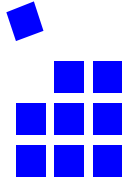


Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

Industrielles Bauen





Girmscheid, G.:

Industrielles Bauen



Herausgeber und Autor

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

Institut für Bauplanung und Baubetrieb

ETH Zürich

Professur für Baubetriebswissenschaften
und Bauverfahrenstechnik

Titelbild: Transportanlagen eines Fertigteilwerkes

Quelle: Vollert GmbH + Co. KG Anlagenbau

Inhaltsverzeichnis

1	Systematisierung, Gliederung und Merkmale.....	2
2	Implementierung des industriellen Bauens in Unternehmen	8
2.1	Wege zur Neuorientierung.....	8
2.2	Massnahmen im Unternehmen.....	10
2.3	Kundenfokus der Industrialisierung.....	18
3	Unterscheidung und Auswahl von Fertigteilen	20
3.1	Vorteile und Nachteile der Werksfertigung	20
3.2	Häufig verwendete Fertigteile	21
3.3	Halbfertig-Rohbauelemente	22
3.4	Rohbauelemente	24
3.5	Fertigelemente – Sandwich-Wandelemente	27
3.6	Fertigmodule – Fertigteil-Räume	27
3.7	Fertigteile im Holzbau	29
3.8	Vorauswahl Beton-Deckentypen.....	30
3.9	Vorauswahl Beton-Wandsysteme.....	31
3.10	Quantitative Entscheidungskriterien zur Bauverfahrenswahl im Betonbau	32
4	Industrielle Vorfertigung im Betonbau	36
4.1	Produktionsverfahren auf stationären kurzen Bahnen.....	37
4.2	Produktionsverfahren auf stationären langen Bahnen.....	41
4.3	Produktionsverfahren mit mobiler Schalung – Umlaufproduktionsverfahren (Fließfertigung)	45
4.4	Einsatz von CAD/CAM in der Vorfertigung	50
5	Industrielle Vorfertigung im Holzbau.....	56
5.1	Brettschichtholz	56
5.2	Brettstapelelemente.....	58
5.3	Wandtafeln für die Tafelbauweise.....	59
6	Konstruktionsprinzipien der Montagebauweise	60
6.1	Skelettbauweise.....	60
6.2	Rippenbauweise	63
6.3	Wand- oder Tafelbauweise.....	64
6.4	Raumzellenbauweise.....	65
6.5	Sonderbauweisen im Brückenbau	67
6.6	Elementverbindungen, Auflagerpunkte und Fugen.....	69
7	Industrielle Baustellenfertigung	74
7.1	Industrialisierung der Montage von Fertigteilen	74
7.2	Industrialisierung der Ortbetonbauweise	81
8	Ausblick.....	86

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 1 dargestellten Merkmale des industriellen Bauens.

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

Tabelle 1: Merkmale industrieller Produktion und deren Übertragung auf die Bauwirtschaft

Wie in Tabelle 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
- Rohbauraummodule
- Fertigmaummodule
- 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)

Fertigmaummodule sind räumlich abgegrenzte, funktionsfertige funktionale Einheiten, die aus mehreren Elementen/Bauteilen bestehen können (Bsp. Bad- oder Sanitärzellen). Im Gegensatz zu Rohbauraummodulen sind Ausbauarbeiten bei Fertigmaummodulen 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 Fertigteilsysteme können aus einzelnen Fertigmaummodulen oder Fertigelementen errichtet werden (Bsp: Industriehallen im Stützen-Riegel-System).

Diese Einteilung führt zu der in Bild 1 dargestellten Systematisierung der Elemente bezüglich des inhaltlichen und räumlichen Integrationsgrades.

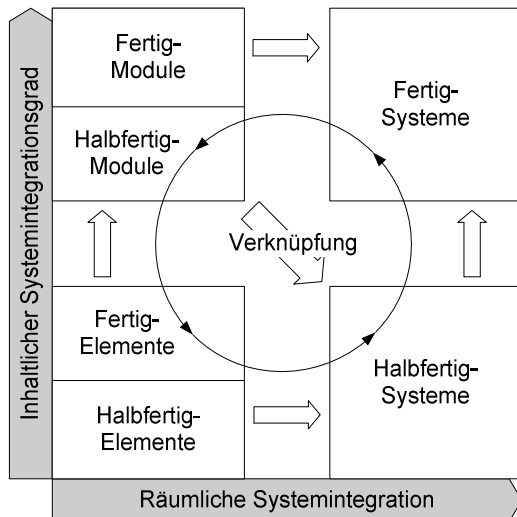


Bild 1: Systematisierung der Fertigteile gemäss ihres Integrations- und Verknüpfungsgrades

Eine weitere Differenzierung kann gemäss Bild 2 erreicht werden durch die Charakterisierung des inhaltlichen Integrationsgrades und räumlichen Verknüpfungsgrades.

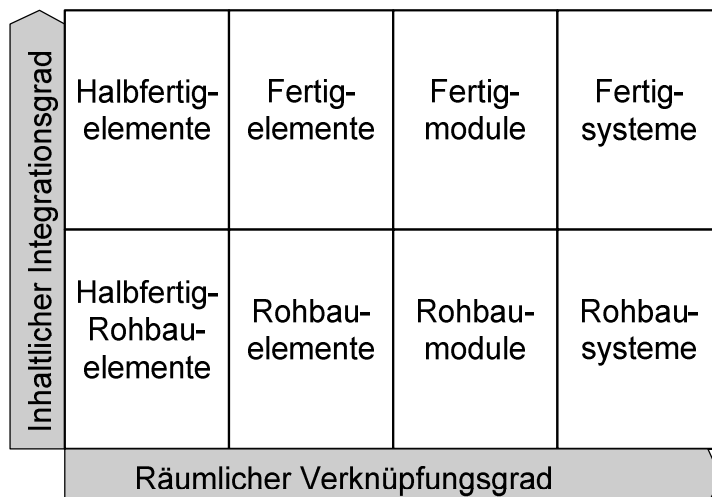


Bild 2: Begriffliche Differenzierung der Fertigteile in Bezug auf inhaltliche Integration von konstruktiven und Ausbauelementen sowie des räumlichen Integrationsgrades

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 Gesamtbau (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 3).

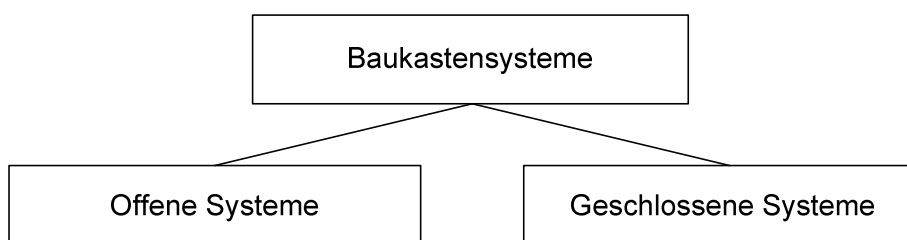


Bild 3: Unterteilung in offene und geschlossene Systeme

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 4 ist ein offenes Bausystem schematisch dargestellt.

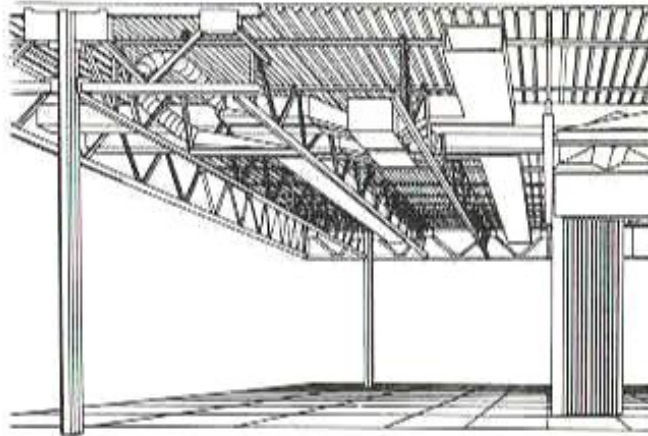


Bild 4: Schematische Darstellung eines offenen Bausystems [4]

Plattformsysteme 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.

2 Implementierung des industriellen Bauens in Unternehmen

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 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.

Kostengruppen	Gesamte Baukosten			Investitions- kosten
	Anteil Arbeitskraft / Ausrüstung	Material- anteil	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 %

Tabelle 2: Verteilung von Baukosten und Investitionskosten nach Kostengruppen [1]

Circa 50 % der Baukosten entfallen auf den Arbeitslohn bzw. die Maschinennutzung. In Bild 5 ist daher beispielhaft die Nutzung der Arbeitszeit auf einer Baustelle näher aufgeschlüsselt.

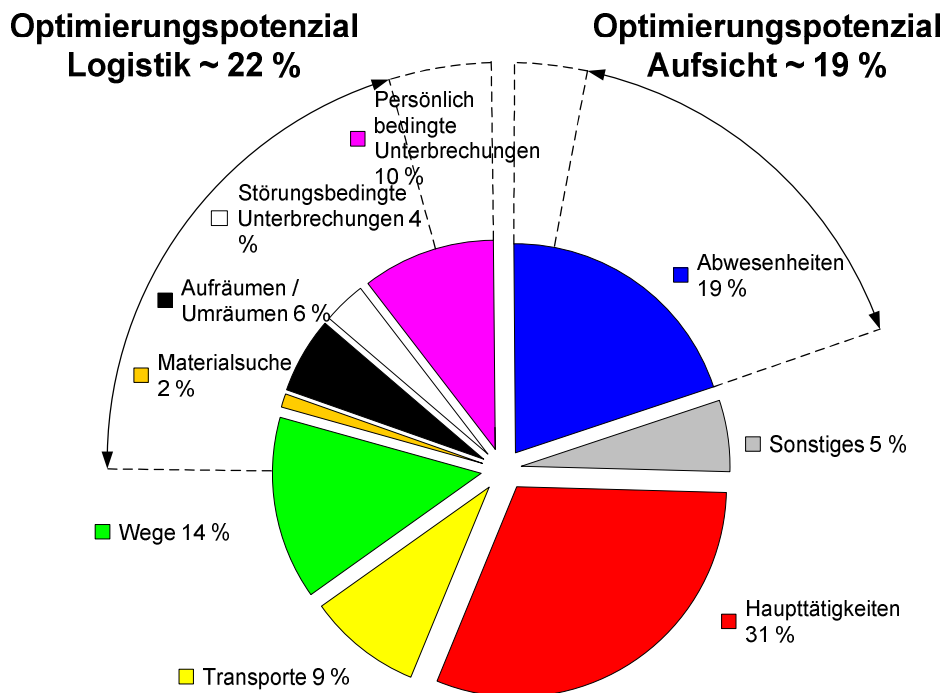


Bild 5: Potentiale zur Kostenreduktion: Nutzung der Arbeitszeit [23]

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 6). Ohne eine Überprüfung der jeweiligen Unternehmensstrategie sind Effizienzpotentiale nicht vollständig realisierbar. Jede Aktivität eines Unternehmens, so also auch die in Abschnitt 2.2 betrachteten Lösungskuster des industriellen Bauens, enthalten sowohl strategische als auch operative Komponenten.

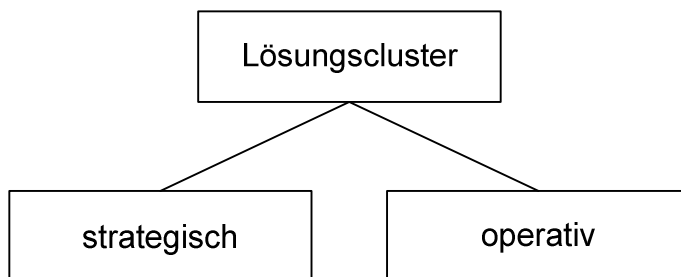


Bild 6: Lösungskuster zur Erschließung von Effizienzpotentialen

2.2 Massnahmen im Unternehmen

Paradigmenwechsel - strategische Neuorientierung

Bild 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 investientorientiert 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	Lebens-zyklus-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	Kosten-effizienz	Kosten-effizienz	Kosten-effizienz	Kosten-effizienz	Kosteneffizienz und/oder Differenzierung	Kosteneffizienz und Differenzierung

Bild 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

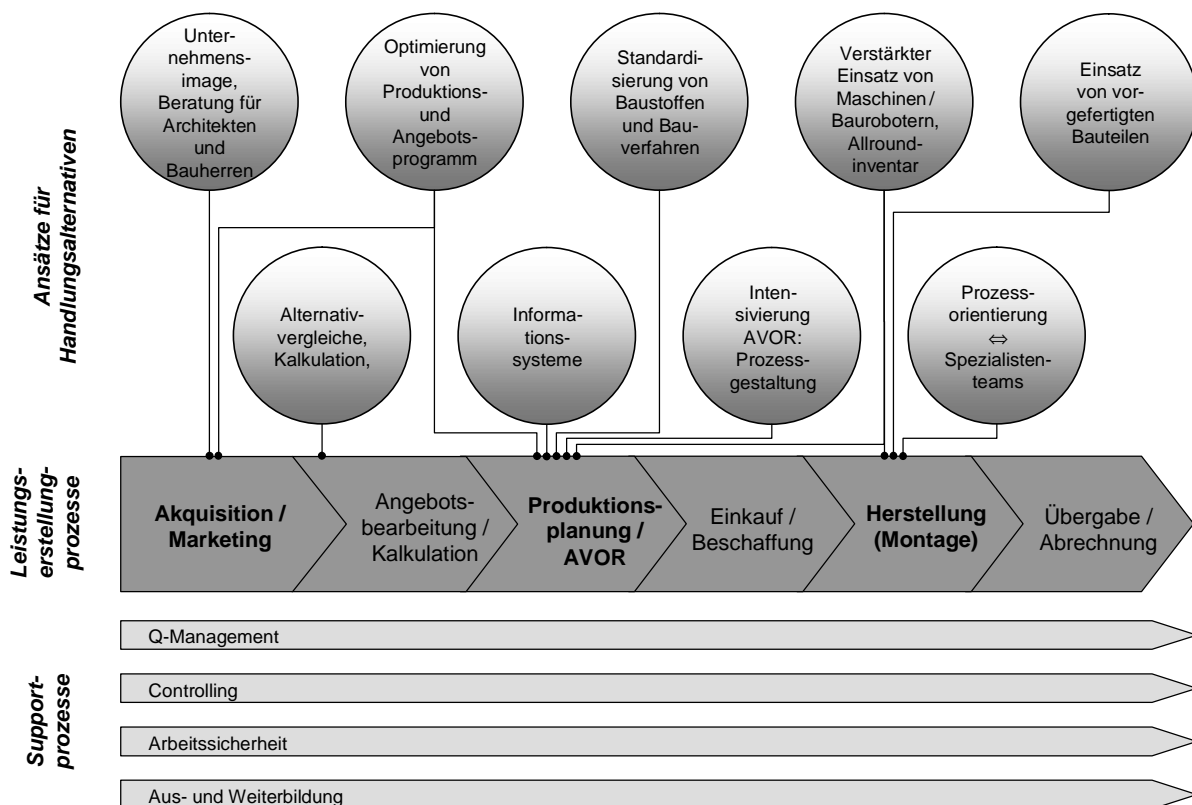


Bild 8: Industrialisierung des Leistungserstellungsprozesses in KMU

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 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 Bauens 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, erhält 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 Fertigteileinsatz 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 9 beschreibt schematisch den für eine integrierte Produktionsplanung notwendigen Informationsfluss.

