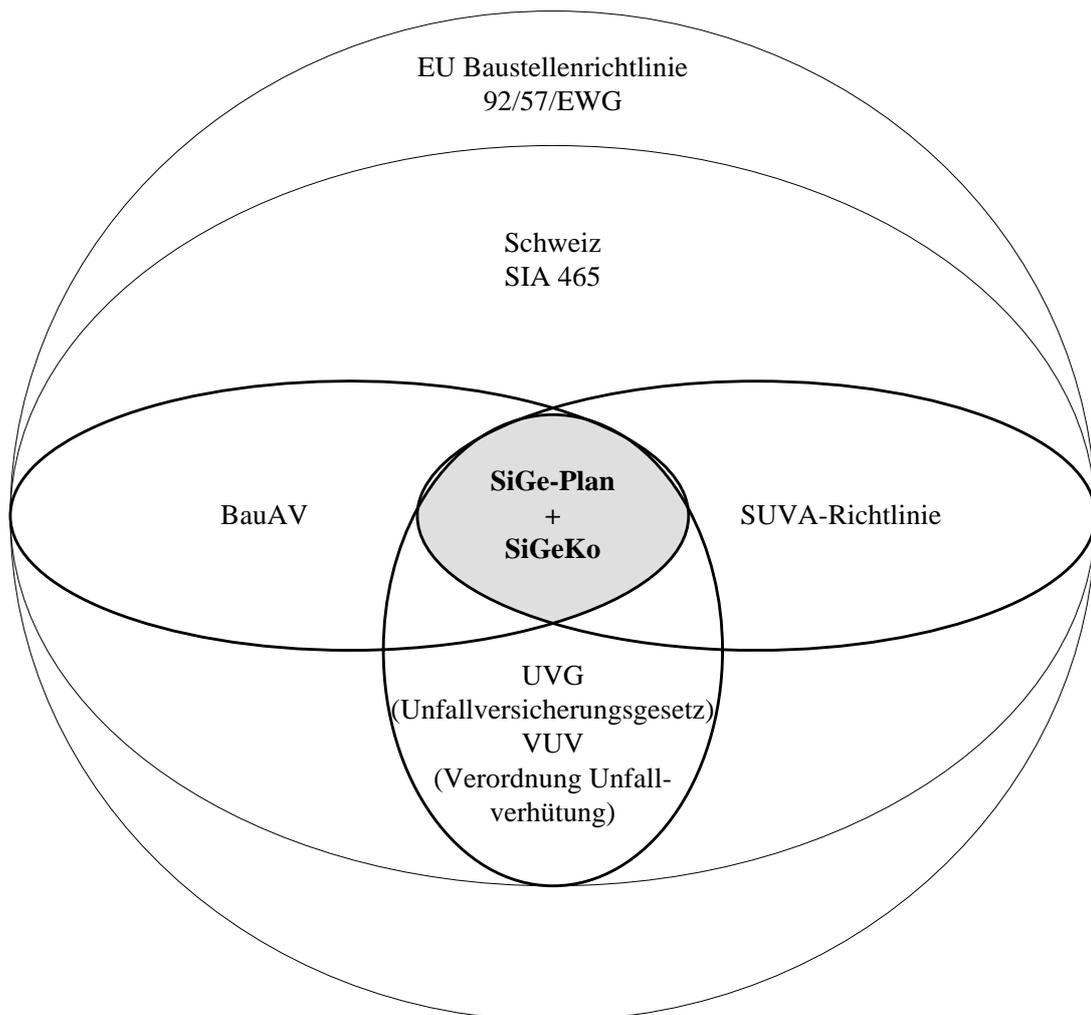


Bild 17–1: Schweizer Baustellensicherheit und Gesundheitsschutz

In der Schweiz versichern sich die Unternehmer gegen die Folgen von Unfällen und Berufskrankheiten ihrer Mitarbeiter bei der SUVA.

Die SUVA ist ein selbständiges Unternehmen des öffentlichen Rechts und wird von den Sozialpartnern geführt. Sie hat zusätzlich zum BauAV Verordnungen und Richtlinien zur Sicherstellung der Arbeitssicherheit erlassen, die quasi als Versicherungsbedingungen gelten. Die SUVA führt viele stichpunktartige Kontrollen auf Baustellen durch, ohne dadurch für die Sicherheit der Baustelle verantwortlich zu sein. Bei Unfällen erhöht die SUVA drastisch die Versicherungsbeiträge der Unternehmen. Damit entsteht ein erhöhter Anreiz der Unternehmen einen möglichst hohen Sicherheitsstandard auf den Baustellen umzusetzen.

In der SIA 118 – Allgemeine Vertragsbedingungen für Bauarbeiten werden unter „Schutz- und Fürsorgemassnahmen“ [4] in den Art. 103/104/105 vertraglich die „Grundsätze“ und „Besondere Sicherheitsmassnahmen“ allgemein geregelt.

17.3 Sicherheit und Gesundheit auf Baustellen – Umsetzung

In der BauAV [2] wird in Art. 4 – Organisation gefordert, dass auf jeder „Baustelle eine Person bezeichnet“ werden muss, die „für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz zuständig ist.“

Art. 4 Organisation der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes

Der Arbeitgeber muss auf jeder Baustelle eine Person bezeichnen, die für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz zuständig ist.

Auszug aus BauAV 2010 [2] – SiGeKo

Bei grossen Baustellen wird in der Regel ein Sicherheits- und Gesundheitskoordinator (SiGeKo) vollamtlich eingesetzt, der für die SiGe-Planung, Umsetzung und Kontrolle zuständig ist.

Bei kleinen und mittleren Baustellen kann die Aufgabe des SiGeKo in Personalunion durch den Polier, Bauführer oder Bauleiter übernommen werden. Diese Mitarbeiter müssen allerdings für diese Aufgabe geschult sein, z.B. von der SUVA.

Die Aufgabe des SiGeKo ist es die:

- Sicherheitsprobleme und Risiken in allen Bauphasen zu identifizieren (möglichst mit den Beteiligten) und zu dokumentieren
- Sicherheitsmassnahmen für alle Bauphasen zu planen und den Unternehmen vorzugeben
- allgemeine Sicherheitsmassnahmen, die von mehreren Gewerken und/oder über mehrere Bauphasen genützt werden, auszuschreiben
- Installation und Umsetzung zu überwachen
- regelmässige Kontrollen durchzuführen und bei Missständen sofortige Massnahmen zu ergreifen
- regelmässig an den Baukoordinationssitzungen teilzunehmen.

Der SiGeKo muss den Sicherheits- und Gesundheitsschutz der Beschäftigten sicherstellen sowie von Dritten, die durch die Baumassnahme berührt werden.