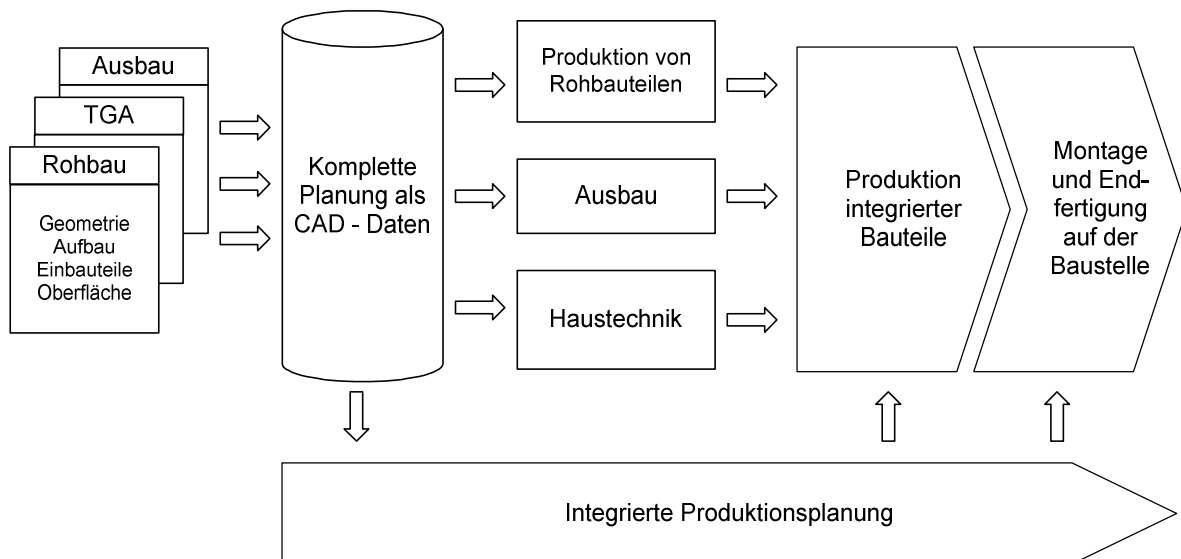


Bild 9: Informationsfluss als Basis integrierter Produktion

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 Bauherren 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 kompetitive 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 kooperativen 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 Bauablaufplan, 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.

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 10 dargestellt.

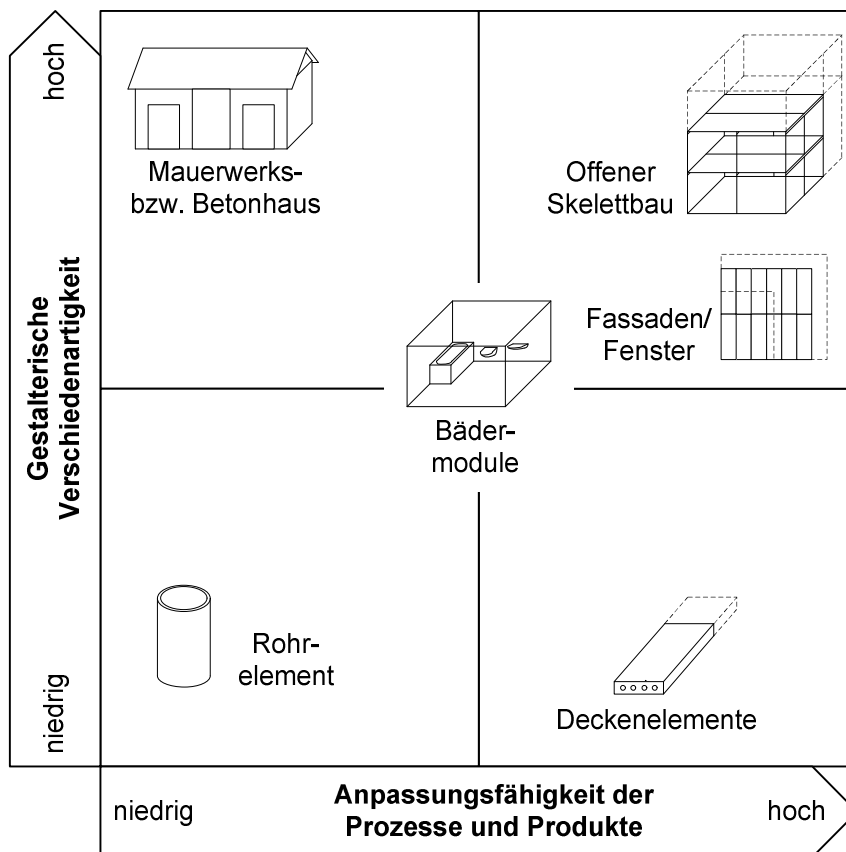


Bild 10: Matrix der gestalterischen Verschiedenartigkeit und prozess- und produktbedingter Anpassungsfähigkeit.

3 Unterscheidung und Auswahl von Fertigteilen

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 Fassadengestaltung
- 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.

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 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 18)
- Dachbinder
- Sonderbauteile
 - Maste, Rohre
 - Gleisschwellen
- Systemmodule, z.B. Fertigbäder

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 11, auch bekannt unter Markennamen Filigrandecke) und an der Einbaustelle mit zusätzlicher Bewehrung und Ortbeton oder **Stahlfaserbeton** zu monolithischen Decken vergossen (Bild 12).

Nach analogem Prinzip funktionieren auch **Holz-Beton-Verbunddecken**, bei denen Brettstapelholz und Aufbeton durch schubfeste Verbindungen eine gemeinsame Lastabtragung bewirken (Bild 13).

Eine weitere Verbreitung als die Holzverbunddecke hat jedoch die **Verbunddecke mit Stahlprofilblechen** (Bild 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 11: Verlegen einer Elementdeckenplatte [47]



Bild 12: Stahlfaserbeton als Aufbeton auf einer Filigrandeckenplatte oder als Bodenplatte

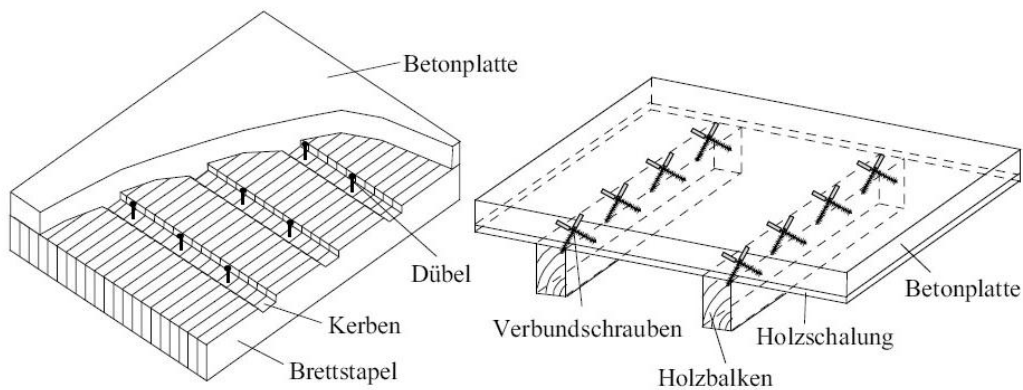


Bild 13: Aufbau einer Holz-Beton-Verbunddecke [34]



Bild 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). Bei diesen werden die bewehrten Wandaussenseiten 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: Hohl- oder Doppelwände mit Ortbetonausfüllung [48]

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 18) und Treppen (Bild 16), aber auch Fassadenelemente, Balkonplatten und Brüstungen als Fertigteile eingesetzt.



Bild 16: Fertigteil-Treppe beim Einbau [46]

Weiterhin werden vielfach Rohbau-Deckenelemente (u.a. Spannbeton-Hohldecke (Bild 17) und Stützen (Bild 19) als Fertigteile montiert.



Bild 17: Spannbeton-Hohldecke [39]



Bild 18. Liftschachtelemente [39]

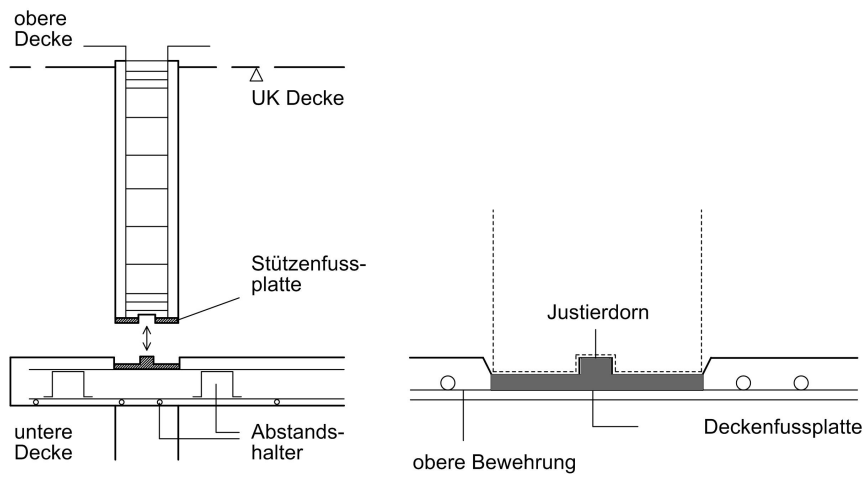


Bild 19: Einbau einer Fertigteilstütze im Hochbau












	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	

Tabelle 3: Querschnitte für weitgespannte Träger [31]

3.5 Fertigelemente – Sandwich-Wandelemente

Sandwich-Wandelemente bestehen aus der inhaltlichen Integration mehrerer, miteinander im Verbund stehenden 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 20 sind verschiedene Sandwich-Wandelemente dargestellt.

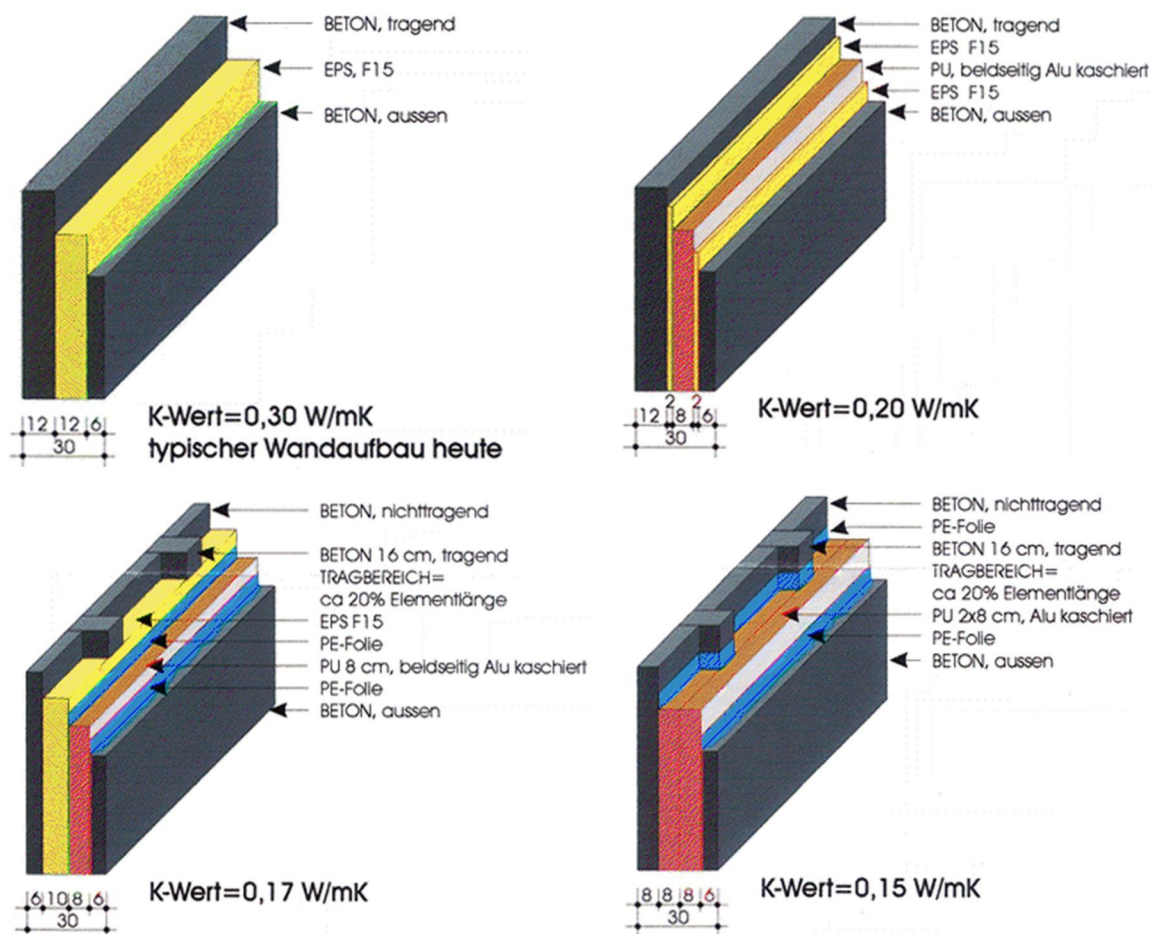


Bild 20: Fertigwandelemente - Querschnitt durch Sandwichwand k-Werte 0.15 bis 0.3 [64]

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 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 22).



Bild 22: Fertigteilgarage als Anbau an bestehendes Gebäude [45]

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 23)



Bild 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

3.8 Vorauswahl Beton-Deckentypen

Vor der Herstellung von Bauten gilt es, verschiedene Baumethoden gegeneinander abzuwägen. So stellen die Deckentypen (Bild 25) Elementdeckenplatte, Rippendecke und Spannbeton-Hohldecke eine Alternative zur Herstellung einer Ortbetondecke dar. Eine schnelle Vorentscheidung für einen Deckentyp kann mittels eines Entscheidungsbaums (Bild 24) erfolgen. Die Deckentypen, die die geforderten projektspezifischen Bedingungen nicht erfüllen, können dann bei der Entscheidung für oder gegen einen Deckentyp verworfen werden.

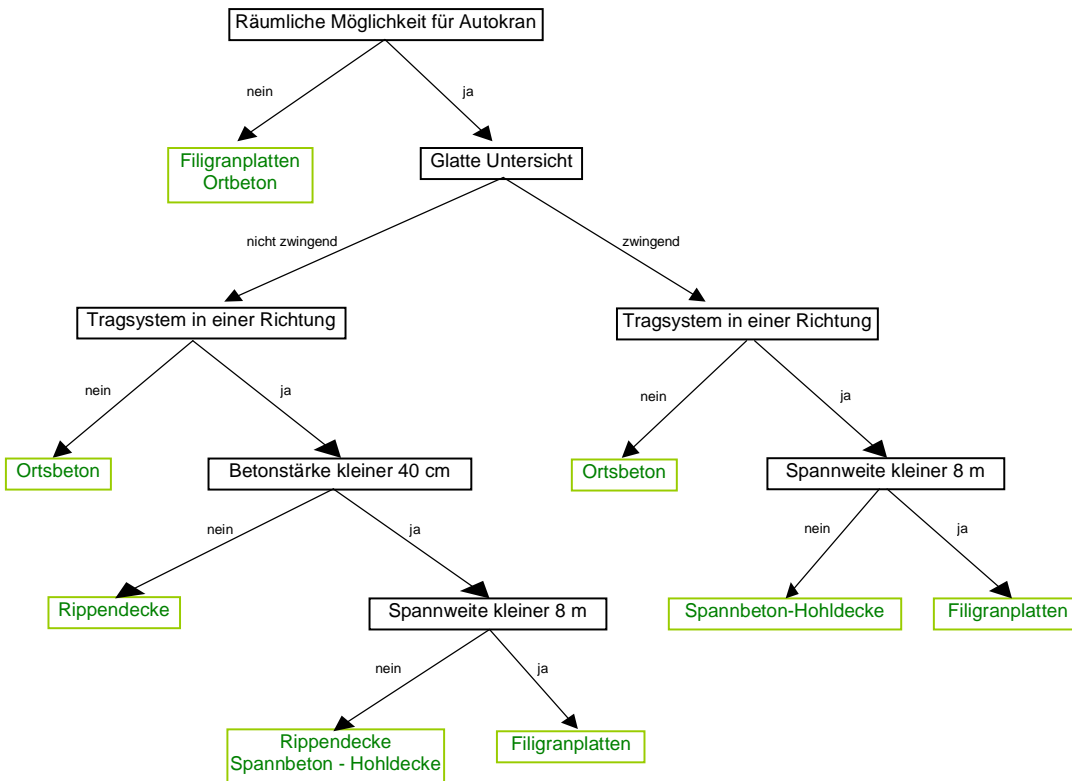


Bild 24: Entscheidung Deckentypen [39]

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 25: Vorauswahl Deckentypen [1]

In Bild 25 sind für verschiedene Deckenkonstruktionen typische Anwendungsfälle aufgelistet.

Vorauswahl Beton-Wandsysteme

Die Vorauswahl eines Wandsystems kann qualitativ nach Bild 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 26).

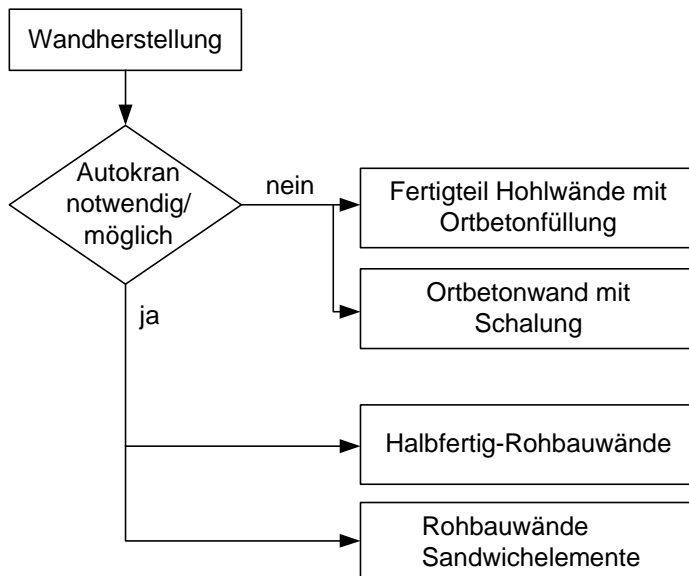


Bild 26: Vorentscheidung Wandsysteme

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) als Alternative zur reinen Ortbetonherstellung weiter verfolgt werden. Die wirtschaftliche Abstimmung von Kran- und Elementgröße ist in Bild 27 dargestellt.

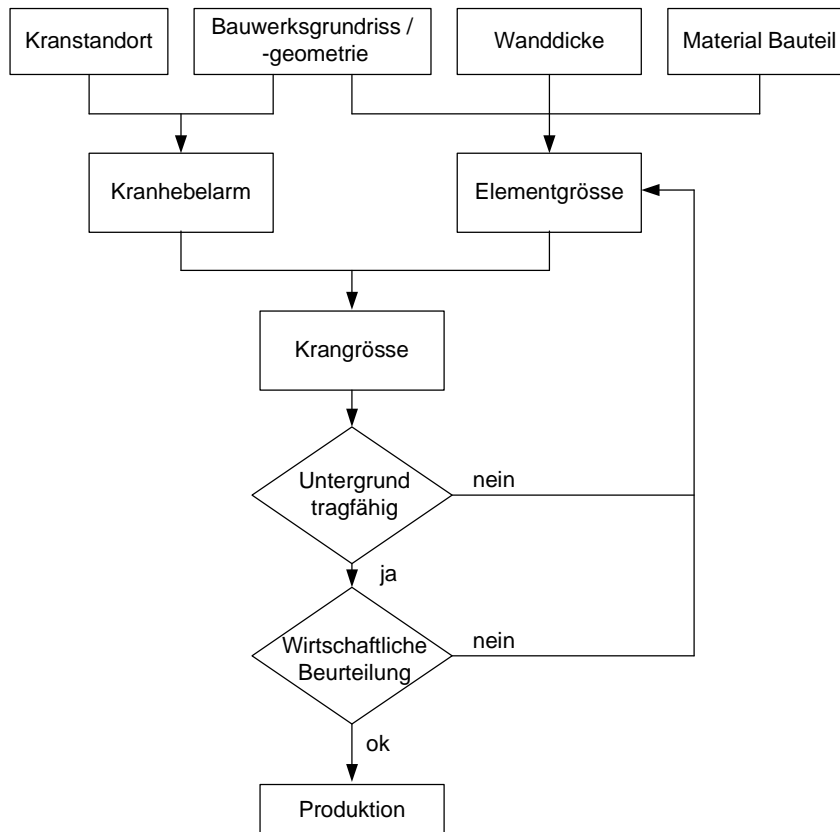


Bild 27: Wechselbeziehung zwischen Kran- und Elementgröße

Besteht die Möglichkeit, dass ein Autokran auf der Baustelle eingesetzt werden kann, stehen grundsätzlich alle Systeme zur Auswahl.

3.9 Quantitative Entscheidungskriterien zur Bauverfahrenswahl 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 Fertigteileinsatzes 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 Fertigteilausführungen sind meist Einfeld-trägersysteme, 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 Halffertig-Rohbauelementdecke (Filigranplatte) mit Ortbeton hergestellt.

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 Produktionsverfahren 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.

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 28).

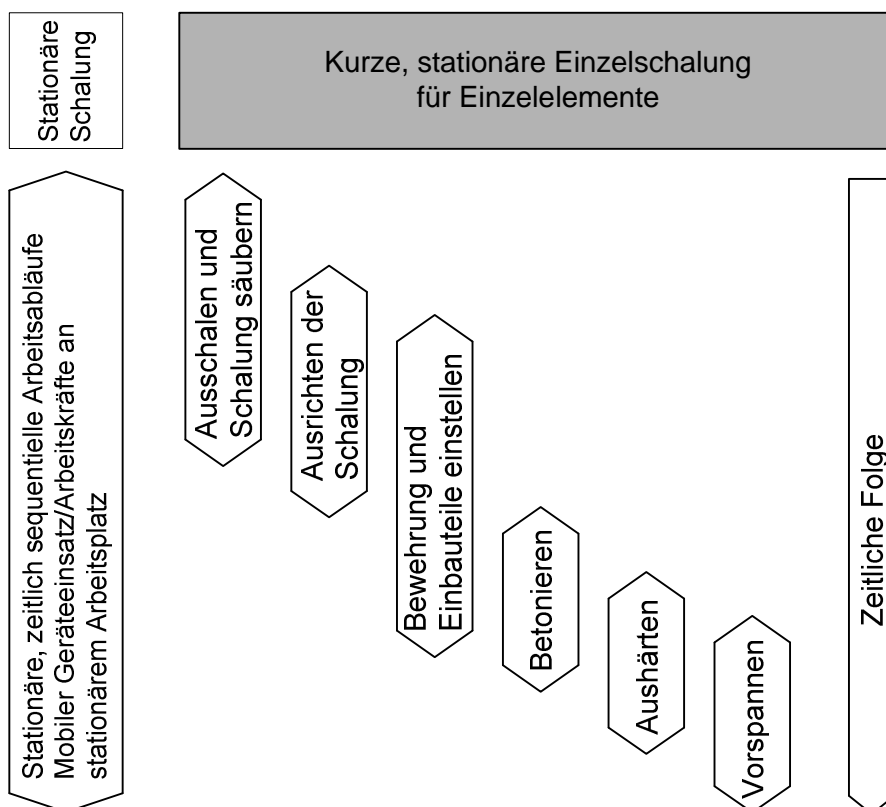


Bild 28: Produktionsverfahren mit stationärer Einzelschalung

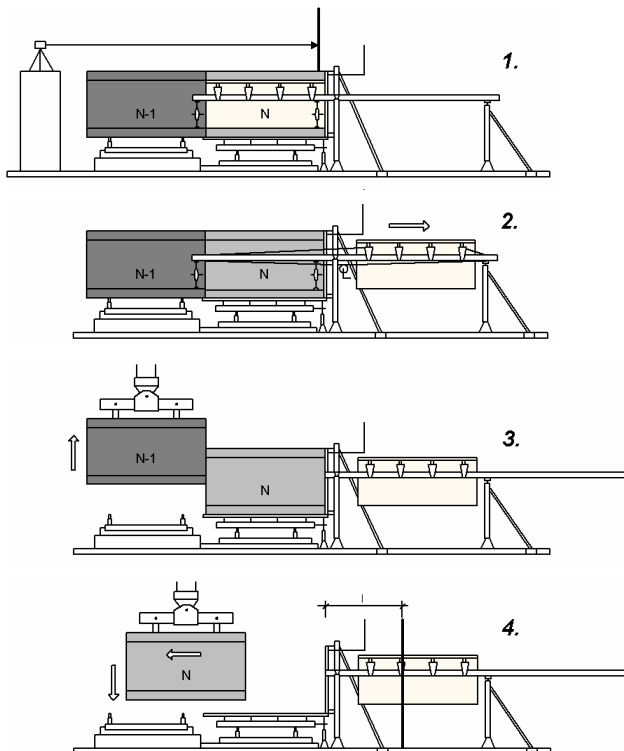
Zu diesen zählen das

- 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 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 29 1.). Je nach Schalungskonstruktion wird danach in einer oder mehreren Stufen die Innenschalung entfernt (Bild 29 2.). Im Anschluss wird das Match-Cast-Segment (N-1) von einem Hebegerät übernommen und zum Lagerplatz transportiert (Bild 29 3.). Das zuletzt betonerte Segment (N) wird aus der Schalung gehoben und an die Match-Cast-Position gesetzt (Bild 29 4.). Gleichzeitig erfolgt die Ausrichtung der hinteren Stirnabschalung. Als nächstes wird das neue Match-Cast-Segment (N) vertikal und horizontal eingemessen (Bild 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 29 6.). Nun kann der bereits erstellte Bewehrungskorb in die Schalung gesetzt werden (Bild 29 7.). Bevor mit der Betonage des neuen Segmentes (N+1) begonnen werden kann, ist die Innenschalung wiederum in ein oder mehreren Stufen an ihre Position im neuen Segment (N+1) zu verfahren (Bild 29 8.).