Die SUVA unterstützt das Planen von Sicherheitsmassnahmen durch verschiedene Hilfsmittel. Sie stellt ein Konzept zur SiGe-Planung einer Baustelle mittels Formblättern [5] und Checklisten [6] zu Verfügung. Der SiGe-Plan enthält folgende Elemente (Bild 17–2):

- Baustellenbezeichnung, Art der Baustelle
- zuständige Mitarbeiter und Mitarbeiter der Sicherheitsorganisation
- Erste Hilfe-, Notfall- und Alarmplan
- Arbeits- und Sicherheitsausrüstung (Bild 17–3)
- Anforderungen an Ordnung und Sauberkeit zur Verhinderung von Unfällen
- Anforderungen an die Sicherung der Zugangswege und Lagerplätze
- Anforderungen an den Baustellenverkehr, -transport sowie Hebezeuge (Kranordnung)

- Checkliste über Gefährdungen und Risiken gegliedert nach Bauphasen, Bauabschnitten und Gewerken (Bild 17–4)
- Massnahmenplan zur Verhinderung und Minimierung der Gefährdungen und Risiken gegliedert nach Bauphasen, Bauabschnitten und Gewerken (Bild 17–5).
- Festlegung der Zuständigkeiten für die Umsetzung, Aufrechterhaltung und Kontrolle der Massnahmen. (Bild 17–5)

Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan für Baustellen

Logo oder Firmenname

Baustelle:

Ausgabe vom:

Version:

Informationen über den Herausgeber:

Firma

Kontaktperson:

Adresse:

PLZ: Ort:

Tel: Fax:

Natel: E-Mail:

www.suva.ch/sigebau

suva

Bild 17–2: SiGe-Plan – Konzept der SUVA [5]

Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan für Baustellen

3. Arbeitsbedingungen

3.1 Persönliche Ausrüstung Information

Jeder Mitarbeitende besitzt eine persönliche Schutzausrüstung, die sich wie folgt zusammensetzt:

Arbeitskleidung

<input type="checkbox"/> 1 Schutzbrille	<input type="checkbox"/> 1 Gehörschutz	<input type="checkbox"/> 1 Auffanggurt
<input type="checkbox"/> 1 Paar Handschuhe	<input type="checkbox"/> 1 Schutzhelm	<input type="checkbox"/> 1 Regenausrüstung
<input type="checkbox"/> 1 Paar Sicherheitsschuhe	<input type="checkbox"/> 1 Paar Schutzstiefel	<input type="checkbox"/> 1 Sicherheitsweste

Ausrüstung für Besucher:

Bemerkungen:

Bild 17-3: Angaben zu Arbeits- und Sicherheitsausrüstung [5]

Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan für Baustellen			
6. Verzeichnis möglicher Gefährdungen			
In der untenstehenden Tabelle sind mögliche Gefährdungen aufgelistet. Diese Gefährdungen sind einem bestimmten Sachverhalt zugeordnet. Setzen Sie ein X in der Kolonne "Ja" wenn die beschriebene Situation für Ihre Baustelle zutrifft.			
SACHVERHALT	GEFÄHRDUNG DURCH	JA	HILFE
Nachbarschaft/Öffentlichkeit	Lärm	<input type="checkbox"/>	Link
	Staub/unangenehme Gerüche/Schmutz	<input type="checkbox"/>	Link
	Feuer	<input type="checkbox"/>	Link
	Arbeiten ausserhalb der regulären Arbeitszeit	<input type="checkbox"/>	Link
	Spaziergänger, Neugierige, Kinder	<input type="checkbox"/>	Link
	Andere	<input type="checkbox"/>	Link
Umgebung/Natur	Fliessendes Gewässer/See	<input type="checkbox"/>	Link
	Lawinen, Hochwasser, Hangrutsche, Frost	<input type="checkbox"/>	Link
	Verkehr	<input type="checkbox"/>	Link
	Verschmutzung durch gefährliche Substanzen	<input type="checkbox"/>	Link
	Verschmutzung durch Wasser aus der Baustelle	<input type="checkbox"/>	Link
	Verschmutzung durch Bauabfälle	<input type="checkbox"/>	Link
	Luftverschmutzung	<input type="checkbox"/>	Link
	Schädliche Einflüsse auf Fauna und Flora	<input type="checkbox"/>	Link
	Mehrverbrauch von Elektrizität/Wasser	<input type="checkbox"/>	Link
	Andere	<input type="checkbox"/>	Link
Neues/temporäres Personal	Unerfahrenheit, fehlende Ausbildung	<input type="checkbox"/>	Link
Allein arbeitende Personen	Fehlende Hilfeleistung	<input type="checkbox"/>	Link
Verkehrswege	Rutschiger Boden	<input type="checkbox"/>	Link
	Hindernisse durch sperrige Gegenstände	<input type="checkbox"/>	Link
	Bodenöffnungen	<input type="checkbox"/>	Link
	Spitze Gegenstände, Nägel	<input type="checkbox"/>	Link
	Armierungen	<input type="checkbox"/>	Link
	Böschungen	<input type="checkbox"/>	Link
	Andere	<input type="checkbox"/>	Link
Höhenunterschiede	Leitern	<input type="checkbox"/>	Link
	Treppen	<input type="checkbox"/>	Link
	Andere	<input type="checkbox"/>	Link
Fahrzeugverkehr	Umstürzende Fahrzeuge, Kollision	<input type="checkbox"/>	Link
	Baustellenzufahrt	<input type="checkbox"/>	Link
	Andere	<input type="checkbox"/>	Link
Beleuchtung	Unbeleuchtete Räume	<input type="checkbox"/>	Link
	Dunkle Zugänge	<input type="checkbox"/>	Link
	Andere	<input type="checkbox"/>	Link
Arbeiten in erhöhter Position	Arbeitsbrücken/Baustellenzugänge	<input type="checkbox"/>	Link
	Vertikale Schalungen	<input type="checkbox"/>	Link
	Horizontale Schalungen/Schalungstische	<input type="checkbox"/>	Link
	Boden-/Wandöffnungen	<input type="checkbox"/>	Link
	Bockgerüste/Rollgerüste	<input type="checkbox"/>	Link
	Fassadengerüste	<input type="checkbox"/>	Link
	Liftschächte	<input type="checkbox"/>	Link
	Treppenhäuser	<input type="checkbox"/>	Link
	Dreitritte	<input type="checkbox"/>	Link
	Leitern	<input type="checkbox"/>	Link
	Arbeitskörbe	<input type="checkbox"/>	Link
	Arbeiten am hängenden Seil	<input type="checkbox"/>	Link

Bild 17-4: Checkliste über Gefährdungen und Risiken [5]

Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan für Baustellen

7. Gefährdungs- und Massnahmenliste

Auftragnehmer:

Baustelle:

Startdatum:

Enddatum:

GEFÄHRLICHE SITUATIONEN	ARBEITSVORGANG	VORHERSEHBARE RISIKEN	EXP X	MASSNAHMEN	WER	WANN	VISUM
Arbeiten in erhöhter Position: Vertikale Schalungen			<input type="checkbox"/>				

Bild 17–5: Massnahmenplan und Festlegung der Zuständigkeiten [5]

17.4 Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie

17.4.1 Begriff und Ziele

Die Richtlinie SIA 465 - **Sicherheit von Bauten und Anlagen** [7]- ist seit Ende 1997 in Kraft. Die Richtlinie will eine **ganzheitliche Sicherheitsbetrachtung** fördern und das systematische Vorgehen zur Erfüllung der rechtlichen Anforderungen sowie die Verantwortlichkeiten für die Sicherheitsplanung und Umsetzung der Sicherheitsmassnahmen aufzeigen. Die ganzheitliche Sicherheitsbetrachtung erfasst die Zusammenhänge zwischen dem Gesamtsystem, den Lebensphasen eines Bauwerks, den Gefährdungen, den Schutzziele und den Sicherheitsmassnahmen. Die Sicherheitsbetrachtungen gegenüber der EU-Richtlinie werden wie folgt erweitert:

- Erweiterung des Sicherheitsbegriffs von der Tragwerkssicherheit auf die Sicherheit von Gesamtsystemen
- Erweiterung der Ermittlung von Gefahren nach der Norm SIA 160 auf eine ganzheitliche Ermittlung von Gefährdungen
- Erweiterung der Sicherheit von Schutz von Leib und Leben auf Schutz von Personen, Umwelt, Sache und Nutzung
- Erweiterung der Planung und Umsetzung der Sicherheit auf alle Phasen des Lebenszyklus, d.h. Erstellungs-, Nutzungs-, Abbruch- und Entsorgungsphase

Die Richtlinie vermittelt nicht nur Denkansätze, sondern zeigt auch die notwendigen Planungs- und Umsetzungsprozesse unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit auf.