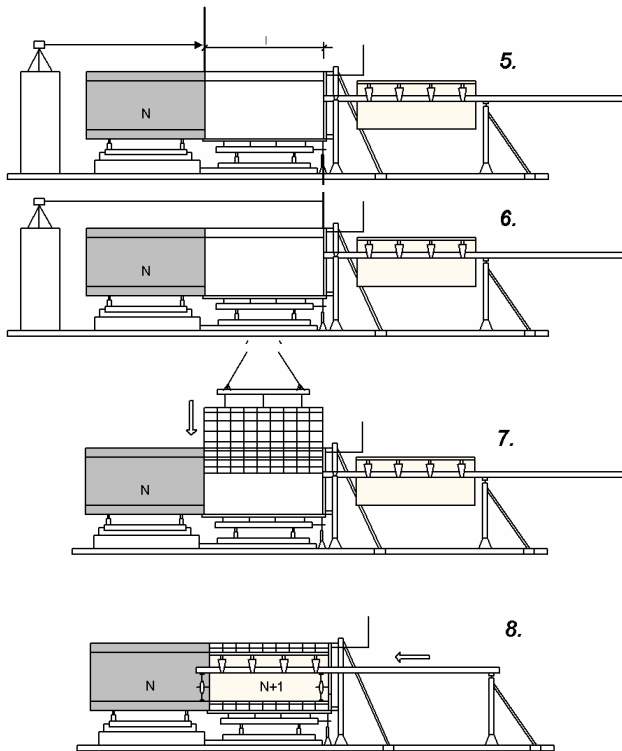


Bild 29: Zyklus der Segmentherstellung

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 30),
- Betonmischanlage und/oder Transportbeton,
- Portalkran, Shuttlelift, etc. für den Transport der Segmente zum Lagerplatz und
- Lagerplatz.

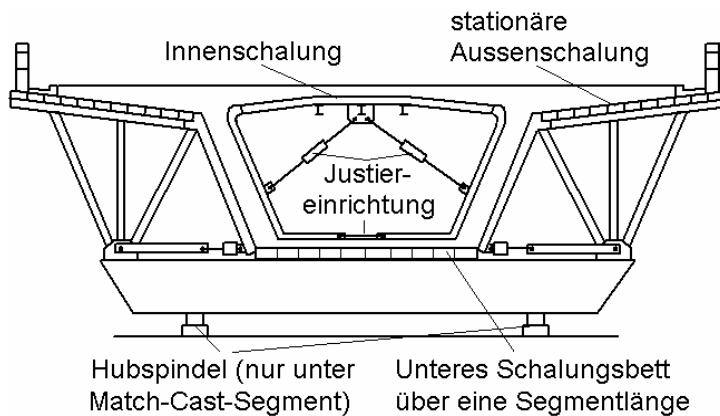


Bild 30: Prinzipieller Schalungsaufbau bei der Segmentherstellung im Short-Line-Produktionsverfahren

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 31 dargestellte prinzipielle räumliche Organisation bei der Segmentherstellung.

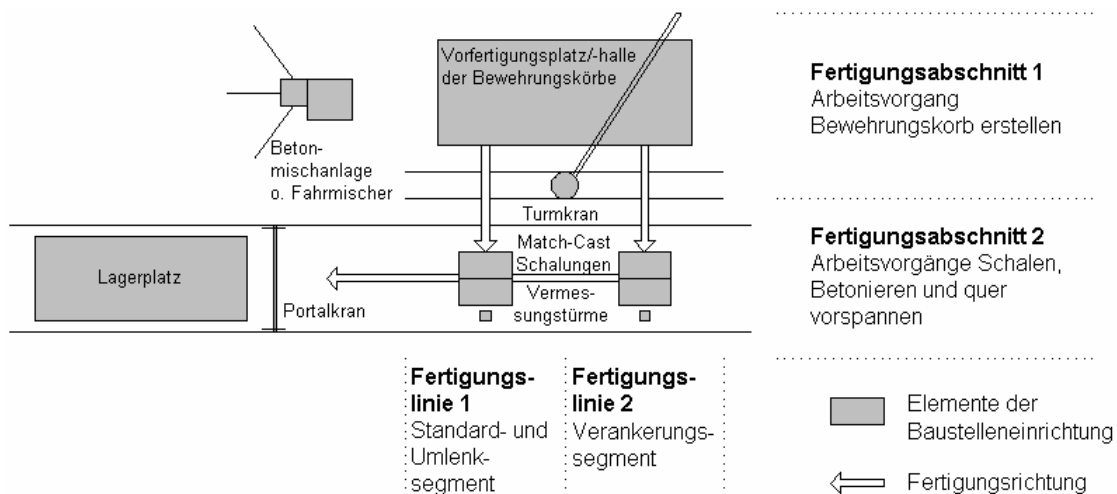


Bild 31: Prinzip der räumlichen Organisation bei der Segmentherstellung

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.

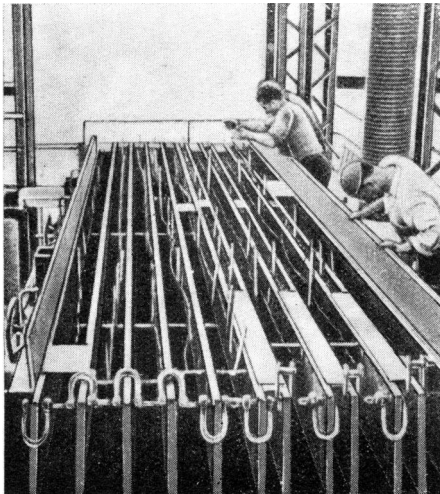


Bild 32: Batterieschalung [28]

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.

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 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.

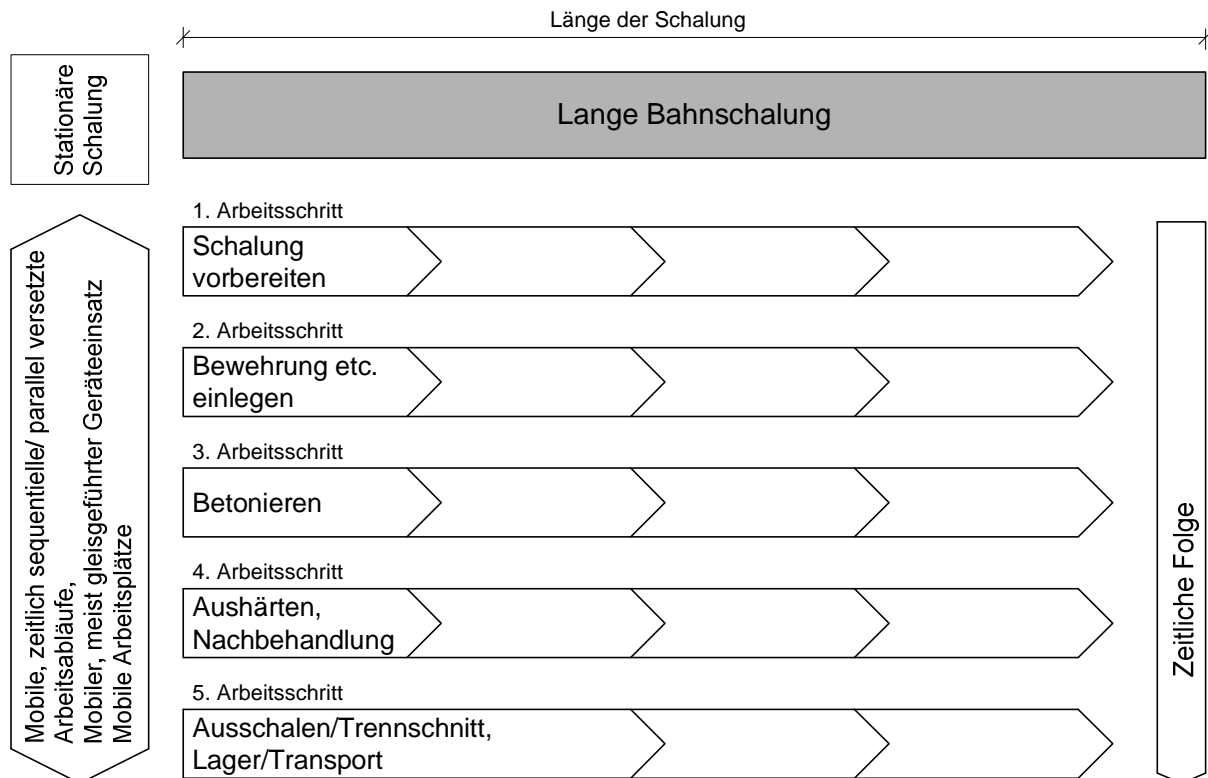


Bild 33: Prinzip der Fertigung auf langen Bahnen – Stationäre Schalung, mobile Arbeitsabläufe

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 34). Gegebenenfalls wird anschliessend eine Nachbehandlung analog dem Umlaufverfahren mittels Wärme und Wasserdampf durchgeführt.

Bild 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 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 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.

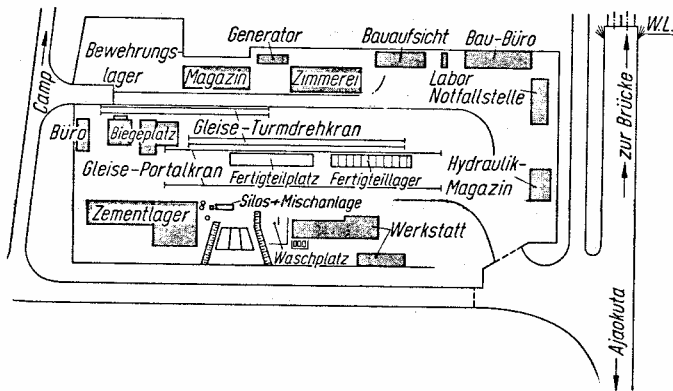


Bild 35: Fertigungsplatz, Installationen der Segmentproduktion

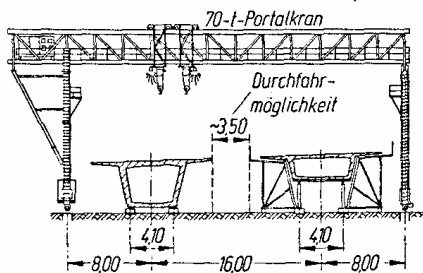


Bild 36: Fertigungsstrasse

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.

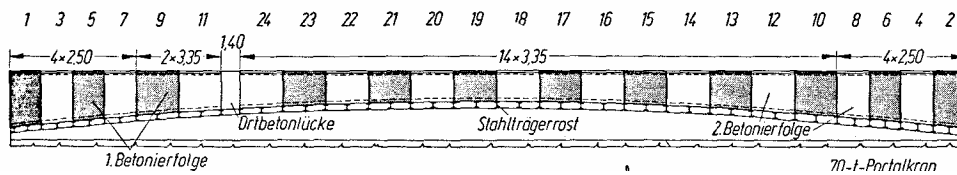


Bild 37: Segmentherstellung (match casting)

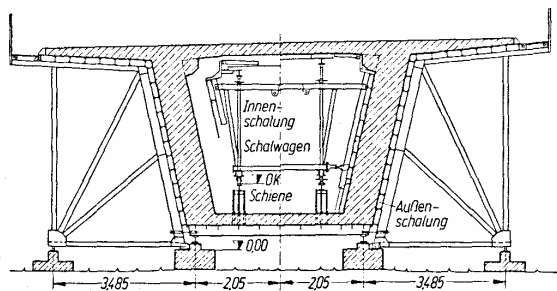


Bild 38: Schalung

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.

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 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 40 ist das Prinzip des Umlaufverfahrens schematisch dargestellt.



Bild 39: Herstellung von Deckenelementen mittels Umlaufproduktionsverfahren [41]

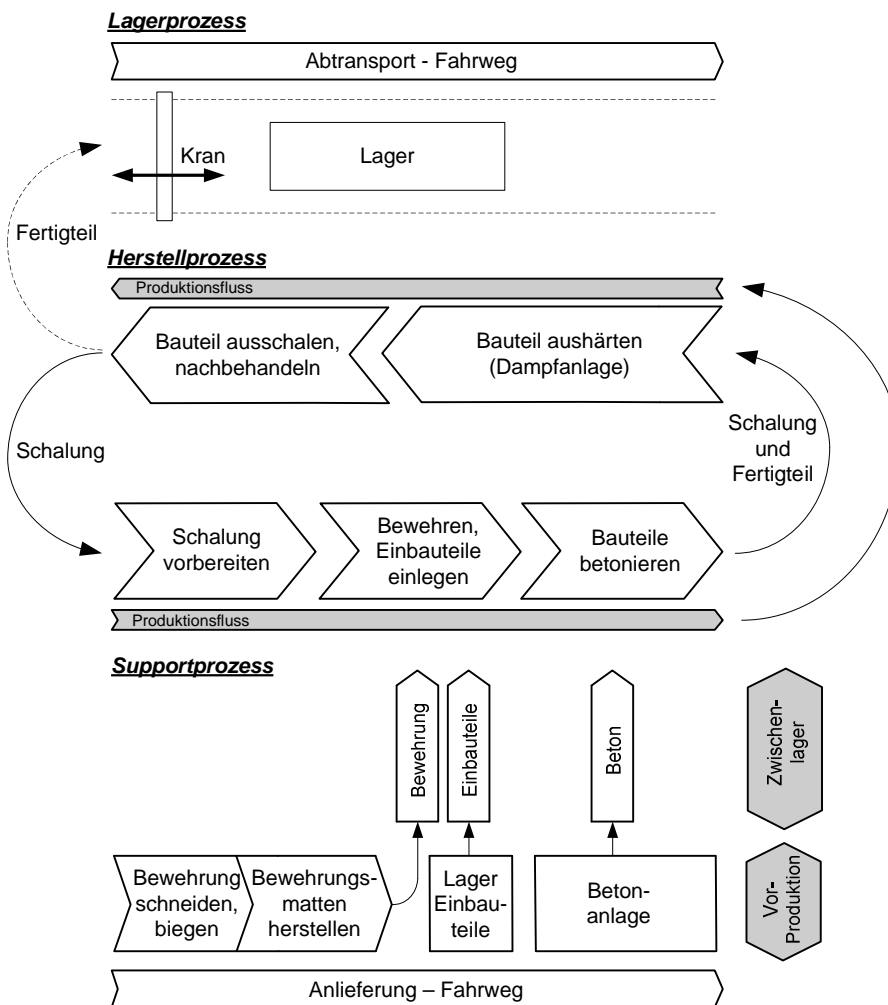


Bild 40: Prinzipdarstellung Umlauf- bzw. Fließproduktionsverfahren

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 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 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 Schalungendeckel schliessen
- Verschiebung und Behandlung in der Dampfanlage
- Herausschieben aus dem Dampfkanal

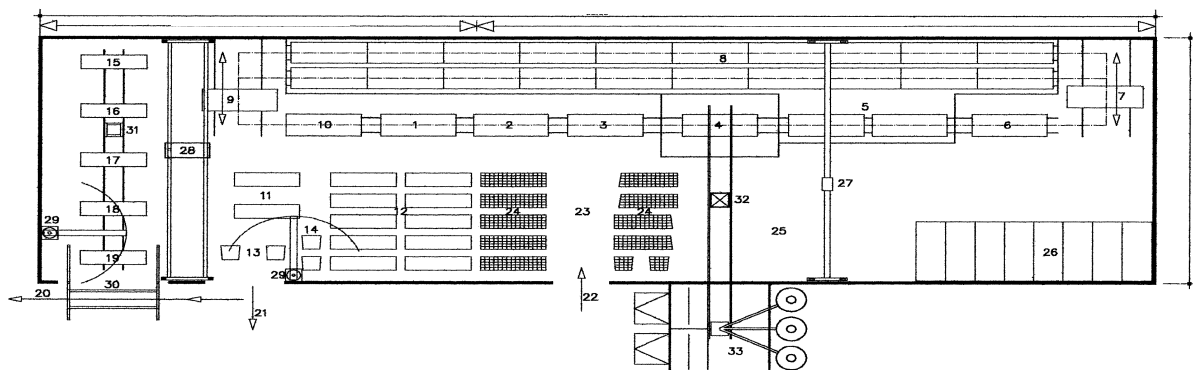
- Öffnen der Schalungen, Herausheben und Nachbehandlung der Tübbinge
- Überprüfung der Masshaltigkeit der Tübbinge (bei einschaliger Bauweise jeden, bei zweischaliger Bauweise stichprobenartig jeden z. B. vierten Tübbing)
- Lagerung der Tübbinge

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 Zweiträger 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 41: Tübbingumlaufproduktionsanlage Wesertunnel, Ceresola Tunnelbautechnik AG [67]

Eine typische gleisgeführte Umlauf-Tübbingschalung ist in Bild 42 dargestellt.

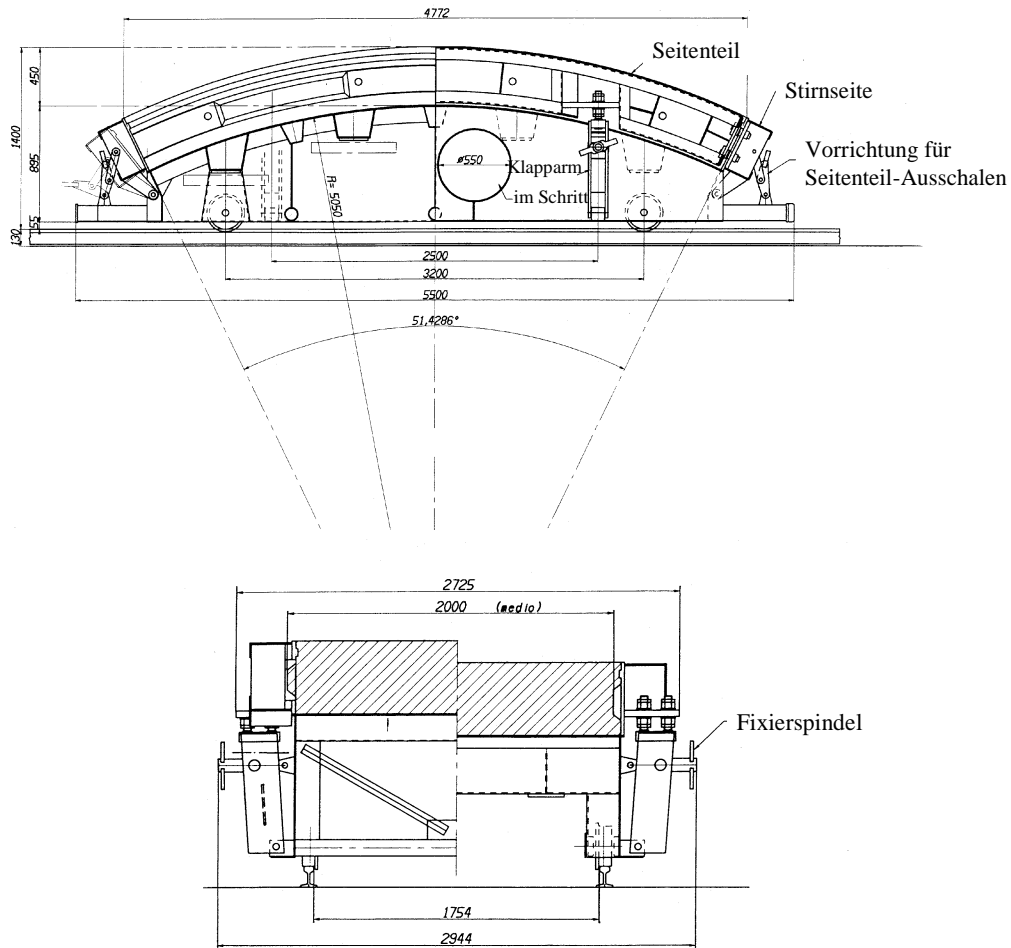


Bild 42: Umlauf-Tübbingsschalung der Firma Bernhold [12]

Auch kleinere Fertigteile, wie z.B. Betondachsteine, werden im Umlaufproduktionsverfahren hergestellt. In Bild 43 sind Umlaufsysteme für die Herstellung von Betondachsteinen dargestellt.



Bild 43: Herstellung von Betondachsteinen [83]

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 Betonfertigteilterbau verwirklicht.

So sind in jüngster Zeit im Fertigteilterbau 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 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 Fertigteile bewehrt und betoniert. Ebenso werden heute die Einrichtung von Schalungen entsprechend den individuellen Anforderungen, das Einlegen von Bewehrungen und Einbauteilen sowie die Betonbringung über CAM voll automatisch gesteuert [6].

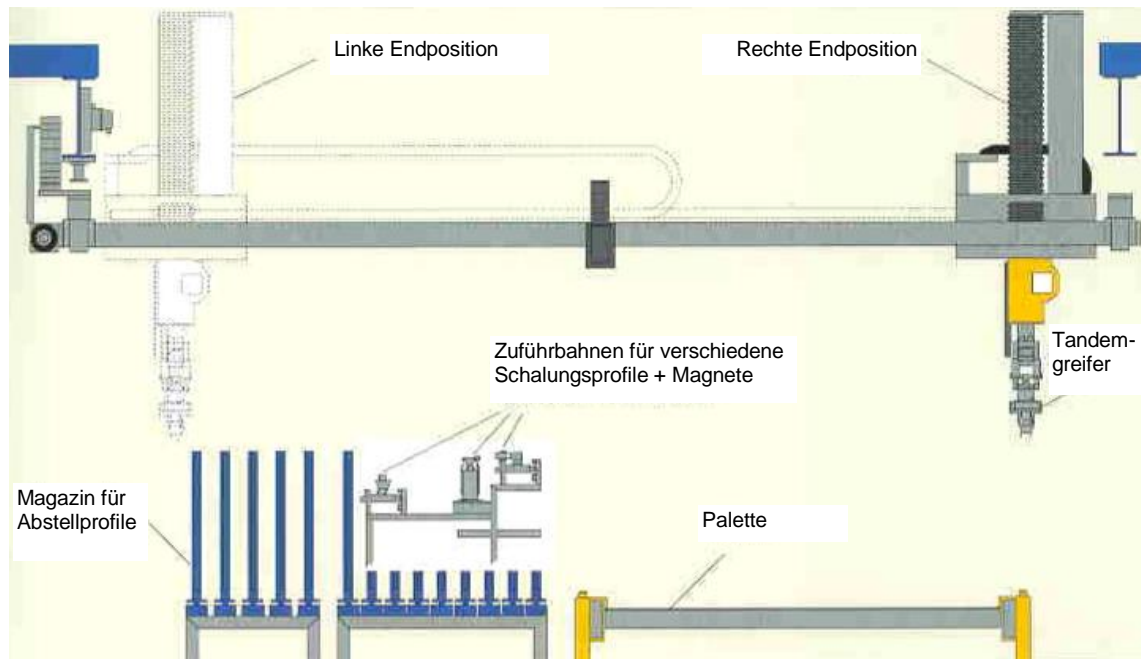


Bild 44: Schalungsrobotersystem [42]

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 Lohnkostensenkungen 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 Fertigteilten 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 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 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 47).



Bild 45: Schalungsroboter [84]



Bild 46: Vorgefertigte Bewehrung [83]



Bild 47 Betonverteiler [84]



Bild 48 Hebetrasse [84]



Bild 49 Automatisierte horizontale und vertikale Transportprozesse [83]



Bild 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 48 bis Bild 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 51).

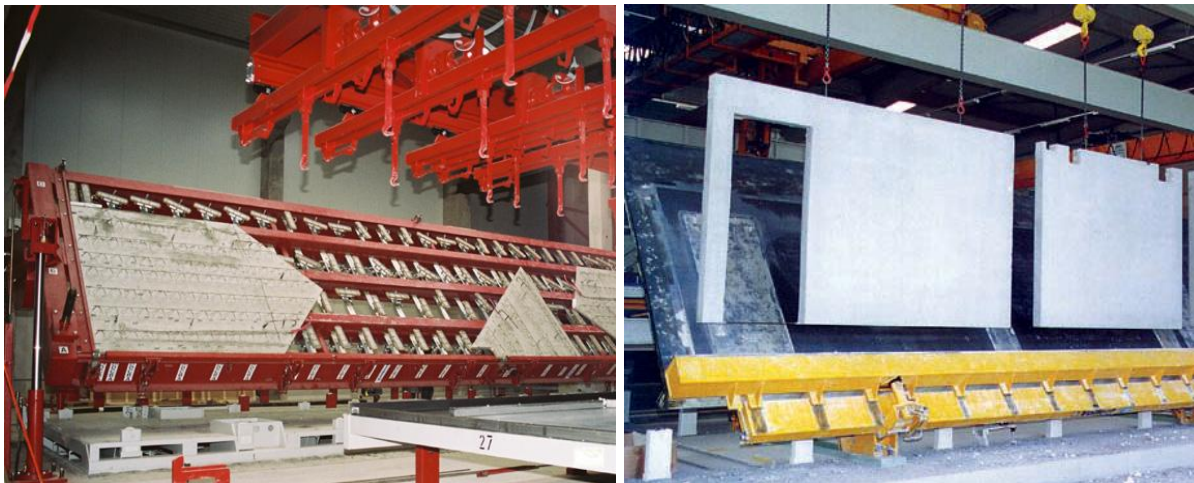


Bild 51 Klapptische [83]

Eine vollautomatische Fertigungsstrasse für Gleisschwellen ist in Bild 52 und Bild 53 dargestellt.



Bild 52 Automatisierte Fertigungsanlage für Gleisschwellen (1) [83]



Bild 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.

5 Industrielle Vorfertigung im Holzbau

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 1Bild 54). Nach einer Hobelung auf die entsprechende Lamellendicke (bis 45 mm) erfolgt der Leimauftrag auf diese Bretter (Bild 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 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 Klebstofffugen 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.

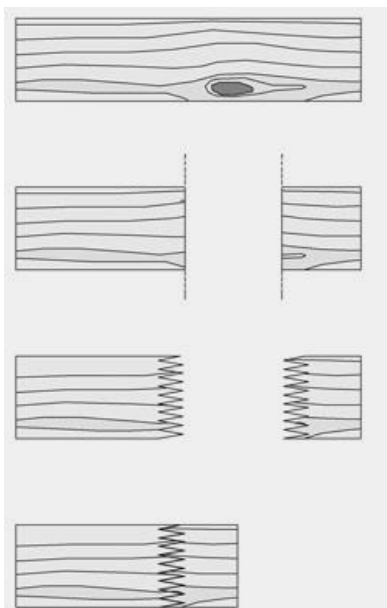


Bild 54: Aussägen von Fehlstellen und Neuverbindung der Stirnflächen [70]

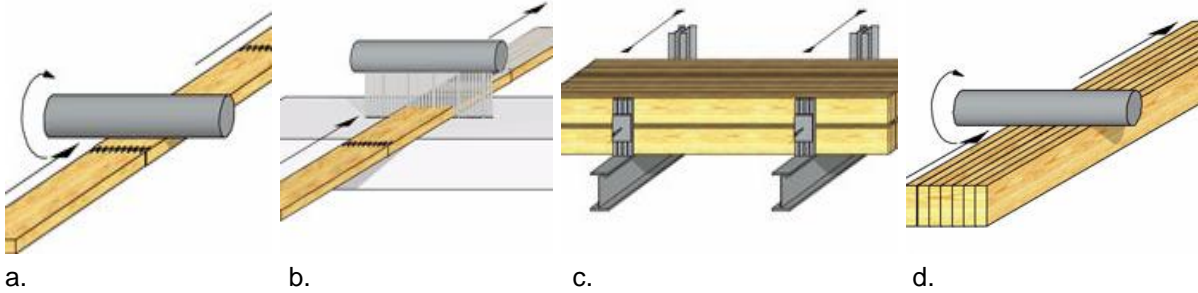


Bild 55: Arbeitsschritte bei der Herstellung von Brettschichthölzern [70]:

- a. Hobeln der Brettlamellen
- b. Leimauftrag
- c. Formgebung und Herstellung Pressbett
- d. Hobeln, ggf. Einbau Verbindungsmittel, Verpacken



Bild 56: Verpressen der Lamellen in einem Pressbett [70]

5.2 Brettstapelelemente

Im Gegensatz zu Brettschichthölzern werden bei Brettstapelelementen (Bild 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 58). Als Verbindungsmittel kommen entweder Holzdübel oder metallische Verbindungsmittel zum Einsatz.