Bedingt durch den ganzheitlichen Systemansatz ist diese Richtlinie sehr komplex und wird wirtschaftlich sinnvoll nur für Grossprojekte, komplizierte Projekte und Projekte mit einem hohen Gefahrenpotential anwendbar sein. Die Grundsätze gelten jedoch für jedes Projekt. Um den formalen Aufwand in Grenzen zu halten, sollte bei kleineren und mittleren Projekten nur die Arbeitssicherheit in der Bauphase im Mittelpunkt stehen. Die Tragwerkssicherheit muss für alle Phasen den einschlägigen Normenwerken entsprechen.

Bauwerke sind in allen Phasen mit Gefahren verbunden. Die Phasen umfassen:

- Erstellungsphase mit Bauplanung und Bauausführung
- Nutzungsphase mit Überwachung und Instandhaltung sowie Instandsetzung und Umbau
- Abbruch- bzw. Rückbau- und Entsorgungsphase

Bauten und Anlagen können einerseits von Umwelt, Sachen und Personen gefährdet werden; andererseits können Personen, Sachen und Umwelt Bauten und Anlagen gefährden.

Die Gefahren sind verschieden und werden nach ihrer Art in einzelne **Bereiche** eingeteilt:

- technische Sicherheit
- physische Sicherheit
- Unfallverhütung und Gesundheitsschutz
- Umweltsicherheit

Durch den integralen Sicherheitsplan wird gewährleistet, dass alle vier Bereiche der Sicherheit während **allen Phasen des Bauwerks** systematisch und bereits ab der Planungsphase behandelt werden.

Darüber hinaus dient der Sicherheitsplan den Verantwortlichen als **Führungsmittel**, aus dem hervorgeht, mit welchen **Gefahren** ein Bauwerk während seinen Phasen verbunden ist und mit welchen **Sicherheitsmassnahmen** diesen begegnet wird.

Die Schutzziele müssen angeben, in welchem Umfang das Gesamtsystem - bestehend aus Bauwerk, Anlagen, Personen, Umwelt und Sachen - vor Gefährdungen geschützt werden soll. Die erforderlichen Sicherheitsmassnahmen zur Erreichung der Schutzziele ergeben sich aus:

- Beachtung aller rechtlichen Grundlagen
- Beachtung des Stands der Technik und Erfahrung

Die Schutzziele werden durch den verantwortlichen Sicherheitskoordinator festgelegt.

Den Gefährdungen kann man mit folgenden Sicherheitsmassnahmen begegnen:

- Vermeiden durch ereignisverhindernde Massnahmen
- Beherrschen durch ereignis- oder schadenmindernde Massnahmen
- Versichern der finanziellen Auswirkung des Risikos
- Annehmen der Gefährdung

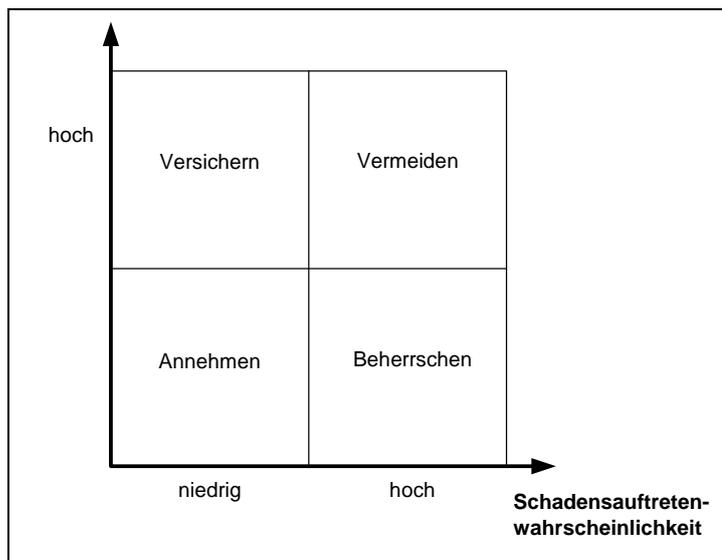


Bild 17-6: Management des Risikoportfolios (Risikoportfoliomanagement von Gefahren)

Die EU-Richtlinie "Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen" wurde unter der Trägerschaft der SUVA zum Projekt "Integrale Sicherheitspläne im Bauwesen" in der Schweiz weitreichend ausgebaut.

Folgende **Ziele** stehen im Vordergrund:

- Integrale Sicherheitspläne als Führungsmittel fördern
- Hilfsmittel für die am Bau Beteiligten bereitstellen
- Unterstützung bei der Erarbeitung der Sicherheitspläne
- Unterstützung bei der Durchsetzung der Sicherheitsmassnahmen

- Auswertung der Erfahrungen
- Bereitstellen von Beispielen
- Informationsvermittlung
- Schulung und Weiterbildung

Der integrale Sicherheitsplan sollte in das Qualitätsmanagement im Bauwesen und in die Ausschreibungsunterlagen einfließen.

17.4.2 Konzept der Integralen Sicherheit

Sicherheitsplanung

Die Sicherheitsanforderungen sind durch Gesetze, Vorschriften und Normen gegeben. Spezifische Sicherheitsanforderungen werden durch den Bauherrn und Benutzer gestellt. Das zwingt zu einer systematischen Sicherheitsplanung in allen Phasen des Bauprojekts. Die möglichen Gefahren, die in den verschiedenen Lebensphasen eines Bauwerks auftreten, sollen durch optimale Massnahmen reduziert werden. Die Massnahmen werden im Sicherheitsplan in der jeweiligen Phase festgehalten. Der Planungsprozess wird wie folgt durchgeführt:

- Das System - bestehend aus Bauwerk, Anlagen, Personen, Umwelt und Sachen - ist für jede Phase getrennt zu beschreiben.
- Für jede Phase müssen die Schutzziele festgelegt werden.
- Für jede Phase müssen die massgebenden Gefährdungen ermittelt und die Risiken bewertet werden.
- Die Sicherheitsmassnahmen zur Erfüllung der Schutzziele sind phasenbezogen zu planen.

Die Sicherheitsplanung ist ein rollender Prozess, der die einzelnen Phasen begleitet. Sie ist so zu dokumentieren, dass die getroffenen Entscheide über Schutzziele, Sicherheitsmassnahmen und verbleibende Risiken nachvollziehbar sind.

Umsetzung der Sicherheitsplanung

Die Sicherheitsmassnahmen werden phasenbezogen wie folgt umgesetzt:

- **Erstellungsphase:** Der Unternehmer muss die geplanten Sicherheitsmassnahmen umsetzen und die Bauleitung muss sie überwachen.
- **Nutzungsphase:** Der Betreiber muss die Sicherheitsmassnahmen realisieren, überwachen, verbessern und den Veränderungen anpassen.
- **Abbruch und Entsorgung:** Der Eigentümer muss sicherstellen, dass die Unternehmer die notwendigen Sicherheitsmassnahmen einhalten.