Bild 57: Aufbau von Brettstapelelementen [58]



Bild 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.

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 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.

6 Konstruktionsprinzipien der Montagebauweise

Nachfolgend werden folgende Konstruktionsprinzipien bei der Montagebauweise unterschieden:

- Skelettsysteme
 - Rahmentragwerke
 - Gelenksysteme
 - Fachwerke
- Rippenbauweise
- Tafelbauweise
- Raumzellenbauweise
- Sonderbauweisen

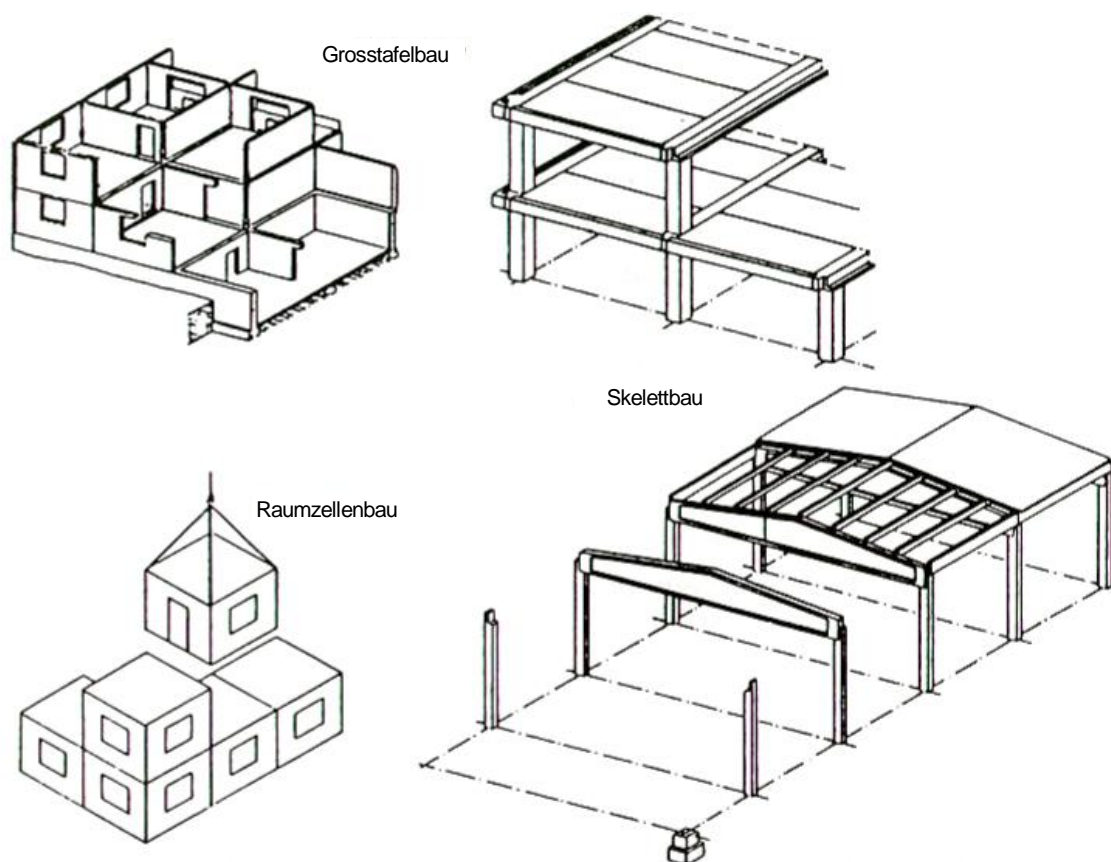


Bild 59: Fertigteilbauweisen [24]

6.1 Skelettbauweise

Bei der Skelettbauweise (Bild 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.

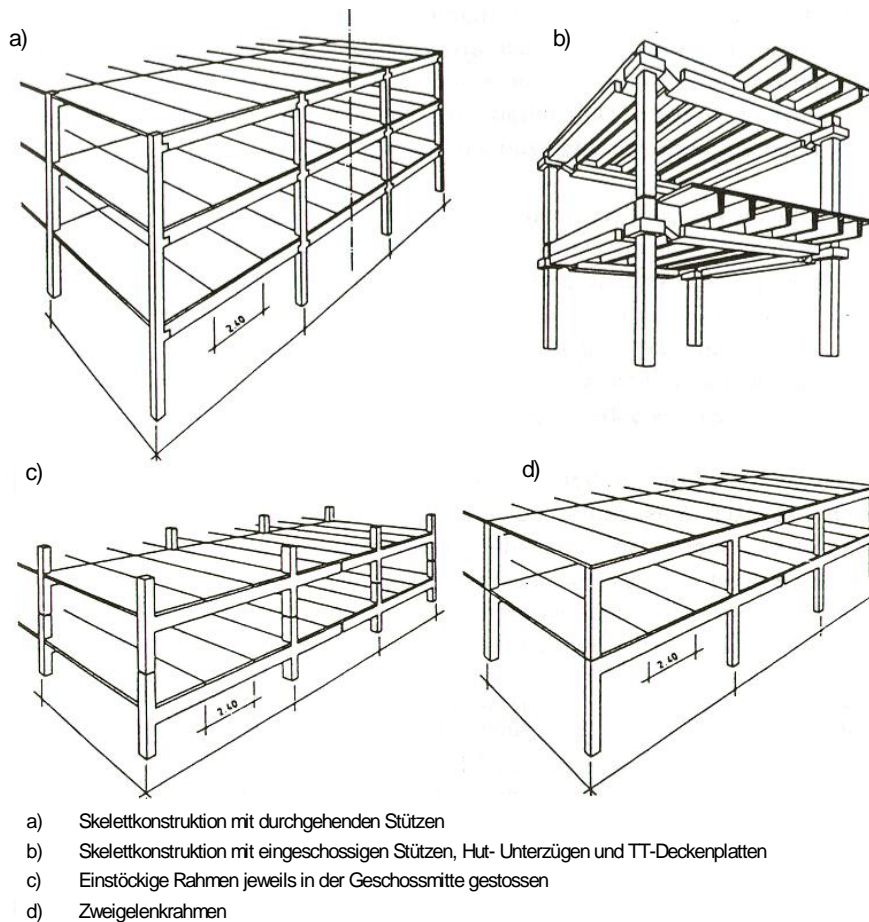


Bild 60: Beispiele zum Tragwerkskonzept von Fertigteilskelettkonstruktionen [27]

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 angeschossen 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 61 verdeutlicht beispielhaft das statische Prinzip von Rahmentragwerken.

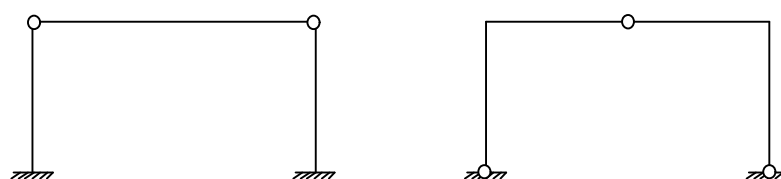


Bild 61: Rahmentragwerke

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 montagetchnischen Vorteile Gelenksysteme mit aussteifenden Kernen oder Scheiben in Ortbeton (Bild 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 montagetchnischen 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 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.

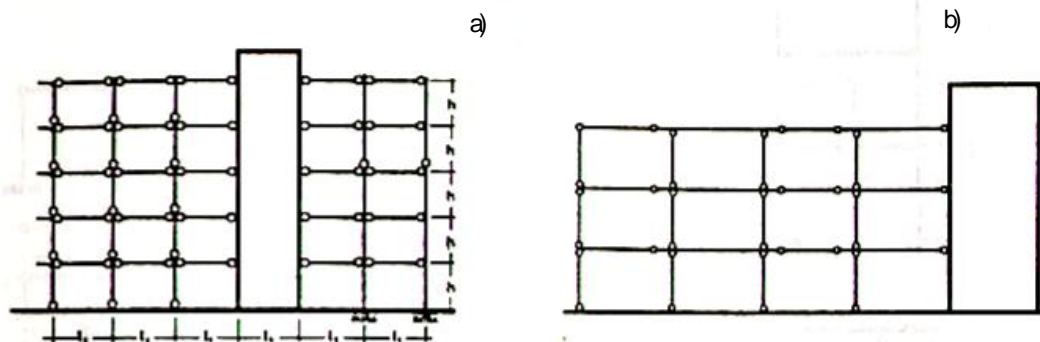


Bild 62: Gelenksysteme im Fertigteilskelettbau [31]

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 63 ist ein aus Stahlbauteilen bestehendes Fachwerk-Aussteifungssystem eines Hochhauses dargestellt.

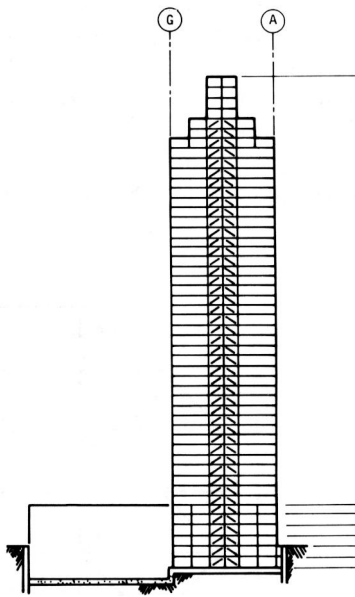


Bild 63: Aussteifendes Fachwerk in einem Hochhaus [59]

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 64: Wandbauteil in Rippenbauweise [71]

6.3 Wand- oder Tafelbauweise

In der Tafelbauweise (Bild 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.

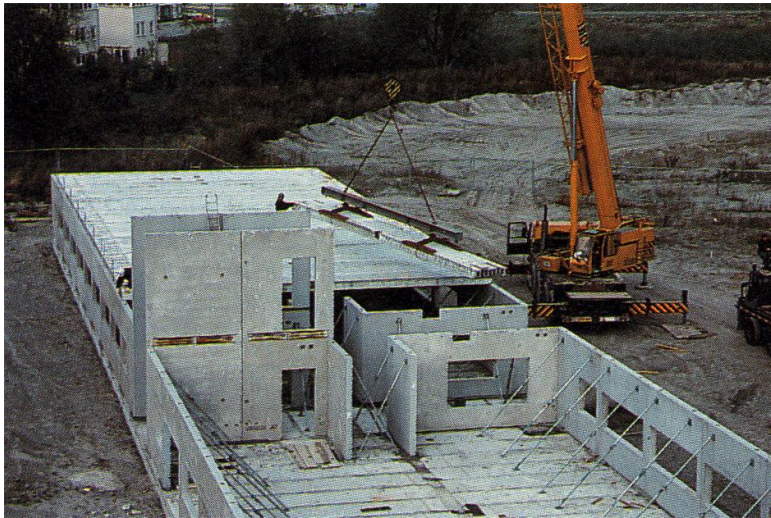


Bild 65: Tafelbauweise mit tragenden Wandscheiben [33]

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 einer tragfähigen Gesamtsystem zusammengefügt.

Auch im **Holzbau** ist die **Tafelbauweise** (Bild 66) weit verbreitet. Zum Einsatz kommen hier vorgefertigte Wandelemente, die gleichzeitig als tragendes und raumabschliessendes Element wirken.



Bild 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 5)
- massives Brettsperrholz und vorgefertigte Hohlprofile als aus Holzbaustoffen (Bild 67)



Bild 67: Brettsperrholz sowie zusammengesetzte Hohlprofile [71]

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.

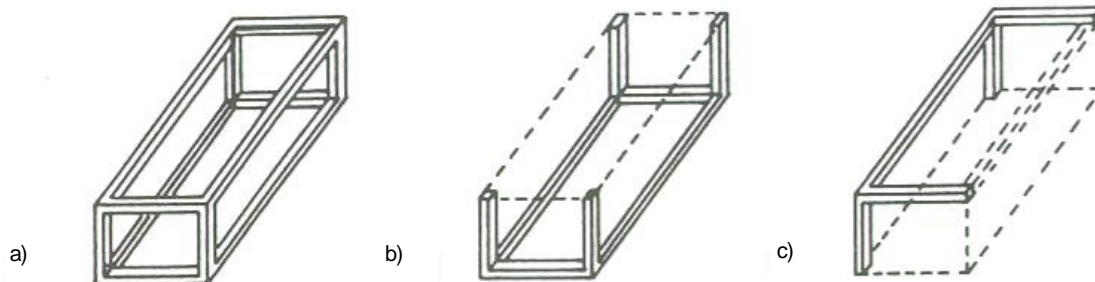


Bild 68: Grundvarianten für Raumzellen in Skelettbauweise [30]

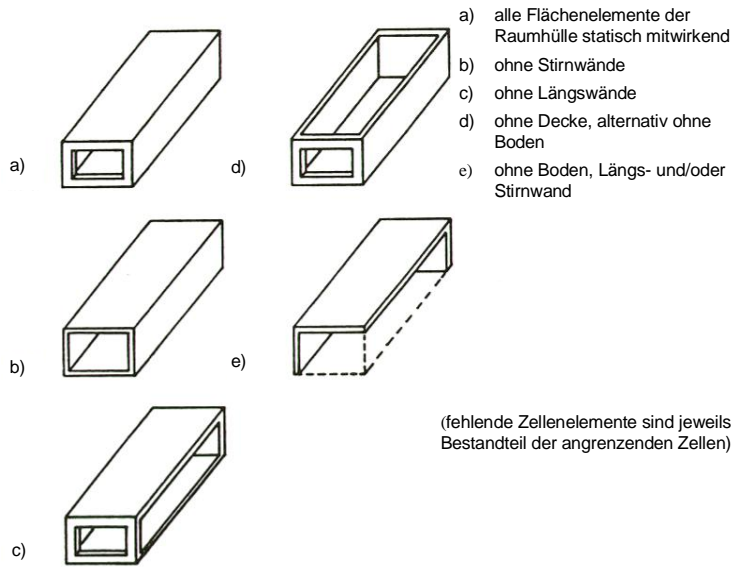


Bild 69: Grundvarianten der Raumzellen mit Tafel-elementen [30]

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 68 sind Grundvarianten für Raumzellen in Skelettbauweise dargestellt, Bild 69 zeigt Beispiele für die Variante mit Tafel-elementen. Ein in Raumzellenbauweise (Holzbau) errichtetes Gebäude ist in Bild 70 abgebildet.