Zur Umsetzung der geplanten Sicherheitsmassnahmen eignen sich Prüfpläne, Überwachungspläne, Arbeitsanweisungen, Checklisten, Ablaufschemata etc.

Der Wirtschaftlichkeit des Bauwerks kommt während des gesamten Nutzungszyklus grösste Bedeutung zu. Soweit keine zwingenden Rechtsvorschriften bestehen, ist unter Berücksichtigung des Kosten- und Nutzenverhältnisses zu beurteilen und zu entscheiden, ob Sicherheitsmassnahmen notwendig sind.

Die Erfahrung zeigt deutlich: Werden Sicherheitsmassnahmen konkret ausgeschrieben, werden sie - im Gegensatz zu globalen, allgemein geforderten und dementsprechend unpräzisen Sicherheitsmassnahmen - auch durchgesetzt.

In Deutschland existieren seit 1986 Leistungsbeschreibungen für sicherheitstechnische Einrichtungen und Massnahmen. Seit 1988 erarbeitet die Bayrische Bau-Berufsgenossenschaft ein Standardleistungsbuch für die Erfassung der Sicherheitspositionen in den Ausschreibungen.

Die SUVA-Kommission bemüht sich, dass die Sicherheitsanforderungen auch in Musterschreibungstexten ihren Niederschlag finden.

Aufgaben und Verantwortung der Beteiligten

Der Bauherr und / oder Eigentümer ist für die Gewährleistung der Sicherheit an seinem Eigentum verantwortlich. Der nichtsachverständige Bauherr ist durch die beteiligten Fachleute unaufgefordert zu beraten. Der Bauherr muss die Verantwortung für die Sicherheit in den einzelnen Phasen selbst wahrnehmen oder er muss sie an Fachleute (möglicherweise in jeder Phase an einen anderen) verantwortlich delegieren.

Der vom Bauherrn beauftragte Gesamtleiter ist normalerweise mit der Planung und Ausführung beauftragt und somit für die Sicherheit in dieser Phase verantwortlich. Der Gesamtleiter ist also als Sicherheitskoordinator zuständig für die Planung der Sicherheit. Er muss den Bauherrn über die verbleibenden Risiken unterrichten.

Die Spezialisten wie z.B. Architekten und Fachingenieure sind im Rahmen ihrer Aufträge für die Sicherheit des Bauwerks und der Anlagen zuständig und wirken bei der Sicherheitsplanung mit.

Die Bauleitung wirkt bei der Sicherheitsplanung (Arbeitssicherheit etc.) für Bau- und Installationsarbeiten mit. Vor Ausführungsbeginn überprüft die Bauleitung die vom Unternehmer vorgesehenen Sicherheitsmassnahmen. Ferner überwacht sie deren Einhaltung.

Die Unternehmer sind verantwortlich für die Arbeitssicherheit ihrer Beschäftigten. Sie müssen die geplanten und ihnen übertragenen Sicherheitsmassnahmen umsetzen. Ferner müssen sie alle gesetzlichen Sicherheitsvorschriften einhalten.

Der Betreiber ist verantwortlich, dass die geplanten Sicherheitsmassnahmen in der Nutzungsphase verwirklicht werden.

Es ist zu empfehlen, die Verantwortung der Beteiligten vertraglich festzuhalten.

17.4.3 Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase

Ziel und Zweck

Bei Bauprojekten kommt der Sicherheit in der Bauausführungs- und Betriebsphase eine grosse Bedeutung zu. Der Bauherr als Werkeigentümer überträgt die Planung und die Durchführung der Sicherheitsmassnahmen auf einen Sicherheitskoordinator bzw. auf Fachleute. Jeder am Bauprojekt Beteiligte ist im Rahmen seines Auftrags bzw. seiner Aufgabe für die Sicherheit verantwortlich.

Zu den rechtlichen Grundlagen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit gehören z.B. SIA-Normen, das Umweltschutzgesetz, die Störfallverordnung, das Arbeits- und Unfallversicherungsgesetz, ISO-Normen, EU-Richtlinien "Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen", EU-Richtlinien "Bauprodukte" u.a. Die Vielfalt der rechtlichen Grundlagen und die Komplexität der Bauprojekte stellen eine grosse Herausforderung

für die Bauausführung dar. Für die **Bauausführung** sind eine **integrale** Betrachtung im Sinn einer ganzheitlichen und umfassenden Sicherheit und die Dokumentation der relevanten Sachverhalte in **integralen Sicherheitsplänen** (IS-Pläne Bau) von grosser Bedeutung.

Ziel und Zweck des Integralen Sicherheitsplanes in der Erstellungsphase lassen sich wie folgt angeben:

- Der IS-Plan-Bau dient den am Bauprojekt Beteiligten als **Kommunikationsmittel** bezüglich der Sicherheit.
- Durch den IS-Plan-Bau sollen **konzeptionelle** und **bauliche Massnahmen** bezüglich der Sicherheit rechtzeitig in das Bauprojekt einfliessen können.
- Aus dem IS-Plan-Bau soll hervorgehen, welche **Gefahren** während der Bauphase vorhanden sind und durch welche **Massnahmen** ihnen begegnet wird. Er dient als Führungsmittel, das den Verantwortlichen erlaubt, kritische Situationen rechtzeitig zu erkennen und Massnahmen optimal festzulegen.
- Die für die **Betriebsphase** vorgesehenen Sicherheitsmassnahmen (Fluchtwege, Rettungsorganisation usw.) sollen im IS-Plan-Bau berücksichtigt werden, damit sie bereits während der Bauphase eingesetzt bzw. angewendet werden können. (Beispiel Gotthard-Strassentunnel: Integration eines Sicherheits- bzw. Fluchtstollens, ebenso lawinensichere Zugänge zur Baustelle.)
- Der IS-Plan-Bau dient als Grundlage für **Projektierung, Ausschreibung und Realisierung** der Sicherheitsmassnahmen.

Sicherheitsziele für die Bauphase eines Bauprojekts sind der Schutz der gefährdeten Personen vor Unfällen und Gesundheitsschäden sowie der Schutz der gebauten und natürlichen Umwelt vor schädlichen Einwirkungen. Diese Ziele gelten als erreicht, wenn alle Massnahmen gegen Gefährdungen getroffen werden, die nach geltenden rechtlichen Grundlagen notwendig, dem Stand der Technik und der Erfahrung nach anwendbar und den gegebenen Verhältnissen angemessen sind. Die Massnahmen müssen dem Grundsatz der Verhältnismässigkeit entsprechen.

Baustelle und Bauvorgänge als System

Die Baustelle und die damit verbundenen Vorgänge sollen als System abgrenzt und näher beschrieben werden. Die Beschreibung soll in Kurzform erfolgen und nur die für die Sicherheit relevanten Sachverhalte beinhalten:

- **Standort und Erschliessung der Baustelle**
sind anzugeben und in Baustelleneinrichtungsplänen darzustellen.
- **Beschreibung und Dauer des Bauvorhabens**
Die wesentlichen Daten bezüglich Grösse der Baustelle, Investitionskosten, Dauer der Bauausführung, Anzahl der Baustellenbeschäftigten usw. sind anzugeben.
- **Komponenten der Baustelleneinrichtung**
sind zu beschreiben und in Baustelleneinrichtungsplänen festzuhalten. Es ist sinnvoll, in diesen die relevanten Sachverhalte betreffend unmittelbare Umgebung (Strassen, Leitungen, Eisenbahn, Überbauung usw.) zu vermerken.
- **Bauetappen, Bauvorgänge und Bauwerkskomponenten**
Die Gliederung der Vorgänge soll sich möglichst an die Ausschreibungsunterlagen halten. Aus der Beschreibung soll ersichtlich werden, wie das Bauwerk erbaut wer-

den soll, d. h. nach welchem Bauvorgang welcher Zustand erreicht wird (Tragwerk, Ausbau, Installationen, Betriebseinrichtungen, Ver- und Entsorgung).

- **Natürliche sowie gebaute Umwelt und Bevölkerung**

Zur natürlichen Umwelt gehören Boden, Grundwasser, Gewässer, Tiere, Pflanzen sowie Hangrutschungen, Lawinen, Regen, Nebel, Frost, Schnee usw. Zur gebauten Umwelt gehören Gebäude, Verkehrswege, Leitungen etc. Die Bevölkerung und die Nachbarbebauung können durch die Baumassnahmen durch Immissionen (Staub, Lärm etc.), Vibrationen, ausgelöste Hangrutsche, Beeinträchtigung der Infrastruktur etc. direkt betroffen werden.

Gefahrenübersicht

Während der Bauvorgänge können einzelne oder auch mehrere Gefahren gleichzeitig auftreten. Es empfiehlt sich, die relevanten Gefahren in einer Vorgangs-Gefahren-Tabelle (Tabelle 17-1) aufzulisten. Daraus soll ersichtlich werden, welche Gefahren bei welchem Vorgang (Installationen, Phasen der Tunnelarbeiten) als relevant betrachtet wurden.

Tabelle 17-1: Vorgänge-Gefahren [7]

Vorgänge	Gefahren										
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	G ₉	...	G _i
Vorgang V ₁	x		x		x			x	x		x
Vorgang V ₂	x	x		x	x		x	x			
Vorgang V ₃		x	x		x	x	x	x	x		x
Vorgang V ₄											
Vorgang V _k			x		x			x	x		x

Die Festlegung der Sicherheitsmassnahmen soll sich auf die einzelnen Gefahren beziehen und gemäss der Vorgangs-Gefahren-Tabelle erfolgen. Drei Möglichkeiten bieten sich an:

- Vorgang-Gefahr und Sicherheitsmassnahmen (vorgangsbezogen)
- Gefahr und Sicherheitsmassnahmen (gefahrenbezogen)
- Gefahr/Vorgang und Sicherheitsmassnahmen (gefahren-vorgangs-bezogen)

Arbeitssicherheit bei Untertagearbeiten

Das Konzept der Arbeitssicherheit sollte im Untertagebau hierarchisch auf präventiven und ausmassvermindernden Massnahmen beruhen. Das Ziel dieses abgestuften Vorgehens ist es, das Eintreten von Ereignissen mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit zu vermeiden. Tritt doch ein Ereignis auf, so müssen Massnahmen zur Bekämpfung bereitstehen, um das Ausmass der Auswirkungen auf Personen, Bauwerk und Umwelt möglichst gering zu halten.

Dabei sollten folgende Massnahmen adäquat berücksichtigt werden:

- Vorauserkundungskonzept (Seismik und Bohrungen)
- Messkonzept (Verformungen, Wassermengen, Gas)
- Baulüftung und Kühlung bei tiefen Tunneln
- Einsatz von Partikel- und Rauchgasfiltern bei Verbrennungsmotoren
- Installation von Selbstrettungseinrichtungen und Brandbekämpfungsmitteln

Neben der technischen Arbeitssicherheit am Arbeitsplatz und bei den Geräten ist es erforderlich, das Personal für verschiedene Gefahrensituationen zu schulen.

Für grössere Ereignisse sollten Rettungspläne ausgearbeitet werden. Zu diesen Ereignissen gehören im Besonderen:

- Niederbrüche und Verbruch
- Wasser- und Schlammereinbruch
- Gasaustritt und Explosionen
- Brandfall im Tunnel
- Elektrounfall
- Ausfall der Lüftung

Die Rettungspläne sollten ausreichend Aufschluss darüber geben, wie beim Eintreten eines Ereignisses trotz präventiver Massnahmen die Bewältigung des Ereignisses angegangen werden soll. Hierzu gehören die Alarmauslösung, die Mobilisierung eigener und externer Kräfte (z.B. Feuerwehr, Sanitäter), Evakuierungs- und Bekämpfungsmassnahmen. Der Einsatz von Spezialgeräten muss vorher festgelegt werden sowie deren Verfügbarkeit und Mobilisierungszeit erkundet sein. Das Personal sollte für solche Ereignisse soweit erforderlich geschult werden.

Gefährdungsbilder und Sicherheitsmassnahmen

Für die betrachtete Gefahr werden mögliche Gefährdungsbilder kurz beschrieben. Für das jeweilige Gefährdungsbild sind die Sicherheitsmassnahmen festzulegen. Bei einem vorläufigen Sicherheitsplan können Gefährdungsbilder und Sicherheitsmassnahmen mittels Stichworten in einer Tabelle festgehalten werden, die als Übersicht für einen **späteren und detaillierten** Sicherheitsplan dient. Für die praktische Arbeit empfiehlt sich folgende Struktur:

- **Gefährdungsbild XY-1**

Kurzbeschrieb des Gefährdungsbildes XY-1 mit kurzen Sätzen,

anschliessend kurze Beschreibung der dazugehörenden Sicherheitsmassnahmen (z.B. kursive Schrift)

- **Gefährdungsbild XY-2**

Kurzbeschrieb des Gefährdungsbildes XY-3 mit kurzen Sätzen,

anschliessend kurze Beschreibung der dazugehörenden Sicherheitsmassnahmen (z.B. kursive Schrift)

- **Gefährdungsbild XY-...**

Zu den Sicherheitsmassnahmen gehören z.B. konzeptionelle, bauliche, technische, organisatorische (Abläufe, Reihenfolge der Arbeiten, Anweisungen), personelle Massnahmen, Überwachung von Abläufen und Bauteilen sowie Schaden mindernde Massnahmen (Risikoüberwachung, Alarmierung, Evakuierung usw.)

Die wesentlichen Aspekte der Risikoüberwachung sollten bereits bei der Festlegung der Sicherheitsmassnahmen behandelt werden. Dies betrifft insbesondere Risikoindikatoren wie z.B. Temperatur, Schneehöhe, Windgeschwindigkeit, Verformungen, Wassereintritt sowie Warn- und Alarmwerte. Durch die Risikoüberwachung soll sichergestellt werden, dass die Drohung einer Gefahr frühzeitig erkannt und entsprechende, den Schaden mindernde Notmassnahmen getroffen werden können. Die detaillierte Risikoüberwachung soll mit einem separaten "Überwachungsplan der eingegangenen Risiken" geregelt werden.

Als Restgefahren bezeichnet man alle unbekannt, subjektiv unerkannt und vom Betroffenen unberücksichtigten Gefahren sowie Gefahren infolge falscher oder mangelhaft ausgeführter Massnahmen. Diese Restgefahren könne hauptsächlich durch Überwachung aller unvorhergesehenen Änderungen bzw. Veränderungen unter Kontrolle gehalten werden.