Bild 70: In Raumzellenbauweise errichtetes Gebäude [71]

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 71 zeigt die Montage der einzelnen Segmente [17], [18], [19].

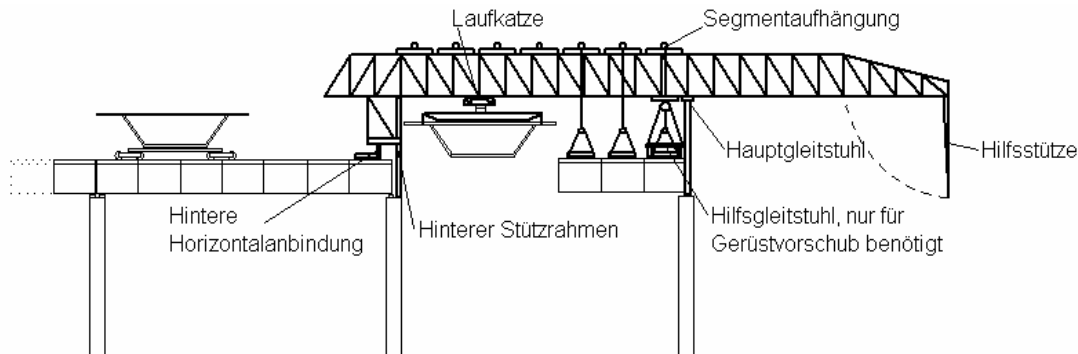


Bild 71: Segmente mit oben liegendem Verlegegerüst [18], [19]

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 Vorbauschubel 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 72) erfolgt die Vorfertigung somit nahe dem endgültigen Einbauort.

Auch bei der **Herstellung von Stahlverbundbrücken** entfällt meistens die aufwendige Bereitstellung eines Leegerüsts für die Brückenfelder. Der im Werk hergestellte Stahltrug wird als Halbfertigteil auf die Baustelle geliefert. Abhängig von den Transportbedingungen werden dort die verschiedenen Einzelteile zusammengesetzt, mittels Mobilkran oder mittels Zugstangen und Hydraulikzuginrichtungen (Bild 73) in die Brückenachse gehoben und dort montiert. Auf diesen Stahlbauteilen wird nachfolgend der Betonoberbau hergestellt.

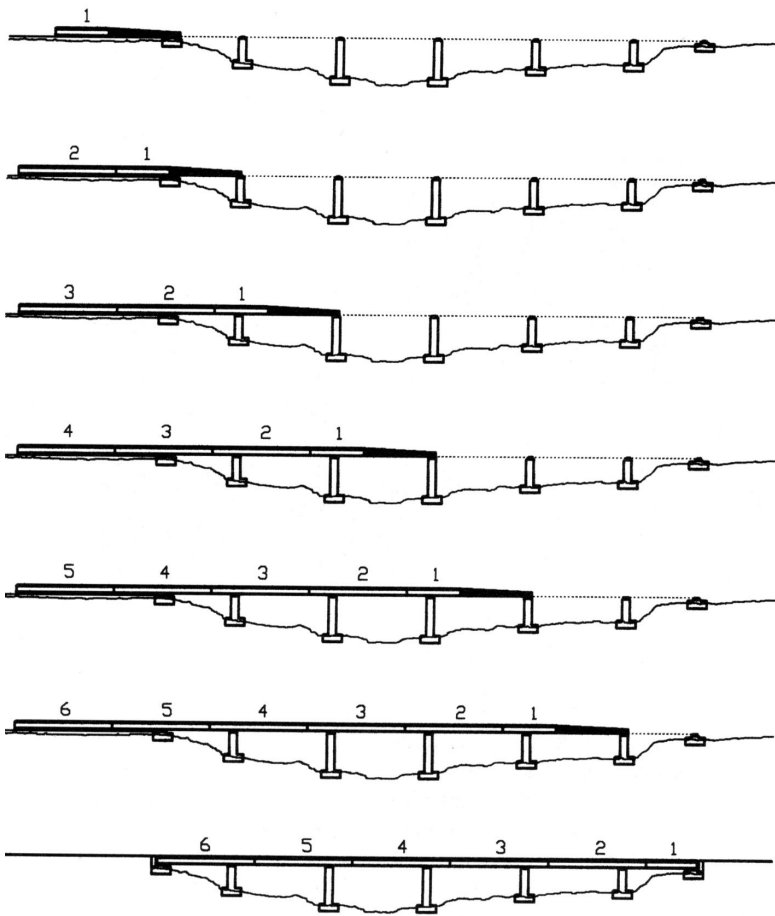


Bild 72: Prinzip des Taktschiebeverfahrens [62]



Bild 73: Einheben des Stahltrags einer Verbundbrücke [63]

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 montagetechnischer 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 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

Tabelle 4: Übersicht von lösbaren und nicht lösbaren Fügeverfahren (nach [4])

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 Bauteilfugen** 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 Bauteilfugen 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 74 ist die Änderung der Fugenbreite durch saisonale Temperaturunterschiede und der damit verbundene Einfluss auf die Formänderung einer Fugendichtmasse dargestellt.



Bild 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 75 sind Ankerbolzen für die stahlbaumässige Verbindung von Stahlbetonfertigteilen abgebildet. Neben Ankerbolzen für Schraubverbindungen kommen auch Stirnplatten aus Stahl für Schweissverbindungen zum Einsatz.



Bild 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 76, Bild 77).

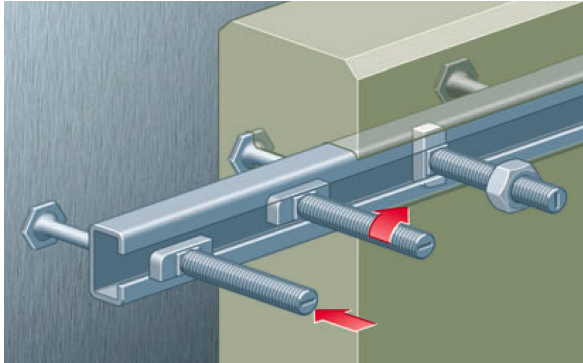


Bild 76: Prinzipdarstellung: einbetonierte Halfen-Schienen mit entsprechenden Befestigungsschrauben. [55]

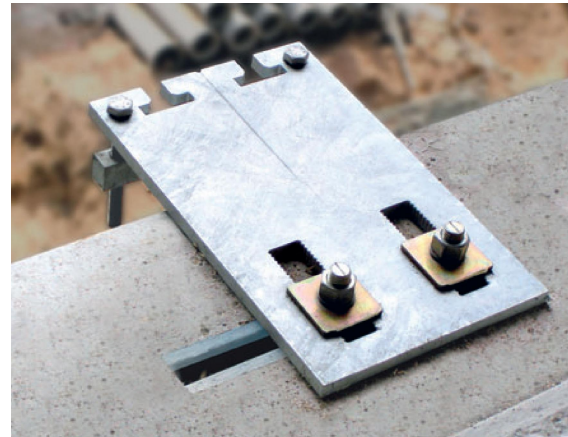


Bild 77: Justierbares Halfen-Verbindungselement zum Fassadenanschluss an eine Betondecke [55]

Element-Auflagerpunkte

In Bild 78 sind typische Auflagerformen von Fertigteilen für Hallenbauten dargestellt.

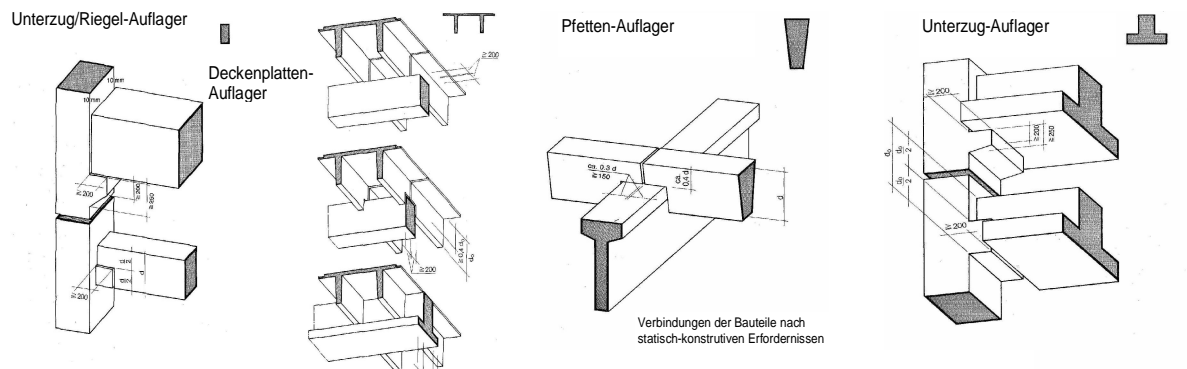


Bild 78: Typische Auflagerkonstruktionen [6]

7 Industrielle Baustellenfertigung

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
- montagetechischen

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 Wendepplatz 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.



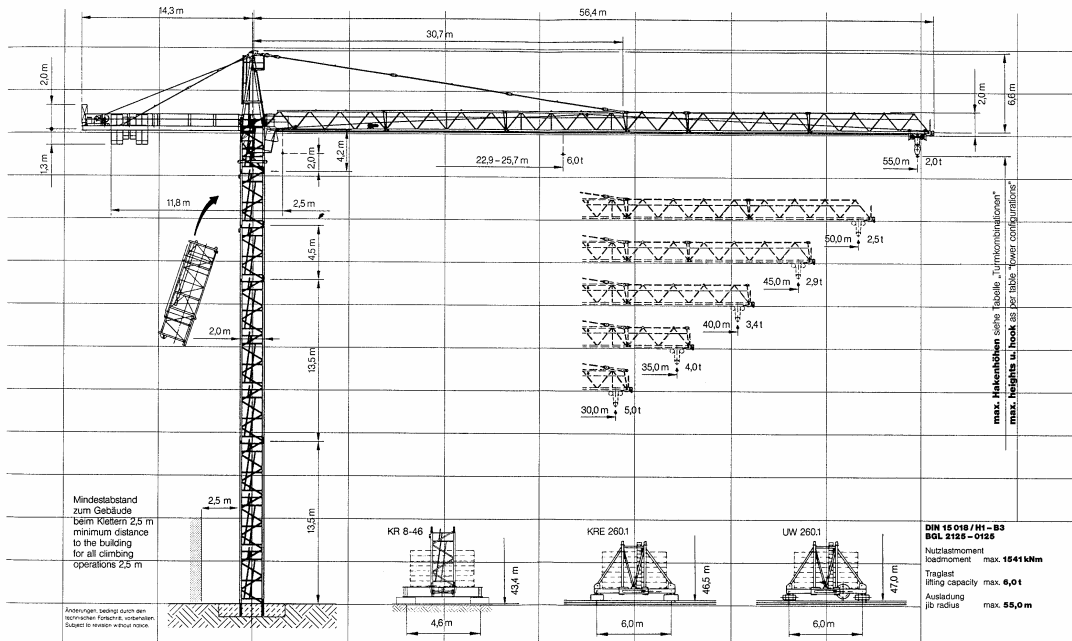
Bild 79: Helikoptertransport [39]



Bild 80: Montage mit einem Mobilkran [60]

Mit üblichen Turmdrehkränen können nur relativ leichte Teile – allerdings mit grosser Ausladung und vollem Schwenkbereich – gehoben werden (Bild 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 Raupenkrane zum Einsatz. Diese können z. B. bis zu 1000 t bei einer Ausladung von 12 m heben (Bild 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 Montagestützen erforderlich werden.



	Hw 628 FU (2-strängig / 2-rope falls)	Hw 637 FU (2-strängig / 2-rope falls)
Motor (kW)	28	37
Traglasten (t) loaddata (t)	<p>stufenlose Beschleunigung stepless acceleration</p>	<p>stufenlose Beschleunigung stepless acceleration</p>
Geschwindigkeit speed (m / min)	22,5 30 40 50 60 70 80 90	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140
max. Hakenweg (m) max. hook path (m)	190	190

Bild 81: Aufbau und Traglasten eines Turmdrehkranes [68]

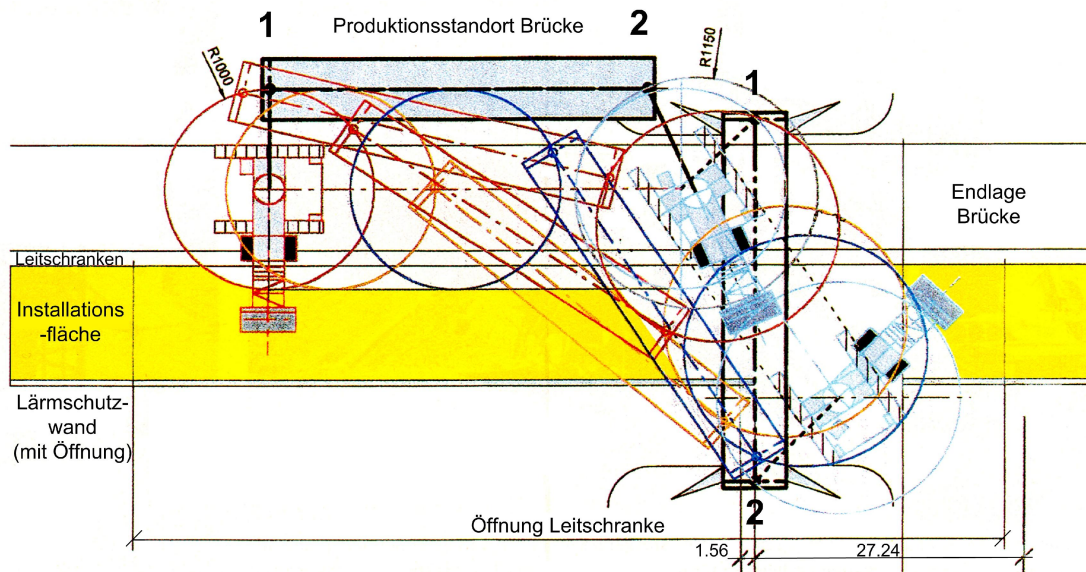


Bild 82: Versetzen eines Brückenelementes mit einem Raupenkran im Grundriss

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 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 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 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 84: Montagehilfen für Absturzsicherungen im Fertigteilbau [66]

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 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].