17.4.4 Eingegangene Risiken

Nicht alle Risiken können eliminiert; gewisse Risiken müssen akzeptiert werden. Die eingegangenen Risiken müssen zusammengestellt und die Risikoträger (z.B. Bauherr, Unternehmer und Dritte) angegeben werden. In der Regel genügt die qualitative Angabe der Risiken und der Risikoträger. Gegebenenfalls sind die eingegangenen Risiken bezüglich möglicher Schäden sowie Eintretenshäufigkeit näher zu beschreiben. Dies ergibt nicht nur einen Überblick über die Grösse der eingegangenen Risiken, sondern hilft auch bei der Entscheidung, ob Risiken auf Versicherungen übertragen werden sollen. Für die Bauphase sind die Bauwesen- und Haftpflichtversicherung von Bedeutung.

Um den Sicherheitsplan nicht zu überladen, sollte die Risikoüberwachung mit einem separaten "Überwachungsplan der eingegangenen Risiken" (Tabelle 16-2) geregelt werden.

Tabelle 17-2: Überwachungsplan der eingegangenen Risiken [7]

Risikoart	Risikoträger				Risikoüberwachung			Risiko-bewertung		
	UN	BH	VS	DR	PL	UN	SO	SK	SM	SG
Regenfälle	x		x			x		H		
Hochwasser	x		x			x	x		M	
Schneefälle	x		x			x	x	H		
Risse/Nachbarobj.		x	x		x			H	S	
Anprall von LW		x							M	S
Sabotage/Krimin.		x	x			x	x	H	M	

Legende zur Tabelle

Risikoträger: UN = Unternehmer, BH = Bauherr, VS = Versicherung, DR = Dritte

Risikoüberwachung: PL = Planer, UN = Unternehmer, SO = Sicherheitsorganisation

Risikobewertung: SK = klein (z.B. Sachschaden bis Fr. 100'000.-)

SM = mittel (z.B. Fr. 100'000.- bis 4 Mio., Verletzte)

SG = gross (z.B. über 4 Mio. Fr., Personenschäden/Tote)

Häufigkeit des Ereignisses: H = häufig (1 x pro weniger als 10 Jahre)

M = mittel (1 x pro 10 bis 100 Jahre)

S = selten (1 x pro mehr als 100 Jahre)

Personenschäden, vor allem Todesfälle und Schwerverletzte, lassen sich nicht beheben, höchstens deren finanzielle Auswirkungen lindern. Die mögliche Schadensbehebung bezieht sich hauptsächlich auf Sach-, Folge- und Umweltschäden. Es ist wichtig aufzuzeigen, welche Konsequenzen der Schaden nach sich zieht, d.h. in welcher Zeitspanne und wie dieser Schaden zu welchen Kosten behoben werden kann.

17.4.5 Sicherheitsorganisation und Notmassnahmen

Die Sicherheitsmassnahmen sind zu planen und durchzusetzen und ihre Anwendung ist zu überwachen. Die Risiken sind zu überwachen; im Bedrohungsfall sind Notmassnahmen zu ergreifen. Dies setzt voraus, dass die damit verbundenen Aufgaben festgelegt und die betroffenen Personen entsprechend geschult wurden.

Die Zuständigkeit und Verantwortung für die die Sicherheit betreffenden Aufgaben sind festzulegen (Sicherheitskoordinator). Der Planer erhält eine Schlüsselrolle, da er das Projekt und seine kritischen Stellen kennt. Er soll deshalb im Sicherheitsplan die projektspezifischen Gefahren angeben und Sicherheitsmassnahmen, sofern diese eindeutig gegeben und planerisch lösbar sind, festlegen. Gegebenenfalls muss der Planer Fachleute beiziehen und von ihnen sowie vom Unternehmer Lösungen zur Gefahrenbewältigung verlangen. Der Unternehmer seinerseits beurteilt die vom Planer aufgezeigten Gefahren und legt die zu treffenden Sicherheitsmassnahmen fest. Er ist für alle Massnahmen zur Unfallverhütung und Gesundheitsvorsorge verantwortlich, die gemäss den Vorschriften für die Arbeitssicherheit bei Bauarbeiten einzuhalten sind. Die Organisation der Risikoüberwachung ist kurz zu beschreiben.

Entsprechend den möglichen Gefährdungen bzw. der drohenden Gefahr ist die Alarm- und Rettungsorganisation festzulegen. Es empfiehlt sich, diese Organisation stufenweise - nach dem Schadenausmass - aufzubauen. Dabei soll zwischen der internen (Baustelle) und externen Organisation (Feuerwehr, Chemiewehr, Polizei usw.) unterschieden werden. Für besondere Gefahren ist ein Notmassnahmenplan auszuarbeiten. Die SIA 465 ist in der Schweiz nicht verpflichtend anzuwenden.

17.5 Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften

17.5.1 Motivation

Im Gegensatz zum Integralen Sicherheitsplan hat man beim SIGEPLAN auf das zurzeit in der Bauwirtschaft gravierendste Sicherheitsproblem der Arbeitssicherheit fokussiert.

Der SIGEPLAN [8] und die ergänzenden Dokumente zur Gefährdungsbeurteilung von Untertagebauarbeiten [9] sollen die Sicherheit in der Bauphase erhöhen. Diese Planungsunterlagen sollen einerseits die EG-Baustellenrichtlinie 92/57/EWG und andererseits die Verpflichtung der Arbeitgeber zur Gefährdungsbeurteilung der Arbeitsplätze gemäss Arbeitsschutzgesetz von 1996 (Bild 17–7) erfüllen. Im Folgenden werden beide sich ergänzenden Elemente, die als Instrumente des Sicherheitsmanagement auf der Baustelle dienen, beschrieben.

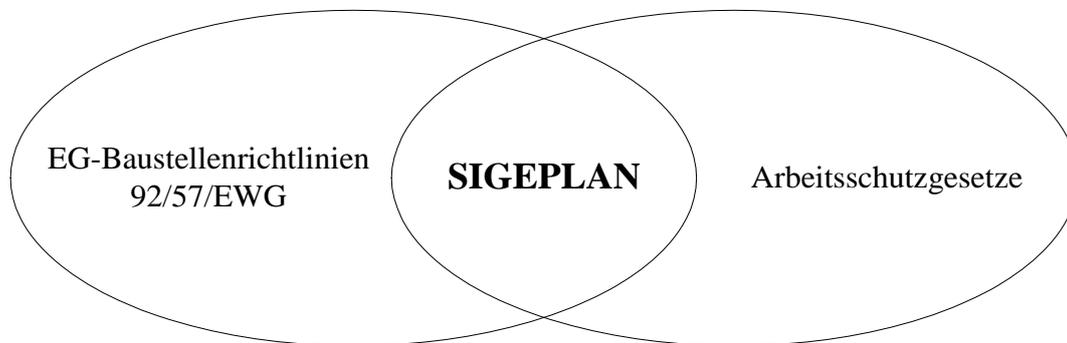


Bild 17–7: Rechtliche Grundlagen des SIGEPLAN

Mit der frühzeitigen Planung der Sicherheitseinrichtungen und –massnahmen sowie deren Berücksichtigung bei der Ausschreibung kann der Bauherr folgende Vorteile erzielen:

- Minimierung der Gefährdung aller am Bau Beteiligten
- Minimierung der Gefährdung, die von der Baustelle auf unbeteiligte Dritte ausgeht
- Vermeidung von Störungen im Bauablauf
- Erhöhung der Qualität der geleisteten Arbeit
- Kosteneinsparung durch gemeinsam genutzte Sicherheitseinrichtungen

Die Gefährdungsbeurteilung soll vorausschauend durchgeführt werden, um vorbeugende Massnahmen rechtzeitig veranlassen und überwachen zu können. Dies stärkt die Mitarbeitermotivation, verringert bzw. eliminiert Störfaktoren in den Arbeitsabläufen und senkt damit die Kosten.

Der SIGEPLAN soll so einfach wie möglich erstellt werden, damit er als unkompliziertes, überschaubares und effizientes Hilfsmittel genutzt werden kann.

17.5.2 Sicherheitsplanung

Zur Planung und Umsetzung des SIGEPLAN ist ein Sicherheitskoordinator bestimmen.

Der SIGEPLAN soll in der Planungsphase so konzipiert werden, dass er auf den ersten Blick auf einer Übersichtszeichnung die Schwerpunkte und Besonderheiten des Arbeitsschutzes des jeweiligen Projekts klar aufzeigt. Der SIGEPLAN dient als Grundlage zur Planung der Sicherungs- und Arbeitsschutzmassnahmen in folgenden Bauunterlagen:

- Baustelleneinrichtungsplan: Lage und Ort der permanenten Massnahmen
- Arbeitszykluspläne: z.B. Schutzvorrichtungen beim Sprengvortrieb
- Terminplan: Dauer der jeweiligen Schutzmassnahmen

Der SIGEPLAN (Bild 17–8) muss folgende Minimalbedingungen erfüllen:

- Er soll in der Vorbereitungsphase des Projekts erstellt und in der Ausführungsphase dem Arbeitsfortschritt und Änderungen angepasst werden.
- Die für die jeweilige Baustelle zutreffenden Bestimmungen müssen aufgeführt werden. Die Wechselwirkung zwischen Baubetrieb und Produktion oder Verkehr muss, falls relevant (z.B. Instandsetzung eines Bahntunnels), berücksichtigt werden.
- Spezifische Massnahmen bei möglichen Folgen gefährlichen Arbeiten (z.B. Verschüttung bei Niederbruch im Tunnel, plötzlicher Bergwassereinbruch) müssen angegeben werden.

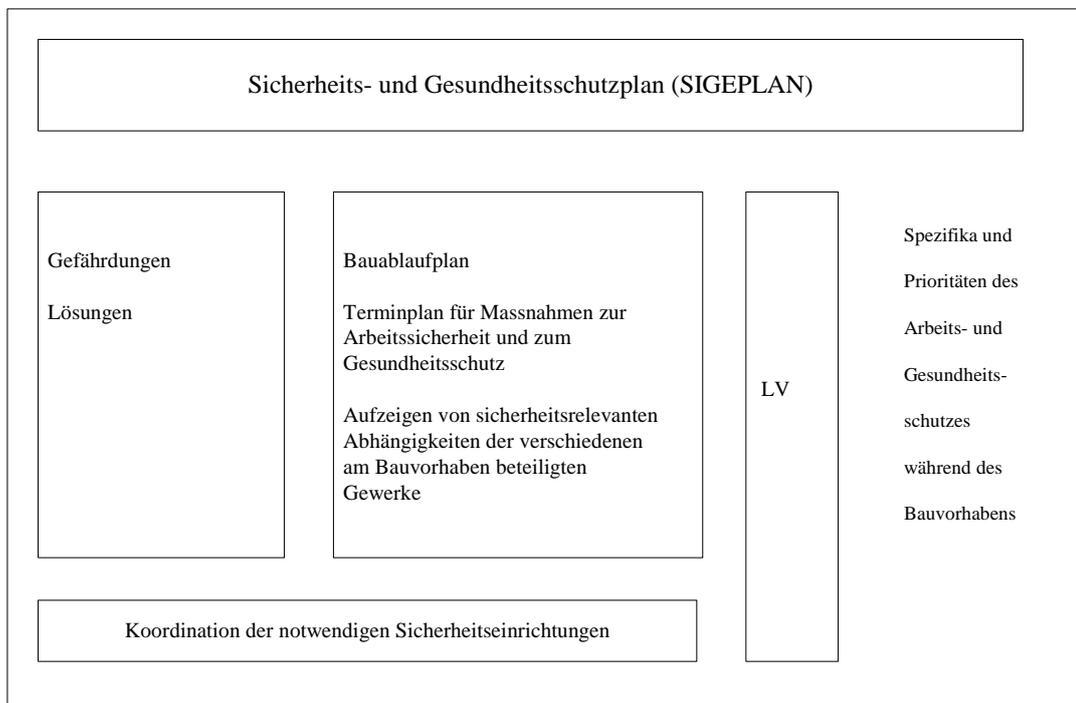


Bild 17–8: SIGEPLAN [8]

Der SIGEPLAN [8] soll nach dem Leitfaden der Berufsgenossenschaften erstellt werden. Sein schematischer Aufbau ist in Bild 17–8 dargestellt, er gliedert sich in folgende Hauptelemente:

- Im linken Planteil sind die zu erwartenden Gefährdungen während des Baustellenbetriebs mit den zugehörigen Lösungen, gegliedert nach Gewerken, aufgeführt.
- Im zentralen, mittleren Planteil dominiert der Bauablaufplan mit den Gefährdungen, die sich aus den zeitlichen Abhängigkeiten der verschiedenen Arbeiten ergeben.
- Im unteren Teil werden die erforderliche Koordination der notwendigen Sicherheitseinrichtungen sowie deren Standzeit eingetragen.
- Im rechten Planteil sind folgende Eintragungen vorzunehmen:
 - Hinweise auf Ausschreibungstexte zum Arbeitsschutz
 - Positionen des Leistungsverzeichnisses
 - Hinweise auf andere Pläne, Anweisungen und Bestimmungen

Der erwähnte SIGEPLAN-Leitfaden dient als Hilfsmittel zur systematischen und zügigen Bearbeitung des Sicherheitskonzepts für Baustellen. Im Mittelpunkt des SIGEPLAN-Leitfadens [8] und der modular aufgebauten Arbeitsblätter Gefährdungsbeurteilung für Untertagearbeiten [9] stehen Gefährdungskataloge und Checklisten, in denen gewerkebezogen:

- mögliche Gefährdungen mit den entsprechenden Bestimmungen aufgeführt sind,
- praktikable Lösungen zur Abwendung von Gefahren vorgeschlagen und
- Hinweise auf mögliche Ausschreibungstexte angeboten werden.