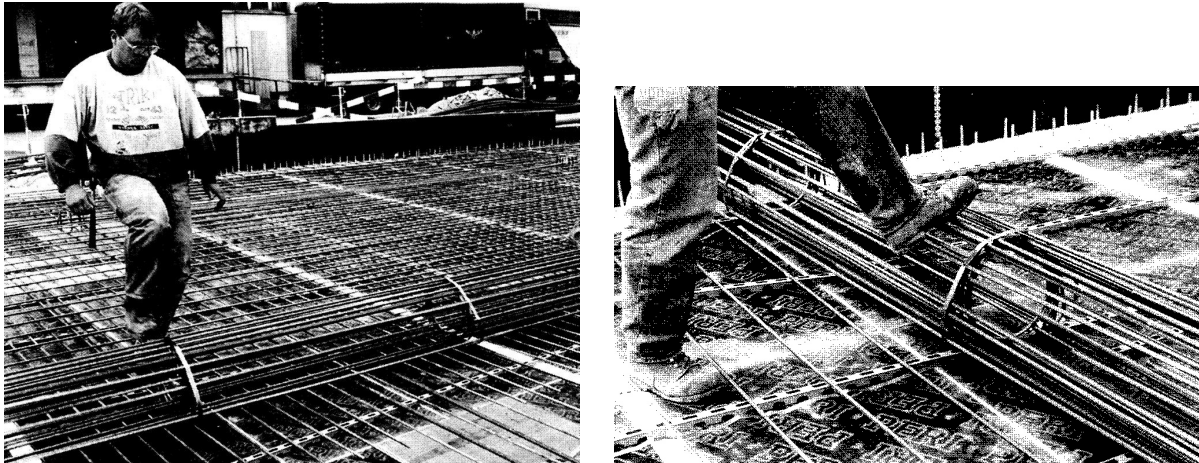


Bild 85: Montage der Armierungsteppiche, Montage im Detail [35]

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 86 bis Bild 89 zeigen die 3 beschriebenen Schalungsarten schematisch.

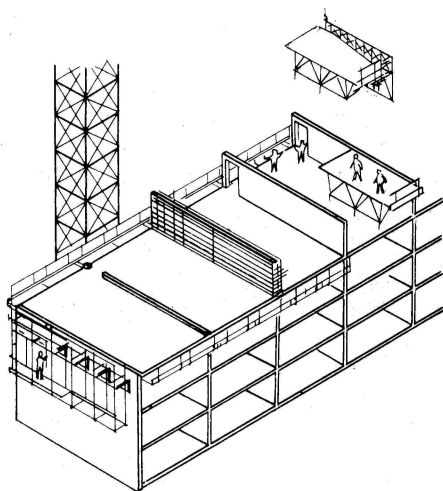


Bild 86: Grosstafelschalungsverfahren [4]



Bild 87: Im Gleitschalungsverfahren errichtete Treppen/Aufzugskerne [49]



Bild 88: Selbstkletternde Schalung [82]

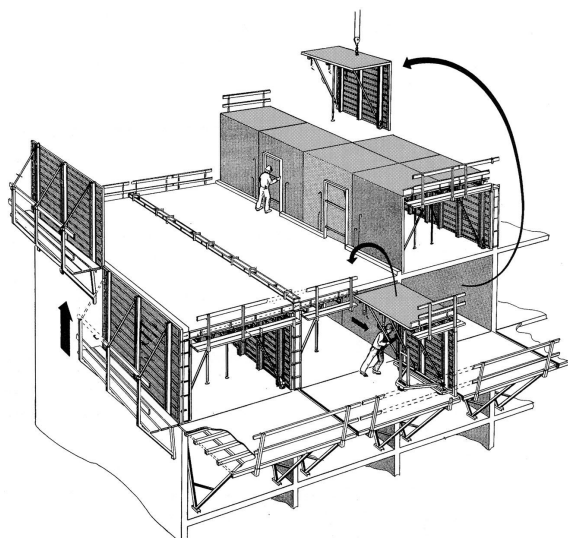


Bild 89: Tunnelschalungsverfahren und entsprechende Schalung [1]

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
- Gleichmässiger 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 Rezeptentwicklung 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 Fahrmischer 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 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 90: Bewehrungsschweissanlage [77]

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, Unternehmern 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 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.

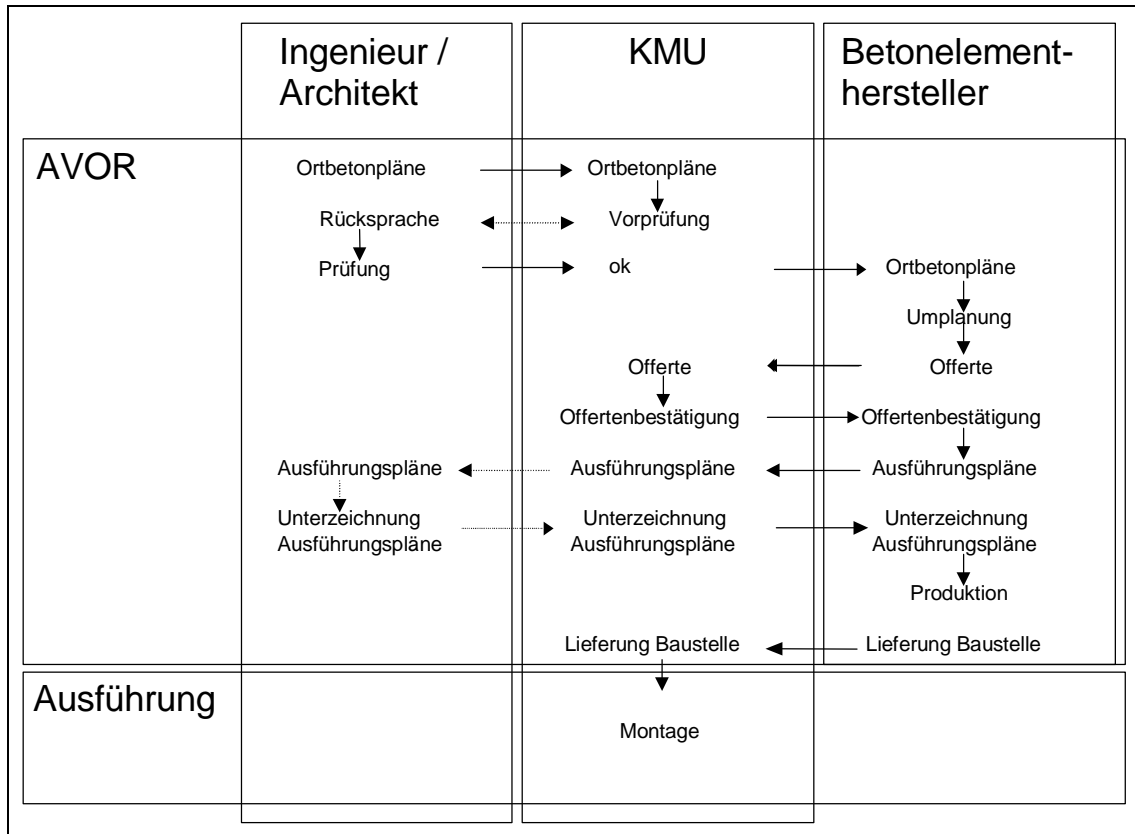


Bild 91: Planungs- und Produktionsablauf bei einem Betonfertigteileinsatz gemäss traditioneller Projektentwicklungsformen

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 92, Bild 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 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 94).

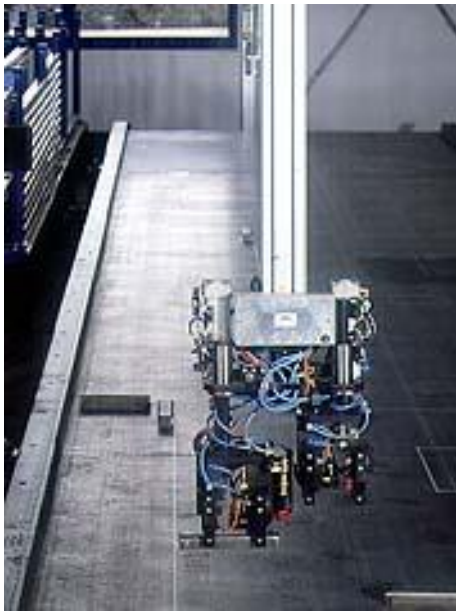


Bild 92: Schalungsroboter [79]

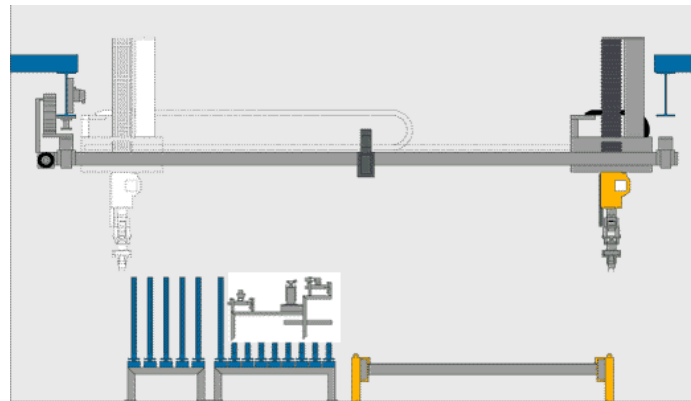


Bild 93: Systemskizze [79]

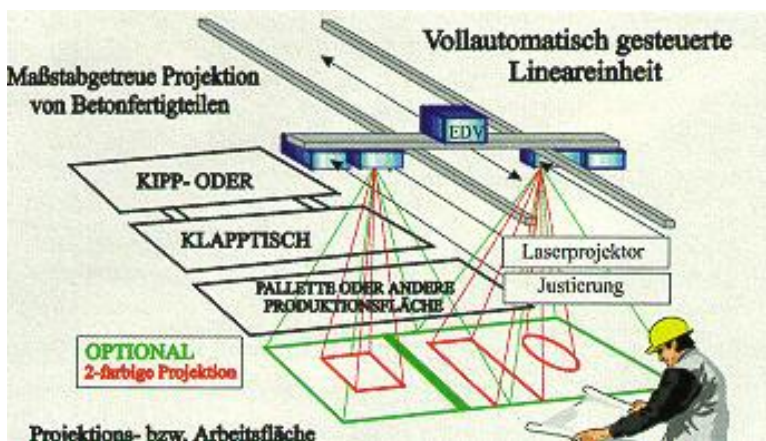


Bild 94: Lasersprojektionsanlage [79]

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 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 95 sind solche Wandelemente dargestellt, in Bild 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 Mauerwerkssteinen ist insbesondere dort sinnvoll, wo die Steinflächen sichtbar bleiben sollen (Fassadenelemente).



Bild 95: Mauerwerksroboter für den Einsatz auf der Baustelle [10]



Bild 96: Vorgefertigte Wandscheiben aus Mauerwerk [83]



Bild 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 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 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 99).

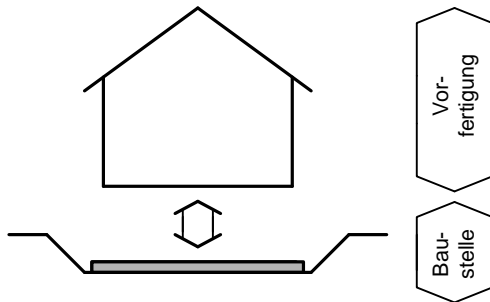


Bild 99: Interaktion Gründung -Hochbau

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:

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

Tabelle 5: Serviceroboter für Bauanwendungen [81]

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, sind 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 100: Betonverteiler [76]

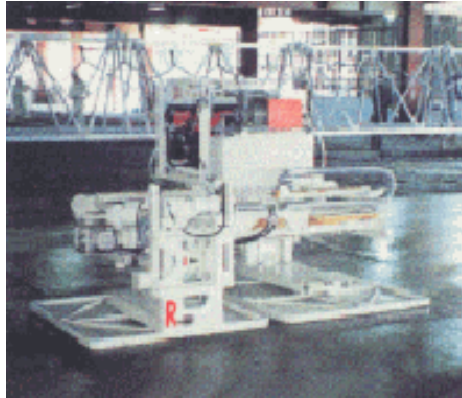


Bild 101: Oberflächenbehandlung und Wasserabsaugung [76]

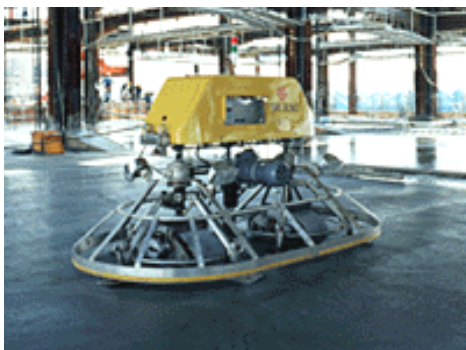


Bild 102: Flächenglätter [76]

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 100, Bild 101 und Bild 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 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 Planiermaschinen, 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.

Literatur

- [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: Prozessorientiertes 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., Fertigteilbau 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 Fertigteiltechnik 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 Betonfertigteilbauten. 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 Betonfertigteilbau 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 Betonfertigteilwerk 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/roboter.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 mbH: Produktinfo B-P 04 Halfenschienen.
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_F LUEGELWEG_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)