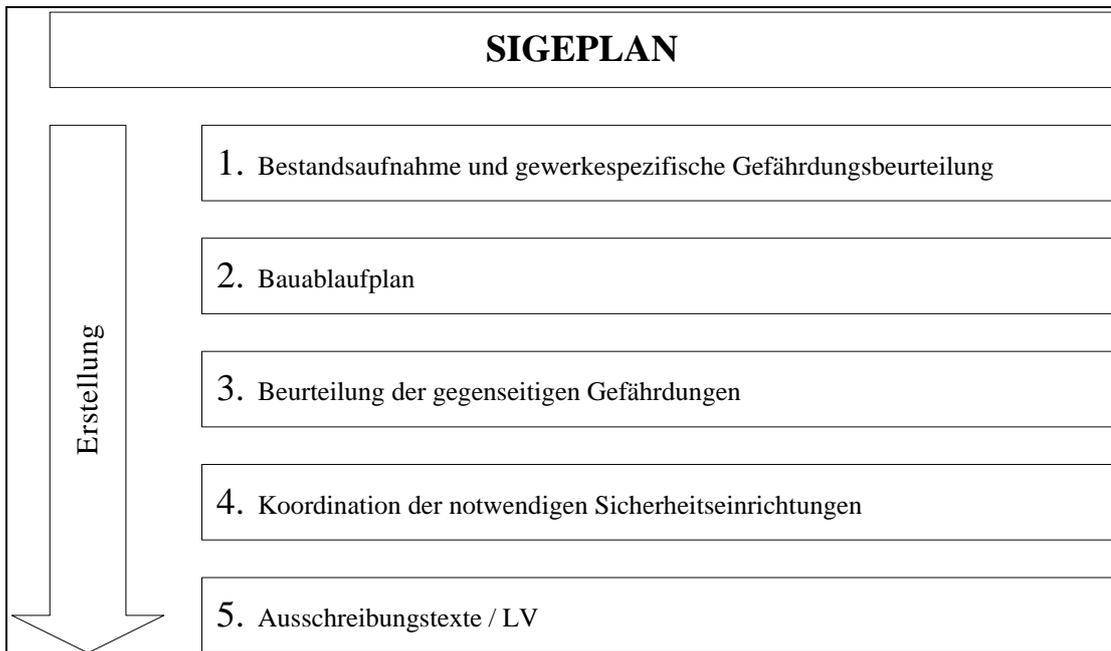


Bild 17–9: SIGEPLAN in 5 Schritten [8]

Der SIGEPLAN soll in fünf Schritten ausgearbeitet werden (Bild 17–9):

- Der Sicherheitskoordinator studiert Baugenehmigung, Baubeschreibungen, Pläne und Gutachten.
- Beurteilung gegenseitiger Gefährdung aus örtlicher und zeitlicher Nähe unter Beachtung und Nutzung der Checklisten [8], [9]

- Übernahme des Bauablaufplans in den SIGEPLAN mit zentralem Balkendiagramm für die zeitliche Planung der Sicherheitsmassnahmen
- Planung der Baustelleneinrichtung unter Berücksichtigung der mittels Checklisten identifizierten Gefahren und der dort festgelegten Sicherheitsmassnahmen
- Koordinierung der Sicherheitsmassnahmen während des Bauablaufs
- Ausschreibung notwendiger und wichtiger Schutzmassnahmen im Leistungsverzeichnis

17.5.3 Umsetzung des Sicherheitsplans

Der SIGEPLAN muss als baubetriebliches Planungs- und Führungshilfsmittel (Bild 17–10) verstanden werden, das:

- einerseits die Umsetzung als notwendig erkannter Sicherheits- und Arbeitsschutzmassnahmen sicherstellt und
- andererseits die wöchentliche bzw. monatliche Kontrolle im Rahmen des Baustellencontrollings erzwingt.

Der SIGEPLAN sollte Bestandteil des projektbezogenen Qualitätsmanagements sein und unter Verantwortung des Projektmanagements umgesetzt werden.

Der SIGEPLAN und der Katalog „Gefährdungsbeurteilung für Untertagebauten“ stellen ein übersichtliches und einfaches Element dar, um flexibel für jede Baustellengrösse eine dem Gefährdungsgrad und der Komplexität angepasste wirtschaftliche Sicherheitsplanung vorzunehmen. Die Benutzung der Checklisten „Gefährdungsbeurteilung für Untertagearbeiten“ ist für den Unternehmer verpflichtend. Die Richtlinie 92/57EWG muss in nationales Recht umgesetzt werden.

Hauptgliederungspunkte des Leitfadens eines SIGEPLANS

Handlungsanleitung

Unterlagen zur Baustellenorganisation

Gefährdungskatalog zur Baustellenvorbereitung

Checklisten zur Baustelleneinrichtung

Gefährdungskataloge zu gewerkspezifischen Gefährdungen

Bild 17–10: Hauptgliederungspunkte des Leitfadens eines SIGEPLANS [8]

17.6 Zusammenfassung

Die heutigen Anforderungen an das Baustellenmanagement verlangen eine integrale Umsetzung von

- Projektmanagement,
- Qualitätsmanagement und
- Sicherheits- und Gesundheitsmanagement.

Diese Managementelemente sollten in einem baustellenbezogenen Projekt-Qualitäts-Managementhandbuch integriert werden.

Bei aller Betonung der Notwendigkeit der Planungselemente für Sicherheit und Gesundheit muss vor Übereifer gewarnt werden. Zu detaillierte Vorgaben behindern die Einhaltung und Überwachung während der Bauphase. Die richtige, praktische Konzentration auf die wesentlichen Punkte analog zum Qualitätsmanagement muss gefunden werden, um eine erfolgreiche Umsetzung auf der Baustelle zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- [1] N.N.: Richtlinie 92/57/EWG des Rates über die auf zeitlich begrenzte oder ortsveränderliche Baustellen anzuwendenden Mindestvorschriften für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz. Brüssel, 1992.
- [2] N.N.: Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung BauAV) 2010.
- [3] N.N.: Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über Unfallverhütung, VUV) 2010.
- [4] SIA 118: Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten, § 4.3 Schutz- und Fürsorgemassnahmen, Art. 103/104/105, Zürich, 1991.
- [5] N.N.: SiGePlan für Baustellen – SUVA
- [6] N.N.: SUVA Dokument Nr. 88218: Planungswerkzeug: Baustellenspezifische Massnahmen für Sicherheit und Gesundheitsschutz 2006.
- [7] SIA 465: Sicherheit von Bauten und Anlagen. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 1998.
- [8] N.N.: SIGEPLAN – Leitfaden zur Erstellung eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzplanes. Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften, Frankfurt am Main, Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München, Abruf-Nr. 631, 1998.
- [9] N.N.: Gefährdungsbeurteilung für Untertagebauarbeiten – Gefährdungen erkennen, beurteilen, beseitigen. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Bundesfachabteilung Unterirdisches Bauen im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Berlin, 1998.

Anhang: Vorschriften zum Arbeits- und Unfallschutz

Seitens des Schweizer Bundesrates wurden folgende Verordnungen erlassen:

Form-Nr.	Ausgabe	Titel
832.311.141	01.07.10	Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung BauAV)
832.30	01.07.10	Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über Unfallverhütung VUV)
832.312.15	01.10.07	Verordnung über die sichere Verwendung von Kranen (Kranverordnung)
832.312.15	01.10.07	Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei der Verwendung von Druckgeräten (Druckgeräteverwendungsverordnung)

Seitens der SUVA werden Dokumente wie Verordnungen / Richtlinien / Empfehlungen / Merkblätter sowie Schweizerische Blätter für Arbeitssicherheit herausgegeben:

Form-Nr.	Ausgabe	Titel
88218	12.06	Planungswerkzeug: Baustellenspezifische Massnahmen für Sicherheit und Gesundheitsschutz
1863	05.07	Richtlinien für den Einsatz von Kranen und Baumaschinen im Bereich elektrischer Freileitungen
1574	07.71	Richtlinien für die Benützung von Erdbewegungsmaschinen und Transportfahrzeugen
1485	12.08	Richtlinien über Silos

Darüber hinaus hat die EKAS, die Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit, folgende Richtlinien herausgegeben:

Form-Nr.	Ausgabe	Titel
6514	10.05	Untertagarbeiten
6516	07.07	Druckgeräte

Im Weiteren sei auf die ausführlichen Dokumentationen und Unterlagen der TBG hingewiesen:

Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Am Knie 6

D-81241 München

Platz für Notizen:

Platz für Notizen:

