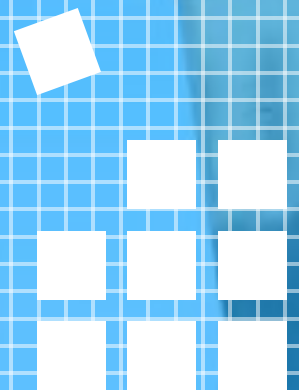
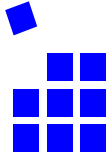


Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Prozess der Erhaltung baulicher Infrastrukturen





Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid



Herausgeber und Autor

**Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid**

Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement

ETH Zürich

Professur für Bauprozess- und  
Bauunternehmensmanagement

Titelbild: Trump World Tower III, New York, USA

Quelle: PERI GmbH, Weissenhorn

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Girmscheid, Gerhard:

Prozess der Erhaltung baulicher Infrastrukturen

Gerhard Girmscheid.

IBI – Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement. –  
Zürich: Eigenverlag des IBI an der ETH, 2015

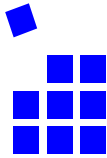
ISBN 978-3-906800-24-0

---

© 8. Auflage 2015

Eigenverlag des IBI an der ETH Zürich

ISBN 978-3-906800-24-0



# INHALT

- Teil 1: Einleitung – Ziele – Schadensprozess – Kosten**
- Teil 2: Anforderungen an das Baumanagement und den Baubetrieb**
- Teil 3: Grundlegende Bauverfahren zur Erhaltung von Bauwerken**
- Teil 4: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Bahntunneln**
- Teil 5: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Strassentunneln**
- Teil 6: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Brücken**
- Teil 7: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Kanalleitungen**
- Teil 8: Erhaltungsmanagement von Hochbauten**
- Teil 9: Entsorgung von Bauabfällen**
- Teil 10: Entscheidungsmodelle zur optimalen Gestaltung von Instandsetzungsmassnahmen**
- 1) Strategiebildung**
  - 2) Qualitative Entscheidungsfindung - AHP**
  - 3) Quantitative Entscheidungsfindung - Wirtschaftlichkeitsanalyse**



# Detailliertes Inhaltsverzeichnis

## Teil 1: Einleitung – Ziele – Schadenprozess – Kosten Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Begriffe der Bauwerkserhaltung .....</b>	<b>5</b>
2.1	Bauwerksakten.....	6
<b>3</b>	<b>Ziele, Massnahmen und Anforderungen der Erhaltung .....</b>	<b>9</b>
3.1	Erhaltungsziele.....	9
3.2	Erhaltungsmassnahmen und -tätigkeiten .....	10
3.3	Sofortmassnahmen .....	13
3.4	Planung der Bauwerkserhaltung .....	13
3.5	Massnahmenplanung .....	14
3.6	Unterhalt des Bauwerks .....	14
3.7	Veränderung des Bauwerks .....	15
<b>4</b>	<b>Schadensmechanismus bei Betonbauwerken.....</b>	<b>16</b>
4.1	Verbundwerkstoff Beton .....	16
4.2	Korrosionsprozess im Verbundwerkstoff Beton.....	16
4.2.1	Passivierung des Betonstahls.....	16
4.2.2	Mechanismen der Korrosion .....	18
4.2.3	Abschätzung betonaggressiver Wässer.....	23
4.2.4	Frost-Tausalz-Schäden.....	23
4.2.5	Stahlkorrosion.....	26
4.2.6	Spannungsrissskorrosion und Wasserstoffversprödung.....	28
4.2.7	Einflüsse und Auswirkungen der Korrosion .....	29
4.3	Zusammenfassung - Bedeutung von Dichte und Dicke der Betondecke für den Korrosionsschutz der Bewehrung.....	30
<b>5</b>	<b>Kosten der Erhaltung .....</b>	<b>34</b>
5.1	Kostenstufen .....	37
5.2	Interpretation der Kostenstufen .....	38
5.3	Erstellen von Interventionskurven .....	39
5.4	Kostenoptimierung .....	41
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>43</b>

# Teil 2: Anforderungen an das Baumanagement und den Baubetrieb

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Objektdifferenzierung der baulichen Erhaltungsmassnahmen .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Planung und Vorbereitungsmaßnahmen für Abbruch-, Veränderungs- und Instandsetzungsarbeiten.....</b>	<b>9</b>
2.1	Vorbereitungsarbeiten .....	9
2.2	Ausschreibung der Abtrags- bzw. Abbrucharbeiten .....	11
2.2.1	Abtrag- bzw. Abbruchplan.....	14
2.2.2	Baubetriebliche Randbedingungen.....	15
2.3	Ausschreibung der Instandsetzungsarbeiten .....	16
2.3.1	Diagnose.....	16
2.3.2	Massenermittlung .....	16
2.3.3	Leistungsverzeichnis.....	17
2.3.4	Bieterkreis.....	17
2.3.5	Produktbeschreibung .....	17
2.3.6	Materialbedarf.....	17
2.3.7	Abrechnungsmodus.....	17
2.3.8	Einschränkungen des Leistungsumfangs .....	18
2.3.9	Gewährleistung.....	19
2.3.10	Referenzen .....	19
<b>3</b>	<b>Vorbereitung und Logistik einer Instandsetzungsbaustelle .....</b>	<b>20</b>
3.1	Arbeitsvorbereitung .....	20
3.1.1	Aufgaben der Arbeitsvorbereitung .....	20
3.1.2	Arbeitsvorbereitung in der Angebotsphase .....	23
3.1.3	Arbeitsvorbereitung nach der Auftragsvergabe.....	25
3.1.4	Aufgaben der Arbeitsvorbereitung in der Bauphase .....	30
3.2	Beginn der Arbeiten.....	31
3.3	Einrichtung einer Instandsetzungsbaustelle .....	32
3.3.1	Allgemeines .....	32
3.3.2	Der Baustelleneinrichtungsplan .....	33
3.3.3	Versorgungseinrichtungen .....	34
3.3.4	Bauten der Instandsetzungsbaustelle .....	39
3.3.5	Lager- und Bearbeitungsanlagen.....	44
3.3.6	Transportgeräte auf der Instandsetzungsbaustelle .....	45
3.4	Schutzzelte, Inspektions- und Arbeitsgerüste .....	62
3.4.1	Schutzzelte .....	62
3.5	Energieumsetzung auf der Instandsetzungsbaustelle .....	68
3.5.1	Energiearten auf Instandsetzungsbaustellen .....	68
3.5.2	Elektrische Energie.....	68
3.5.3	Ermittlung des Druckluftbedarfes.....	73

3.5.4	Dampfenergie .....	73
<b>4</b>	<b>Sicherheitsanforderungen an die Bauabwicklung .....</b>	<b>74</b>
4.1	Besonderheiten bei Instandsetzungsarbeiten .....	74
4.2	Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie.....	76
4.2.1	Sicherheitsplanung .....	78
4.2.2	Umsetzung der Sicherheitsplanung .....	78
4.2.3	Aufgaben und Verantwortung der Beteiligten .....	79
4.2.4	Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase [14].....	79
4.3	Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften .....	84
4.3.1	Sicherheitplanung .....	85
<b>5</b>	<b>Überwachung und Abnahme der ausgeführten Leistungen.....</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>Umweltverträglichkeit der Instandsetzung.....</b>	<b>90</b>
6.1	Umweltverträglichkeit der verwendeten Produkte in Bezug auf zukünftige Sanierungen.....	90
6.1.1	Kontaminierung von Baustellenabwässern bei Abbruch- und Instandsetzungsarbeiten.....	90
6.1.2	Behandlung von Baustellenabwässern:.....	90
6.2	Umweltverträglichkeit der Instandsetzungsarbeiten .....	91
<b>7</b>	<b>Planungsgrundsätze für zukünftige Instandsetzungen .....</b>	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>Bildverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>95</b>



# Teil 3: Grundlegende Bauverfahren zur Erhaltung von Bauwerken

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Schutzmassnahmen .....</b>	<b>2</b>
2.1	Präventive Schadensverhinderung .....	2
2.2	FerroGard-903 .....	2
2.3	Lithiumhydroxid .....	3
2.4	Monofluorphosphat .....	4
2.5	Hydrophobierung .....	5
2.6	Elektrochemische Realkalisierung .....	5
<b>3</b>	<b>Abtragsverfahren .....</b>	<b>7</b>
3.1	Übersicht .....	7
3.2	Spitzen .....	9
3.3	Fräsen .....	9
3.4	Sandstrahlen .....	11
3.5	Flammstrahlen .....	13
3.6	Höchstdruckwasser .....	13
<b>4</b>	<b>Verfahren zur Reprofilierung .....</b>	<b>18</b>
4.1	Behandlung der freigelegten Bewehrung .....	18
4.2	Untergrundvorbehandlung zur Herstellung des Haft- und Schubverbundes .....	19
4.3	Aufbringen der Reprofilierungsschichten.....	20
4.4	Patchwork .....	26
<b>5</b>	<b>Verfahren zur Oberflächenbehandlung .....</b>	<b>29</b>
5.1	Übersicht .....	29
5.2	Imprägnierung .....	29
5.3	Beschichtung.....	31
<b>6</b>	<b>Verfahren zur nachträglichen Bauwerksverstärkung.....</b>	<b>33</b>
6.1	Gradiert gespannte CFK-Bänder [6].....	33
<b>7</b>	<b>Abbruchverfahren.....</b>	<b>36</b>
7.1	Grundverfahren .....	36
7.2	Totalabbrüche von Bauwerken.....	39
7.3	Teilabbrüche von Bauwerken.....	40
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>45</b>

# Teil 4: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Bahntunneln

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Schadensbilder .....</b>	<b>5</b>
3.1	Spezifische Schäden/Mängel von Bahntunneln .....	5
3.2	Schadensentwicklung.....	8
<b>4</b>	<b>Baustelleneinrichtung .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Verfahren zur Erhaltung der Nischen .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Verfahren zur Erhaltung der Widerlager.....</b>	<b>13</b>
6.1	Fensterbauweise .....	13
6.2	Lamellenbauweise .....	16
6.3	Sicherungsverfahren .....	16
6.4	Ausbruchverfahren .....	19
6.5	Schuttermungsverfahren.....	20
6.6	Neuerstellung des Widerlagers .....	21
<b>7</b>	<b>Verfahren zur Erhaltung der Sohle.....</b>	<b>22</b>
7.1	Sicherungsverfahren .....	23
7.2	Ausbruchverfahren .....	25
7.3	Schutterungsverfahren .....	28
7.4	Verfahren zur Neuerstellung der Sohle .....	30
<b>8</b>	<b>Verfahren zur Erhaltung des Gewölbes.....</b>	<b>33</b>
8.1	Ausbruchverfahren .....	33
8.2	Verfahren zur Neuerstellung mit statischer Wirkung .....	36
8.2.1	Ortbetonbauweise.....	38
8.2.2	Spritzbetonbauweise .....	39
8.3	Verfahren zur Neuerstellung ohne statische Wirkung .....	41
8.3.1	Entwässerung .....	41
<b>9</b>	<b>Bahntechnische Arbeiten .....</b>	<b>44</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>45</b>
<b>11</b>	<b>Rahmenbedingungen .....</b>	<b>46</b>
11.1	Betriebsverhältnisse während der Erhaltungsarbeiten .....	48
11.1.1	Einspurtunnel.....	48
11.1.2	Doppelspurtunnel.....	49
11.2	Auflagen des Bauherrn.....	50
11.3	Verfügbare finanzielle Mittel .....	51

11.4	Länge .....	51
11.5	Lage .....	51
11.6	Bestandsaufnahme .....	51
<b>12</b>	<b>Beispiele .....</b>	<b>53</b>
12.1	Zuger Stadttunnel.....	53
12.1.1	Ausgangslage .....	53
12.1.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	54
12.1.3	Erhaltungskonzept .....	55
12.1.4	Ausführung .....	56
12.2	Hauenstein-Tunnel .....	57
12.2.1	Ausgangslage .....	57
12.2.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	58
12.2.3	Erhaltungskonzept .....	59
12.2.4	Ausführung .....	60
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>64</b>

# Teil 5: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Strassentunneln

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Schadensbilder .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Verkehrsführung.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Verfahrensordnung .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Beispiele .....</b>	<b>12</b>
4.1	Tunnel Steg [1].....	12
4.1.1	Ausgangslage .....	12
4.1.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	13
4.1.3	Erhaltungskonzept .....	13
4.1.4	Ausführung .....	14
4.2	Barregtunnel.....	15
4.2.1	Ausgangslage [2] .....	15
4.2.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen [2] .....	16
4.2.3	Erhaltungskonzept [3] .....	16
4.2.4	Ausführung [4] .....	18
4.3	Tunnel Nazzano [5].....	18
4.3.1	Ausgangslage .....	18
4.3.2	Ausführung .....	19
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>22</b>

# Teil 6: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Brücken

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme.....</b>	<b>2</b>
2.1	Einleitung .....	2
2.2	Inspektion.....	2
2.2.1	Untersuchungsmethoden am Tragwerk.....	2
2.2.2	Brückenbauwerke in Entwicklungs- und Schwellenländern .....	4
<b>3</b>	<b>Schadensbilder .....</b>	<b>5</b>
3.1	Einleitung .....	5
3.2	Schadensbilder an sichtbaren Bauteilen .....	6
3.2.1	Korrosion an der Tragkonstruktion.....	6
3.2.2	Fahrbahn und Fahrbahnübergänge .....	8
3.2.3	Anprallfolgen .....	10
3.3	Gefährdungspotential .....	11
3.3.1	Beeinträchtigung des Bauwerkes .....	11
3.3.2	Abschätzung des Gefährdungspotentials .....	12
3.3.3	Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit nach SIA .....	13
<b>4</b>	<b>Beispiele .....</b>	<b>15</b>
4.1	Fürstenlandbrücke.....	15
4.1.1	Ausgangslage .....	15
4.1.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	16
4.1.3	Erhaltungskonzept .....	16
4.1.4	Ausführung .....	17
4.2	Sihlhochstrasse [36].....	21
4.2.1	Ausgangslage .....	21
4.2.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	22
4.2.3	Erhaltungskonzept .....	23
4.2.4	Ausführung .....	23
4.3	Schwarzwaldbrücke in Basel [35].....	25
4.3.1	Ausgangslage .....	25
4.3.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	26
4.3.3	Erhaltungskonzept .....	26
4.3.4	Ausführung .....	27
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>30</b>

# Teil 7: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Kanalleitungen

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme.....</b>	<b>2</b>
2.1	Modell der Zustandsbewertung .....	2
2.2	Randbedingungen für die Gesamtbeurteilung.....	2
2.3	Kanaluntersuchung mit Kanalinspektionskamera.....	3
2.3.1	Kamerasysteme .....	4
2.3.2	Messsysteme .....	4
2.3.3	Kostenvergleich .....	4
<b>3</b>	<b>Schadensbilder .....</b>	<b>6</b>
3.1	Längsrisse .....	6
3.2	Risse in der Rohrverbindung.....	7
3.3	Querrisse.....	7
3.4	Punktuelle Rissbildungen.....	7
3.5	Schadensfolgen .....	8
<b>4</b>	<b>Lokale Verfahren.....</b>	<b>9</b>
4.1	Roboter-Verfahren .....	9
4.1.1	Materialien .....	9
4.1.2	Einsatzmöglichkeiten von Kanalrobotern.....	9
4.2	Injektions-Verfahren .....	11
4.3	Partliner-Verfahren .....	12
4.4	Verfahren zur Erhaltung von Hausanschlüssen .....	13
4.4.1	Ferngesteuerte Insitu-Hausanschlusserhaltung.....	13
4.4.2	Hausanschlusserhaltung mittel Kanalroboter nach erfolgttem Relining.....	13
<b>5</b>	<b>Erhaltung ganzer Rohrleitungshaltungen .....</b>	<b>15</b>
5.1	Langrohr-Relining.....	15
5.1.1	Klassisches Langrohr-Relining .....	15
5.1.2	Langrohr-Relining mit flexiblen Produktrohren.....	16
5.2	Insitu Rohr-Relining.....	17
5.2.1	Materialien .....	17
5.2.2	Arbeitsablauf.....	17
5.3	Softlining .....	19
5.4	Anmerkungen zu Reliningsystemen mit Inlinerverfahren .....	20
<b>6</b>	<b>Erneuerung ganzer Rohrleitungshaltungen.....</b>	<b>21</b>
6.1	Gegenüberstellung offener und geschlossener Erneuerungsverfahren.....	21
6.2	Dynamische Berstling-Verfahren.....	21

6.2.1	Rohrmaterialien des Berstlinings .....	23
6.2.2	Vorteile des Berstlining in der Zusammenfassung.....	23
6.3	Systeme des Berstlinings .....	24
6.3.1	Druckrohr-Berstlining .....	24
6.3.2	Berstlining mit hinterer Aufweitung .....	25
6.3.3	Berstlining mit vorderer Aufweitung .....	25
6.3.4	Berstlining mit hinterer Aufweitung und .....	
	Ringraum-Vermörtelung.....	25
6.3.5	Berstlining im Kaliber-Verfahren .....	26
6.4	Bauablauf des dynamischen Berstlining-Verfahrens .....	26
6.5	Geräte des Berstlinings .....	27
6.5.1	Grundwinch.....	28
<b>7</b>	<b>Arbeits- und Unfallschutz .....</b>	<b>29</b>
7.1	Relevante Vorschriften .....	29
7.1.1	Mindestabmessungen für Arbeitsplätze im Kanalbau .....	29
7.1.2	Mindestanforderungen an die Atemluft .....	29
7.2	Tests zur Erfassung von Gefährdungen bei Kanalerhaltungen .....	29
7.3	Gefahren bei der Erhaltung von Kanälen .....	30
7.4	Massnahmen zur Gefahrenabwehr .....	31
7.4.1	Vorwegmassnahmen .....	31
7.4.2	Massnahmen gegen Gefährdungen .....	31
7.4.3	Zugang zur Arbeitsstelle .....	31
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>32</b>

## Teil 8: Erhaltungsmanagement im Hochbau

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Immobilien als Anlageklasse (Asset class).....	1
1.2	Erhaltungsmanagement im Kontext der Immobilienanlage .....	1
<b>2</b>	<b>Strategische Überlegungen im Vorfeld einer Instandsetzung .....</b>	<b>3</b>
2.1	Hierarchie der Strategien eines Immobilieneigentümers .....	3
2.2	Planungs- und Entscheidungsprozess des Immobilieneigentümers ..	4
<b>3</b>	<b>Bestimmung der Bauelemente, Zeitpunkt und Kosten .....</b>	<b>5</b>
3.1	Welche Bauelemente müssen instandgesetzt bzw. erneuert werden?5	
3.2	Bestimmung der Instandsetzungs- bzw. Erneuerungszeitpunkte und Arbeitspakete .....	5
3.3	Abschätzung der Instandsetzungskosten.....	6
3.3.1	Einsatz von Softwareprogrammen.....	6
3.3.2	Kostenschätzung anhand von Erfahrungswerten .....	7
<b>4</b>	<b>Grundlagen des Mietrechts für werterhaltende und wertvermehrende Investitionen.....</b>	<b>8</b>
4.1	Grundbegriffe .....	8
4.2	Bestimmung des Anteils der wertvermehrenden Investition .....	8
4.3	Berechnung der Mietzinserhöhung .....	9
<b>5</b>	<b>Entscheid über Realisation der Investitionen – Chancen und Risiken .....</b>	<b>10</b>
5.1	Grundüberlegung des Eigentümers .....	10
5.2	Positionierung der Liegenschaft .....	10
5.3	Betrachtung des Mietertrags .....	11
5.4	Renditebetrachtung.....	13
<b>6</b>	<b>Ablauf von Investitionsprojekten .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick: Spannungsfeld Immobilienmanagement.....</b>	<b>16</b>



## Teil 9: Entsorgung von Bauabfällen

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Definition der Materialgruppen und -fraktionen: .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Anfallende Menge der Bauabfälle .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Die Eigenschaften der Bauabfälle .....</b>	<b>6</b>
4.1	Aushub .....	6
4.2	Bauschutt .....	7
4.3	Bausperrgut.....	8
4.4	Sonderabfälle .....	8
<b>5</b>	<b>Baustellenentsorgung .....</b>	<b>9</b>
5.1	Erarbeitung eines Entsorgungskonzeptes.....	9
5.2	Das Mehr-Mulden-Konzept des SBV.....	9
<b>6</b>	<b>Handlungsbedarf .....</b>	<b>11</b>
6.1	Das neue Umweltschutzgesetz .....	11
6.2	Die Anwendung der Empfehlung SIA 430 .....	12
<b>7</b>	<b>Deponierung von Bauabfällen .....</b>	<b>14</b>
7.1	Deponien.....	14
7.2	Aufbereitung der Inertstoffmaterialien .....	15
7.3	Die Behandlung der Abfälle für die Reaktordeponien .....	15
7.4	Aufbereitung der Reststoffdeponie-Materialien: .....	16
7.5	Baukosten der Deponien.....	17
7.6	Die Verdichtungsgeräte für die Einbau der Deponiematerialien .....	17
7.7	Kosten in der öffentlichen Entsorgung.....	18
7.7.1	Kosten und Preisstruktur bei den Deponien.....	18
7.7.2	Deponiekosten-Entwicklung.....	18
7.7.3	Kostenstrukturen von KVA.....	19
7.7.4	Zukünftige Verbrennungspreise .....	19
7.7.5	Kostenstruktur der Neuanlagen von KVA .....	19
7.8	Die Nachbehandlung der Deponien, resp die Deponienachsorge....	20
7.9	Haftung und Versicherung bei Deponien (privaten) .....	20
7.10	Kontaminiertes Bodenmaterial / Bodenwaschanlage .....	22
<b>8</b>	<b>Geordneter Rückbau und Recycling von Bauabfällen .....</b>	<b>23</b>
8.1	Ziel des Recyclings .....	23
8.2	Ausgangsmaterialien für das Recycling .....	24
8.3	Qualität und Umweltverträglichkeit von Recycling-Baustoffen .....	25
8.4	Wie können diese erstrebenswerten Ziele erreicht werden?.....	25

8.5	Verantwortung des Abbruchs resp. des geordneten Rückbaus" .....	26
8.5.1	Verantwortung des Bauherrn.....	26
8.5.2	Verantwortung der Planer (Architekt und/oder Ingenieur).....	26
8.5.3	Verantwortung der Unternehmer .....	26
8.6	Die Empfehlung SIA 430 und Ausschreibung nach NPK 117 .....	27
8.6.1	Die Empfehlung SIA 430 "Entsorgung von Bauabfällen" Abbruch/Rückbau Neubau und Umbau .....	27
8.6.2	Die Neuerungen durch die Ausschreibungsunterlagen gemäss NPK 117 .....	27
8.6.3	Vorteile der detaillierten Ausschreibung:.....	29
8.6.4	Die Sonderstellung der Abbruchunternehmer.....	30
8.7	Organisatorische Kriterien kontrollierter Abbruchverfahren.....	30
8.8	Wirtschaftliche Kriterien für den Rückbau (kontrollierte Abbruchverfahren) .....	32
8.9	Kosten für Geräte und Personaleinsatz.....	32
8.10	Recycling von Betonbaustoffen.....	32
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>34</b>

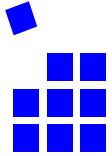
# Teil 10: Entscheidungsmodelle zur optimalen Gestaltung von Instandsetzungsmassnahmen

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Strategiebildung .....</b>	<b>2</b>
2.1	Einleitung .....	2
2.2	Stand der Forschung – Gesamtmodellansatz .....	3
2.3	Forschungsmethodik .....	5
2.4	Teil-Modellansatz – LC-Strategiebildung und LC-Unterhaltsvarianten	8
2.4.1	Räumliche Dimension .....	8
2.4.2	Technische und zeitliche Dimension .....	9
2.5	LC-Strategieplanung .....	13
2.6	LC-Unterhaltsvariantenbildung .....	17
2.7	Fazit .....	20
2.8	Formelzeichen .....	20
2.9	Literatur .....	23
<b>3</b>	<b>Qualitative Entscheidungsfindung - Analytic Hierarchy Process (AHP) .....</b>	<b>26</b>
3.1	Einleitung .....	26
3.2	Analytic Hierarchy Process (AHP) – Grundlagen .....	26
3.2.1	Definition des Entscheidungsproblems .....	27
3.2.2	Bewertung und Entscheidungsfindung .....	32
3.3	Beispiel – Auswahl Erhaltungsmassnahme .....	34
3.3.1	Definition des Entscheidungsproblems .....	35
3.3.2	Bewertung der alternativen Handlungsoptionen / Massnahmen nach Kriterien .....	38
3.3.3	Entscheidungsfindung .....	42
3.4	Literaturverzeichnis .....	44
<b>4</b>	<b>Quantitative Entscheidungsfindung - Wirtschaftlichkeitsanalyse .....</b>	<b>45</b>
4.1	Einleitung .....	45
4.2	Stand der Forschung .....	45
4.3	Forschungsmethodik und Teilmodellansatz .....	47
4.4	Systemabgrenzung des LC-KBW-Entscheidungsmodells .....	47
4.4.1	Räumliche Dimension .....	48
4.4.2	Inhaltliche Dimension .....	48
4.4.3	Zeitliche Dimension .....	51
4.4.4	Budgetbeschränkung .....	53
4.5	Systemkonfiguration des deterministischen LC-KBW-Entscheidungsmodells .....	53
4.6	Kostenansätze im LC-KBW-Entscheidungsmodell .....	54

4.7	Zusatzkosten bei Verschiebung von Massnahmen $\xi$ oder Erneuerungen $\nu$ bei einer Referenzstrategie $\chi_0$ .....	59
4.8	Diskontierung und Teuerungsindex.....	62
4.9	Probabilistisches LC-KBW-Entscheidungsmodell .....	62
4.10	Fazit / Ausblick .....	66
4.11	Formelzeichen.....	67
4.12	Literatur .....	70





Skript zur Vorlesung:

# **PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN**

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## **Teil 1: Einleitung – Ziele – Schadensprozess – Kosten**



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Begriffe der Bauwerkserhaltung .....</b>	<b>5</b>
2.1	Bauwerksakten.....	6
<b>3</b>	<b>Ziele, Massnahmen und Anforderungen der Erhaltung .....</b>	<b>9</b>
3.1	Erhaltungsziele.....	9
3.2	Erhaltungsmassnahmen und -tätigkeiten .....	10
3.3	Sofortmassnahmen .....	13
3.4	Planung der Bauwerkserhaltung .....	13
3.5	Massnahmenplanung .....	14
3.6	Unterhalt des Bauwerks .....	14
3.7	Veränderung des Bauwerks .....	15
<b>4</b>	<b>Schadensmechanismus bei Betonbauwerken.....</b>	<b>16</b>
4.1	Verbundwerkstoff Beton .....	16
4.2	Korrosionsprozess im Verbundwerkstoff Beton.....	16
4.2.1	Passivierung des Betonstahls.....	16
4.2.2	Mechanismen der Korrosion .....	18
4.2.3	Abschätzung betonaggressiver Wässer.....	23
4.2.4	Frost-Tausalz-Schäden.....	23
4.2.5	Stahlkorrosion.....	26
4.2.6	Spannungsrissskorrosion und Wasserstoffversprödung.....	28
4.2.7	Einflüsse und Auswirkungen der Korrosion .....	29
4.3	Zusammenfassung - Bedeutung von Dichte und Dicke der Betondecke für den Korrosionsschutz der Bewehrung.....	30
<b>5</b>	<b>Kosten der Erhaltung .....</b>	<b>34</b>
5.1	Kostenstufen .....	37
5.2	Interpretation der Kostenstufen .....	38
5.3	Erstellen von Interventionskurven .....	39
5.4	Kostenoptimierung .....	41
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>43</b>





# 1 Einleitung

Die europäischen Länder besitzen eine weitreichend komplette Bausubstanz (Bild 1). Diese umfasst ein umfangreiches Infrastrukturnetzwerk der Ver- und Entsorgung sowie des Verkehrs und der Kommunikation. Ferner gehören die Wirtschafts- und Wohnbauten zu der volkswirtschaftlichen Bausubstanz.

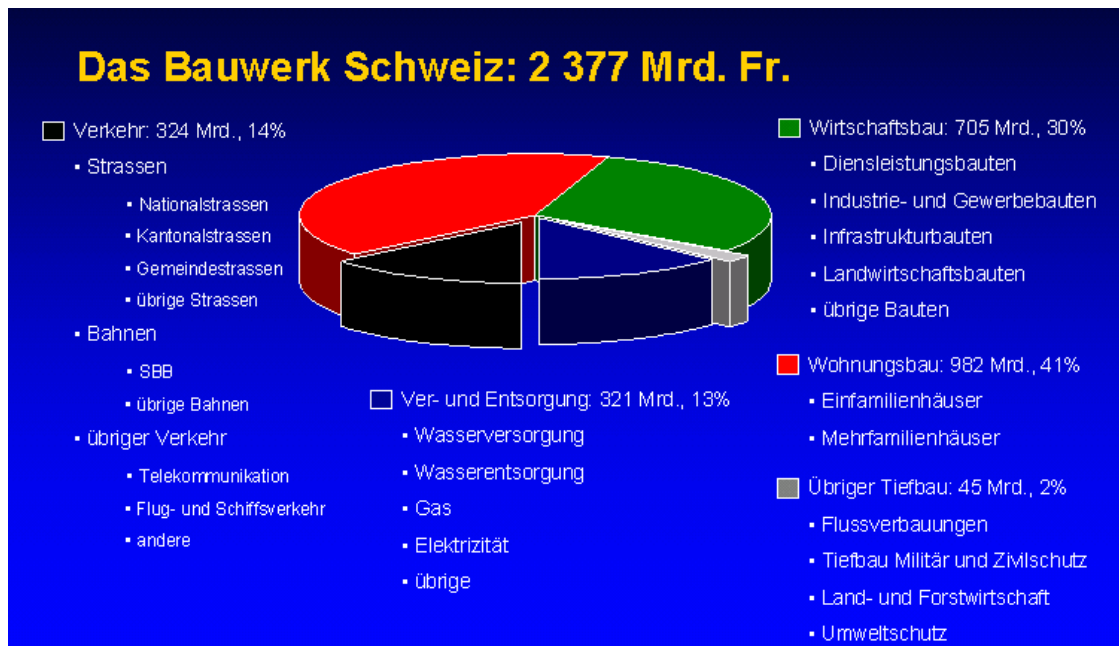


Bild 1: Bauwerk Schweiz [1]

Zukünftige Bauaufgaben werden sich, bedingt durch den im Rahmen der Globalisierung einhergehenden Strukturwandel der gesamten Industrie, auf folgende Gebiete konzentrieren:

- Instandhaltung der milliardenteuren Bausubstanz
- Ergänzung der vorhandenen Bausubstanz

Die Instandsetzungsaufwendungen werden heute ohne genauere systematische Kostenanalyse auf ca. 1.5 - 2.5 % des Zeitwerts pro Jahr geschätzt. Die bestehenden baulichen Anlagen weisen einen hohen kulturellen und grossen volkswirtschaftlichen Wert auf, der von der heutigen Nutzergeneration erhalten werden muss.

Die Baubranche wird dadurch im Inlandsmarkt verstärkt gefordert, die volkswirtschaftliche Aufgabe der ökonomischen Erhaltung der Bausubstanz mit zu übernehmen. Dadurch eröffnen sich für die Bauunternehmen Chancen zur Neuorientierung und zum weitreichenden Ausbau neuer Geschäftsfelder, verbunden mit neuen prozessorientierten Leistungsangeboten. Dieses Leistungsangebot kann sowohl:

- Überwachung
- Unterhalt
- Instandsetzung

für Objekte umfassen, aber auch die Planung von Instandsetzungsprojekten mit oder ohne externe Ingenieurfirmen beinhalten. Im Wohn-, Büro- und Industriebau kann dies

in Verbindung mit Anlagenbauern bzw. Anlagenunterhaltungsfirmen erfolgen. Die Baufirmen besitzen, bedingt durch die Planung des Bauprogramms (Termine, Leistungen, Ressourcen, Sicherungssysteme etc.), sowie durch den Umgang mit den Materialien und Bauverfahren, die eigentliche Kompetenz und das Know-how in Bezug auf die Unterhaltung und Instandsetzung von Bauwerken. Diese Kompetenzen sollten von den Bauunternehmen in Zukunft gezielt genutzt und ausgebaut werden, um einen Einstieg in neue Geschäftsfelder zum Vorteil für den Auftraggeber zu erlangen. Die Bausubstanz sollte in definierten Intervallen - wie bei einer Fahrzeuginspektion - überprüft, gewartet und instand gesetzt werden. Dies könnte in Form von Systemunterhaltungsaufträgen erfolgen.

Das Thema der Ausbildung im Rahmen der Instandsetzung umfasst alle an der Ausführung beteiligten Personen wie z.B.:

- gewerbliche Mitarbeiter (Poliere, Betonwerker, Bauarbeiter, Maler, Maurer etc.)
- Ingenieure

Die gewerblichen Mitarbeiter müssen fachlich, neben ihren Kenntnissen im allgemeinen Beton- und Mauerwerksbau, auf folgende neue, praktische Kernkompetenzen der Material- und Bauverfahrenstechnik ausgerichtet werden:

- substanzschonendes Abtragen von schadhafte Strukturen
- Vorbereitung der Oberfläche der gesunden restlichen Struktur für die neuen Ergänzungsschichten durch Haftbrücken etc.
- Auftragen von Ergänzungsschichten zur Erreichung eines möglichst monolithischen, dauerhaften Verhaltens des instand gesetzten Bauglieds
- Sicherheitsverhalten bei Arbeiten unter Aufrechterhaltung der Nutzung in Bezug auf die eigene Gefährdung durch die Benutzer (Strassenverkehr) sowie Schutz der Benutzer vor den Bauarbeiten

Von den Ingenieuren der Bauausführung werden zusätzlich zu dem oben genannten Grundwissen und dem allgemeinen theoretischen und praktischen Fachwissen folgende spezifischen Fähigkeiten und Kenntnisse verlangt:

- detaillierte, meist sogar minutiöse Planung des Bauprogramms unter Berücksichtigung der einzelnen Arbeitsschritte, meist unter Aufrechterhaltung der Nutzung
- Kommunikations- und Motivationsfähigkeit, um die Akzeptanz der Benutzer während der Instandsetzungsarbeiten aufrecht zu erhalten
- Planung von Sicherungsmassnahmen bzw. deren Durchführung vor Beginn der Abtragarbeiten in Bezug auf:
  - die Standsicherheit des Bauwerks, z.B. temporäre Ersatzstützen bei der Sanierung von Stahlbetonstützen
  - den Schutz der Benutzer vor den Gefahren, die von den Instandsetzungsarbeiten ausgehen bzw. Schutz der Beschäftigten vor den Benutzern (Autobahn-, Tunnel- oder Brückenbaustellen etc.)
- materialtechnologisches und verfahrenstechnisches Know-how in Bezug auf das Abtragen von Bausubstanz sowie Bau- und Instandsetzungsstoffe
- weitestgehende bauphysikalische Kenntnisse

Die vorgenannten Anforderungen unterscheiden sich besonders von denen, die bei der Herstellung eines **Neubaus** gestellt werden. Bei der Herstellung eines Neubaus werden die einzelnen Bauelemente meist monolithisch hergestellt, so dass sie nach dem

Erhärten oder der Fertigstellung ihre Tragfähigkeit erreicht haben. Die Tragfähigkeit muss natürlich die Lastfälle der Bauzustände berücksichtigen. Ist dies nicht der Fall, sind Hilfskonstruktionen vorzusehen, was oftmals bei besonderen Bauverfahren erforderlich ist.

Bei der **Instandsetzung** werden zuerst die geschädigten Schichten eines Bauteils abgetragen. Dabei werden meist die tragenden Querschnittselemente geschwächt oder abgetragen. Um in solchen Fällen die Tragsicherheit zu gewährleisten, muss das Tragelement

- durch Hilfskonstruktionen unterstützt werden und / oder
- es müssen Nutzungseinschränkungen festgelegt werden, um den Kraftfluss in dem Tragelement entsprechend dem verringerten Querschnitt anzupassen.

An dieser Stelle erkennt man die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen der Ausführung und der Baustatik/-konstruktion. Die Ausführenden müssen präzise Vorgaben für die Bauarbeiten erhalten, damit keine Gefährdung der Standsicherheit auftritt. Dies wäre der Fall, wenn z.B. die Karbonatisierungstiefe in der Betondruckzone wesentlich tiefer wäre als bei den aus den Voruntersuchungen abgeleiteten Annahmen und den daraus festgelegten temporären Standsicherheitsmassnahmen. Dann nämlich wären zusätzliche Standsicherheitsmassnahmen zu ergreifen. Der zuständige Ingenieur muss solchen Bauarbeiten, die vorübergehend zu einer Schwächung der Konstruktion führen, besondere Beachtung schenken durch:

- Vorgaben an die Ausführenden in Bezug auf Sicherungsmassnahmen, Umfang der Abtragsarbeiten, Verhalten bei tieferer Schädigung, Konsequenzen in Bezug auf die Tragsicherheit;
- Überwachung von sensiblen Abtragsarbeiten in Bezug auf die Tragsicherheit durch einen Fachingenieur.

Im Bereich der Instandsetzung werden sich neue, interessante Ingenieuraufgaben in einer aus Baumanagement und Bauverfahrenstechnik, Baustatik, Materialtechnologie und Bauphysik bestehenden Kombination ergeben. Diese müssen vermehrt im **Spektrum der Bauingenieurausbildung ihren Schwerpunkt** finden. Diese Aufgaben sind im Rahmen von Instandsetzungsprojekten während der Ausführungsphase stark interaktiv. Daher bieten sich folgende Schwerpunktbildungen bei Ingenieuren für Instandsetzungsaufgaben an:

- Baustatik und Bauphysik mit Materialtechnologie und Bauverfahrenstechnik
- Bauabwicklungsmanagement und Bauverfahrenstechnik mit Infrastrukturtechnik und -management sowie Materialtechnologie und Baustatik

Bei der Planung von Neubauten können statische Berechnungen und Konstruktionspläne vor und während der Ausführung oft in Niedriglohnländern angefertigt werden, eine Tendenz, die in Deutschland bei Grossprojekten in Kooperation mit Ingenieurfirmen aus Ländern wie Ungarn, Tschechien etc. das Probierstadium bereits weit überschritten hat. Bei Instandsetzungsprojekten ist dies in der Regel, bedingt durch den nur relativ wenig bekannten Schädigungsgrad des Bauwerks vor Beginn der Arbeiten, nicht möglich. Der Schädigungsgrad tritt meist erst vollumfänglich während der Bauausführung zutage. Daher ist eine statisch-konstruktive Betreuung während der Bauausführung unumgänglich.

Für die Instandsetzung, die meist durch eine Sandwichtechnik oder auch Verbundkonstruktion erfolgt, sind besonders folgende Kenntnisse von grösster Bedeutung:

- chemische und physikalische Haftung sowie Verbund der Werkstoffe untereinander
- Alterungsbeständigkeit und Dauerhaftigkeit
- Umweltverträglichkeit und Wiederverwertbarkeit der Werkstoffe im Fall einer späteren Sanierung
- bauphysikalische Grundsätze

## 2 Begriffe der Bauwerkserhaltung

Die Begriffe der Bauwerkserhaltung sind im deutschsprachigen Raum in Normen geregelt. In Deutschland ist die DIN 31051 [2] und in der Schweiz die SIA 469 [3] sowie speziell für den Strassenbau die VSS SN 640900 [4] gültig.

Die Erhaltung bezweckt die fachgerechte und wirtschaftliche Erhaltung von Bauwerken unter Berücksichtigung ihres kulturellen Werts. Zum Bauwerk bzw. zur baulichen Anlage gehören folgende Elemente:

- Tragwerk
- Gebäudehülle
- Ausbau und technische Anlagen

Dieses Buch befasst sich mit der Erhaltung von Infrastrukturanlagen; zu diesen zählen:

- Verkehrstunnel: Bahn- und Strassentunnel
- Brückenbauwerke
- Kanalnetze

Bei diesen Bauwerken bzw. baulichen Anlagen bildet die Tragkonstruktion weitestgehend auch die Nutzungskonstruktion. Daher befasst sich dieses Buch mit der Erhaltung und schwerpunktmässig mit der Instandsetzung der Tragkonstruktion dieser wichtigen Infrastrukturbauwerke. Da die Mehrzahl dieser Bauwerke aus Stahl- und Spannbeton gebaut wurde, wird ein Schwerpunkt auf Bauwerke aus diesen Baustoffen gelegt. Bei Tunnelbauwerken werden zudem gemauerte Tunnelschalen mit einbezogen.

Bauwerke bedürfen zur qualitativ hochwertigen Aufrechterhaltung der Nutzung eines systematischen Erhaltungsmanagements, das die Nutzungsphasen begleitet (Bild 2). Dazu ist eine periodische Überwachung notwendig, die sich an der Wertveränderung bzw. Schadenszunahme orientiert, d.h. mit zunehmenden Schäden müssen die zeitlichen Überwachungsintervalle verkürzt werden. Die Überwachung umfasst die Funktionsüberwachung zur Sicherstellung einer hohen Nutzungsfrequenz. Durch periodische Beobachtungen, Inspektionen und Kontrollmessungen wird der Zustand der Bauwerke kontrolliert. Die Zustandserfassung wird systematisch in einer Zustandsdatenbank und z.B. in einem Tunnelband bei Tunnelbauten grafisch erfasst. Ferner werden die Karbonatisierungstiefe und die Chloridpenetration grafisch erfasst und extrapoliert, um die weitere Entwicklung zu simulieren und die technisch notwendigen und wirtschaftlich optimalen Interventionsmassnahmen zur Erhaltung zu planen.

Aufgrund dieses Überwachungsregimes werden die Erhaltungsmassnahmen bzw. betrieblichen und baulichen Instandhaltungsmassnahmen geplant. Zu den betrieblichen Instandhaltungsmassnahmen gehören u.a.:

- Reinigen
- Schnee- und Eisbeseitigung
- Erhaltung der technischen Ausrüstung wie Fahrleitungsbefestigungen, Signale
- Erhaltung des Fahrwegs

Zur baulichen Instandhaltung zählen:

- Oberflächenbehandlungen
- kleinere Reparaturen
- Beseitigung von Beschädigungen.

Diese Massnahmen sollen die Nutzung und den Betrieb auf optimalem Niveau erhalten und mögliche Instandsetzungsmassnahmen im Verlauf des Lebenszyklus reduzieren.

Neben den routinemässig geplanten Erhaltungsmassnahmen werden auf der Basis der Überwachungsdaten des Bauwerks die Massnahmen für die bauliche Instandsetzung, Erneuerung sowie Veränderung an neue Anforderungen geplant.

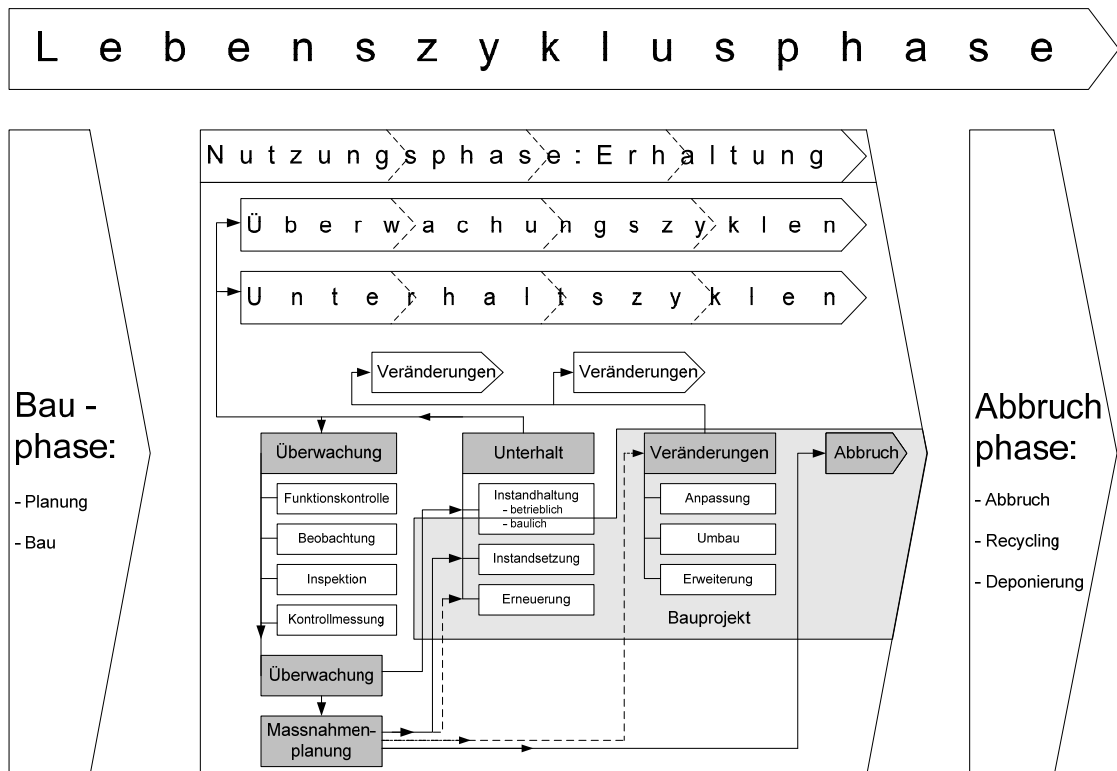


Bild 2: Bauwerkserhaltungsprozess im Lebenszyklus einer baulichen Anlage

## 2.1 Bauwerksakten

Im Rahmen des Erhaltungsmanagements in der Nutzungsphase müssen die Informationen über das Bauwerk und sein Zustand systematisch erfasst werden. Dazu ist es erforderlich, für jedes Bauwerk eine Bauwerksakte anzulegen. Bei Infrastrukturprojekten, die in einem Netz eingebunden sind, wird zudem die Zustandserfassung und Bewertung in einer Netzzusammenfassung bzw. Netzübersicht zusammengefasst.

Die Massnahmen, ob Erhaltungs- oder Instandsetzungsmassnahmen, müssen bei Netzen, z.B. Bahn- oder Strassennetzen, im System koordiniert werden, da es sich nicht um singuläre Bauwerke handelt, sondern jedes Bauwerk die Nutzung des Netzes beeinflusst.

Die Bauwerksakten umfassen alle Dokumente, die Informationen über das Bauwerk enthalten; zu ihnen gehören:

- Verzeichnis der Unterlagen

- rechtliche Grundlagen wie Landerwerb, Baubewilligung/Baugenehmigung etc.
- Planungsgrundlagen wie Raumprogramm, Nutzungsplan
- technische Grundlagen wie Betriebsvorschrift, Sicherheits- und Überwachungsplan, Unterhaltsplan
- Anweisungen zur Nutzung und zum Betrieb
- Berichte und Statistiken wie z.B. Inspektionsberichte, Kontrollmessungen, Funktionsprüfungen
- Projektunterlagen wie z.B. Lagepläne, Ausführungspläne, Berechnungen, Bauberichte
- Ausführungsunterlagen wie z.B. Schlussprüfung, Qualitätskontrolle, Baujournal, Unterlagen über technische Anlagen
- fotografische und andere Aufnahmen des Zustands
- Korrespondenz
- Kostenerfassung der Erhaltung

Diese Bauwerksakten sind eine wichtige Grundlage für eine zweckmässige Bauwerkserhaltung. Umfang und Inhalt der Bauwerksakten sind der Art der Nutzung und dem Bauwerk anzupassen (z.B. Brücke, Tunnel). Besonders die Dokumente der Bauwerkserhaltung müssen auf dem aktuellen Stand gehalten werden; sie sind im Anschluss an jede Instandsetzungs-, Erneuerungs- und Veränderungsmassnahme entsprechend zu ergänzen. Dies betrifft die Pläne und die Zustandsdarstellung der Bauwerke (z.B. Tunnelband).

Die wichtigsten Elemente der Bauwerksakten sollen im Folgenden noch etwas näher betrachtet werden.

- Bestandsunterlagen nach Erstellung, Instandsetzung/Erneuerung und Veränderung enthalten:
  - die **Bestandspläne** nach der Erstellung sowie jeder Veränderung in der Lebensphase des Bauwerks
  - den **Nutzungsplan**, in dem die Nutzungszustände (Art der Nutzung, zulässige Lasten) und die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit sowie die Massnahmen zur Sicherstellung festgehalten sind
  - den **Sicherheitsplan**, der die Gefährdungsbilder und die Massnahmen enthält, wie den identifizierten Gefahren zur Aufrechterhaltung der Trag- und Gebrauchssicherheit begegnet werden muss
- Anweisungen der Bedienung und des Betriebs enthalten:
  - die **Nutzungsanweisungen** mit Nutzlast, Lichtraumprofil, Raumbedingungen etc.
  - die **Betriebsanweisungen** mit Bedienungs- und Betriebsanleitung
- Dokumente der Bauwerksüberwachung und Unterhaltsplanung enthalten:
  - den **Überwachungsplan** mit Angabe, was wie und wann überwacht werden muss; dazu gehören mögliche Einwirkungen auf das Bauwerk, Angaben über Bauteile, die besonders überwacht werden müssen, Funktionskontrollen, Kontrollmessungen, Dokumentation Überwachung



- den **Unterhaltsplan** mit den planbaren regelmässigen Unterhaltsarbeiten wie betriebliche und bauliche Instandhaltung, die periodisch oder ereignisorientiert (Schneefall) durchgeführt wird.
- den **Massnahmenplan**, der die planbaren Instandsetzungs-, Erneuerungs- und Veränderungsmassnahmen zur Werterhaltung des Bauwerks enthält. Dies betrifft Bauteile sowie das ganze Bauwerk.

## 3 Ziele, Massnahmen und Anforderungen der Erhaltung

### 3.1 Erhaltungsziele

Ziele der Bauwerkserhaltung sind nach SIA 469 [3]:

- Bewahren einer ausreichenden Sicherheit (Trag- und Betriebssicherheit)
- Sicherstellen der Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks
- Erhalten des wirtschaftlichen Werts eines Bauwerks unter Berücksichtigung der Betriebs- und der Erhaltungskosten
- Erhalten des kulturellen Werts eines Bauwerks
- Wahrnehmen der gesetzlichen Verantwortung der Eigentümerschaft

Die Ziele der Bauwerkserhaltung sind wiederum abhängig von folgenden Einflüssen:

- den Absichten der Eigentümerschaft
- den im Zusammenhang mit der Erhaltung eines Bauwerks und dessen Betrieb bestehenden vertraglichen Regelungen
- dem Bauwerk und den vorhandenen Bauwerksakten
- den Ergebnissen aus früherer Überwachung und Überprüfung
- den behördlichen Auflagen
- den gesetzlichen Rechten und Pflichten der Eigentümerschaft

Zur Formulierung der Ziele der Bauwerkserhaltung werden benötigt:

- der Zweck bzw. die Funktion des Bauwerks
- die Nutzung bzw. Verwendung des Bauwerks und deren Dauer
- die angestrebten kulturellen und wirtschaftlichen Werte des Bauwerks
- die Anforderungen an das Bauwerk

Der kulturelle Wert ergibt sich aus der Bedeutung des Bauwerks im landschaftlichen oder städtebaulichen Rahmen, aus dem architektonischen, tragwerks- und/oder anlagentechnischen Konzept sowie aus der Qualität der inneren und äusseren Erscheinung. Bei historisch wertvollen Gebäuden gehört die originale Bausubstanz zum kulturellen Wert.

Der wirtschaftliche Wert wird durch den Marktwert definiert.

Die Anforderungen an das Bauwerk hinsichtlich Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit werden aus dem Zweck des Bauwerks und aus dessen Nutzung abgeleitet.

Eine ausreichende Sicherheit besteht, wenn eine Gefährdung von Personen, Umwelt, kulturellen und wirtschaftlichen Werten durch Tragwerksversagen oder durch den Betrieb des Bauwerks und seiner technischen Anlagen auf ein gesellschaftlich zu vertretendes Mass beschränkt ist. Dabei ist der Sicherheit von Personen Priorität beizumessen. Die Gebrauchstauglichkeit ist gegeben, wenn der Zustand des Bauwerks die ihm zuge dachte Nutzung ermöglicht.

### 3.2 Erhaltungsmassnahmen und -tätigkeiten

Ziel der **Überwachung** (Bild 2) ist es, die zeitliche Entwicklung des Zustands eines Bauwerks festzustellen, zu werten und daraus Empfehlungen für das weitere Vorgehen abzuleiten. Die Überwachung umfasst planbare und nicht planbare Tätigkeiten.

Zu den planbaren Überwachungstätigkeiten gehören [3]:

- gezielte Beobachtungen
- regelmässige Inspektionen (Haupt- und Zwischeninspektionen)
- periodische Kontrollmessungen
- regelmässige Funktionskontrollen

Nicht planbare Überwachungstätigkeiten umfassen beispielsweise [4]:

- Beobachtungen Dritter
- Sonderinspektionen

Ermöglicht die Überwachung keine zuverlässige Aussage über den Zustand des Bauwerks, so ist eine Überprüfung erforderlich. Falls die Ergebnisse der Überwachung Sofortmassnahmen erfordern, müssen diese unverzüglich veranlasst werden.

Die **gezielte Beobachtung** erfolgt durch die Eigentümerschaft oder durch einen Beauftragten (Hauswart, Unterhaltsdienst, Bedienungspersonal). Sie ist eine Daueraufgabe und wird normalerweise im Rahmen der Instandhaltung des Bauwerks und der Bedienung der technischen Anlagen durchgeführt. Sie umfasst auch die Überprüfung der Nutzung und des optimalen Betriebs technischer Anlagen.

Die **Inspektion** umfasst in der Regel gezielt visuelle und einfache Untersuchungen (Zustandsaufnahmen) sowie deren Bewertungen (Zustandsbewertungen). Für das Bauwerk und seine Teile ist eine Zustandsbewertung in geeigneten Bewertungsstufen (z.B. in schadenfreiem / gutem / annehmbarem / schlechtem / alarmierendem Zustand vorzunehmen [3].

Die Ergebnisse jeder Inspektion sind in einem Inspektionsbericht festzuhalten. Dieser enthält mindestens:

- Dokumentation des Zustands mit Angabe der wesentlichen Schäden
- Zustandsbewertung des Bauwerks und seiner Teile
- allfällig angeordnete Sofortmassnahmen
- den nächsten regulären Inspektionstermin
- Empfehlungen für das weitere Vorgehen (z.B. keine Überprüfung / Überprüfung)

Die Inspektionen lassen sich gliedern in:

- Hauptinspektionen
- Zwischeninspektionen
- Sonderinspektionen

Hauptinspektionen sind feste Bestandteile der Überwachung. Sie erstrecken sich über das gesamte Bauwerk. Ihre Durchführung erfolgt regelmässig, in der Regel visuell und mit einfachen Mitteln. Hierzu ist ein ausreichender Zugang zum Bauwerk und seinen Teilen erforderlich, zudem müssen zum Schutz des eingesetzten Personals sichere Hilfseinrichtungen zur Begehung (z.B. Leiter/fahrbare Bühnen, etc.) zur Verfügung gestellt werden. Die zeitlichen Abstände der Hauptinspektionen sind abhängig von der

Art, dem Zustand und der Nutzung des Bauwerks. Sie werden den im Rahmen der Überwachung gewonnenen Erkenntnissen angepasst.

Zwischeninspektionen ermöglichen die Verfolgung des Verhaltens in engeren zeitlichen Abständen. Sie werden zwischen den Hauptinspektionen angeordnet und beschränken sich in der Regel auf ausgewählte Teile des Bauwerks. Sie werden aufgrund der Erkenntnisse der Hauptinspektion bzw. bei Bedarf veranlasst. Die im Rahmen der Überwachung gewonnenen Erkenntnisse werden angepasst und, falls nicht mehr erforderlich, wieder eingestellt.

Sonderinspektionen werden dann durchgeführt, wenn das Bauwerk wesentliche Nutzungs- oder Betriebsänderungen erfahren hat oder aussergewöhnlichen Einwirkungen ausgesetzt war.

Durch **Kontrollmessungen** werden Informationen über das Verhalten ausgewählter Kenngrössen oder über die Entwicklung von Schäden gewonnen (z.B. Durchbiegungsmessungen bei Spannbetonbrücken, um Schädigungen der Spannkabel zu kontrollieren, Pfeilersetzungen, Tunnelkonvergenzen, Versinterung von Tunneldrainagen). Die Kontrollmessungen betreffen ausgewählte Teile des Bauwerks oder seiner Umgebung. Dazu kann auch die Erfassung des Energieverbrauchs, der Leistung von Teilen technischer Anlagen, des Raumklimas in Gebäuden sowie der Umweltbelastung durch Emissionen gehören.

Die Kontrollmessungen erfolgen periodisch und werden bei Bedarf veranlasst. Die zeitlichen Abstände der Messungen sind in der Regel kleiner als diejenigen der Inspektionen. Sie sind unter anderem abhängig vom Zustand und von der Veränderung der Kenngrössen.

Die Ergebnisse der Kontrollmessungen müssen schriftlich festgehalten werden und sollten graphisch über ihren zeitlichen Verlauf dargestellt werden.

Bei der Überwachung einer Schadenentwicklung, die die Sicherheit beeinträchtigt, sind bei Kontrollmessungen für die jeweiligen Kenngrössen folgende zwei Grenzwerte festzulegen:

- der Meldewert, bei dessen Überschreitung die Eigentümerschaft innert nützlicher Frist zu benachrichtigen ist;
- der Alarmwert, bei dessen Überschreitung die Eigentümerschaft unverzüglich zu benachrichtigen ist, um die notwendigen Massnahmen einzuleiten.

Die **Funktionskontrollen** umfassen den Nachweis des Funktionierens technischer Anlagen und anderer Teile des Bauwerks. Sie betreffen insbesondere elektrische und mechanische Teile technischer Anlagen, wie Motoren, Apparate, Regelsysteme usw. Besondere Beachtung ist dabei den Sicherheits- und Notsituationseinrichtungen zu widmen, wie Notstromaggregaten in Krankenhäuser, Notbeleuchtungs- und Leiteinrichtungen bei Fluchtwegen in Hochhäusern und Tunneln.

Funktionskontrollen werden bei Bedarf veranlasst; ihre Durchführung erfolgt in der Regel periodisch. Die zeitlichen Abstände der Kontrollen richten sich nach der Bedeutung, Beanspruchung und Störanfälligkeit der betreffenden Teile.

Ist die Funktion eines für die Betriebssicherheit relevanten Teils beeinträchtigt oder gefährdet und kann dieser Schaden nicht umgehend behoben werden, so muss die Eigentümerschaft unverzüglich benachrichtigt werden. Für alle übrigen Fälle einer Funktionsstörung oder Beeinträchtigung ist die Eigentümerschaft innert nützlicher Frist zu benachrichtigen.

Die Ergebnisse der Funktionskontrollen werden schriftlich festgehalten.

Das Ziel der **Überprüfung** ist die Beurteilung des Bauwerks und seiner Teile anhand der Resultate der Überwachung und allfälliger vertiefter Untersuchungen sowie eine daraus abgeleitete Empfehlung für das weitere Vorgehen. Für die Überprüfung empfiehlt sich ein stufenweises Vorgehen mit einer generellen ersten und einer verfeinerten zweiten Stufe. Oft ist eine generelle Überprüfung ausreichend.

Die Überprüfung ist vor allem dann erforderlich, wenn aufgrund der Überwachung eine ungenügende Sicherheit vermutet oder wenn eine Instandsetzung, Erneuerung, Veränderung oder ein Ersatz des Bauwerks in Erwägung gezogen wird. Eine Überprüfung ist auch bei wesentlichen Nutzungsänderungen erforderlich.

Bei der Überprüfung sind die Ursachen der Schäden ausreichend zu ergründen.

Anerkannte neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Zustandsbeurteilungen sind zu berücksichtigen, sofern sie die Ergebnisse der Überprüfung wesentlich beeinflussen.

Die Ergebnisse jeder Überprüfung sind in einem Bericht festzuhalten. Dieser enthält mindestens:

- Zustandsbeschreibung
- Beurteilung der Sicherheit: Tragsicherheit und Betriebssicherheit
- allfällig angeordnete Sofortmassnahmen
- Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit
- Prognose der Zustandsentwicklung
- Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Falls die Ergebnisse der Überprüfung Sofortmassnahmen erfordern, müssen diese unverzüglich veranlasst werden.

Sind die **Anforderungen an die Sicherheit** nicht mehr erfüllt, so sind Massnahmen zu ergreifen, um die erforderliche Sicherheit wiederherzustellen. Dazu gehören auch die Intensivierung der Überwachung, die Einschränkung der Nutzung oder die Begrenzung der Restnutzungsdauer. Für eine ausreichende Sicherheit ist auch während der Ausführung von Unterhaltsarbeiten und Veränderungen zu sorgen.

Die Beurteilung der **Tragsicherheit** ist nach dem geltenden Normenwerk durchzuführen. Dabei werden die im Sicherheitsplan festgelegten Anforderungen an das Tragwerk mit den aktuellen Verhältnissen verglichen und gegebenenfalls angepasst. Bei Bauwerken, die oft wiederholten Beanspruchungen ausgesetzt sind, ist auch die Ermüdungssicherheit zu überprüfen.

Für eine ausreichende Tragsicherheit ist durch eine den Anweisungen entsprechende Nutzung sowie durch eine dem Überwachungs- und Unterhaltsplan entsprechende Erhaltung zu sorgen.

Die Beurteilung der **Betriebssicherheit** erfolgt aufgrund der im Sicherheitsplan und in den Betriebsvorschriften festgelegten Anforderungen. Dabei werden diese Anforderungen mit den aktuellen Verhältnissen verglichen und gegebenenfalls angepasst. Die Beurteilung der Betriebssicherheit eines Bauwerks umfasst die technischen Anlagen, die Gebäudehülle und den Ausbau.

Für eine ausreichende Betriebssicherheit ist durch eine dem Überwachungs- und dem Unterhaltsplan entsprechende Erhaltung sowie durch einen den Anweisungen entsprechenden Betrieb zu sorgen.

Die **Gebrauchstauglichkeit** wird aufgrund der im Nutzungsplan festgelegten Anforderungen überprüft. Dabei werden diese Anforderungen gegebenenfalls den aktuellen Verhältnissen angepasst. Die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit umfasst die Gebäudehülle, das Raumklima, den Ausbau und das Tragwerk.

Sind die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit nicht erfüllt, so sind Unterhaltmassnahmen, Einschränkungen der Nutzung oder eine Begrenzung der Restnutzungsdauer zu erwägen.

Die **Prognose der Zustandsentwicklung** umfasst eine Abschätzung der technisch zulässigen Restnutzungsdauer mit Angabe des spätesten Eingriffstermins sowie Aussagen über die voraussichtliche Zustandsentwicklung.

### 3.3 Sofortmassnahmen

Die Sofortmassnahmen dienen zur unverzüglichen Verbesserung der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks. Sie werden aufgrund von Ergebnissen der Überwachung oder der Überprüfung veranlasst und sind ohne Verzug auszuführen. Die Sofortmassnahmen umfassen:

- Intensivierung der Überwachung
- Nutzungsbeschränkung, z.B. Lastbeschränkung oder Sperrung bzw. Stilllegung
- Betriebseinschränkung oder Ausserbetriebsetzung technischer Anlagen
- bauliche Sofortmassnahmen

### 3.4 Planung der Bauwerkserhaltung

Ziel der Erhaltungsplanung (Bild 2) ist ein Erhaltungskonzept mit Beschreibung der optimalen Erhaltungsvariante.

Die Ausarbeitung der Erhaltungsplanung erfolgt innerhalb eines multidisziplinären Teams, das unter der Leitung eines je nach Aufgabe zu bestimmenden Gesamtleiters steht. Die Erhaltungsplanung umfasst eine Variantenstudie (strategische Studie) und liefert ein Erhaltungskonzept.

Grundlagen der Erhaltungsplanung sind die gesetzlichen Auflagen, die Ergebnisse der Überprüfung des Bauwerks und die Bewirtschaftungsziele des Eigentümers, insbesondere die aktuellen und zukünftigen Nutzungsanforderungen sowie die kulturellen Werte des Bauwerks.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind in der Regel die Bau-, die Erhaltungs- und die Betriebskosten zu berücksichtigen. Die Eigentümer bzw. die Nutzer sind auf Einsparmöglichkeiten bei den Erhaltungs- und Betriebskosten aufmerksam zu machen. Dies betrifft vor allem wenig dauerhafte und unterhaltsintensive Teile des Bauwerks wie technische Anlagen und deren Energieverbrauch.

Jede Erhaltungsvariante umfasst alle während der festgelegten Dauer (z.B. der geforderten Restnutzungsdauer) wahrscheinlichen Erhaltungsmassnahmen. Diese Massnahmen betreffen je nachdem das gesamte Bauwerk oder nur Teile desselben. Erhaltungsvarianten enthalten eine zeitliche Abfolge von ausgewählten Erhaltungsmassnahmen (Instandsetzung, Erneuerung, Veränderung, Ersatz). Dabei soll eine Variante in der Regel einen zeitlich möglichst weit hinausgeschobenen Ersatz vor Ablauf der technisch zulässigen Restnutzungsdauer beinhalten.

Die Auswahl der optimalen Erhaltungsvariante berücksichtigt in der Regel die Wahrung der kulturellen Werte und die Wirtschaftlichkeit (Nutzen-Kosten-Verhältnis).

Die optimale Erhaltungsvariante wird im Erhaltungskonzept beschrieben. Dieses enthält im Wesentlichen:

- generelle Aussagen über die voraussichtlichen Erhaltungsmaßnahmen mit den wahrscheinlichen Ausführungsterminen und den grob abgeschätzten Kosten
- Umschreibung der beibehaltenen und der allfällig neu entstehenden kulturellen Werte
- Gültigkeitsdauer der generellen Aussagen
- weitere Angaben über die auszuführenden Erhaltungsmaßnahmen wie Art der Arbeiten, betroffene Teile des Bauwerks usw.
- generelle Angaben über Nutzungsbeeinträchtigungen während der Ausführung

### 3.5 Massnahmenplanung

Die Massnahmenplanung (Bild 2) umfasst die Projektierung einer bestimmten Erhaltungsmaßnahme (Instandsetzung, Erneuerung, Veränderung oder Ersatz) unter Berücksichtigung der Vorgaben aus der Erhaltungsplanung.

Die Ausarbeitung der Massnahmenplanung erfolgt innerhalb eines multidisziplinären Teams, das unter der Leitung eines je nach Aufgabe zu bestimmenden Gesamtleiters steht.

Veränderungen sind auf der Grundlage der geltenden Vorschriften und des Normenwerks zu projektieren und auch im Hinblick auf den kulturellen Wert des Bauwerks zu beurteilen.

### 3.6 Unterhalt des Bauwerks

Der Unterhalt (Bild 2) bezweckt die Bewahrung bzw. die Wiederherstellung der Betriebs- und Gebrauchstauglichkeit sowie die Erhaltung der Tragsicherheit des Bauwerks.

Die **Instandhaltung** dient der Bewahrung der Betriebs- und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks durch regelmässige und einfache Massnahmen; sie schliesst die Behebung kleiner Schäden ein. Zur Instandhaltung technischer Anlagen gehört neben der sachgerechten Wartung auch das Einstellen hinsichtlich eines optimalen Betriebs.

Der Begriff "Instandhaltung" umfasst:

- den funktionellen Unterhalt
- den betrieblichen Unterhalt
- die Wartung (Instandhaltung von technischen Anlagen)

Die **Instandsetzung** dient dazu, das Bauwerk bzw. seine Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit für eine festgelegte Dauer wiederherzustellen; sie umfasst in der Regel Arbeiten grösseren Umfangs.

Die **Erneuerung** hat zum Ziel, das Bauwerk zumindest in Teilen in einen dem ursprünglichen Neubau vergleichbaren Zustand zu versetzen.

Bei der Instandsetzung und der Erneuerung sind die Schadenursachen so weit wie möglich zu beheben.

### 3.7 Veränderung des Bauwerks

Die Veränderung (Bild 2) bezweckt die Erhaltung des Bauwerks durch den Einbezug von neuen Anforderungen.

**Veränderungen** umfassen in der Regel auch Instandsetzungsarbeiten und bestehen meistens aus Arbeiten grösseren Umfangs. Sie können weitere Arbeiten infolge geänderter gesetzlicher Grundlagen auslösen (z.B. Erneuerung der Kanalisation, Anpassung an neue Vorschriften).

Die **Anpassung/Modernisierung** hat zum Ziel, das Bauwerk zu erhalten und ohne wesentliche Eingriffe an veränderte Anforderungen anzupassen. Beispiele für Anpassungen sind:

- Komfortsteigerung
- Anpassung an neue Vorschriften
- Anpassung des Tragwiderstands an neue Anforderungen

Der **Umbau** hat zum Ziel, das Bauwerk zu erhalten und an veränderte Anforderungen anzupassen.

Die **Erweiterung** hat zum Ziel, das Bauwerk zu erhalten, indem durch zusätzliche Bauwerksteile wie

- Anbau
- Aufstockung
- Vergrößerung

neue Anforderungen erfüllt werden.



## 4 Schadensmechanismus bei Betonbauwerken

### 4.1 Verbundwerkstoff Beton

Stahlbeton ist ein Verbundwerkstoff, bei dem der Beton die einbetonierten Stahlstäbe und Spannglieder ummantelt. Der Beton ist ein Konglomerat aus Zuschlagstoffen, Zusatzstoffen, Zusatzmitteln, Bindemitteln und Wasser. Die künstliche Gesteinsbildung des Betons erfolgt durch das Bindemittel Zement. Der Verbund zwischen Beton und Stahleinlagen erfolgt durch Haftung des Bindemittels Zement und durch die Verzahnung der profilierten Stähle. Die Bewehrungsstäbe haben bei auf Biegung oder Zug beanspruchten Bauteilen die Zugkräfte aufzunehmen; der Beton nimmt nur die Druckkräfte auf, da er nur eine geringe Zugfestigkeit besitzt. Zur Bewehrung des Betons verwendet man Betonstähle, die sich durch Güte, Oberfläche und Herstellungsart unterscheiden. Für vorgespannten Beton müssen Spannstäbe verwendet werden, die vor (Spannbettverfahren) oder nach dem Erhärten des Betons aufgebracht werden.

Der Stahl- bzw. Spannbeton verdankt seine günstigen Eigenschaften der schubfesten Verbindung zwischen Beton und den eingelegten Stahlstäben. Der Beton hat zwar die gleiche Dehnung wie der Stahl, aber nur bis zu einer Grösse von  $0.2 \times 10^{-3}$ . Treten grössere Dehnungen auf, reisst der Beton und die Zugspannungen werden gänzlich von den Stahleinlagen aufgenommen. Das Auftreten von Rissen im Beton ist aufgrund der geringen Zugfestigkeit nicht vermeidbar und kann nur durch entsprechende Bewehrungsführung haarfein verteilt werden.

Emil Mörsch hat 1902 die erste wissenschaftlich begründete Darstellung der Wirkungsweise des Stahlbetons veröffentlicht und die Versuchsergebnisse durch eine wirklichkeitsnahe Theorie untermauert. Wegen der Rissbildung machte M. Koenen den Vorschlag, den Beton durch Anspannen der Stahlstäbe unter Druckspannung zu setzen, um die Rissbildung weitgehend zu verhindern. Erst 1928 entwickelte E. Freysinot ein Verfahren, den Beton mit entsprechenden hochfesten Stählen vorzuspannen.

### 4.2 Korrosionsprozess im Verbundwerkstoff Beton

#### 4.2.1 Passivierung des Betonstahls

Der Stahl im Beton wird durch den Zement passiviert und geschützt. Diese Passivierung beruht auf dem alkalischen Verhalten des Betons, der einen pH-Wert von  $> 12$  hat. Aufgrund des hohen pH-Werts (alkalisches Milieu) bildet sich ein mikroskopischer Oxydfilm um die Oberfläche des Stahls, der so genannte Passivierungsfilm, der die Korrosion des eingelegten Stahls verhindert (Bild 3). Solange dieser Passivierungsfilm vorhanden ist, tritt keine Korrosion auf, auch wenn Feuchtigkeit oder Sauerstoff durch die Feinporen der Betondeckung eindringen.

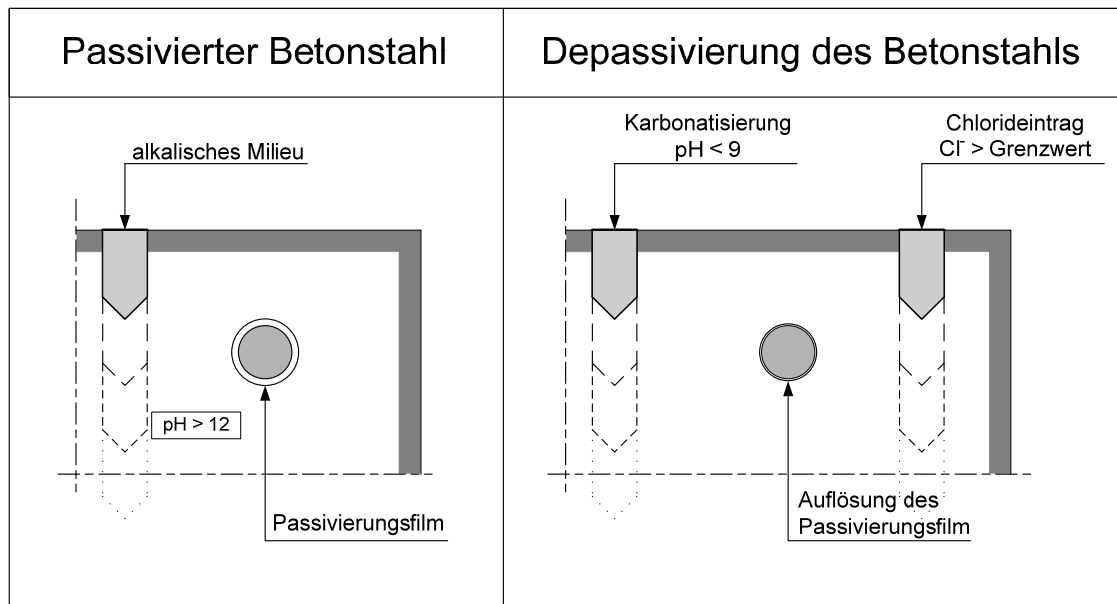


Bild 3: Korrosionsschutz und Korrosionseinwirkungen

Beim Beton unterscheidet man drei Arten von Alterungsprozessen:

- Die wichtigste Art ist die Karbonatisierung. Dabei wird Calciumhydroxid unter Einfluss von Kohlendioxid zu Kalkstein umgewandelt (Bild 3). Der Beton gewinnt so an Festigkeit. Die Karbonatisierung ist aber verantwortlich für die Verringerung des pH-Werts im Beton.
- Als treibend bezeichnet man alle Vorgänge, die eine Volumenvergrößerung des Betons zur Folge haben. Bekannt sind das Sulfattreiben und die Alkalireaktion. Zudem kann bei grossen Poren und Rissen eindringendes Wasser bei Temperaturen unter dem Nullpunkt gefrieren und Betonabplatzungen verursachen.
- An der Oberfläche können Säuren und austauschfähige Salze den Beton angreifen und auflösen.

Durch Imprägnierungen, Beschichtungen und Verkleidungen kann der Beton wirksam gegen schädliche Einflüsse aus der Umwelt abgeschirmt werden.

Ausser durch CO<sub>2</sub> kann der Beton von verschiedenen chemischen Verbindungen angegriffen werden (Bild 3). Für den Transport innerhalb des Betons können drei Arten unterschieden werden:

- Durch kapillares Saugen gelangen Stoffe in einer wässrigen Lösung im oberflächennahen Bereich in den Beton hinein.
- Besteht eine unterschiedliche Konzentration von Stoffen im Beton oder herrscht ein Partialdruck, so werden die Stoffe durch Diffusion transportiert; auch hier ist ein Transportmedium, meist Wasser, nötig.
- In einem elektrischen Feld entsteht eine Ionenwanderung, falls ein Elektrolyt vorhanden ist. Die Leitfähigkeit des Elektrolyts ist abhängig von der Anzahl der vorhandenen Ionen und von der Temperatur.

Durch mehrere Frost-Tausalz-Zyklen kann der Beton so stark beansprucht werden, dass er stückweise oder flächig abplatzen kann.

Da Beton auch bei idealer Verarbeitung ein poröser Werkstoff ist, können all diese Transportprozesse ablaufen, vorausgesetzt es ist Wasser vorhanden. Gelangt ammoni-

um- und magnesiumhaltiges Wasser an die Betonoberfläche oder dringt durch Risse und Spalten in den Beton ein, so werden die Calciumhydroxide durch Ionentausch umgesetzt und der Beton verliert an Festigkeit. Der Beton reagiert nun anfälliger auf chemische und physikalische Angriffe. Dringt freies Siliziumoxid in den Beton, reagiert es zusammen mit der alkalischen Porenlösung und den Zementbestandteilen zu einem Alkalisilikatgel. Diese chemische Reaktion wirkt auf den Beton treibend, genauso wie das ebenfalls strukturzerstörende Sulfattreiben. Dabei reagiert  $\text{SO}_4$  entweder mit dem Calciumhydroxid zu Gips oder mit  $\text{C}_3\text{A}$  zu Ettringit. Die Folgen sind eine starke Volumenvergrößerung und damit sichtbare Betonabplatzungen an der Oberfläche.

#### 4.2.2 Mechanismen der Korrosion

Durch Karbonatisierung und durch Eindringen von Chloridionen reduziert sich der pH-Wert lokal oder im Eindringbereich unterhalb der Betonoberfläche (Bild 3). Eine weitere Reduktion des alkalischen Zustands des Betons kann durch Ausschwemmung im strömenden Wasser erfolgen; dies ist jedoch meist nur bei Schwachpunkten in der Konstruktion möglich z.B. durch schlechte Betonqualität. Fällt der pH-Wert im Bereich der Bewehrung unter den kritischen Wert von 9 oder übersteigt der Chloridgehalt einen kritischen Wert, wird der Passivierungsfilm aufgelöst und der Stahl verliert damit den Korrosionsschutz. Diese Depassivierung wird durch fortschreitende Karbonatisierung oder Eintritt von Chloriden hervorgerufen. Um diesen Prozess in Gang zu setzen, ist es notwendig, dass Feuchtigkeit und Sauerstoff eindringen können. Dies gilt für schlaffen wie auch vorgespannten Stahl. Die Interaktion pH-Wert (Umgebungsmilieu des Stahls) und Korrosionsverhalten des Stahls ist in Bild 4 wiedergegeben.

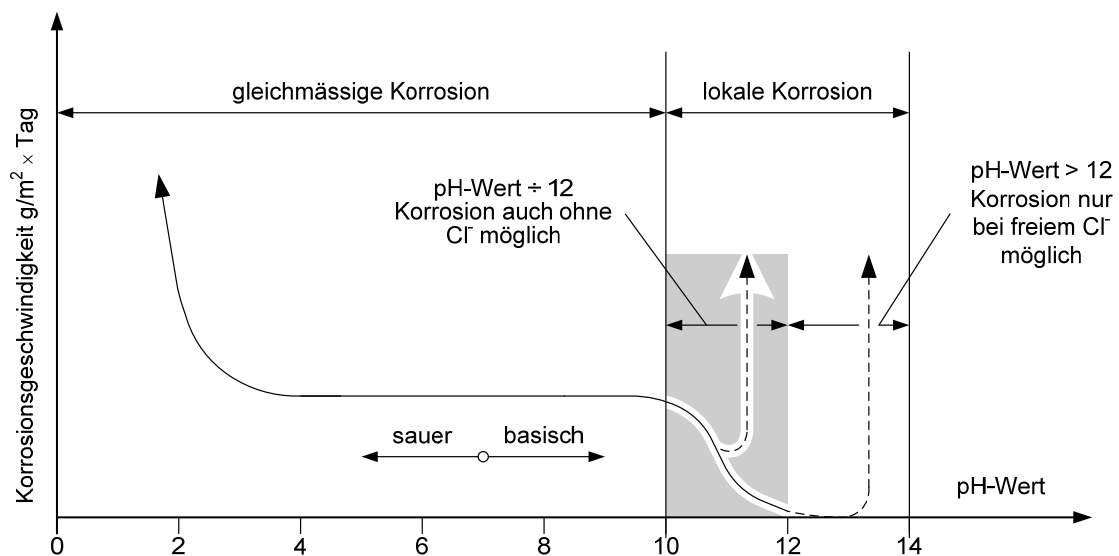
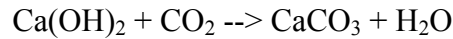


Bild 4: Interaktion pH-Wert des Betons und Stahlkorrosionsverhalten [5]

## Karbonatisierung des Betons

Die Karbonatisierung ist ein Prozess, der von der Oberfläche her stattfindet. Wie bei der Stahlkorrosion versucht das Calciumhydroxid, den natürlichen und energieärmeren Zustand in Form von Kalkstein zu erreichen. Dazu sind H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> nötig. Da Beton ein poriges Material ist, kann CO<sub>2</sub> ins Innere der Konstruktion vordringen. Dadurch entsteht eine chemische Reaktion, die vereinfacht durch



ausgedrückt werden kann. Das chemische Produkt Ca(OH)<sub>2</sub> im Beton verursacht den hohen pH-Wert (alkalisches Milieu). Durch die Karbonatisierung, also durch Eindringen von CO<sub>2</sub>, bildet sich CaCO<sub>3</sub> (Calciumcarbonat); der pH-Wert fällt dabei unter 9. Die Karbonatisierung beginnt an der Oberfläche und dringt langsam in das Innere des Betons vor. Die Umwandlung von Calciumhydroxid in Calciumcarbonat ist mit einer geringen Volumenvergrößerung verbunden; dadurch werden die Poren nach und nach verschlossen und der Beton wird dichter. Somit wird es schwieriger für das CO<sub>2</sub>, tiefer in den Beton einzudringen. Ein hoher Zementgehalt hemmt zudem wegen seiner Calciumhydroxidreserve den Fortschritt der Karbonatisierung.

Die Karbonatisierung führt zu einer höheren Festigkeit des Betons und ist somit eigentlich ein wünschenswerter Prozess. Die Herausforderung für die konstruktive Gestaltung, die Materialtechnologie und die Ausführung besteht darin, dass die Karbonatisierungsfront nicht bis zur Bewehrung vordringen darf, damit der absinkende pH-Wert die Depassivierung des Stahls nicht einleitet.

Die Geschwindigkeit des Karbonatisierungsprozesses (Bild 5) hängt von der Diffusion von CO<sub>2</sub> im Beton ab. Das Fortschreiten der Karbonisierungstiefe mit der Zeit (Karbonisierungsrate) ist degressiv abnehmend (ungefähr Quadratwurzel der Zeit t). Die entscheidenden Parameter zur Beeinflussung der Betonqualität sind somit die Permeabilität, d.h. der Porengehalt des Betons, und der Zementgehalt. Die Karbonatisierung, d.h. das Eindringen von CO<sub>2</sub> in die Betonporen, ist nur bei luftgefüllten Poren möglich, nicht bei wassergesättigtem Beton wie z.B. bei Bauteilen unter Wasser. Die Eindringtiefe der Karbonatisierungsfront ist von vielen Faktoren abhängig. So spielen der W/Z-Wert, die Verdichtung, die Nachbehandlung, die Betonfeuchtigkeit und der Zementgehalt eine wichtige Rolle. Je geringer der Porengehalt ist und je weniger Schwindrisse auftreten, desto schwieriger ist es für das CO<sub>2</sub>, in den Beton einzudringen.

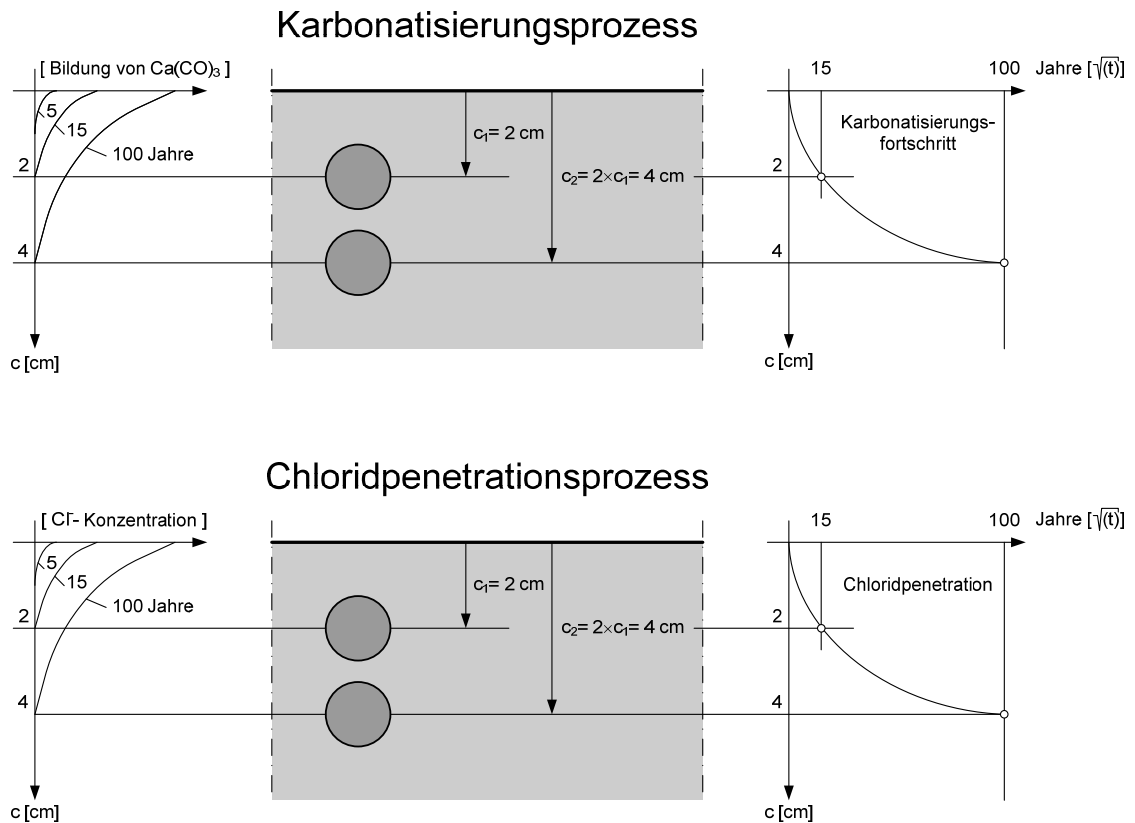


Bild 5: Auswirkung der Betondeckung auf den Karbonatisierungs- und Chloridpenetrationsprozess

Die Karbonatisierungstiefe ist vom  $W/Z$ -Wert des Betons und von der Intensität und Dauer der Nachbehandlung abhängig, Bild 6 zeigt diesen qualitativen Zusammenhang auf. Die Karbonatisierungstiefe ist an geschützten Bauteilen am grössten. Dies führt trotz Absenkung des pH-Werts im Beton aber nicht zur Lochfrasskorrosion an der Bewehrung, da der Beton dafür elektrisch leitfähig sein muss. Wasser kann aber an solchen Stellen nicht direkt ans Bauteil gelangen. Gefährlich wird es erst, wenn die Karbonatisierungsfrent die Bewehrung in direkt bewitterten oder oft durchnässten Bauteilen erreicht. Deshalb sind Bauteile, die ständigen Feuchtigkeitswechseln ausgesetzt sind, am anfälligsten für Korrosion.

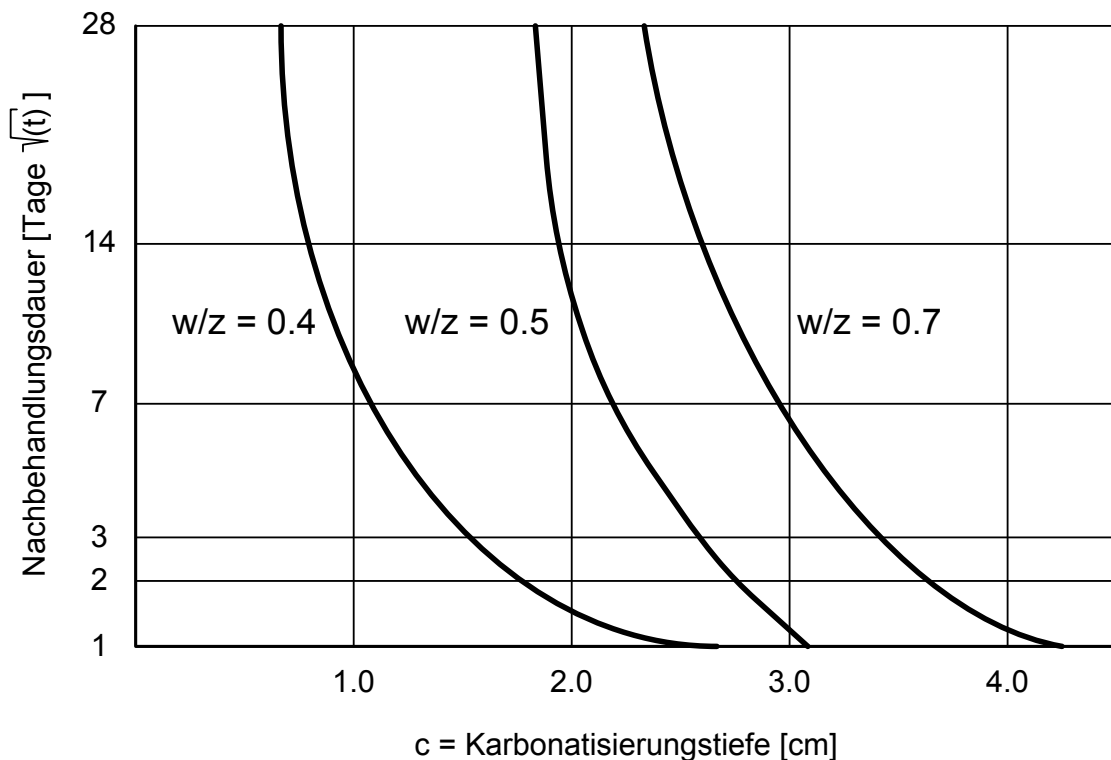
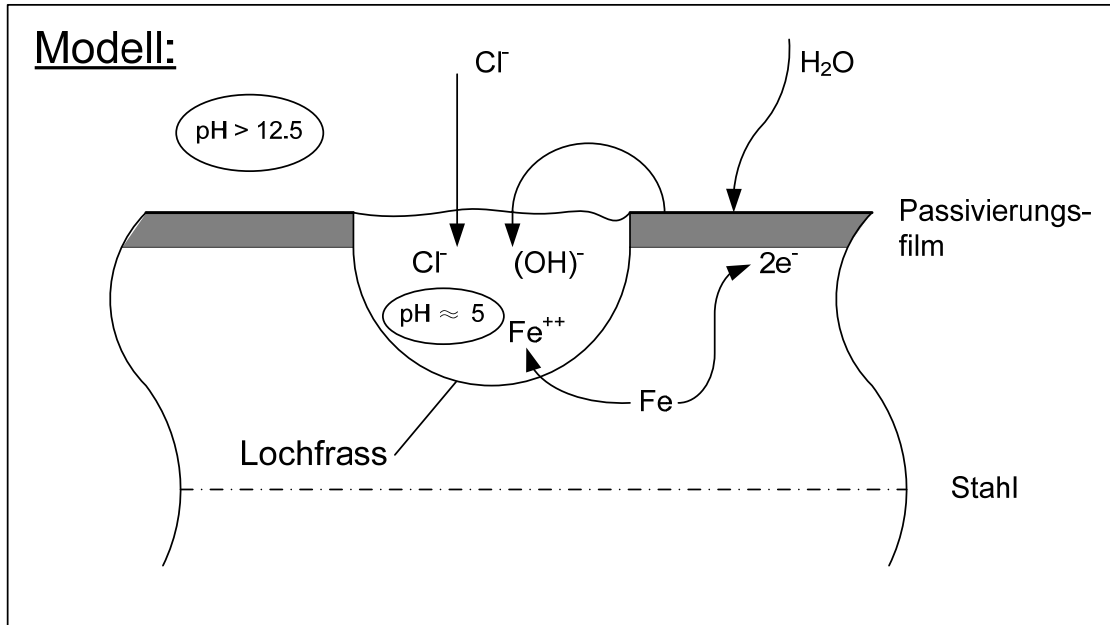


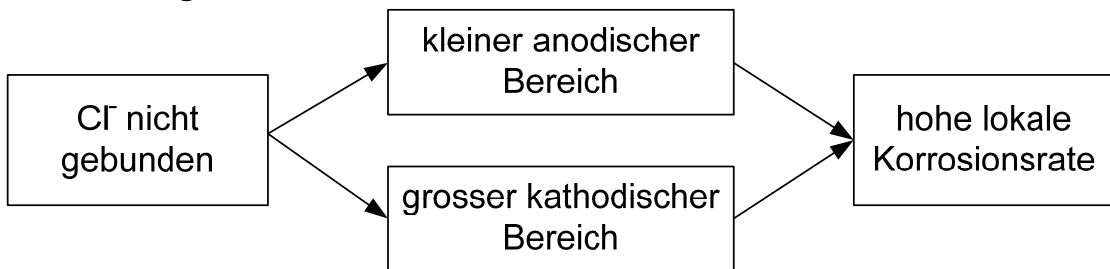
Bild 6: Qualitativer Zusammenhang zwischen Karbonatisierungstiefe und W/Z-Wert sowie Nachbehandlung des Betons [6]

### Eindringen von Chlorid

Durch Beaufschlagen der Betonoberfläche mit Seewasser oder Entsalzungsmittel können Chloridionen in das Innere des Betons eindringen. Die Chloriddiffusion in den Beton über die Poren kann nur in total oder partiell gefüllten Wasserporen erfolgen. Der Zementstein des Betons hat jedoch eine Bindungskapazität für Chloridionen. Bis zu einer Chloridkonzentration von 0.4 %, bezogen auf die Zementmasse, können die Chloridionen als Salz (Fridell salt) chemisch und physikalisch in der Zementmasse gebunden werden. Bei Spannbetonbauwerken reduziert man diesen Wert wegen des relativ sensiblen Verhaltens der Spannbewehrung bezüglich Korrosion auf 0.2 % der Zementmasse. Es besteht jedoch immer ein so genanntes Gleichgewicht zwischen den gebundenen und den freien Chloridionen. Nur die freien Chloridionen im Porenwasser beeinflussen das Korrosionsrisiko. Durch die Karbonatisierung, die oft mit einer Chloridbeaufschlagung einhergeht, werden gebundene Chloride oft wieder in das Porenwasser freigesetzt. In solchen Fällen steigt das Korrosionsrisiko besonders mit der einhergehenden Karbonatisierung. Damit ist auch eine Abnahme der Chloridkonzentration von der Betonoberfläche nach innen, also zur Bewehrung hin, verbunden. Die Chloridpenetration und damit die Chloridkonzentration nimmt ungefähr affin zu der Quadratwurzel der Zeit in das Betoninnere ab (Bild 5). Bei einer zunehmenden Chloridkonzentration ist damit die Gefahr der Bewehrungskorrosion nicht mehr auszuschließen, da das Ionengleichgewicht und der Passivierungsfilm lokal gestört werden. Voraussetzung ist auch hier, dass die Ionen durch den feuchten Beton hindurch bis zur Bewehrung vordringen können. Ist kein Wasser vorhanden (Transportmittel / Leitfähigkeit), findet auch keine Korrosion statt.



**Wirkung:**



**Ablauf:**

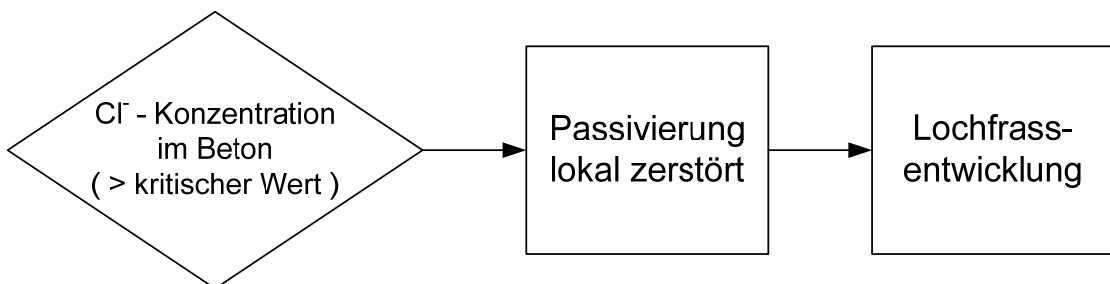


Bild 7: Lochfrass durch Chloridpenetration

Zusätzlich zu den Transportvorgängen spielt das Verhältnis von Anoden- zu Kathodenfläche eine entscheidende Rolle. Vor allem bei einem lokalen Cl<sup>-</sup>-Angriff, wo die Passivschicht um den Stahl zerstört ist, korrodiert der Stahl sehr schnell. Die Fehlstelle wirkt als Anode und hat gegenüber dem passivierten Stahl eine sehr kleine Fläche (Bild 7). Dadurch fließt ein sehr starker Strom und es entsteht die gefürchtete Lochfrasskorrosion (Bild 8).



Bild 8: Lochfrasskorrosion

### 4.2.3 Abschätzung betonaggressiver Wässer

Für eine Abschätzung, wie gefährlich betonaggressive Wässer sind, gibt es in der DIN 4030 [7] eine Auflistung der betonzersetzenden Substanzen (Tabelle 1). Diese Grenzwerte gelten aber nur, wenn Wasser vorhanden ist und wenn sich die betonangreifenden Substanzen schnell erneuern können. Dies kann z.B. bei Brücken nur im Fundamentbereich mit wechselnden Wasserspiegeln der Fall sein, oder an Stellen, wo das Wasser nicht abfließen kann und so über lange Zeit in den Beton eindringt.

Angreifende Substanzen	Angriffsgrad		
	schwach	stark	sehr stark
Säuren [pH-Wert]	6.5 – 5.5	5.5 – 4.5	< 4.5
Kalklösende Kohlensäure CO <sub>2</sub> [mg/l] (Marmorversuch nach Heyer)	15 – 40	40 – 100	> 100
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	15 – 30	30 – 60	> 60
Magnesium Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	300 – 1000	1000 - 3000	> 3000
Sulfat SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	200 – 600	600 – 3000	> 3000

Tabelle 1: Beurteilung des Angriffsvermögens von Wässern nach DIN 4030 [7]

### 4.2.4 Frost-Tausalz-Schäden

Schäden durch Frost-Tausalz-Zyklen treten heute vermehrt auf. Grund ist der stark ansteigende Einsatz von Tausalzen zur Schwarzeräumung der Strassen im Winter. Die Gefährlichkeit der Chloridionen wurde erläutert, doch zusätzlich treten weitere Frost-Tausalz-Schäden auf. Bis heute sind die Vorgänge dieses Schadensmechanismus noch nicht vollständig geklärt, doch gibt es in der Literatur viele Hinweise darauf, was bei der Beanspruchung von Beton durch Chloride in Zusammenhang mit Gefrier-Auftau-Zyklen auf der Bauteiloberfläche und im Bauteilinnern ablaufen kann [8]. Früher ging man davon aus, dass die durch das Gefrieren des Wassers in den Poren auftretenden Drücke den Beton zum Abplatzen bringen. Studien versuchten zu belegen, dass mit zunehmendem Chloridgehalt mehr Flüssigkeit im Beton aufgenommen werden kann und somit mehr Wasser zum Gefrieren vorhanden ist. Heute ist man zur Erkenntnis



gelangt, dass dieser Vorgang alleine nicht zu den grossen, flächigen Schäden führen kann. Verantwortlich ist hauptsächlich das Temperaturschock-Phänomen [8].

Der Beton besitzt verschiedene Porenarten. Nur das Wasser in den Kapillarporen kann bei tiefen Temperaturen (unter 0°C) gefrieren. In den Gel- und Schrumpfporen setzt die Eisbildung erst weit unter –50 °C ein. Durch die Frost-Tausalz-Zyklen werden die Schrumpfporen aufgeweitet. Der Beton ist einer eigentlichen dynamischen Beanspruchung ausgesetzt und daher ändert sich das Gefüge; es wird geschwächt. Die Folge sind grössere Poren, in denen das Wasser kapillar aufgesogen werden kann.

Die eigentliche Frost-Tausalz-Beanspruchung setzt ein, wenn eine mit einer dünnen Eisschicht überdeckte Betonoberfläche mit Tausalz oder einer Tausalzlösung besprüht wird. Dies ist häufig der Fall, wenn Pfeiler oder Stützmauern im Bereich von Sprühwasserfahnen von Autos liegen oder wenn salzhaltiges Wasser aus Entwässerungsrohren durch den Wind an die Betonkonstruktion geweht wird. Durch das Tausalz wird die dünne Eisschicht aufgetaut. Dafür ist Wärmeenergie nötig; 99.9 % dieses Wärmebedarfs werden aus der festen Unterlage gedeckt (bei bewegter Luft sind die Verhältnisse etwas anders). Durch Untersuchungen wurde gezeigt, dass dieser Auftauvorgang sehr rasch vor sich geht (Tabelle 2).

Eistemperatur vor dem Auftauen [°C]	Auftauzeiten [min:s]		
	0.1 mm Eisdicke	1 mm Eisdicke	10 mm Eisdicke
-1	< 0:01	0:50	50:00
-5	< 0:01	1:00	80:00
-10	0:01	2:25	150:00

Tabelle 2: Minimalzeiten zum Auflösen von Eis auf einem Betonbelag mittels NaCl [8]

Bei diesen Werten handelt es sich um theoretische Minimalzeiten, doch sie geben die Grössenordnung der Auftauzeiten an. Durch den plötzlichen Wärmebedarf sinkt die Betontemperatur in den obersten Millimetern sehr stark (Bild 9). Es ist aber nur in den ersten Sekunden bis Minuten nach dem Salzen mit diesem Phänomen zu rechnen; später gleicht sich die Temperatur im Beton schnell aus. Auch die Eisdicke auf der Betonoberfläche spielt eine entscheidende Rolle. Ab 3 mm Eisdicke geschieht der Wärmeaustausch so langsam, dass es zu keinen wesentlichen Temperaturschwankungen im Beton mehr kommt.

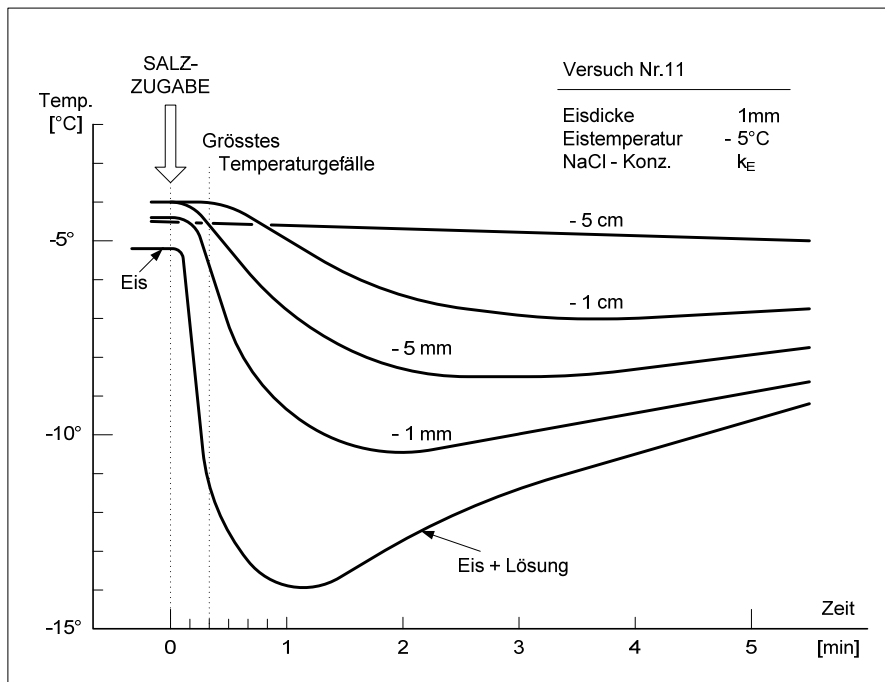


Bild 9: Typischer Temperaturverlauf in einer Betonplatte während des Eisaufschmelzens mit NaCl [8]

Durch das wiederholte Beaufschlagen mit chloridhaltigem Wasser bildet sich im Beton ein Chloridprofil aus (Bild 10). Je nach Chloridgehalt im Beton gefriert das Porenwasser mit einer unterschiedlichen Temperatur. Im Winter kann so durch die tiefen Temperaturen und den geringen Chloridgehalt der Kern des Betons gefrieren; die äusseren Schichten aber widerstehen dem Frost noch. Erst mit den Auswirkungen des Temperaturschocks können nun auch die äussersten Schichten gefrieren. Jetzt tritt der eigentliche Schadensmechanismus in Kraft. Gefriert nun auch noch die dazwischen liegende Schicht, kann das neu gebildete Eis nicht mehr in ungefrorene Poren ausweichen. Der durch diese Volumenzunahme ausgeübte Druck bringt den Beton zum Abplatzen.

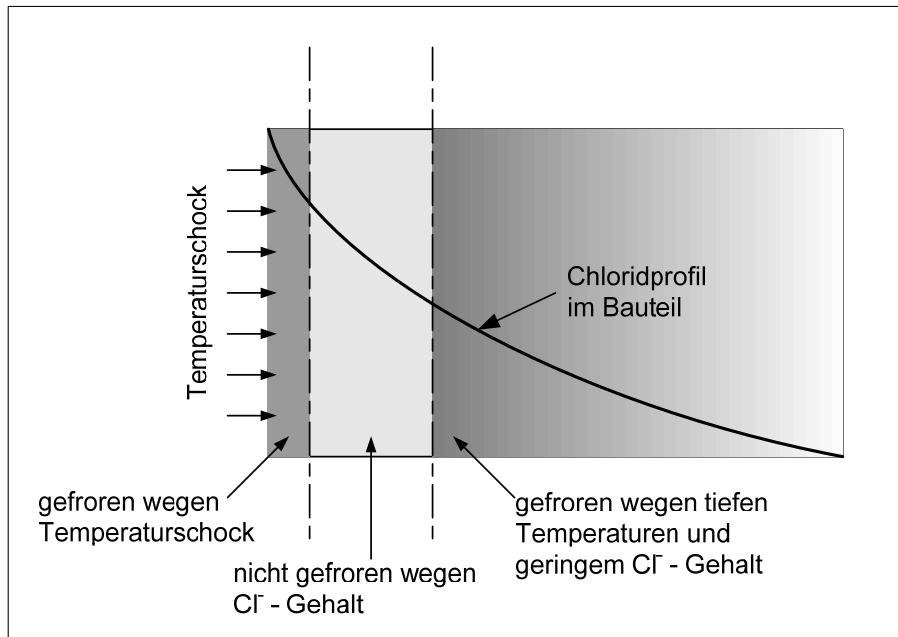


Bild 10: Chloridprofil und Temperaturschock

Die Frost-Tausalz-Beanspruchung tritt häufig mit Korrosion auf, da die Überdeckung wegen der Abplatzungen nicht mehr genügend ist und das Chlorid durch die grösseren Poren noch schneller bis zur Bewehrung vordringen kann. Zudem herrschen durch das periodische Feuchtwerden und Austrocknen ideale Bedingungen für die Korrosion.

#### 4.2.5 Stahlkorrosion

Die Korrosion kann in einen kathodischen (Oxidation) und einen anodischen (Reduktion) Prozess untergliedert werden. Beim anodischen Prozess entstehen ein positiv geladenes Eisenion und zwei Überschusselektroden. Diese bilden an der Kathode mit Wasser und Sauerstoff das so genannte Hydroxidion.

Anodischer Prozess:  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^-$

Kathodischer Prozess:  $2\text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2(\text{OH})^-$

Nach einigen Zwischenstadien bilden das Eisen- und die Hydroxidionen Rost ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Daher ist die Rostbildung nur möglich, wenn Sauerstoff durch den Beton bis mindestens an den Bewehrungsstahl diffundieren kann. Das Wasser ist nur für den elektrolytischen Prozess notwendig, da im Rost  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  kein H<sup>+</sup> enthalten ist. Somit enthalten Rostprodukte mehr oder weniger Wasser (Bild 11).

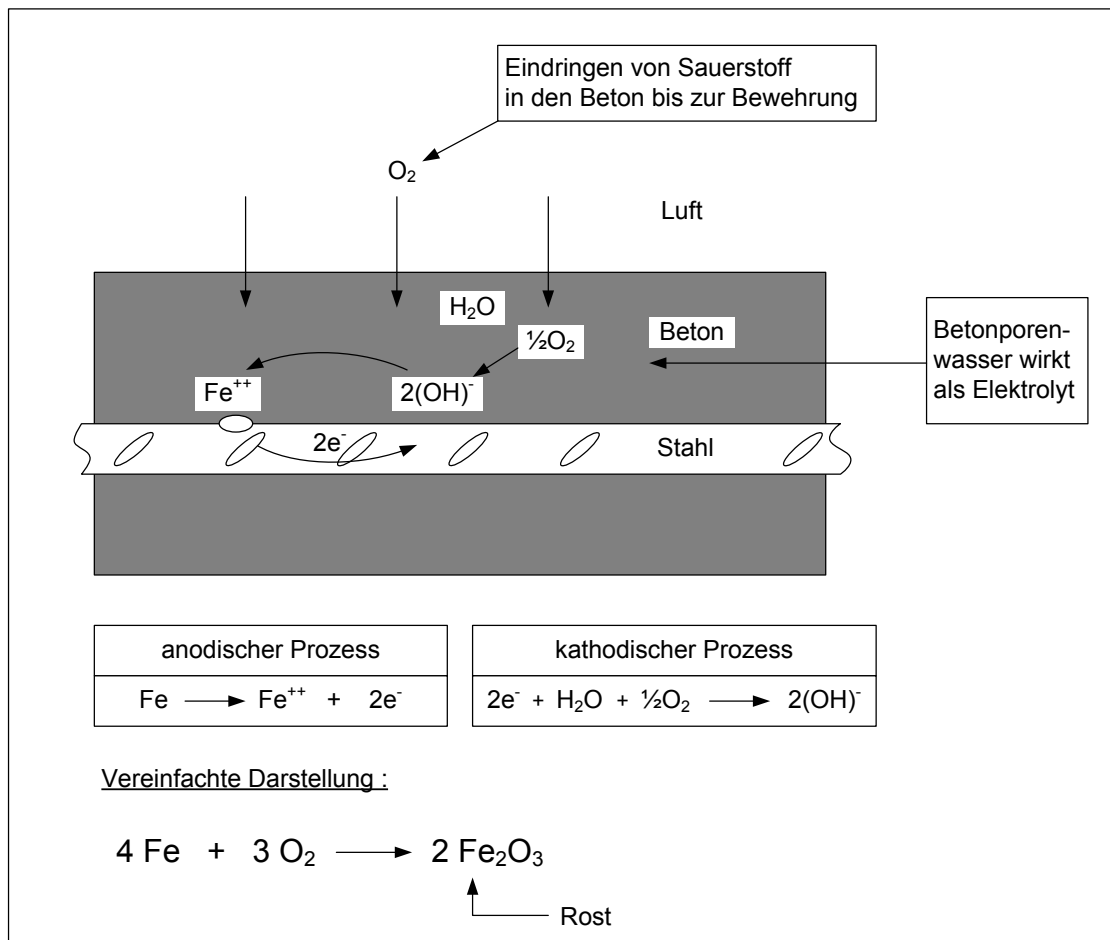


Bild 11: Stahlkorrosionsprozess

Daraus kann geschlossen werden, dass keine Korrosion entsteht, wenn der Beton trocken (für den elektrolytischen Prozess ist Wasser notwendig) oder wassergesättigt (Eindringen von Sauerstoff nicht möglich) ist. Dies ist auch der Fall, wenn der Passivierungsfilm der Bewehrung bereits zerstört ist. Im Umkehrschluss gilt, dass hohe Korrosionsraten in der Bewehrung erwartet werden können, wenn die Betonoberfläche wechselnden Durchfeuchtungs- und Trocknungsbedingungen unterworfen ist, so dass einerseits Sauerstoff eindringen kann und andererseits Feuchtigkeit für die Durchführung des elektrolytischen Prozesses zugeführt wird.

Für die Aktivierung des anodischen Prozesses muss die Passivierung des Stahls ganz oder teilweise zerstört sein. Der kathodische Prozess findet jedoch auch statt, wenn der Passivierungsfilm noch intakt ist. Bei Chloridkorrosion verursacht dieser Effekt die so genannte Lochfrasskorrosion. Bei der Lochfrasskorrosion ist der Passivierungsfilm nur lokal aufgelöst (Bild 8). In diesem Bereich findet der anodische Prozess statt. Diesem anodischen Prozess steht eine grossflächige kathodische Oberfläche zur Verfügung, an der der Passivierungsfilm noch erhalten ist. Aufgrund des grossen Spannungspotentials kommt es zu einem lokalen Lochfrass mit der einhergehenden substantiellen Reduktion des Stahlquerschnitts. Zusätzlich beschleunigen die Chloridionen im Lochfrassbereich diesen Auflösungsprozess.

Stahloberflächen können dicht wie auch lokal separiert angeordnet sein (untere und obere Bewehrung), und trotzdem kann der anodische und kathodische Prozess stattfinden (Bild 12) und somit auch Korrosion eintreten, wenn z.B.:

- die obere Bewehrungslage keinen Sauerstoffzutritt hat, aber der umgebende Beton feucht oder mit Chloriden kontaminiert ist,
- die untere Bewehrungslage Sauerstoff diffundieren kann und der Beton an dieser Seite trocken ist,
- die Abstandshalter zwischen oberer und unterer Lage des Betons als elektrische Leiter dienen.

Dann agiert die obere Bewehrungslage im Korrosionsprozess als Anode und die untere als Kathode. Dadurch findet der Korrosionsprozess an der oberen Bewehrungslage statt.

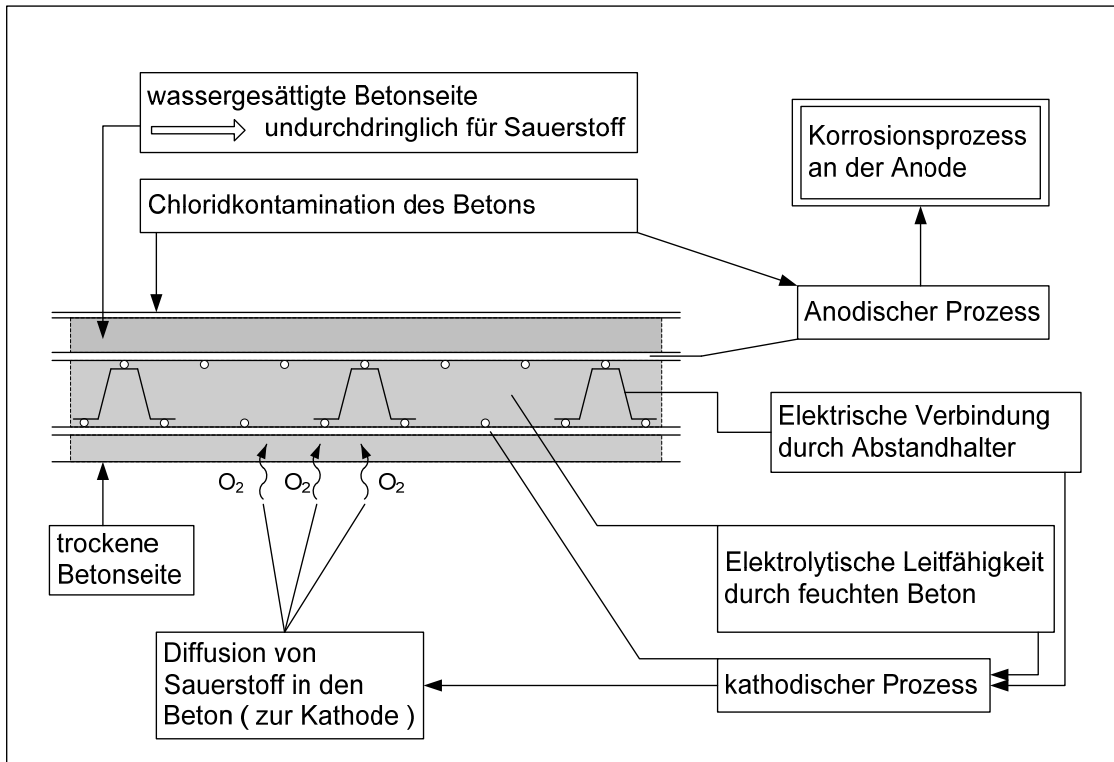


Bild 12: Versteckte Korrosionsprozesse

#### 4.2.6 Spannungsrisskorrosion und Wasserstoffversprödung

Zusätzlich zu den beschriebenen Korrosionsvorgängen treten bei Spannstahl Versprödungsbrüche durch Korrosion auf. Man unterscheidet dabei einerseits die Spannungsrisskorrosion und andererseits die Wasserstoffversprödung bei den hochfesten Spannstählen.

Durch lokale anodische Prozesse kann es bei Spannstahl aufgrund der hohen permanenten Spannung zu einem Bruchversagen kommen. Während des Rissfortschritts findet ein permanenter anodischer Prozess an der Risswurzel statt. Diese Art des Versagens wird auch als Spannungsrisskorrosion bezeichnet.

Die Wasserstoffversprödung erfolgt durch einen kathodischen Prozess. Unter bestimmten Bedingungen entwickelt sich während eines kathodischen Prozesses Wasserstoff, das als Zwischenprodukt in den Stahl penetriert. Die Umwandlung in molekulares Wasserstoff innerhalb des Spannstahls führt zu einem hohen internen Druck, der zu einem lokalen Bruch führen kann.

Beide Versagensarten sind die Konsequenz einer lokalen Depassivierung des Spannstahls und treten nicht auf, wenn das umgebende alkalische Milieu aus Beton- bzw. Zementmörtel intakt ist.

#### **4.2.7 Einflüsse und Auswirkungen der Korrosion**

Die Einflussfaktoren auf die Korrosion werden mehr oder weniger durch Diffusionsprozesse kontrolliert:

- Karbonisierung: Diffusion von  $\text{CO}_2$  in die luftgefüllten Poren
- Chloridpenetration: Diffusion von Chloriden in die wassergefüllten Poren
- Bewehrungskorrosion: Diffusion von  $\text{O}_2$  in die feuchten luftgefüllten Poren

Die Auswirkungen des Korrosionsprozesses sind einerseits eine Reduktion des Stahlquerschnitts und andererseits das Reißen der Betondeckung durch die Aufblähung der Korrosionsprodukte (Bild 13). Die Reduktion des Querschnitts verringert die Bruchfestigkeit der Stahlbewehrung und beeinflusst das Dauerfestigkeitsverhalten.

Der Rost verursacht eine erhebliche Volumenzunahme gegenüber dem ursprünglichen Stahlquerschnitt (bis zum sechsfachen Volumen). Dies führt zur Rissbildung bzw. Abplatzung der Betondeckung, oft in Richtung der Bewehrung selbst (Längsrisse). Die Rissbildung verursacht besonders im Bereich von Bewehrungsstößen eine erhebliche Traglastminderung. In seltenen Fällen, besonders bei geringer Sauerstoffzufuhr, verursacht die Rostbildung nur einen geringen Volumenzuwachs, so dass es weder zur Rissbildung noch zu Abplatzungen kommt. Damit ist die Abnahme der Tragfähigkeit von aussen nicht sichtbar; dies kann zu einem auch plötzlichen Versagen führen.

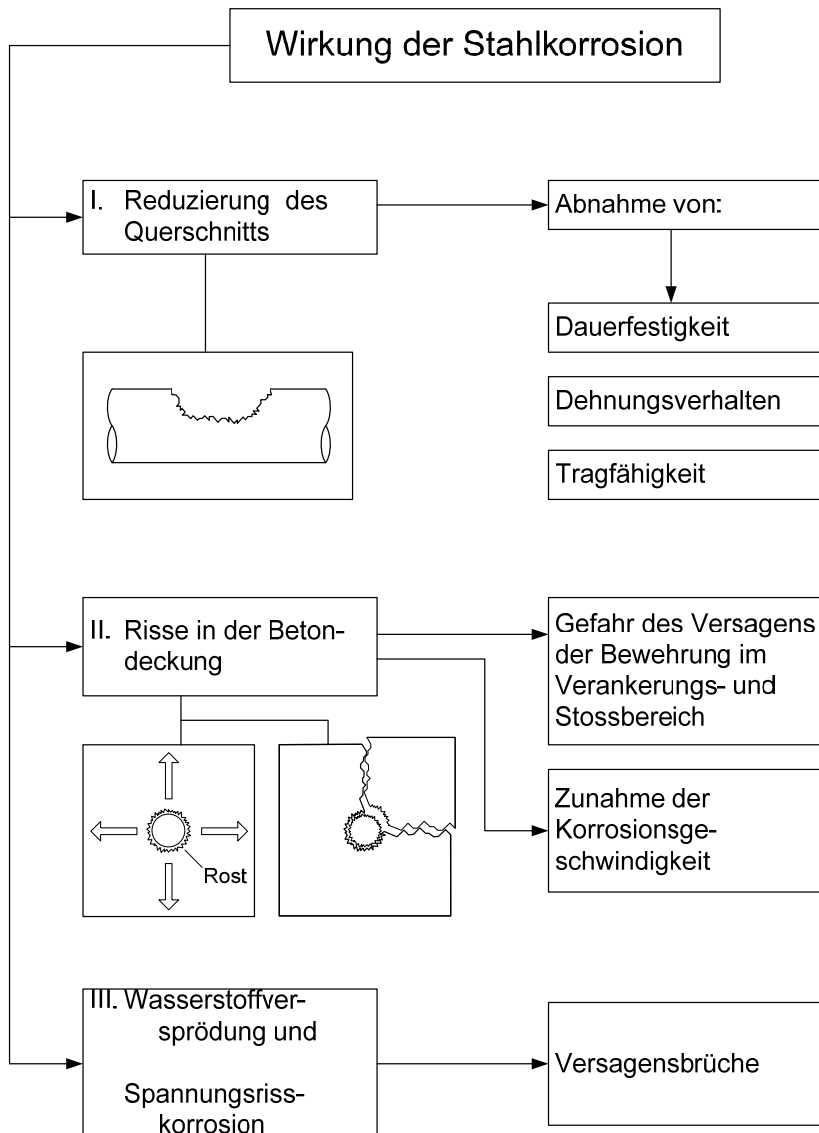


Bild 13: Auswirkungen der Stahlkorrosion im Stahl- und Spannbeton

Die wesentlichen Parameter zur Verhinderung der Bewehrungskorrosion sind somit:

- Stärke der Betondeckung
- Permeabilität der Betondeckung
- Mikroklima der Betonoberfläche

#### 4.3 Zusammenfassung - Bedeutung von Dichte und Dicke der Betondecke für den Korrosionsschutz der Bewehrung

Korrosion der Bewehrung kann im Bereich von Rissen oder auf freier Strecke vorstatten gehen. Voraussetzung ist in beiden Fällen die örtliche Karbonatisierung des Betons und damit eine Depassivierung der Stahleinlagen.

Der Zeitraum der sanierungsfreien Lebensdauer des Betons ist durch den so genannten Einleitungszeitraum und den Schädigungszeitraum bestimmt.

Der Depassivierungsprozess stellt den Einleitungszeitraum dar, der die Korrosion erst ermöglicht. Bei Spannbetonbauteilen ist der eigentliche Korrosionsprozess wegen der

Empfindlichkeit des Spannstahls zu verhindern, beim Stahlbetonbau ist auf geringe Abtragungsraten zu achten.

Der Beton bietet dem Stahl durch seinen hohen pH-Wert von 12.5 bis 13.5 einen hervorragenden Korrosionsschutz. Durch Einwirkung von  $\text{CO}_2$  aus der Luft und bei Vorhandensein schon geringer Mengen freien Wassers kann der Karbonatisierungsprozess ablaufen. Der pH-Wert fällt in diesen Bereichen auf etwa 9 ab, die Schutzschicht um den Bewehrungsstahl wird aufgelöst.

Der Depassivierungsprozess dauert im Bereich von Rissen je nach Rissbreite und Chloridangriff ein bis zwei Jahre. Die Chlorideinwirkung spielt hier die entscheidende Rolle. Die Rissbreite kann im Stahlbetonbau nicht so weit begrenzt werden, dass Korrosion vermieden werden kann. Da der Einleitungszeitraum im Verhältnis zur gesamten Lebensdauer nur sehr kurz ist, ist auch der Einfluss der Rissbreite hierauf nur als sehr gering einzustufen. Bei Rissbreiten unter 0.3 mm ist die Abtragungsrate durch Korrosion unabhängig von der Rissbreite. Die Dichtigkeit und Dicke der Betondeckung ist somit die Grösse, die den Beginn der Korrosion wesentlich hinauszögern kann.

Die elektrochemische Korrosion (Bild 14) kommt nach der Depassivierung des Stahls in Gang. Wesentliche Einflussfaktoren sind ein niedriger Diffusionswiderstand der Betondeckung, der den Zutritt von Sauerstoff zur Stahleinlage ermöglicht, und genügend freies Porenwasser. Die Folge sind Rostprodukte, die nicht von der Rissbreite beeinflusst sind.

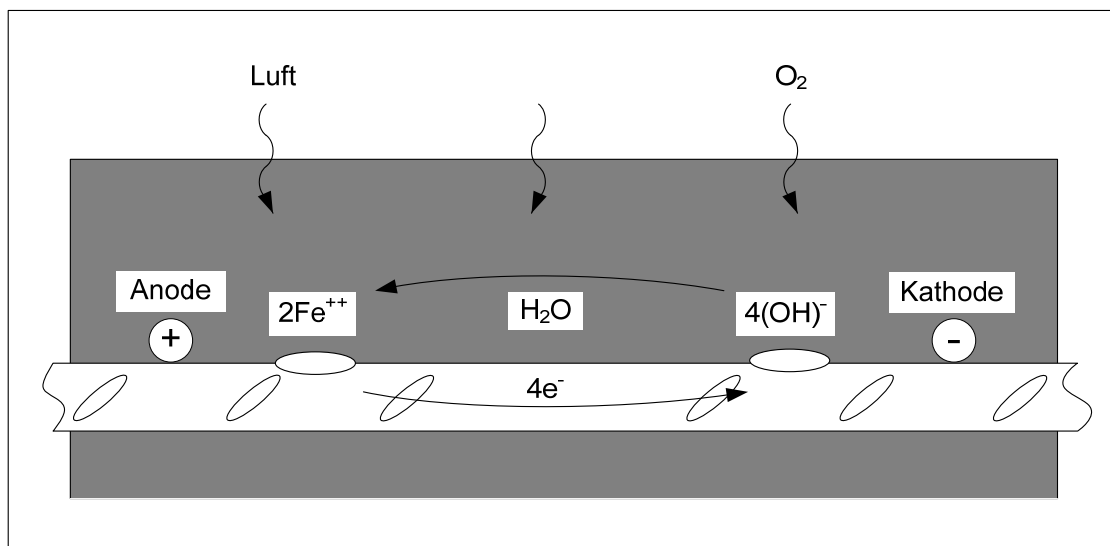


Bild 14: Elektrochemische Korrosion

Die Korrosion im Bereich von Rissen (zunächst Querrissen) ist durch zwei verschiedene Mechanismen geprägt. Beim Mechanismus 1 (Nahwirkung) liegen die elektrischen Pole unmittelbar nebeneinander im Riss. Durch Verstopfung der Risse durch die Korrosionsprodukte hemmt sich dieser Mechanismus von alleine (Bild 15).



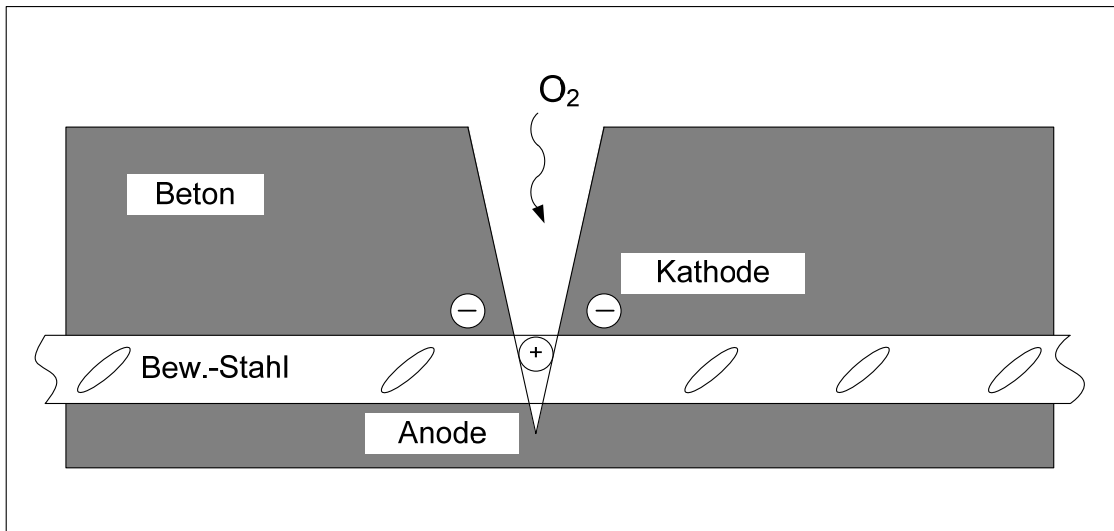


Bild 15: Stahlkorrosion: Nahwirkung

Der Korrosionsmechanismus 2 (Bild 16) bedarf wiederum der Diffusion des Sauerstoffs durch die Betondeckung.

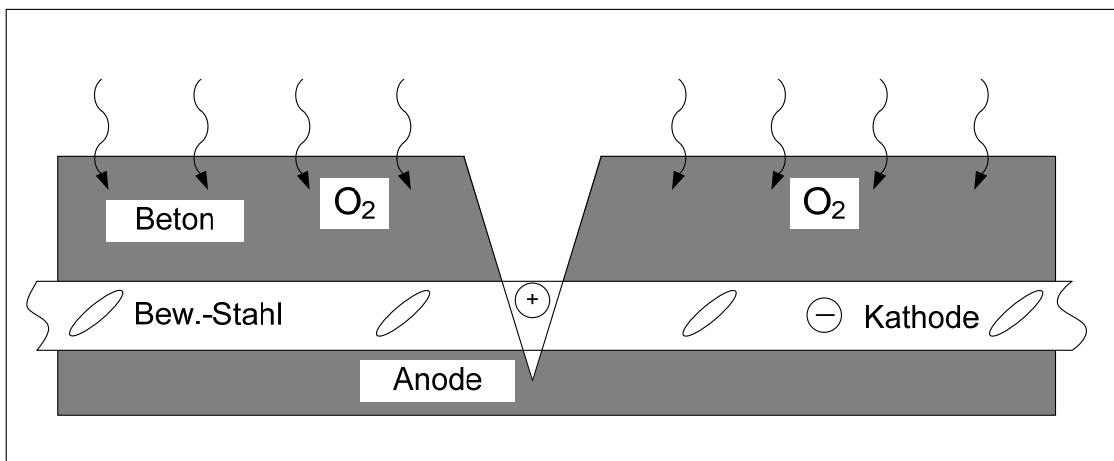


Bild 16: Stahlkorrosion: Fernwirkung

Die elektrischen Pole liegen hier weiter auseinander (Fernwirkung), die Rissbreite beeinflusst nicht unmittelbar den Korrosionsfortschritt. Dieser Mechanismus ist weit wichtiger als der Mechanismus 1; er kann als massgebend für die Korrosion angesehen werden. Die entscheidenden Einflussgrößen sind hier:

- der Diffusionswiderstand der Betondeckung, der im Wesentlichen von deren Dicke und der Nachbehandlung abhängt,
- und der elektrische Widerstand des Stahlbetonelements, der wesentlich vom Wasserzementwert bestimmt ist.

Beide Faktoren haben gegenläufige Tendenz; der Einfluss der Betondeckung spielt allerdings die entscheidende Rolle (Bild 17). Bei dieser Korrosionsart sind hohe Abtragsraten möglich, eine Selbsthemmung findet nicht statt.

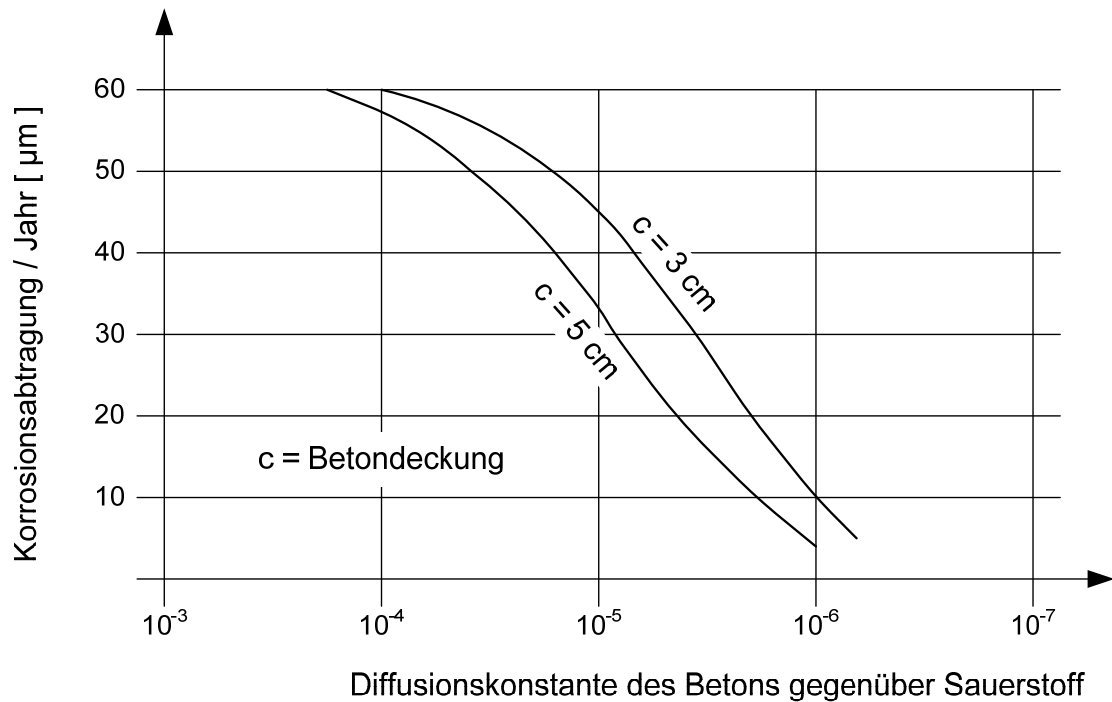


Bild 17: Korrosionsabtrag in Abhängigkeit von der Sauerstoffdiffusionskonstanten und der Betondeckung c [9]

Bei Längsrissen treten die gleichen Mechanismen auf. Aufgrund der grösseren freigelegten Stahlfläche sind höhere Abtragungsraten möglich; der Dichtigkeit der Betondeckung ist wegen der Gefahr von Abplatzungen besondere Aufmerksamkeit zu schenken, auch kann hier durch Begrenzung der Querrissbreiten geholfen werden.

Die Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit durch Korrosion spielt insbesondere bei Spannbetonbrücken eine wesentliche Rolle. Stichworte sind hier die Reibkorrosion und die Kerbwirkung, ausgehend von Korrosionsnarben. Abminderungen der Dauerhaftigkeit um bis zu 50 % sind beobachtet worden.

## 5 Kosten der Erhaltung

Die heutigen Leistungsangebote (Einzel-, Werkgruppen- GU- und TU-Leistungsanbieter) schliessen meist nur Planung und Ausführung der baulichen Anlagen ein. Dadurch konzentriert sich der Wettbewerb im Wesentlichen nur auf die Planungs- und Baukosten, d.h. auf die Investitionskosten. Dabei wird übersehen, dass die jährlichen Unterhalts- und Betriebskosten nach ca. 7-10 Jahren bei den meisten baulichen Anlagen (ohne Zinseszins) bereits die Investitionskosten bei Inbetriebnahme erreichen (Bild 18). Das Optimierungs- und Innovationspotential der Nutzungsphase wird oft nicht einbezogen; weder fragen die Bauherren solche life-cycle-orientierten Leistungen nach noch offeriert die Bauindustrie den Bauherren Leistungsangebote mit Life-Cycle-Orientierung und entsprechenden "Performance"-Garantien, z.B. bezüglich Erhaltungs- und Betriebskosten.

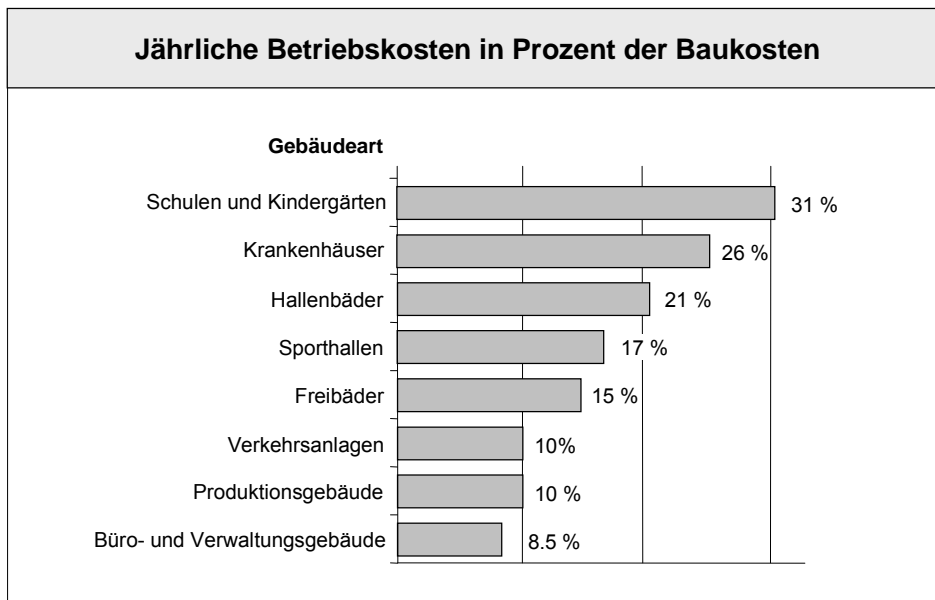


Bild 18: Life-Cycle-Kosten - Jährliche Betriebskosten im Verhältnis zu den Baukosten (Quelle: Bayerische Staatsbauverwaltung, zitiert in [10])

Life-cycle-orientierte Leistungsangebote ermöglichen eine Systemoptimierung der baulichen Anlagen auf Leistungsanbieterseite in Bezug auf Lebenszykluskosten. Damit kann die bauliche Anlage bereits vor der Erstellung in den traditionellen Angebotsphasen bezüglich Investitions- und Nutzungskosten eines definierten Zeitraums unter Wettbewerb gestellt werden. Der Bauherr erhält dadurch - neben der Garantie der Investitionskosten - eine erweiterte Garantie auf die entstehenden Nutzungskosten und damit für die angestrebte Rendite [11].

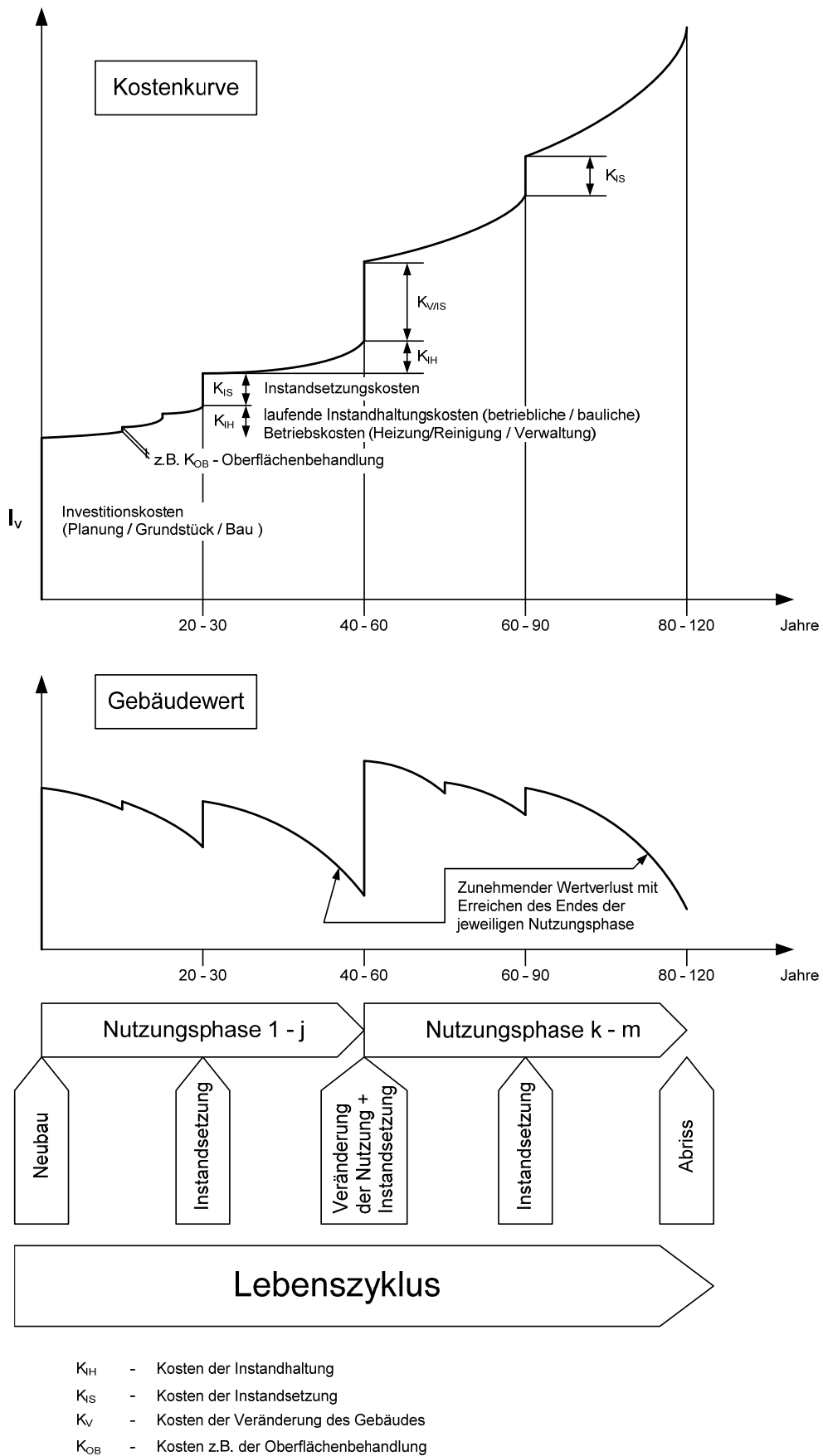


Bild 19: Kostenkurve und Gebäudewert eines Bauwerks im Lebenszyklus

Der Bauherr sollte grundsätzlich bestrebt sein, die Gesamtlebenszykluskosten zu minimieren, damit die bauliche Anlage ihre Funktion mit möglichst geringen Erhaltungs- und Betriebskosten über ihre gesamte Lebensdauer erfüllen kann. Viele Bauherren sind sich aber immer noch nicht bewusst, dass die Erhaltungskosten exponentiell mit der Zeit zunehmen. Die Kostenkurve (Bild 19) ist ein Instrument für den Bauherrn, um die Kosten für den Betrieb und für Erhaltungsmaßnahmen in der Nutzungsphase abzuschätzen. Neben den in der Nutzungsphase anfallenden Kosten muss der Wert der baulichen Anlage berücksichtigt werden, der vom Mietwert, d.h. vom erzielbaren Erlös der Anlage, abhängt (Bild 19). Während der laufende Kostenaufwand im Lauf der Nutzungsjahre steigt, nehmen Qualität und Marktwert (Miet- sowie Verkaufswert) im Regelfall ab. Die laufenden Betriebs- und Instandhaltungskosten sind meist mit den Nutzungsjahren progressiv steigend. Nach 20-30 Jahren muss oft eine umfassende Instandsetzung durchgeführt werden, da sich einerseits die versteckten Mängel zu Schäden entwickelt haben und andererseits der Verschleiss durch die Umwelt und die Nutzer Spuren hinterlassen hat. Ferner haben sich durch technologische Entwicklungen neue Nutzeranforderungen entwickelt. Möglicherweise ändert sich auch die Nutzungsart des Gebäudes, z.B. durch Strukturveränderungen im Wirtschafts- und Siedlungsbereich der baulichen Anlagen. In diesem Fall müssen - neben der Instandsetzung - Veränderungen an dem Gebäude vorgenommen werden. Je nach Nutzungsänderungen sind Erweiterungs-, Umbau- oder Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Ist das Gebäude für eine flexible Nutzungsänderung geplant, wirkt sich dies bei den Veränderungskosten günstig aus. Gebäude und bauliche Anlagen mit flexibler Nutzungsänderung sind meist wie folgt gegliedert:

- Tragkonstruktion
- Nutzungskonstruktion
- Versorgungs- und Entsorgungsstruktur

Die Versorgungs- und Entsorgungsstruktur enthält die Infrastruktur des Gebäudes, die schnell an die Nutzeranforderungen angepasst werden kann; Anpassungen sind im Intervall von 5-10 Jahren zu erwarten. Die Nutzungskonstruktion weist meist im Trennwandbereich eine hohe Flexibilität hinsichtlich Anpassung an die Nutzerbedürfnisse auf. Eine Erneuerung ist sicherlich nach 20-30 Jahren zu erwarten.

Die Kostenschätzung einer Instandsetzungsmaßnahme ist alleine mit visuellen Inspektionen nicht möglich, da mit diesen Maßnahmen nur sichtbare Schäden erkannt werden. Ergänzend sind auch zerstörungsfreie Untersuchungen auszuführen. Anhand dieser Daten kann für jedes Bauwerk eine objektspezifische Kostenkurve entwickelt und aufgezeichnet werden.

Mit einer Instandsetzung ist immer eine Untergrund- (Freilegen von Bewehrung und Reprofilierung) und eine Oberflächenbehandlung (Spritzbeton, Hydrophobierung, Kunststoffbeschichtung usw.) gemeint.

Um Kosten zu sparen, werden heute vor allem möglichst qualitativ hochwertige Instandsetzungen durchgeführt. Die Erkenntnis, dass das Bauwerk aber schon vor einem eigentlichen Schadenseintritt auf Mängel hin untersucht und diese mit einem deutlich geringeren Aufwand behoben werden könnten, ist noch nicht weit verbreitet (Bild 20). Nicht zu vergessen ist zudem, dass die effizienteste Art der Schadenverhinderung die hohe Qualitätssicherung beim Neubau ist.

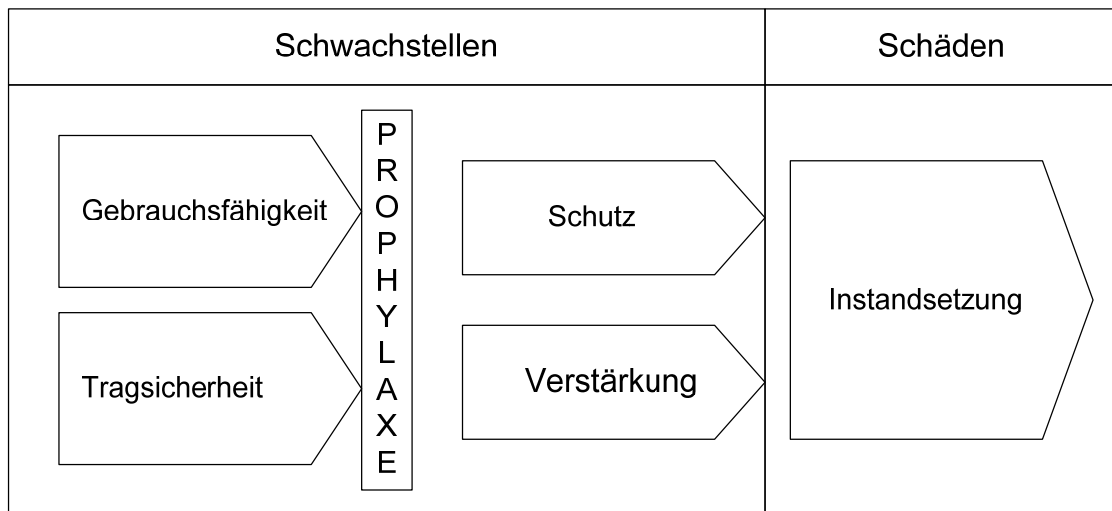


Bild 20: Massnahmen für Gebrauchs- und Tragsicherheit

## 5.1 Kostenstufen

Bei der Erhaltung von Betonoberflächen können vier Stufen unterschieden werden (Tabelle 3).

Stufen	Beschreibung	Zeitraum	Kosten [CHF/m <sup>2</sup> ]
Stufe 0	Qualitätssicherung beim Neubau	0 Jahre	2.- bis 7.-
Stufe 1	Oberflächenbehandlung	5 – 15 Jahre	20.- bis 70.-
Stufe 2	Instandsetzung	20 – 30 Jahre	200.- bis 700.-
Stufe 3	Abbruch und Neubau	40 – 50 Jahre	2000.- bis 7000.-

Tabelle 3: Kostenstufen der Instandhaltung und -setzung eines Stahlbetontragwerks

- Stufe 0: Durch eine durchdachte Planung ohne konzeptionelle Unzulänglichkeiten und eine dokumentierte Qualitätssicherung auf der Baustelle können mit einem minimalen zusätzlichen Aufwand die Anforderungen an ein dauerhaftes Bauwerk durchgesetzt werden. Wichtig ist dabei, dass der Projektverfasser die gefährdetsten Bereiche früh erkennt und entsprechende Massnahmen einleitet. So reicht für den Schutz der Bewehrung eine Betonüberdeckung von 40 mm. Im Spritzwasserbereich ist aber eine zusätzliche Überdeckung einzuplanen oder eine Oberflächenbeschichtung vorzusehen.
- Stufe 1: Oberflächenbehandlung ohne Untergrundinstandsetzungen sind relativ einfach durchzuführen. Solche Massnahmen kommen zum Einsatz, wenn Schwachstellen an Bauteilen erkannt wurden und daher die Möglichkeit besteht, dass an dieser Stelle Schäden auftreten können. Eine Oberflächenbehandlung ist je nach Art nach 15 Jahren (Hydrophobierung, Beschichtung) bis 50 Jahren (Spritzbeton) zu ersetzen.
- Stufe 2: Die eigentliche Betoninstandsetzung beinhaltet Untergrundinstandsetzung und Oberflächenbehandlung. Korrodierende Bewehrung muss freigelegt und reprofiliert werden. Je nach Grösse der geschädigten Fläche und nach Zugänglichkeit der Stellen werden für diesen Vorgang anstelle von mühsamer Handarbeit leis-

tungsfähige Maschinen eingesetzt. Kosten und Zeit können damit eingespart werden.

- Stufe 3: Ein Abbruch und Neubau ist dann nötig, wenn die Tragsicherheit nicht mehr gewährleistet ist oder die Schäden an einem Bauwerk so weit fortgeschritten sind, dass der Aufwand für eine Instandsetzung sich nicht mehr lohnt. Steht das Bauwerk unter Denkmalschutz, ist eine aufwändige Instandsetzung notwendig.

Mit dem Schadensfortschritt nehmen die Kosten der Instandsetzung exponentiell zu. Sobald die Voraussetzungen für Korrosion erfüllt sind, beginnt die Bewehrung zu rosten. Die Folge sind Betonabplatzungen. Solche Schäden können nicht mehr mit einer reinen Oberflächenbehandlung instand gesetzt werden. Die Kosten nehmen von Stufe 1 zu 2 stark zu. Im Übergang von Stufe 2 zu Stufe 3 sind die Schäden so weit fortgeschritten, dass das Bauwerk seine Funktion nicht mehr erfüllen kann. Es wären Verstärkungsmassnahmen und Ersatz der korrodierten Bewehrung nötig; ein Abriss mit Neubau ist dann - mit einer einhergehenden Nutzungsanpassung, um einen Mehrwert zu erzeugen - oft billiger.

## 5.2 Interpretation der Kostenstufen

Die Kostenstufen visualisieren den Kostenverlauf für die Instandhaltung eines Stahlbetonbauwerks. Beim Übertragen auf ein spezifisches Bauwerk ist es nötig, einzelne Bauteile zu betrachten. Nicht alle Bauteile sind den gleichen Schadensmechanismen ausgesetzt und besitzen daher unterschiedliches Kostenverhalten bezüglich einer Instandsetzungsmassnahme. So ist z.B. ein Brückenpfeiler im Spritzwasserbereich durch den Chlorideintrag und viele Frost-Tausalz-Wechsel trotz hoher Betonqualität und guter Ausführung anfälliger für Schäden und somit viel schneller auf Stufe 1 (Tabelle 3) als ein geschützter Brückenhohlkasten. Ein solcher Pfeiler sollte daher vor dem Beginn der Korrosion an der Oberfläche geschützt werden.

Für jedes Bauwerk kann der ideale Zeitpunkt für eine Oberflächenbehandlung oder eine Instandsetzung bestimmt werden. Die Grundlage dafür liefern die Resultate der Überwachung. Sie zeigen, wie weit eine Karbonatisierung schon fortgeschritten ist oder wie gross die Flächen mit Korrosionsabplatzungen sind.

Aus den Kostenstufen (Tabelle 3) lässt sich Folgendes ableiten:

- Sorgfältige Planung und Qualitätssicherung auf der Baustelle beim Neubau ist die beste Variante, die Dauerhaftigkeit zu erhöhen und die Unterhaltskosten langfristig gering zu halten.
- Es gibt zwei Interventionszeitpunkte, zu denen das Instandsetzen eines Bauwerks markant teurer wird:
  - Damit die Korrosion nicht beginnen kann, ist die Oberfläche zu schützen, bevor die Karbonatisierungsfront oder Chloride die Bewehrung erreichen.
  - Die Bewehrung eines Bauwerks ist instand zu setzen, bevor sie ihre statische Funktion nicht voll erfüllen kann. Dieser Zustand, der zur Ergänzung, Verstärkung oder zum Ersatz der Bewehrung führt, ist unter allen Umständen zu verhindern, da die Grenze der Gebrauchsfähigkeit sowie der Tragfähigkeit erreicht wird.
- Teure Untergrundinstandsetzungen wie im Fall der korrodierenden Bewehrung sind durch frühzeitiges Handeln zu vermeiden. Oberflächenbehandlungen schützen den Beton mit entsprechendem Unterhalt dauerhaft.

- Der günstige Zeitpunkt für eine Instandsetzung, vor dem Wechsel von einer Stufe in eine höhere, sollte nicht verpasst werden.

In den Kostenstufen sind die Auswirkungen der durch die Instandsetzung verursachten Verkehrseinschränkung nicht enthalten. So können Arbeiten der Stufe 1 meist noch von einem mobilen Gerüst aus ausgeführt werden; die Beeinträchtigung des Verkehrs ist eher gering. Ist aber Beton abzutragen, kann dies nur von einem festen Gerüst zum Auffangen von anfallenden Rückständen und zum Schutz des Verkehrs aus geschehen.

### 5.3 Erstellen von Interventionskurven

Während seiner gesamten Lebensdauer wird ein Bauwerk überwacht. Auch in den ersten Jahren nach dem Neubau ist eine Überwachung angebracht; oft zeigen sich Mängel in der Ausführung nämlich schon sehr früh. Solche Mängel können innerhalb der Garantiefrist noch gerügt werden und verursachen so dem Bauherrn keine Kosten. Die Massnahme der Stufe 1 (Tabelle 3) ist ein präventiver Schutz des Bauwerks. Die Abschätzung der Erhaltungsmassnahmen erfolgt durch Probebohrungen und Laboruntersuchungen, die in mehrjährigen Intervallen durchgeführt werden. Aufgrund der grafischen Darstellung des Karbonatisierungsfortschritts bzw. der Eindringtiefe von Chloriden kann der Korrosionsbeginn der Bewehrung abgeschätzt werden (Bild 21).

Auf der Basis der Überwachung z.B. der Chloridpenetration und -anreicherung (Bild 21) kann der Interventionszeitpunkt für Instandhaltungs- und Instandsetzungsmassnahmen extrapoliert werden. Die Entscheidung für eine Interventionsmassnahme muss unterschieden werden nach:

- Grenze der ästhetischen Erscheinung; dies ist eine weitgehend subjektive Beurteilung, die sich aufgrund von farblichen Veränderungen ergibt und sich im Wesentlichen auf das Aussehen bezieht, aber keine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit oder der Tragfähigkeit nach sich zieht.
- Beginn der Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit; dies ist der Zeitpunkt, bei dem nicht nur optische Veränderungen am Bauwerk eingetreten sind, sondern die ersten Schädigungen, die die Nutzung beeinträchtigen, z.B. Abplatzungen der Betondeckung, Fahrbahnschäden.
- Grenze der Gebrauchstauglichkeit; sie ist erreicht, wenn die Nutzung eingeschränkt werden muss. Mit Erreichen dieser Grenze treten meist auch Substanzschäden am Bauwerk auf, die die Tragfähigkeit reduzieren, z.B. Rosten der Bewehrung (Querschnittsreduzierung), Längsrisse im Stossbereich der Bewehrung.

Die Übergänge in die einzelnen Phasen sind fliessend und überlappen sich meist bzw. ihre Phänomene treten gleichzeitig auf.

Um die Gebrauchs- und Nutzungstauglichkeit im Lebenszyklus eines Bauwerks sicherzustellen, müssen Interventionsmassnahmen vor Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit angegangen werden. Bei Stahlbetontragwerken sollte dies vor Erreichen der Bewehrungskorrosion erfolgen.



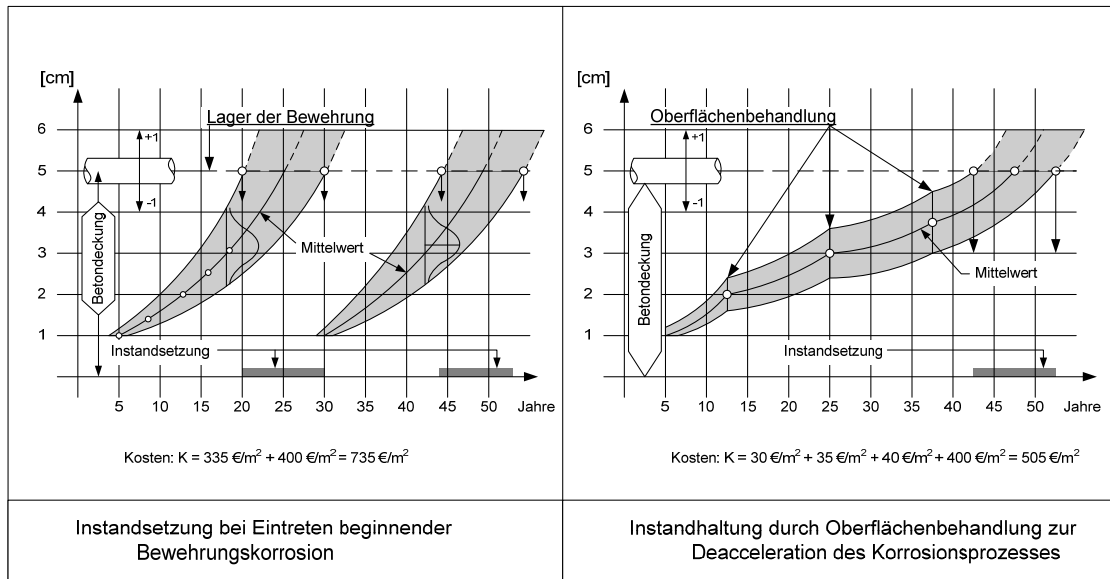


Bild 21: Überwachung kritischer Bauteile bezüglich Karbonisierungsfortschritt bzw. Chlorideindringungsgeschwindigkeit sowie Wirkung von Interventionsmassnahmen der Instandhaltung und Instandsetzung

Wie Bild 21 eines konstruierten Beispiels zeigt, hat der Bauherr bzw. Nutzer mehrere Varianten, das Bauwerk zu erhalten. Die Entscheidung, ob man mit Massnahmen bis zu Beginn der Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit wartet, wie z.B. bis vor Beginn einer grossflächigen Bewehrungskorrosion oder schon frühzeitig die Penetrationsgeschwindigkeit von z.B. Chloriden durch intervallweise Oberflächenbeschichtungen reduziert, hängt von folgenden Kriterien ab:

- Gesamtkosten der Massnahmen über den betrachteten Lebenszyklus, die, zur Vereinheitlichung der Kostenvergleichsbasis, auf den Zeitwert abgezinst werden sollten
- Einbezug der Kosten der durch die Massnahmen bedingten Betriebs- und Nutzungseinschränkungen in die Gesamtkostenbetrachtung

Die meisten Massnahmen beeinflussen die Nutzung. Das Aufbringen von präventiven Schutzmassnahmen beispielsweise kann bei Brücken meist von fahrbaren Gerüsten aus ohne grössere Verkehrseinschränkungen erfolgen, Instandsetzungsmassnahmen jedoch lassen sich meist nicht ohne einschneidende Nutzungseinschränkungen durchführen.

Folgende Fragen stellen sich z.B. im Zusammenhang mit präventiven Schutzmassnahmen (Bild 19):

- Welche Schäden sind zu erwarten?
- Welches sind die Ursachen für die Schwachstelle?
- Wie lange kann gewartet werden, bevor Massnahmen ergriffen werden müssen?
- Wird der Schadensmechanismus durch die Oberflächenschutzmassnahmen verzögert oder gestoppt?
- Ist das gesamte Bauteil betroffen oder ist es ein sehr lokales Problem?
- Sind aufgrund der Massnahme Nutzungseinschränkungen zu erwarten?

Sobald Schäden zu erkennen sind, befindet sich das Bauwerk schon auf dem Übergang zu Stufe 2 (Tabelle 3). Zu diesem Zeitpunkt kann es für den Bauherrn ratsam sein,

kosmetische Sofortmassnahmen anzuordnen, um das Bauteil lokal instand zu setzen. Eine zusätzliche Oberflächenbehandlung ist unumgänglich. Treten die Schäden aber an einer Stelle auf, an der die Funktionstüchtigkeit des Bauwerkes nicht eingeschränkt wird, kann mit einer Instandsetzung noch gewartet werden. Mit einer Kostenschätzung ist ein Vergleich dieser beiden Varianten möglich (Bild 21).

Folgende Fragen müssen im Zusammenhang mit dem ersten Auftreten eines Schadens gestellt werden:

- Welche Schäden sind aufgetreten?
- Welche Ursachen haben diese Schäden?
- Welcher Schadensfortschritt ist zu erwarten?
- Ist der Schaden bei einer Zunahme eine Gefahr für das Bauwerk?
- Wird die Lebensdauer des Bauwerkes durch den Schaden beeinträchtigt?
- Kann eine Instandsetzung ohne Zunahme der Kosten hinausgezögert werden?
- Welche Massnahmen sind zu ergreifen, um den Schaden zu beseitigen?
- Welche Massnahmen sind zu ergreifen, dass dieser Schaden nicht mehr auftritt?
- Ist das gesamte Bauteil betroffen oder ist es ein sehr lokales Problem?
- Welche Nutzungseinschränkungen sind aufgrund der erforderlichen Massnahmen zu erwarten?

Mit der Beantwortung dieser Fragen kann der Bauherr den weiteren Verlauf der Kostenkurve bestimmen (Bild 22).

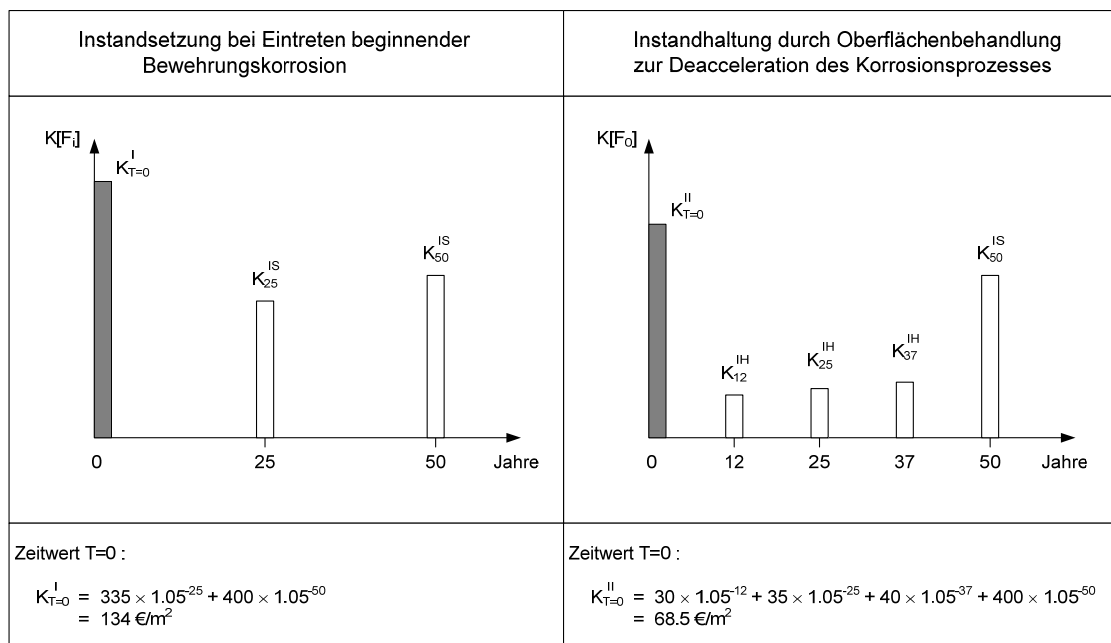


Bild 22: Bestimmung des Zeitwerts T=0 der Interventionsalternative zur Erhaltung eines Betonbauwerkes

## 5.4 Kostenoptimierung

Um die Kosten zu optimieren, ist der Bauherr darauf bedacht, seine Bauwerke möglichst auf der Stufe 0 oder 1 zu halten.

Bei Instandsetzungen ist darauf zu achten, dass die einzelnen Verfahren zur Erhaltung aufeinander abgestimmt sind. Ein falsches Konzept kann teure Unterhaltsarbeiten oder Folgeinstandsetzungen nach sich ziehen. So ermöglicht beispielsweise ein dickschichtiger Spritzbetonauftrag, das Freilegen von Bewehrung auf die oberflächennahen Stäbe zu beschränken. Ein Spritzbetonauftrag ist zwar teuer, doch der Unterhalt ist geringer und die Eisen sind dank der dicken Betonschicht längere Zeit geschützt. Bei einer dünnen Kunststoffbeschichtung müssen aber alle Korrosionsherde behoben und somit tiefer freigelegt werden.

An zwei Beispielen sollen Erhaltungskonzepte aufgezeigt werden, wie in einem solchen Fall eine kostenoptimale Massnahme getroffen werden könnte:

- Kostenintensive Oberflächenbehandlung ohne Untergrundinstandsetzung. Es ist weder technisch notwendig noch wirtschaftlich, die Betonoberfläche mit einer zusätzlichen Spritzbetonschicht zu ergänzen, wenn noch keine Korrosion aufgetreten ist. Eine einfach zu applizierende Kunststoffbeschichtung ist ausreichend und kostengünstiger.
- Intensive Untergrundinstandsetzungen zugunsten einer kostengünstigen Oberflächenbehandlung. Wenn grosse Teile einer Bewehrung freigelegt werden mussten, sollte ein Schutzsystem angestrebt werden, so dass derselbe Schaden nicht nochmals auftreten kann. Mit einer Hydrophobierung kann z.B. in einem solchen Fall die erforderliche Schutzwirkung nicht erzielt werden. Zudem würden dann hohe permanente Unterhaltskosten anfallen.

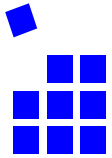
Neben dem Gesichtspunkt der Optimierung der Baukosten im Rahmen einer Erhaltungsmassnahme sollten die Kosten von Nutzungseinschränkungen mit einbezogen werden:

- bei Produktionseinrichtungen die Kosten für eingeschränkte Produktion oder Zusatzkosten für den Umbau von Produktionseinrichtungen
- bei Hauptverkehrswegen
  - im Strassenverkehr die Kosten für Staus, die sich aus erhöhtem Energieverbrauch der Fahrzeuge, dem Verlust an Arbeitszeit der vom Stau Betroffenen, höheren Unfallraten im Staubereich etc. zusammensetzen
  - im Bahnbetrieb die Kosten für Umleitung der Züge mit höherem Energieverbrauch, Verspätung der Fahrgäste, höherem Verschleiss der durch die Umleitung betroffenen Weichen

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Fechtig R.: Substanzerhaltung – eine Notwendigkeit? Abschiedsvorlesung von Prof. Dr.-Ing. R. Fechtig, 16. Januar 1996. In Bauingenieur (1997), Nr.2, S. 61-65.
- [2] DIN 31 051 Instandhaltung; Begriffe und Massnahmen. Beuth Verlag, Berlin, 1985.
- [3] SIA 469 Erhaltung von Bauwerken. Verständigung, Erhaltungsziele, Erhaltungsmaßnahmen und -tätigkeiten, Bauwerksakten. SIA 1997.
- [4] VSS SN 640 900 Management der Strassenerhaltung; Grundsätze. SN 1989.
- [5] SIA - Dokumentation: Korrosion von Stählen im Bauwesen. Ursachen und Schutzmaßnahmen. SIA, Zürich, 1985.
- [6] Kern R.: Der Einfluss der Austrocknung auf die Wasserbindung und Eigenschaften des Betons. Dissertation, Darmstadt, 1998.
- [7] DIN 4030, Teil 1 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Grundlage und Grenzwerte. Beuth Verlag, Berlin, 1991.
- [8] Bähler K.: Massnahmen zur Instandsetzung von Brückenbauwerken. Diplomarbeit, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH - Zürich, 2000
- [9] König G.: Kontrolle der Rissbreite im Stahlbeton- und Spannbetonbau. TH Darmstadt, Darmstadt.
- [10] Staudt E., Kriegesmann B., Thomzik M.: Facility Management: der Kampf um Marktanteile beginnt. Frankfurter Allgemeine Zeitung, Verlagsbereich Buch, Frankfurt, 1999.
- [11] Girmscheid G.: Projektabwicklung in der Bauwirtschaft. Springer-Verlag, Berlin, 2003.





Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Teil 2: Anforderungen an das Baumanagement und den Baubetrieb



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Objektdifferenzierung der baulichen Erhaltungsmassnahmen .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Planung und Vorbereitungsmaßnahmen für Abbruch-, Veränderungs- und Instandsetzungsarbeiten.....</b>	<b>9</b>
2.1	Vorbereitungsarbeiten .....	9
2.2	Ausschreibung der Abtrags- bzw. Abbrucharbeiten .....	11
2.2.1	Abtrag- bzw. Abbruchplan.....	14
2.2.2	Baubetriebliche Randbedingungen.....	15
2.3	Ausschreibung der Instandsetzungsarbeiten .....	16
2.3.1	Diagnose.....	16
2.3.2	Massenermittlung .....	16
2.3.3	Leistungsverzeichnis.....	17
2.3.4	Bieterkreis.....	17
2.3.5	Produktbeschreibung .....	17
2.3.6	Materialbedarf.....	17
2.3.7	Abrechnungsmodus.....	17
2.3.8	Einschränkungen des Leistungsumfangs .....	18
2.3.9	Gewährleistung.....	19
2.3.10	Referenzen .....	19
<b>3</b>	<b>Vorbereitung und Logistik einer Instandsetzungsbaustelle .....</b>	<b>20</b>
3.1	Arbeitsvorbereitung .....	20
3.1.1	Aufgaben der Arbeitsvorbereitung .....	20
3.1.2	Arbeitsvorbereitung in der Angebotsphase .....	23
3.1.3	Arbeitsvorbereitung nach der Auftragsvergabe.....	25
3.1.4	Aufgaben der Arbeitsvorbereitung in der Bauphase .....	30
3.2	Beginn der Arbeiten.....	31
3.3	Einrichtung einer Instandsetzungsbaustelle .....	32
3.3.1	Allgemeines .....	32
3.3.2	Der Baustelleneinrichtungsplan .....	33
3.3.3	Versorgungseinrichtungen .....	34
3.3.4	Bauten der Instandsetzungsbaustelle .....	39
3.3.5	Lager- und Bearbeitungsanlagen.....	44
3.3.6	Transportgeräte auf der Instandsetzungsbaustelle .....	45
3.4	Schutzzelte, Inspektions- und Arbeitsgerüste .....	62
3.4.1	Schutzzelte .....	62
3.5	Energieumsetzung auf der Instandsetzungsbaustelle .....	68
3.5.1	Energiearten auf Instandsetzungsbaustellen .....	68
3.5.2	Elektrische Energie.....	68
3.5.3	Ermittlung des Druckluftbedarfes.....	73



	3.5.4	Dampfenergie .....	73
<b>4</b>		<b>Sicherheitsanforderungen an die Bauabwicklung .....</b>	<b>74</b>
	4.1	Besonderheiten bei Instandsetzungsarbeiten .....	74
	4.2	Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie.....	76
	4.2.1	Sicherheitsplanung .....	78
	4.2.2	Umsetzung der Sicherheitsplanung .....	78
	4.2.3	Aufgaben und Verantwortung der Beteiligten .....	79
	4.2.4	Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase [14].....	79
	4.3	Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften .....	84
	4.3.1	Sicherheitplanung .....	85
<b>5</b>		<b>Überwachung und Abnahme der ausgeführten Leistungen.....</b>	<b>89</b>
<b>6</b>		<b>Umweltverträglichkeit der Instandsetzung.....</b>	<b>90</b>
	6.1	Umweltverträglichkeit der verwendeten Produkte in Bezug auf zukünftige Sanierungen.....	90
	6.1.1	Kontaminierung von Baustellenabwässern bei Abbruch- und Instandsetzungsarbeiten.....	90
	6.1.2	Behandlung von Baustellenabwässern:.....	90
	6.2	Umweltverträglichkeit der Instandsetzungsarbeiten .....	91
<b>7</b>		<b>Planungsgrundsätze für zukünftige Instandsetzungen .....</b>	<b>92</b>
<b>8</b>		<b>Bildverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
<b>9</b>		<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>95</b>

# 1 Objektdifferenzierung der baulichen Erhaltungsmassnahmen

Im Regelfall erfolgen die Instandsetzungsarbeiten im Gegensatz zu den Bauarbeiten zur Erstellung eines Neubaus in enger Wechselbeziehung mit den Benutzern.

Die Sanierungsaufgaben lassen sich u.a. in folgende Kategorien unterteilen:

- **Infrastrukturbauwerke:** dienen der öffentlichen Versorgung und müssen meist unter Aufrechterhaltung des Betriebs instandgesetzt werden
- **Industriebauwerke:** dienen der Produktion von Gütern; es ist notwendig die Baustanz auf Kontaminierung zu überprüfen.
- **Geschäfts- und Bürobauten:** die Sanierungsabläufe und Bauverfahren sind auch in Bezug auf die Nutzung so zu wählen, dass nur ein Minimum an Beeinträchtigungen (Staub, Lärm, etc.) auf die Kunden bzw. auf die Angestellten einwirkt. Die Baustelle wird oft als abschnittsweise wandernde Baustelle ausgelegt, die durch Staub- bzw. Staub- und Schallwände vom Kundenraum unterteilt wird.
- **Wohngebäude:** die Sanierungsabläufe und Bauverfahren sind so zu wählen, dass nur ein Minimum an Nutzungsstörungen sowie an Einwirkungen in Bezug auf Staub, Lärm, etc. für die Wohnungsbenutzer auftritt. Die Bewohnbarkeit und Sicherheit der Bewohner muss jederzeit gewährleistet sein, wenn nicht andere Massnahmen vorgesehen sind.

Bei **Infrastrukturprojekten** tritt meist eine öffentliche Behörde als Besteller für den Benutzer auf. Der Benutzer finanziert indirekt durch Abgaben und Gebühren die Erstellung sowie die Unterhaltung des Netzes. Der betroffene Benutzer kann nur indirekt den Umfang der Massnahmen beeinflussen; jedenfalls ist er betroffen.

Der Umfang des Eingriffs in den öffentlichen Verkehr bzw. in die Ent- und Versorgung zur Instandsetzung richtet sich nach der Bedeutung des Infrastruktursystems für den Benutzer (Kunden) sowie nach den Möglichkeiten der nahen oder regionalen Netzumleitung. Die regionale Umleitung des Verkehrs während der Instandsetzung eines Strassenabschnittes oder einer Brücke im Kantonal- oder Gemeindestrassennetz ist sicherlich zumutbar. Es muss allerdings sichergestellt werden, dass die Kapazität der Umleitungen ausreichend ist. Der Anliegerverkehr muss dabei aufrechterhalten werden. Die Erschwernisse dürfen ein erträgliches Mass nicht übersteigen. Eine viel befahrene Autobahn kann meist nicht innerhalb des Strassennetzes umgelenkt werden, da die Kapazität des untergeordneten Netzes nicht ausreicht. Bei Hochleistungsinfrastruktursystemen ist es unabdingbar notwendig schon bei der Planung den Betriebsfall Instandsetzung für die Dimensionierung der Leistungsfähigkeit adäquat zu berücksichtigen.

Bei der Instandsetzung eines Wassernetzes ist die Versorgung permanent aufrecht zu erhalten, mittels:

- Unterbrechung im Rahmen von wenigen Stunden durch Vorankündigung (Betrieben mit hoher prozessbedingter Wasserabhängigkeit ist besondere Beachtung zu schenken)
- Tankwasserversorgung bei Unterbrechung bis zu einigen Tagen

- temporäres oberirdisches Versorgungsnetz bei längerer Unterbrechung.

Das gleiche gilt analogerweise für Abwassernetze.

Auch bei der Instandsetzung des öffentlichen Netzes muss der Kunde im Mittelpunkt stehen unter Beachtung des Nutzen-Kostenverhältnisses der direkten sowie der indirekten Kosten der Benutzer. Diese volkswirtschaftliche Analyse wird in der Umsetzung dann erleichtert, wenn die Kostenträger der Aufwendungen für die Sanierung und temporären Begleitmassnahmen auch gleichzeitig vollumfänglich Nutzniesser sind. Dann sind die Aufwendungen für die Direktmassnahmen auf der einen Seite durch Verringerung der Softkosten beim Individuum auf der anderen Seite nachvollziehbar. Diese Situation wird stark verändert, wenn die Kostenträger einer Massnahme nicht oder nur teilweise Nutzniesser sind. Als Beispiel kann man anführen, dass eine Gemeinde eine Hilfsbrücke bauen müsste, um die Instandsetzung einer Brücke zu ermöglichen, da eine grossräumige Umleitung wesentlich höhere Softkosten bei den überregionalen Verkehrsteilnehmern verursachen würde. Da die überregionalen Teilnehmer keine Gemeindesteuern zahlen, müssten die Gemeindesteuerzahler eine volkswirtschaftlich sinnvolle Kostenoptimierung zahlen, ohne dass sie direkt einen Vorteil davon hätten. Aus verständlichen Gründen reicht die Einsicht der Kostenträger nicht aus. Zur Realisierung solcher volkswirtschaftlich sinnvoller Massnahmen muss man neue kundenbezogene Modelle entwickeln, die auf dem direkten Kosten-Nutzenverhältnis aufgebaut sind, so dass der Kunde bzw. Nutzer seinen Vorteil bei der Erhebung eines Kostenbeitrags erkennt. Bei dieser Konzeption muss man den Besonderheiten von Infrastrukturnetzen im innerstädtischen Raum besondere Beachtung widmen, da z.B. bei der Instandsetzung eines Abwassersammlers die Kostenträger nicht identisch sind mit den Verkehrsteilnehmern der Strasse. Daher besteht bei den Kostenträgern des Abwasserkanals keine grosse Motivation, besondere temporäre Massnahmen für die Qualität des Verkehrsflusses zu treffen. Man muss sicherlich bei neuen Modellen vom Verursacherprinzip ausgehen, mögliche Mietmodelle könnten ein volkswirtschaftliches Handeln begünstigen. Man könnte z.B. die Strasse für den Zeitraum der Instandsetzung des Kanals an den Abwasserbetrieb unter bestimmten Auflagen vermieten. Dadurch könnte man einerseits den Zeitraum der Störung steuern, bzw. zusätzliche temporäre Massnahmen erzwingen (unterirdische Bauweisen, etc.), um die Mietkosten für die Beanspruchung verkehrsbehindernder Strassenflächen zu reduzieren.

Bei der Instandsetzung von Infrastrukturbauwerken, besonders bei den Hochleistungssystemen ist eine Redimensionierung vorzusehen um in Zukunft ausreichend für den Nutzungsfall Instandsetzung gerüstet zu sein, falls dies noch nicht vorgesehen wurde. Bei Fahrbahn- und Brückensanierungen der Autobahnen werden oft die Standspuren verbreitert, um im Fall zukünftiger Erneuerungen einen ausreichenden Verkehrsfluss mit geringerer Unfallhäufigkeit während solcher Arbeiten zu gewährleisten.

Die **Instandsetzung von Industrieobjekten** verläuft oft auch einhergehend mit der Erneuerung der Produktionsanlagen. Im Gegensatz zur Instandsetzung von Infrastrukturbauten, die meist von einer öffentlichen Behörde stellvertretend für den Benutzer beauftragt werden, ist bei Industrieobjekten der Besteller gleichzeitig Benutzer. Somit bestimmen Besteller und Benutzer den Störungsgrad ihrer Produktion nach betriebswirtschaftlichen Kriterien indem sie selbst oder zusammen mit dem Anlagenbauer die Randbedingungen für den Ablauf der Instandsetzungsarbeiten sowie den Grad der Abstimmung bzw. der zeitlichen Entflechtung mit dem Produktionsprozess festlegen.

Bei der Instandsetzung von Produktionseinrichtungen ist eine besonders sorgfältige minutiöse Abstimmung des Bauprogramms und der Arbeitsabläufe der Instandsetzung mit dem Produktionsablauf und Materialflüssen der Produktion notwendig, da sonst hohe Kosten für ausfallende Arbeitsstunden des Produktionspersonals sowie für Lieferverzögerungen auftreten können.

Oft müssen Instandsetzungsarbeiten, die den Produktionsbereich betreffen, ausserhalb der Produktionszeiten erfolgen. Das gleiche gilt für den An- und Abtransport von Baugeräten und -materialien sowie das Umstellen von einzelnen Produktionsgeräten in Zusammenarbeit mit dem Anlagen- oder Maschinenhersteller. Der ideale störungsfreie Ablauf erfolgt indem möglichst alle produktionsunterbrechenden Arbeiten nachts durchgeführt werden können. Diese extreme Randbedingung hat auch entsprechende Kosten, die nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten kleiner sein sollten als die Produktionsausfallkosten.

Zudem werden meist hohe Anforderungen an den passiven bzw. aktiven Staubschutz aus produktionstechnischen und hygienischen Gründen gestellt. Die Anforderungen an den Lärmschutz sind dagegen meist geringer.

In Bezug auf die Sicherheit sind höchste Anforderungen zu erfüllen zum Schutz der:

- am Produktionsprozess Beteiligten vor den Bauarbeiten und -geräten, offenen Reparaturöffnungen, etc.
- Bauarbeiter vor den Gefahren des Produktionsprozesses.

Innerhalb dieses Problemkreises müssen zur Verhütung von Unfällen die Baustellenleitung und Bauleitung besondere Anstrengungen unternehmen. Jeder kennt die in seinem Arbeitsbereich prozessbedingten Gefahren, jedoch meist nicht die neuen Risiken. Daher sollte man die Arbeitsbereiche der Produktion und der Instandsetzung in allen Phasen trennen durch:

- zeitliches Versetzen der Arbeitsabläufe
- örtliches Versetzen und Trennen der Arbeitsabläufe, z.B. durch sukzessives Umsetzen der Produktionsanlage gemäss Arbeitsfortschritt.

Bei der Sanierung von Industriegebäuden ist besonders auf die Kontaminierung der Bausubstanz zu achten. Diese kann durch bereits lang zurückliegende Produktionsprozesse ausgelöst worden sein. Hierzu sollten zur Vorbereitung einer Instandsetzungsmassnahme sowie begleitend zur Bauausführung chemische Analysen stichprobenartig durchgeführt werden. Hier liegt besondere Verantwortung bei der Baustellenleitung. Sie muss geeignete Massnahmen ergreifen, um das Baustellenpersonal und das Umfeld vor den während der Abbrucharbeiten freiwerdenden Stäuben zu schützen, und so einer gesundheitlichen Gefährdung vorzubeugen. Zudem muss kontaminiertes Abbruchmaterial speziell transportiert und fachgerecht entsorgt werden.

Die Bauausführung muss bei der **Instandsetzung von Geschäftsgebäuden** im besonderen Masse die Auswirkungen auf den Kunden und Angestellten gering halten. Das Kundenverhalten wird relativ stark durch psychologische Faktoren des Wohlbehagens beeinflusst. Wer kauft schon gerne seinen Anzug in einem Geschäft, in dem es staubt und lärmt, oder wer kauft sein Meisen-Porzellan in einem Geschäft, in dem die Regale mit einer dicken Staubschicht überzogen sind. Daher muss bei der Planung der Instandsetzung, die meist auch mit einer Umgestaltung im oder am Gebäude verbunden ist, auch sofort ein Attraktionsprogramm für die Verkaufsförderung geplant und mit dem Bauprogramm abgestimmt werden. Wenn das Geschäft schon nicht mit einer an-

genehmen Atmosphäre während der Instandsetzung bzw. des Umbaus anziehend wirken kann, müssen attraktive Aktionen wie z.B.:

- Sonderverkäufe
- Kindermalaktionen am Bauzaun
- Pressebericht über Geschäft und Firma mit Spende z.B. für einen Kindergarten für behinderte Kinder

geplant und umgesetzt werden.

Von dem Bauprogramm wird oft gefordert, dass die unterschiedlich störenden Arbeitsabläufe weitgehend dem zeitlichen Profil der Kundenströme angepasst werden sollten. Besonders störende Arbeiten wie z.B. Abbruch- und Abstemmarbeiten, Verdichtungsarbeiten mittels Innenrüttler beim Betonieren (Lärm, etc.) sollten möglichst in Zeiten mit niedriger Kundenfrequenz durchgeführt werden, wie z.B.:

- montags, dienstags ganztags
- mittwochs, donnerstags bis 15<sup>00</sup> Uhr
- freitags bis 12<sup>00</sup> Uhr.
- Diese Anforderungen sind oft baubetrieblich schwierig umsetzbar. Zudem erfordert dies eine im wahrsten Sinn minutiöse Planung der Arbeitsabläufe in Bezug auf:
  - Abschnittsplanung
  - Personaleinsatz
  - Bereitstellung von Geräten sowie Bauhilfsmaterialien (Betonpumpen, Abtransport von Schutt, Schalung, Bewehrung, etc.)
  - Materiallieferungen (Beton, etc.)
  - Bauhilfsmassnahmen (Staubwände, Kundenführung, Sicherungsmassnahmen).

Bei der Instandsetzung von Geschäftsgebäuden gilt der Grundsatz, dass die Kuh, die die Milch gibt nicht geschlachtet werden darf, d.h. die Bauabläufe müssen so gewählt werden, dass die Störung des Verkaufs sowie der Kundenströme möglichst gering ausfällt.

Dies muss in den allgemeinen Bedingungen der Ausschreibung in einer Funktionsbeschreibung möglichst klar festgelegt werden. Die ausschreibenden Architekten und Ingenieure nutzen oft ganz allgemeine Rückversicherungsklauseln, die ihr Unvermögen abdecken sollen, um präzise Angaben über den Störungsgrad sowie die Festlegung von Zeiten nicht äusseren zu müssen. Dies ist meist ein nicht unerheblicher Streitpunkt zwischen dem Geschäftsinhaber / Bauaufsicht und der ausführenden Baufirma. An dieser Stelle ist es notwendig, dass die Baufirma in ihrem Angebot die Randbedingungen definiert, unter denen sie die Instandsetzungsarbeiten ausführt. Dies gilt auch im Besonderen für die Instandsetzung und den Umbau von Industrieanlagen. Den Bauingenieuren muss klar sein, dass die Akzeptanz für die beauftragten Bauarbeiten nicht wie bei der Herstellung eines Neubaus von selbst gegeben ist, sondern dass der Auftraggeber seine geschäftlichen Aktivitäten mit der Aufrechterhaltung des Umsatzes im Vordergrund sieht und somit von der Baufirma

- speditive
- geräusch- und staubarme
- unfallsichere

Bauverfahren verlangt.

Besonders muss hier der Sicherheitsaspekt erwähnt werden; dieser umfasst folgende Punkte:

- Unfallsicherheit für die Kunden und Angestellten
- psychologische Sicherheit für den Kunden (Überquerung von Öffnungen mit Blick in die Tiefe, etc. vermeiden)
- Einbruchsicherheit.

Die Einbruchsicherheit bei Arbeiten an Geschäftsbauten wird meist von den Baufirmen unterschätzt. Bei Neubauten ist meist nur die Sicherung des eigenen Gerätes von Bedeutung. Bei Arbeiten an Geschäftsgebäuden entstehen durch die Instandsetzungs- und Umbauarbeiten oft temporäre Öffnungen am Gebäude, die nach Arbeitsende jeden Tag speziell gesichert werden müssen. Zudem sind solche kritischen Abschnitte mit der örtlichen Polizei abzusprechen, damit eine höhere Präsenz, möglichst durch Polizeistreifen, in der Nacht gewährleistet ist. Die Baustelle sollte jeden Abend von einem Geschäftsvertreter inspiziert werden, um sicherzustellen, dass sich keine Person einschleusen lässt.

Daraus kann man erkennen, dass von dem Baustellenleiter Einfühlungsvermögen, gutes Durchsetzungsvermögen sowie ausgezeichnete Kommunikationsfähigkeit verlangt wird.

Die Randbedingungen für die **Instandsetzung von Büro- und Wohngebäuden** sind oft sehr ähnlich. Auch ist die Instandsetzung gekoppelt mit einer Erneuerung von Hygiene-, Versorgungs-, Entsorgungs- und Kommunikationseinrichtungen. Die Strategie des Bauprogramms wird meist wie folgt angelegt:

- zentrale Ver- und Entsorgungssysteme werden abschnittsweise gemeinsam saniert ( z.B. Wasser, Abwasser, etc.), so dass einzelne Wohnungen nicht nacheinander mehrmals betreten und gestört werden müssen
- die Instandsetzung der Wohnungen erfolgt dann meist nacheinander und zimmerweise. In keiner Phase sollten die Wohnungen unbewohnbar werden.

Die verschiedenen Gewerke müssen pro Raum aufeinander abgestimmt sein. Für die Sanierung eines Bades ist eine einwandfreie Abstimmung zwischen Sanitärhandwerkern, Maurer, Fliesenleger und Maler notwendig. Folgende Grundsätze sollten für die Planung der Arbeiten beachtet werden, da die Mieter bzw. Eigentümer sich in diesen Wohnungen während der Instandsetzungsphase weiter aufhalten müssen:

- alle Einrichtungen in Küche und Bad sollten spätestens jeden Abend wieder funktionstüchtig sein, in besonderen Situationen sind Nottoiletten tagsüber einzurichten
- jeweils nur einen Raum in einer Wohnung sanieren, und somit die Wohnung bewohnbar halten
- den nächsten Raum sofort nach Fertigstellung des Vorherigen und Umstellen der Möbel beginnen
- einzelne Räume möglichst ohne zeitliche Unterbrechung fertigstellen (präzise Abstimmung der aufeinanderfolgenden Gewerke)
- Gesamtinstandsetzungszeit pro Wohnung möglichst kurz halten.

Diese Randbedingungen müssen bei der Ausschreibung unter dem Kriterium Funktionalanforderungen gestellt werden, andernfalls wird und muss der Bauunternehmer das

für ihn optimale betriebswirtschaftliche Bauprogramm umsetzen, mit möglichen unangenehmen Auswirkungen für die Benutzer.

Der Baustellenleiter sollte möglichst ein optimales Verhältnis zu den Bewohnern aufbauen. Dabei sind kleine Gesten oft sehr wirksam, wie z.B.: ein kleiner Blumenstrauß einige Tage vor Beginn der Arbeiten, nachdem die Arbeiten durch eine schriftliche Vorankündigung nochmals mündlich kurz erläutert werden.

Die Baustelle muss besonders hohen Sicherheitsanforderungen genügen, da die Bauabläufe im Lebensraum der Bewohner stattfinden. Diesen ist aber meist der Umgang mit Gefahren, die auf Baustellen auftreten unbekannt, und damit steigt auch das Unfallrisiko. Besonders muss auf die Gefahren für spielende Kinder hingewiesen werden, die die Baustelle gerne als Abenteuerspielplatz nutzen. Daher ist es notwendig die Bewohner auf diese Gefahren durch Handzettel und Schilder aufmerksam zu machen. Besonders abends ist die Baustelle so abzusichern, dass z.B. die Gerüste nicht einfach bestiegen werden können (Leitern hochziehen, etc.).

Die Anforderungen an den Ablauf der Arbeiten sind bei der Instandsetzung und dem Umbau von Bürobauten vergleichbar mit denen von Wohngebäuden. Auch hier müssen die Arbeiten etappenweise durchgeführt werden, so dass der Bürobetrieb aufrechterhalten werden kann. Hier sind besondere Massnahmen in Bezug auf den Staubschutz notwendig, um die Computeranlagen, etc. nicht zu beeinträchtigen.

Wichtig ist, dass die Räume, in denen die Bauarbeiten stattfinden, täglich besenrein und aufgeräumt verlassen werden. Bei Bohr- und Stemmarbeiten sollte möglichst der Staub sofort an der Entstehungsquelle abgesaugt werden.

## 2 Planung und Vorbereitungsmaßnahmen für Abbruch-, Veränderungs- und Instandsetzungsarbeiten

### 2.1 Vorbereitungsarbeiten

Vor der detaillierten Instandsetzungsplanung und Ausschreibung muss eine bauliche Zustandserfassung erfolgen. Diese Untersuchungen umfassen folgende für den Abriss oder Instandsetzung relevanten Aspekte (Bild 1):

- Schadensumfang und Schadensverteilung
- Art des geschädigten Bauteils
- Bauart und verwendete Baumaterialien
- Beanspruchung des Bauteils bzw. der Instandsetzungsstelle (atmosphärisch, mechanisch und chemisch durch den Betrieb)
- Konstruktionsart des Bauwerks
- Statische Gesichtspunkte
- Mögliche Kontaminierung des Gebäudes differenziert in:
  - Baustoffe die gesundheits- bzw. umweltschädliche Stoffe enthalten, die aber gebunden sind und für die Umwelt und/oder Mensch aber keine Beeinträchtigungen währendes Abrisses nach aussen verursachen
  - Stoffe die während des Abriss auf Mensch und Umwelt gesundheitsschädlich wirken
- Forderung nach Umweltverträglichkeit des Reperaturvorgangs( Staub- und Lärm-entwicklung, Gasbildung)
- Brandschutz bei Verwendung von Lösungsmittel und Brandschutz bei Abtrags- und Abbrucharbeiten in Verbindung mit Stromleitungen
- Erforderliche bzw. maximale Dicke von Instandsetzungsschichten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (Nutzen-Kosten Verhältnis)

Die Untersuchungen sollen bauliche und chemische Aspekte umfassen.

Die chemische Überprüfung beinhaltet die Überprüfung des Bauwerks auf gesundheitsgefährdende sowie brennbare Stoffe. Ferner muss auf unterirdische Tanks, Asbestverschalungen, mit Bleifarbe angestrichener Stahl, Rückstände aus Arbeitsprozessen (Färberei), PCB, kontaminierte Böden etc. geachtet werden. Diese müssen unter besonderen Sicherungs- und Schutzmassnahmen unter Beachtung der Umwelt- sowie der Arbeitssicherheitsanforderungen entfernt werden (Einhausung mit Schleusen, Arbeitsschutzkleidung und Atemschutz, Partikelmesseinrichtung, Spezialtransport).

Die Kenntnis der Baustruktur ist erforderlich, um möglichst günstige Arbeitsverfahren und -methoden festlegen zu können. Diese Arbeitsmethoden müssen die Folge, Abtrags-, Abrissabschnitte und -sequenzen enthalten, damit kein unkontrollierter Einsturz eintritt. Möglicherweise müssen in den einzelnen Phasen besondere temporäre Abstützmassnahmen geplant werden.



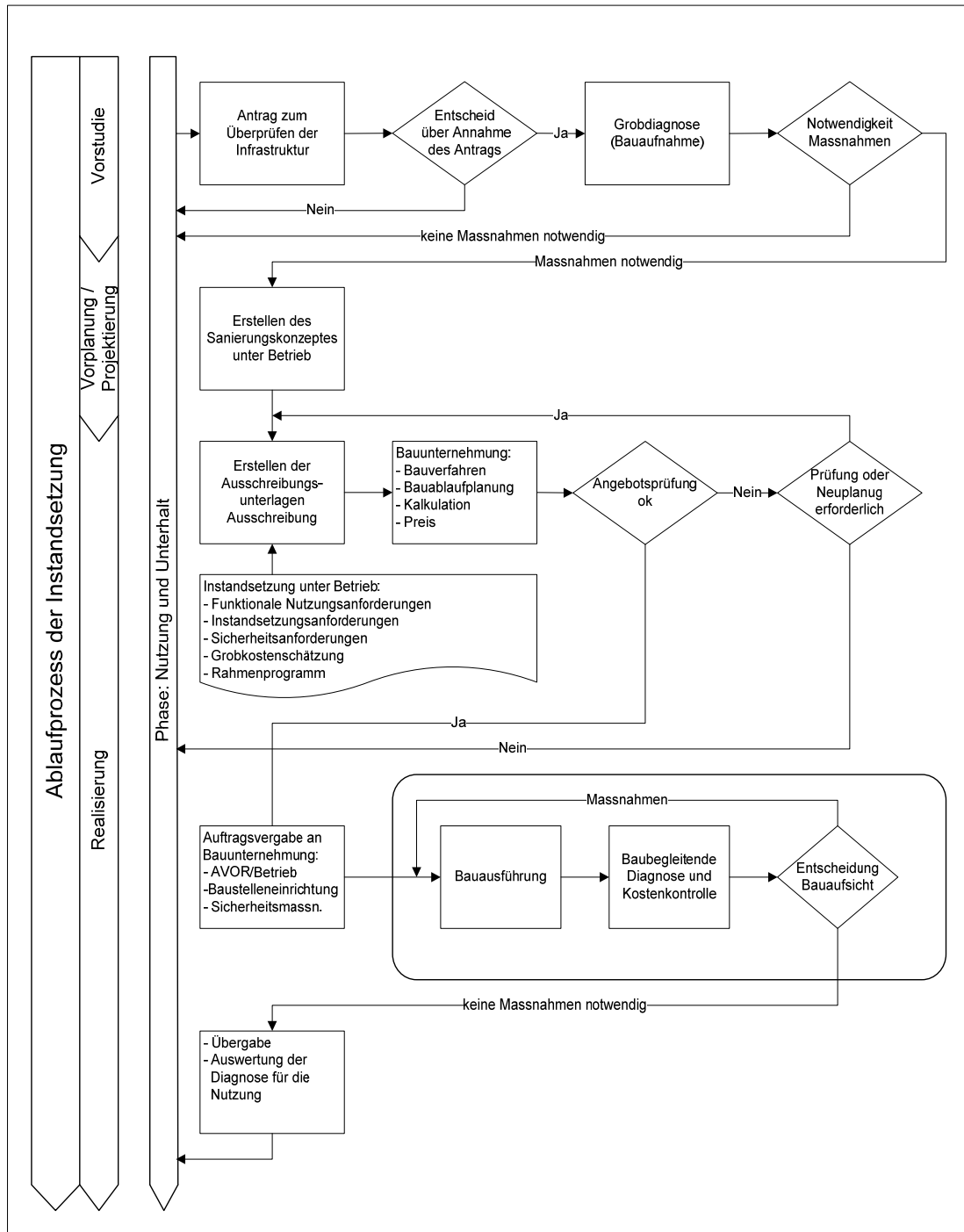


Bild 1: Ablauf der Instandsetzung

Die Bauart und Baustoffe vervollständigen die Angaben damit die angepassten Arbeitsverfahren, Geräte und Werkzeuge vom Unternehmer geplant werden können.

Die Angaben der Kontamination der Gebäudeteile ergeben die Grundlage für die Behandlung der Abbruchmaterialien sowie Anforderungen an mögliche Schutzmassnahmen während des Abbruchs. Kontaminierte Materialien und Bauteile die keine Emissionen während des Abbruchs verursachen müssen im Regelfall nur in einer Sonderdeponie abgelagert werden. Möglicherweise müssen bei solchen Bauteilen nur die

kontaminierten Oberflächen abgetragen werden und auf Sonderdeponien versorgt werden.

Bei Bauteilen und Baustoffen die während des Abtrags oder Abbruch kontaminierten Staub etc. freisetzen, müssen eingehaust werden, damit nicht die gesundheitsgefährlichen Partikel in der Umwelt und auf Menschen abgelagert werden.

Ferner dienen diese Angaben um die Entscheidungen zu treffen, welche Stoffe deponiert, recycelt oder wiederverwendet werden.

Die verschiedenen oberirdischen und unterirdischen Versorgungsleitungen (Elektro-, Gas-, Abwasser-, Wasserführung, etc.) zu dem Gebäude müssen identifiziert werden und deren Ausserbetriebsetzung sowie Abbau vorgängig geplant werden.

Der Zustand der benachbarten Gebäude muss zudem vorsichtig eingeschätzt werden. Dies kann Einschränkungen in Bezug auf die Arbeitsmethoden verursachen.

Der Auftraggeber und Bauherren sollte in einer Arbeits-/Leistungsbeschreibung den Umfang der Arbeiten beschreiben. Dazu ist es erforderlich folgende Angaben zu machen:

- Menge der jeweiligen der verschiedenen Abtrags- und Abbruchmaterialien
- Materialien ausreichend gemäss abtrags- bzw. abbruchtechnischen Kriterien beschreiben und klassifizieren
- Höhenangaben wo die einzelnen Materialien und Mengen anfallen – Auf Plänen eintragen
- Ehemalige Nutzung der Gebäude und Gebäudeteile angeben wegen möglichen Kontaminationen sowie die Angabe von Kontaminationen die Spezialmethoden oder Sonderdeponierung verlangen
- Ferner müssen Pläne beigefügt werden aus den die Platzverhältnisse um das Objekt dargestellt sind sowie die Nachbarbebauung.
- Die Auflagen die beim Abtrag und Instandsetzung zu berücksichtigen sind, sind ausreichend zu beschreiben, damit diese zur Verfahrensauswahl und zur Planung von Schutzmassnahmen herangezogen werden können
- Menge und Qualität der jeweiligen verschiedenen Abtrags-, Abbruch- und Instandsetzungsmaterialien

Die Ausschreibung sollte eine Ortsbegehung, für die sich bewerbenden Unternehmer zur Voraussetzung für die Angebotsabgabe machen.

Ferner sollte eine Präqualifikation bei grösseren Projekten oder Projekten mit schwierigen Randbedingungen zur Vorauswahl der anbietenden Unternehmen stattfinden.

Bei komplexen baulichen Anlagen, wie z.B. vorgespannte Brücken, Kamine, etc., ist der etappenweise Instandsetzung von einem Tragwerksplaner mit einem Instandsetzungsunternehmer zu untersuchen und die Ausführungsschritte festzulegen sowie mögliche Hilfsmassnahmen zu planen.

## 2.2 Ausschreibung der Abtrags- bzw. Abbrucharbeiten

Die Empfehlung [1] zur "Entsorgung von Bauabfällen" bei Abbruch-, Rückbau-, Neubau- und Umbauarbeiten beschreibt die bei Planung und Ausführung notwendigen Massnahmen für einen umweltgerechten Umgang mit den Bauabfällen und legt die

Grundsätze für die Trennung der einzelnen Materialgruppen und -fraktionen im Hinblick auf die Verwertung, Behandlung oder Ablagerung der Bauabfälle fest. Hingegen befasst sich diese Empfehlung ausdrücklich **nicht** mit der Aufbereitung oder Ablagerung der Abfälle sowie Fragen der Entwässerung von Baustellen.

Die Ausschreibungen sollen dazu führen, dass ein **umweltgerechte Abtrag und Entsorgung** erreicht werden kann. Die Ausschreibung sollte daher für den Umgang mit dem Abtragsmaterial sowie Abbruchmaterial folgende Ansätze beachten:

- Es sollte eine **detaillierter Objektbeschreibung** erstellt werden.
- Der offerierende Unternehmer hat **die Pflicht das Objekt** zu begehnen: Unternehmer, die ein Angebot einreichen, haben an der Begehung teilzunehmen."
- Abtrags- und Abbrucharbeiten sind so zu planen und zu beschreiben, dass sie im Sinn eines geordneten Rückbaus ablaufen und Materialgruppen und -fraktionen möglichst sortenrein getrennt werden können. Die Bauabfälle sollten **in folgende Materialgruppen** getrennt werden:
  - Aushub
  - Bauschutt
  - Bausperrgut
  - Sonderabfälle

Nach der Möglichkeit der Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten sind die Materialgruppen in Bauschutt und Bausperrgut nach Fraktionen getrennt zu erfassen.

- Bauschutt:
  - Ausbauasphalt
  - Strassenaufbruch
  - Betonabbruch
  - Mischabbruch
- Bausperrgut:
  - Brennbares für Verbrennungsanlage
  - Holz
  - Metalle
  - Kunststoffe
  - Mineralische Fraktion
  - Kompostierbare Abfälle
  - Gemischte Materialien

Die Aufzählung der Fraktionen ist nicht abschliessend. Je nach Verwertungsmöglichkeiten ist es zweckmässig, weitere Fraktionen separat zu erfassen. Ziel der Auftrennung sind möglichst **sortenreine** Fraktionen, welche bessere Voraussetzungen für die Wiederverwertung bieten. Die getrennt erfassten Materialgruppen und Fraktionen sind der Verwertung, der Verbrennung oder der dafür vorgesehenen Deponie zuzuführen.

- Sonderabfälle sind separat zu entsorgen. Sonderabfälle (z.B. Asbest) sind vor Beginn der Abtrags- und Instandsetzungsarbeiten unter besonderen Schutzmassnahmen zu entfernen und zu entsorgen. Massnahmen zur Untersuchung und Beseitigung von kontaminierten Bauteilen oder Sonderabfällen sollten separat vergütet werden.

- Die unterschiedlich zu entsorgenden Abtrags- und Abbruchmaterialien sollten in differenzierten Leistungspositionen erfasst werden, die die unterschiedlichen Entsorgungsgebühren reflektieren.
- Die ungefähren Mengen der jeweiligen der verschiedenen Abtrags- und Abbruchmaterialien sollten vorher durch einen unabhängigen Ingenieur des Bauherrn ermittelt werden.

Die kontrollierte Entsorgung sollte in der Ausschreibung durch den Bauherrn sichergestellt werden. Dadurch können keine Abfälle, resp. Bauschutt in irgendwelchen **"wilden" Deponien** verschwinden.

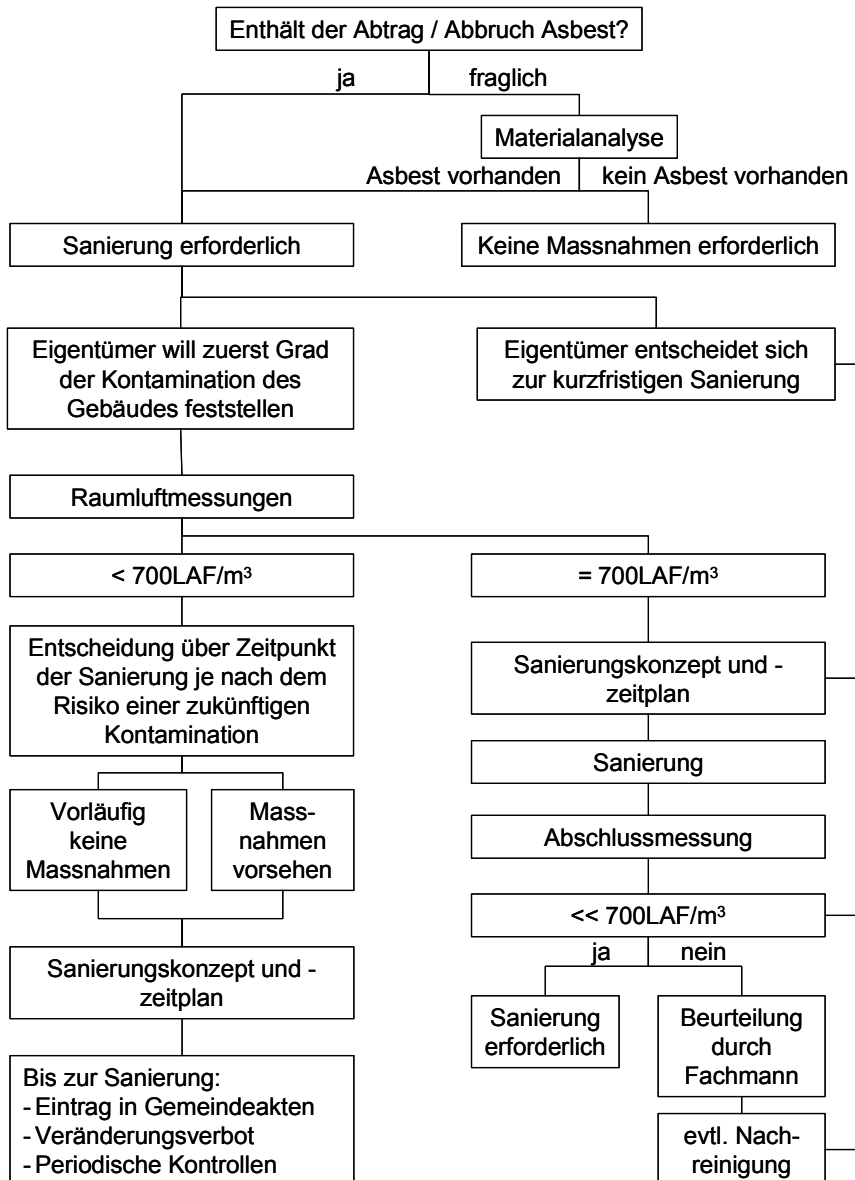


Bild 2: Vorgehensweise bei Asbestkontamination oder Asbestbaustoffen

Mit Hilfe von normierten Ausschreibungstexten kann der umweltgerechten Entsorgungssituation Rechnung getragen werden.

Die Angebote der Abbruch- und Instandsetzungsunternehmer beruhen nun auf den gleichen Voraussetzungen und können daher auch korrekt miteinander verglichen werden. Es bleibt aber dem guten Unternehmer immer noch ein grosser Freiraum für

ihre qualifizierten Abtrags- und Abbruchideen für den Rückbau im gesetzlichen Rahmen.

Der "geordnete" Abtrag, Abbruch bzw. Rückbau kann sich auch **finanziell** lohnen, wenn die Entsorgungsinfrastruktur und Gebührenordnung wirtschaftliche Anreize setzen, eine Fraktionierung der Abtrags- und Abbruchmaterialien vorzunehmen gegenüber der unkontrollierten Vermischung der Materialien. Die verantwortlichen Behörden, Bauherren und Planer sollten die erforderliche Installationsplätze, Zufahrten etc. zur Verfügung stellen um diesen geordneten Prozess in der Baupraxis umzusetzen und ein wirtschaftliches Recycling der Baustoffe zu ermöglichen um eine nachhaltige Bewirtschaftung der Rohstoffe zu sichern.

### 2.2.1 Abtrag- bzw. Abbruchplan

Aufbauend auf den Voruntersuchungen und Vorplanungen muss ein Abtrags- bzw. ein Abrissplan erstellt werden, dieser enthält:

- Abtrags- und/oder Abbruchabschnitte
- Hilfsabstützungs- und Sicherungsmassnahmen während den einzelnen Phasen der Arbeiten
- Schutzmassnahmen zur Verhinderung von Kontaminationen der Umwelt sowie Einsatz von Schutzkleidungen
- Sicherungsmassnahmen wie Schutzdächer und Absperrungen zum Schutz von Dritten, wie z.B. Nachbarn, Fussgänger etc.

Der konventionelle und mechanische Abbruch von Gebäuden oder Bauwerken erfolgt normalerweise in der umgekehrten Reihenfolge ihrer Errichtung. Dabei durchläuft das Gebäude während des Rückbaus die gleichen Bauzustände wie bei der Erstellung.

In den meisten Fällen wird man eine Methode anwenden, bei der die Höhe der Gebäude einheitlich verringert wird, oder das Gebäude oder die baulichen Anlagen kontrolliert einstürzt.

Bei der Reihenfolge der Abbrucharbeiten ist darauf zu achten, dass es zu keinem unkontrollierten Kollaps kommt, der die Abbruchmannschaft sowie die Sicherheit Dritter (Verkehrsteilnehmer, Fussgänger, Nachbarn, etc.) und angrenzende Gebäude nicht beeinträchtigt. Die Abbruchuntersuchung, resp. die Analyse des Abbruchs, soll entsprechende Sicherheits-Randbedingungen formulieren.

Die Abbrucharbeiten erfolgen meist so, dass zunächst mittels Handarbeit die Demontage von Einbauten, Installationen, Ausbauteilen wie Fenster, Türen, etc. erfolgt. Dann beginnt man mit dem Dach und setzt den Abbruch stockwerksweise fort von oben nach unten.

Nach Möglichkeit sollen Arbeitsverfahren gewählt werden, bei denen Personen nicht auf dem Bauwerk selbst arbeiten.

Keine Zugänge und Abgänge zu den abzubrechenden Gebäuden. Die Arbeit muss von gesicherten Standorten aus ausgeführt werden.

Ferner muss genügender Sicherheitsabstand zu den arbeitenden Geräten eingehalten werden.

Die Vorbereitung eines Gebäudes oder Bauwerkteils zur Einsturzsprennung sollte zur Vermeidung eines vorzeitigen Einsturzes durch Personen überwacht werden, die mit den Auswirkungen dieser Arbeiten vertraut sind.

Sicheres Arbeiten ist nur mit einem sorgfältig erarbeiteten Arbeitsplan möglich, vor Beginn müssen die Probleme bekannt sein und die angepassten Lösungen umgesetzt werden.

Die Abbruchmethode muss ausreichend beschrieben und wenn erforderlich in den einzelnen Phasen zeichnerisch in Plänen dargestellt werden (wie bei der Erstellung der Bauphasenplan) und soll mindestens folgende Punkte umfassen:

- Schutz der Öffentlichkeit durch Bauzaun und Umleitung der Gehwege, Abspernung der Zugänge etc.
- Demontage sowie Sicherung und Schutz der Elektro-, Gas, Wasser- und Abwasserleitungen
- temporäre Versorgung der Abbruchstelle mit Energie, Beleuchtung, Staubbekämpfung etc.
- Ablauf und Reihenfolge der Abbrucharbeiten auf Plan darstellen
- Abbruchmethoden auf Plan festhalten mit Art und Standort der Abbruchmaschinen in den einzelnen Phasen sowie Einsturzeinflussflächen und Schuttkegelausbreitung
- Sortiermöglichkeiten auf dem Abrissgrundstück oder auf der Unternehmersortieranlage
- Zu- und Abfahrt des Materials regeln
- Sortier-, Recycling- und Deponiermassnahmen regeln
- Massnahmenplan zum Umgang mit gefährlichen Stoffen (Öl, Glas, Asbest etc.)
- Deponie für Bauschutt und Recycling-Möglichkeiten aufzeigen oder vorgeben
- Vorgehen bei Änderungen im Konzept und in den Abbruchmethoden.

### **2.2.2 Baubetriebliche Randbedingungen**

Für einen geordneten Rückbau und für den Abbruchunternehmer ergeben sich folgende Randbedingungen:

- Die baubetrieblichen Möglichkeiten für einen geordneten Rückbau mit teilweiser Demontage und Stoffsortierung sind überwiegend von den örtlichen und zeitlichen Randbedingungen des Abbruchs abhängig.
- Vor allem innerstädtische Abbruchmassnahmen ganzer Gebäude (Totalabbruch) stehen oft - neben beengten Raumverhältnissen - unter erheblichem Zeitdruck, da der Abbruch möglichst den Strassenverkehr und die Funktion von Nachbargebäuden nicht oder nur so kurz wie möglich beeinträchtigen darf. Dieser Zeitdruck verhindert unter anderem oft eine sorgfältige Zerlegung und Sortierung auf der Baustelle.
- Die beengten Raumverhältnisse bei Abbrüchen in der Stadt machen eine Materialsortierung auf der Abbruchstelle oft unmöglich. Bei entsprechend hohen Gebühren für unsortierten Bauschutt behelfen sich die Unternehmer mit einer groben Vorsortierung auf eigenem Gelände.
- Unternehmer mit entsprechender maschineller Ausrüstung, wie z.B. Brechzangen, Brechbügel, Hydraulikscheren, etc. wird das Bauwerk in kleinere Teile für den rationellen Transport zerkleinert und in einer Brecheranlage durch Nachzerkleinerung ausserhalb der Stadt zerlegt.
- Spezielle Problemfälle erfordern qualifizierte Ingenieurleistungen (z.B. Abbruchstatik bei Brückenabbrüchen, Kaminrückbau ohne Sprengung).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass für die Durchführung eines geordneten Rückbaus oder Abbruchs mit Demontagestufen und Stoffsortierung bei Gewährleistung einer hohen Arbeitssicherheit **qualifiziertes Personal- und Geräteausstattung** nötig sind.

Die ausführenden Firmen werden im Regelfall Besitzerin und Verursacherin der Überreste der Abbruchmaterialien, wie z.B. Beton-, Mauer- und Teppichreste, etc. Die Abbruch- bzw. Instandsetzungsunternehmen übernehmen meist, als einen wesentlichen Teil ihres Auftrages, die dem Bauherrn gehörenden Abfälle und führen sie einer gesetzes- und vertragskonformen Entsorgung zu.

Es ist ratsam für solche Massnahmen einen **Integralen Sicherheitsplan** oder einen **SIGE-Plan** für die Sicherheit der am Bau tätigen sowie der Öffentlichkeit mit den notwendigen Schutzmassnahmen aufzustellen.

## 2.3 Ausschreibung der Instandsetzungsarbeiten

Erfahrungsgemäss sind es vor allem folgende Punkte, die den Preisvergleich beim Fehlen einer eigenen Ausschreibung schwierig gestalten [2]:

- Es fehlt eine einheitliche, für alle Bieter verbindliche Massenermittlung.
- Der Schadensumfang wird von einzelnen Bietern unterschiedlich eingeschätzt.
- Teilleistungen des Instandsetzungsvorgangs werden zu unterschiedlich abgegrenzten Positionen zusammengefasst.
- Für die Abrechnung bestimmter Teilleistungen werden unterschiedliche Bezugsgrössen (z.B. Quadratmeter bei Bieter A und Tagelohnstunden bei Bieter B) gewählt.

Aber noch zwei weitere Faktoren - obwohl eher grundsätzlicher Art - tragen zur Verunsicherung des Bauherrn bei:

- Das wahre Schadensausmass offenbart sich zwangsläufig erst im Verlauf der bereits begonnenen Instandsetzungsarbeiten. Damit ist stets das Risiko von Nachforderungen auf die ursprüngliche Angebotssumme verbunden.
- Dem Bauherrn fehlt in der Regel jede direkte Möglichkeit zur qualitativen Beurteilung der vom Bieter vorgeschlagenen Produkte.

Will man den hier genannten Schwierigkeiten wirksam begegnen, so muss vordringlich versucht werden, die technischen und finanziellen Bedingungen, unter denen eine notwendige Instandsetzungsmassnahme durchgeführt wird, für alle Beteiligten möglichst überschaubar und damit kontrollierbar zu machen. Zwar liegt es in der Natur der Sache, dass nicht alle Risiken auszuschalten sind. Sie lassen sich jedoch begrenzen, wenn der Auftraggeber folgende Hinweise beachtet:

### 2.3.1 Diagnose

Schadensdiagnose nicht allein den bietenden Ausführungsfirmen, sondern bei grösseren Objekten nach Möglichkeit einem unabhängigen Fachmann (Ingenieurbüro, Sachverständiger) übertragen.

### 2.3.2 Massenermittlung

Genauere Ermittlung aller für eine spätere Ausschreibung massgeblichen Bezugsflächen. Das sind im Einzelnen:

- *Gerüstfläche*, d.h. alle Flächen, die zur Durchführung der Instandsetzung eingerüstet werden müssen
- *Betonfläche*, d.h. alle Flächen eines Gebäudes, die auf Betonschäden untersucht, gereinigt und nach beendeter Instandsetzung mit einem Anstrich versehen werden müssen
- *Instandsetzungsfläche*, d.h. alle akut geschädigten Betonflächen, an denen Stemm-, Entrostungs- und Ausbesserungsarbeiten durchgeführt werden müssen

Eine genaue Ermittlung der Flächen unter c) ist ohne Gerüst schwierig. Für die Kostenschätzung im Vorfeld der Auftragsvergabe reicht es jedoch aus, zunächst von einem möglichst realistischen, für alle Bieter verbindlichen Überschlagswert auszugehen, der im Zuge der Ausführung nach oben oder unten korrigiert und nach Aufmass abgerechnet wird.

### **2.3.3 Leistungsverzeichnis**

Erstellung eines für den Angebotsvergleich massgebenden Leistungsverzeichnisses auf der Basis der zuvor durchgeführten Massenermittlung, mit ausreichenden Wahlpositionen für besondere Zusatzleistungen. Eine Leistungsbeschreibung sollte im Regelfall Bestandteil der diagnostischen Fachberatung sein.

### **2.3.4 Bieterkreis**

Um die fachliche Eignung des Bieterkreises sicherzustellen, sollten in der Regel nur Firmen zur Angebotsabgabe aufgefordert werden, welche die Mitgliedschaft in einer fremdüberwachten Gütegemeinschaft nachweisen können. Zuverlässige Verarbeiter können auch bei den Materialherstellern erfragt werden, jedoch ist in solchen Fällen in der Regel mit einer entsprechenden Produktbindung des Anbieters zu rechnen.

### **2.3.5 Produktbeschreibung**

Aufforderung an den Bieter, für vorgeschlagene Bindemittel, Mörtel und Anstrichstoffe nicht nur die marktüblichen Handelsnamen anzugeben, sondern auch deren Materialgrundlage zu benennen. Wünschenswert sind ergänzende Informationen in Form von technischen Merkblättern und Prüfzeugnissen.

### **2.3.6 Materialbedarf**

Aufforderung an den Bieter zur Angabe flächenbezogener Verbrauchsmengen für Grundierungsmittel und Beschichtungen sowie zur Angabe von mittleren Schichtdicken diffusionsbehindernder Anstriche. Gegebenenfalls sind hierzu Vorversuche an Musterflächen des Bauwerks zu vereinbaren.

### **2.3.7 Abrechnungsmodus**

Auftragsvergabe nach Pauschalsummen oder auf Nachweis im Tagelohn vermeiden. Verrechnung der meisten Teilleistungen ist auf Quadratmeterbasis möglich und auch gut nachprüfbar, wenn die Bezugsflächen vorher eindeutig definiert worden sind (siehe Punkt "Massenermittlung").

Leistungen im engeren Schadensbereich, deren genauer Umfang nicht von vornherein feststeht (wie Freistemmen, Entrosten, Korrosionsschutz, Flickspachtelung), sollten in zwei, höchstens drei Positionen getrennt von den übrigen Arbeiten erfasst werden, um



das Risiko von Massenänderungen für den Bauherrn so eng wie möglich einzugrenzen.

Für die Abrechnung solcher Teilleistungen (also: Wiederherstellung des Korrosionsschutzes angerosteter Bewehrung und anschliessende Reprofilierung der ausgestemmen Instandsetzungskrater) gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Abrechnung nach Quadratmetern
- In der Praxis schwierig durchführbar, weil Instandsetzungsverlauf weitgehend der Bewehrung folgt und keine für ein Flächenaufmass günstigen Umrisse bietet. Einfacher - wenn auch ungenauer - ist es, den Anteil geschädigter Betonflächen in einem prozentualen Verhältnis zur gesamten Betonfläche auszudrücken (aufgrund einer gemeinsamen Schätzung durch Bauherrn und Auftragnehmer nach Freilegung sämtlicher Schadstellen) und diesen Schätzwert zur Abrechnungsgrundlage zu machen. In beiden Fällen ist es jedoch ratsam, vergütungsabhängige Grenzwerte für die Tiefe des Betonausbruchs festzulegen (z.B. Einheitspreis A bis max. 2 cm, erhöhter Einheitspreis B bis max. 4 cm Tiefe).
- Abrechnung nach der Anzahl der Instandsetzungsstellen
- Dieses Verfahren bietet sich an bei einer grösseren Zahl gleichartiger Einzelschäden, nicht jedoch bei flächigen Mängeln. Der Begriff der " Instandsetzungsstelle" bedarf jedoch einer genauen definitorischen Abgrenzung nach maximaler Fläche (z.B. 0,1 m<sup>2</sup>) und Ausbruchtiefe. Im Angebot geht man zunächst von einer geschätzten Stückzahl aus, die Abrechnung erfolgt dann aufgrund einer Zählung.
- Abrechnung nach laufenden Metern freigelegter Bewehrungsstablänge
- Diese Methode ermöglicht die genaueste Erfassung des geleisteten Arbeits- und Materialaufwands, da sämtliche Arbeitsgänge im Bereich einer Instandsetzungsstelle (vom Entrostern bis zur Reprofilierung) dem Verlauf der Bewehrungsstäbe folgen. Das Aufmass für die betreffenden Teilpositionen wird am besten im Zuge einer Zwischenabnahme nach dem Konservieren der entrosteten Bewehrungsabschnitte vorgenommen. Dieses Vorgehen erfordert zwar einigen Zeitaufwand, ist aber klar in der Handhabung und bietet beiden Vertragspartnern ein Höchstmass an Genauigkeit.
- Abrechnung auf Nachweis der verbrauchten Materialmengen
- Weniger zu empfehlen, da hiermit zwar die Grösse der Mörtelplomben, nicht aber die unter Umständen sehr arbeitsintensive Entrostung der Bewehrung erfasst werden kann. Zudem sind Verbrauchskontrollen anhand der entleerten Materialgebände für den Bauherrn nahezu undurchführbar, da sie seine ständige Anwesenheit auf der Baustelle voraussetzen würden.

### **2.3.8 Einschränkungen des Leistungsumfangs**

Genau Prüfung, ob in Vorbemerkungen oder Nachsätzen zum Angebot von Seiten des Bieters Vorbehalte hinsichtlich des Leistungsumfangs gemacht werden. Typische Angebotslücken:

- Mehrwertsteuer wird nicht ausgeworfen (wichtig für private Auftraggeber)
- Gerüst muss "bauseitig" (d.h. vom Auftraggeber) gestellt werden
- Schutzmassnahmen (Planen, Fensterabdeckungen usw.) für Strahl- oder Spritzbetonarbeiten fehlen.

- Kosten für Baustrom und Wasser, die Abfuhr von Schutt und Strahlgut oder die Wiederherstellung zerstörter gärtnerischer Anlagen sind nicht eindeutig zugeordnet.

### **2.3.9 Gewährleistung**

Für nachprüfbar Bauleistungen ist eine Gewährleistungsfrist von zwei Jahren üblich. Da Instandsetzungsarbeiten aus den geschilderten Gründen schwierig zu beurteilen und zu überprüfen sind, ist hier die Vereinbarung einer auf fünf Jahre verlängerten Gewährleistungsfrist zu empfehlen, wie sie beispielsweise die ZTV-SIB 90 [3] vorsieht.

Nicht weniger wichtig als die Dauer der Gewährleistung ist ihr Umfang. Hierbei muss klar unterschieden werden zwischen der Haftung des Materialherstellers für die zugesicherten Güteeigenschaften seiner Produkte und der Haftung des Verarbeiters für die Wirksamkeit der angebotenen Instandsetzungsleistung. Zu klären ist ausserdem, ob die Nachbesserung von Schadensstellen, die vom Bieter bei der Untersuchung der Bauwerksflächen vor Beginn der Ausbesserungsarbeiten übersehen wurden, von einer gegebenen Garantiezusage abgedeckt wird.

### **2.3.10 Referenzen**

In Anbetracht der hohen Bedeutung, die der Verarbeitungssorgfalt bei Stahlbetoninstandsetzung zukommt, sind Referenzobjekte ein besonders wichtiges Mittel zur Beurteilung der fachlichen Fähigkeiten eines Bieters.

Der Bauherr sollte sich keinesfalls mit dem Schreibtischstudium überreichter Referenzlisten begnügen, sondern einige der benannten Bauten unbedingt auch persönlich besichtigen. Ausgewählte Musterobjekte sollten möglichst weitgehende Vergleiche mit dem zur Vergabe anstehenden Fall zulassen (z.B. Schadensbild, Arbeitsverfahren, Materialien).

Die Bewährung eines Instandsetzungssystems lässt sich am besten an Bauten beurteilen, deren Wiederherstellung bereits einige Jahre zurückliegt. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass für einige der heute eingesetzten Mörtel oder Beschichtungsstoffe noch gar keine baupraktischen Langzeiterfahrungen vorliegen können, da die Produktentwicklung auf diesem Sektor schnell fortschreitet.

## **3 Vorbereitung und Logistik einer Instandsetzungsbaustelle**

### **3.1 Arbeitsvorbereitung**

#### **3.1.1 Aufgaben der Arbeitsvorbereitung**

Der Bauprozess der Instandsetzung stellt einen komplexen, interdisziplinären Ablauf von sequentiellen und parallelen Teilprozessen dar, der mit dem Betrieb und der Nutzung der baulichen Anlage eng verknüpft sind. Die Teilprozesse sind wiederum von verschiedenen Beteiligten abhängig. Ferner ist diese Teilprozesse abhängig von Vor- und Nachlaufenden Arbeitsprozessen und müssen daher nahtlos miteinander verknüpft werden. Dies ist erforderlich zur Sicherstellung der wirtschaftlich effizienten Instandsetzungsabwicklung durch den Unternehmer. Diese Kunst der interaktiven Instandsetzungsplanung unter Beachtung der spezifischen Anforderungen des Nutzers während des Betriebs, kennzeichnet den Unternehmer, der wettbewerbsunterscheidende Kernkompetenzen zu seinen Mitkonkurrenten ausgeprägt hat. Die besonderen Fähigkeiten eines solchen Instandsetzungsunternehmens bestehen darin, dass sie die Nutzung- und Betriebsabläufe des Kunden zielorientiert hinterfragen und verstehen können und diese dann gezielt in die Bauprozessplanung der Instandsetzung integrieren können. Dabei ist es erforderlich die wirtschaftlichste optimierte Lösung zu finden. Diese sollte eine Gesamtbetrachtung in der Phase der Instand- und Umbauarbeiten beinhalten, die Instandsetzungs- und erhöhter Nutzungskosten bzw. reduzierte Produktionsausstoss bzw. Verkaufsumsatz umfasst. Die eingesetzten Ressourcen müssen unter diesen Randbedingungen optimal eingesetzt werden, die Kriterien sind (Bild 3):

- Keine Warte- oder Fehlzeiten für das eingesetzte Personal
- Keine Warte- oder Stillstandszeiten für Geräte
- Just in time delivery – möglichst kein Zwischenlagern mit mehrmaligem Umsetzen von Materialien

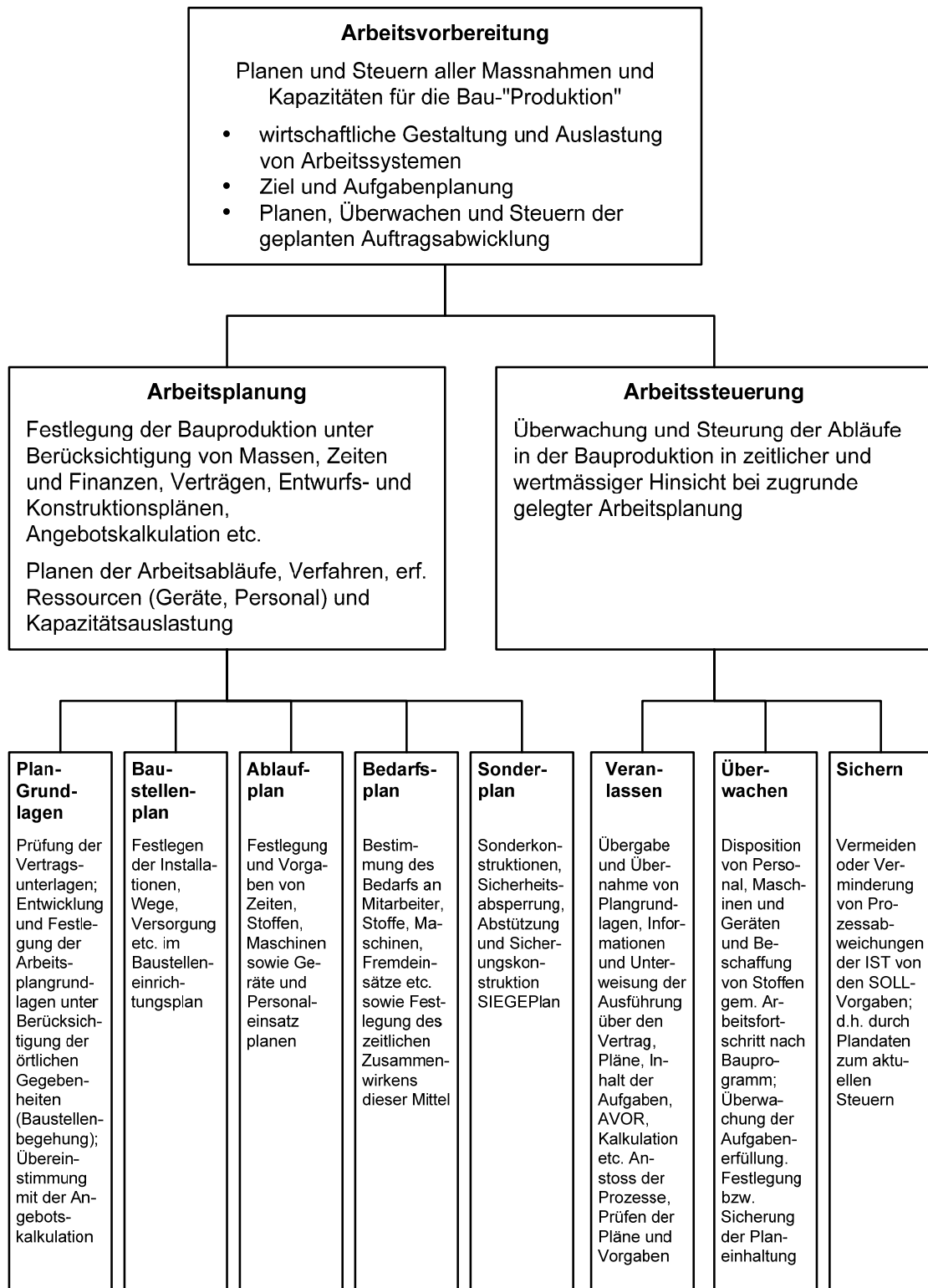


Bild 3: Aufgabenstellung der AVOR / AV für Instandsetzungsbaustellen unter Betrieb

So ist die einfache Instandsetzung eines Bades abhängig vom:

- Planer - Bereitstellung der genehmigten Ausführungspläne
- Bauunternehmer - Abriss der alten Wandplatten und Herstellung Rohrkanälen
- Elektriker
- Installateur
- Lieferanten - Anlieferung der neuen Platten, Sanitärobjekte, Rohre, Elektroleitungen, Fittings, etc.

Um diese interdisziplinär abhängige Produktion wirtschaftlich effizient zu gestalten, ist die Arbeitsvorbereitung(AV/AVOR) Grundvoraussetzung für den reibungslosen Erfolg einer Umbau- bzw. Instandsetzungsbaustelle.

Daher sollten Unternehmen mit solch hohem Know-how und Kernkompetenzen möglichst frühzeitig in den Bauprozess, in Kooperation mit einem Instandsetzungsplaner eintreten. Nur so wird gewährleistet, dass ein Interesse und ein Anreizsystem geschaffen wird, das Know-how des Unternehmers in einen solch komplexen Prozess frühzeitig einzubinden. Dies bedeutet aber, dass man über die standardisierten Projektabwicklungsformen, die bei Neubauten erfolgreich eingesetzt werden, bei der Ausschreibung und Vergabe von Instandsetzungsarbeiten unter Betrieb nachdenken muss, ob diese die geeignetsten Formen darstellen.

Erst durch das Planen der Instandsetzungsarbeiten und -arbeitsabläufen in Verbindung mit den Betriebsabläufen der Nutzung lernt man das Projekt kennen. Dadurch kann man die angemessenen Bauprozesse und Baumethoden festlegen, Personalbedarf, Maschinen, zeit- und mengenmässig die erforderlichen Hilfs- und Baumaterialien bestellen und den Arbeitsablauf termin- und kostenorientiert durchführen. Erst durch die Kenntnis des Stunden-Durchführungs-Soll lassen sich die Kosten ermitteln und das Controlling durchführen. Durch die Erstellung der notwendigen Arbeitsablaufplanung werden folgende Vorteile erzielt:

- Die Instandsetzungsaufgabe kann mit dem Kunden in Bezug auf den Betrieb optimal koordiniert werden
- Die Bauaufgabe wird für die Bauleiter und Poliere, etc. transparent und lernen das Projekt kennen sowie den wöchentlichen bzw. monatlichen Leistungsumfang
- Rechtzeitige Dispositionen in Bezug auf Personal- und Gerätebereitstellung sowie Subunternehmer- und Lieferantenbeauftragung
- Abschlag- und Abschlussrechnungen können zeitnah erstellt werden mit allen wirtschaftlichen Vorteilen.
- Zur Durchführung der Arbeitsvorbereitung werden folgende Aufgaben verteilt:
- Arbeitsablaufplanung durch die verantwortlichen Bau (Prozess)-Leiter
- Steuerung der Prozesse nach dem Arbeitsablaufplan durch die Baustellenverantwortlichen, z.B. Poliere u.ä.

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

Die wesentlichen Aspekte, Besonderheiten und Randbedingungen für die verschiedenen Kategorien von Instandsetzungsarbeiten wurden bereits diskutiert. Diese müssen

bei der Arbeitsvorbereitung besonders berücksichtigen werden. Der terminliche Druck, bedingt durch die Aufrechterhaltung der Nutzung, unter der solche Arbeiten ablaufen müssen, ist extrem hoch. Die Arbeitsvorbereitung hat bei Instandsetzungs- und Umbauprojekten zwei sich oft widersprechende Ziele zu erfüllen:

- möglichst geringe Störung der Benutzer unter Aufrechterhaltung der Nutzung (Produktion, Wohnen, Verkehr, etc.)
- optimale baubetriebliche Abwicklung (Ressourcen, minimale Kosten).

Diese Ziele beinhalten meist widerstreitende ökonomische Interessen zwischen Benutzern und der Bauunternehmung.

Da in der Ausschreibung die bindend einzuhaltenden funktionalen Randbedingungen zur Aufrechterhaltung der Nutzung vorgegeben sein sollten, müssen diese bei der Planung des Bauprogramms sorgfältig berücksichtigt werden. Das Bauprogramm wird durch die möglichen betriebsbedingten Leistungserschwernisse, Unterbrechungen etc. stark beeinflusst. Diese sind besonders in der Angebotskalkulation zu berücksichtigen, da sie den Preis der Bauleistung wesentlich beeinflussen können. Die Arbeitsvorbereitung gliedert sich auch hier in drei Phasen [4]:

- Angebots- und Verhandlungsphase
- Ausführungsvorbereitungsphase
- Ausführungsphase.

### 3.1.2 Arbeitsvorbereitung in der Angebotsphase

Schon in der **Angebotsphase** [4] müssen im Rahmen der Arbeitsvorbereitung die wichtigen Rahmenbedingungen aus der Aufrechterhaltung der Nutzung in Taktstudien ausreichend untersucht werden, um:

- die terminlichen Auswirkungen
- Ressourcenstärke
- Leistungen unter Berücksichtigung von täglichen Aufräum- und Säuberungsarbeiten
- Überprüfung von Zeitkorridoren zur Ausführung bestimmter Arbeiten
- zeitlichen Aufwand zur Erstellung und zum Umsetzen von Staubwänden, etc.
- zu bestimmen.
- Durch solche Studien kann man den zeitlichen Aufwand, die benötigten Ressourcen und damit die Kosten ermitteln. Ferner bietet eine solche Untersuchung die Möglichkeit, mögliche Schwachstellen in der Ausschreibung aufzudecken. Daraus ergeben sich folgende Strategien:
  - die Nachtragsstrategie bereits in der Angebotsphase zu berücksichtigen
  - die Formulierung von Vorbehalten für die Angebotsabgabe vorzubereiten.

Man sollte keine Offerte ohne Vorbehalt akzeptieren, die aufgrund der Unfähigkeit des Architekten oder Ingenieurs nur globale Formulierungen hinsichtlich der Aufrechterhaltung der Nutzung enthält, wie z.B. 'Der Betriebs- bzw. der Geschäftsablauf muss jederzeit ungestört erfolgen können'. Ein gutes Gegenmittel von Seiten der Bauunternehmung ist eine kurze Beschreibung unter welchen Annahmen die Preise ermittelt wurden. Diese indirekten Vorbehalte müssen so abgefasst werden, dass im Fall von permanenten erhöhten Anforderungen an die Abwicklung der Arbeiten von Seiten des Auftraggebers unter extremer Berücksichtigung der Geschäftsinteressen des Benutzers

Nachtragsforderungen für die klar dokumentierten höheren Aufwendungen gestellt werden können.

Die Aufgaben in der Angebotsphase können wie folgt beschrieben werden:

Angebotsphase (Bild 4):

- Angebotsdatenblatt-Übersicht erstellen - Art des Projektes, Art der auszuführenden Hauptarbeiten, voraussichtliches Projektvolumen, Budgetpreis, Ansprechpartner und Kontakte und Organisationsinformationen zum Bauherrn, Bauleitung, etc.
- Prüfung der Vertragsunterlagen - Baugenehmigung, Zusatzbedingungen, Zahlungsplan und -bedingungen, Auswertung der Vorbemerkungen, Lohnleitklausel, Fertigstellungstermin, Vertragsstrafen, Abrechnungsmodalitäten, Gutachten, Beweissicherungsverfahren, Bauwesenversicherung, Anforderungen an die Aufrechterhaltung des Betriebs bzw. des Verkehrs, Umwelanforderungen, Arbeitszeiten, Baustellensicherung, Zusammenstellung der Risiken und Chancen u.a.

Baustellenbegehung bei Angebotserstellung und nach Auftragseingang - Beteiligte, anzumietende Flächen, Lageverhältnisse für die Baustelleneinrichtung, zu schützender Bestand (Bäume, Bürgersteige, etc.), Anschlussmöglichkeiten für Ver- und Entsorgung, Besonderheiten, etc.

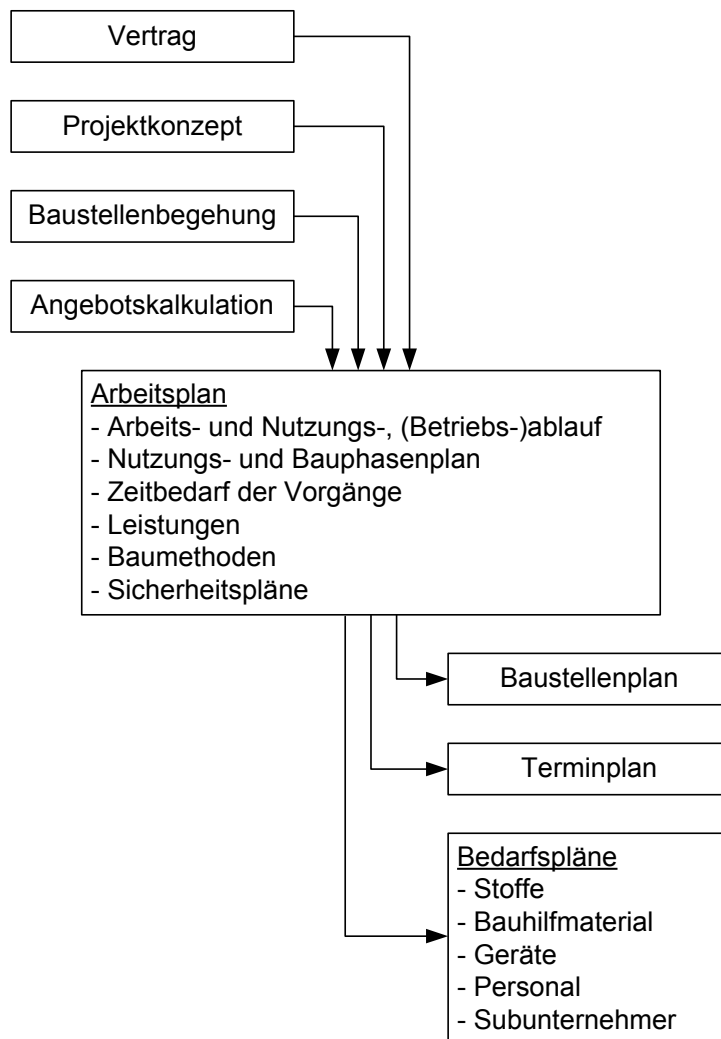


Bild 4: Arbeitsvorbereitungsprozess in der Angebotsphase

Auf dieser Grundlage erfolgt die Angebotskalkulation [5] und die Ausarbeitung des Angebots [4].

### 3.1.3 Arbeitsvorbereitung nach der Auftragsvergabe

Nach **Auftragsvergabe** [4] sollte ein ausreichender Zeitraum vorgegeben werden bis zu Beginn der Baustelleneinrichtung und zum Start der Bauarbeiten. Diese ist unbedingt notwendig um eine gute, effiziente und **detaillierte Auftrags-Arbeitsvorbereitung** durchzuführen. Dazu sind je nach Grösse des Projektes 3 Wochen bis zu 3 Monate notwendig. Nur eine gute detaillierte Arbeitsvorbereitung, basierend auf der Angebots-Arbeitsvorbereitung, ermöglicht eine störungsfreie und für die Benutzer und Baufirma befriedigende und erfolgreiche Instandsetzung.

Mit den vorstehenden Grundlagen sind in der **Auftragsvorbereitungsphase** [4] die folgenden Stufen der Arbeitsplanung durchzuführen (Bild 5):

- Bauablaufplanung: beschreibende Festlegung der Prozessfolgen und – durchführung (Arbeitsbereiche, Arbeitsabläufe) unter Beachtung der Interaktion von Nutzung- und Instandsetzungsabläufen, Hinweise zur Beachtung bei der Durchführung mit Leistungsvorgaben, Termine, Material- und Hilfsmittelbereitstellung, Personal-, Maschinen- und Subunternehmereinsätzen.
- Terminplan: unter Berücksichtigung der beschriebenen Festlegung werden die Zeitabläufe grafisch dargestellt.
- Bedarfsplan: Arbeitsgangspezifische Aufstellungen aus dem Ablaufplan für die sichere Disposition von Stoffen, Mitarbeitern, Subunternehmer und Maschineneinsätze.
- Sonderpläne: Sicherheitsabsperungen, Staubwände, Abschnittspläne, Abtrags- und Abstützpläne, Abstützkonstruktionen (Bild 6), Schalungen, Stahl- und Holz-hilfskonstruktionen, Rutschen, etc.
- Baustelleneinrichtungsplan: Lageplan mit Baustelleneinrichtung, Kran, Bau-Container, Lagerplätze, Wege...
- Arbeitskalkulation und Controlling vorbereiten

Während dieser Phase ist meist auch die detaillierte Abstimmung der Gewerke mit Subunternehmern notwendig, wie z.B.:

- Gerüsterstellung
- Teildemontage von Ver- und Entsorgungssystemen (z.B. Elektro- Kommunikations- und Sanitärinstallationen, etc.)
- Instandsetzungsarbeiten am Bauwerk (Abstemmarbeiten, Reprofilierung, etc.)
- Neu- und Reinstallation von Ver- und Entsorgungssystemen
- Herstellung des ‘Finishings’
- Anlagebauer, Innenausbau, etc.
- Lieferanten
- Demontage des Gerüsts.



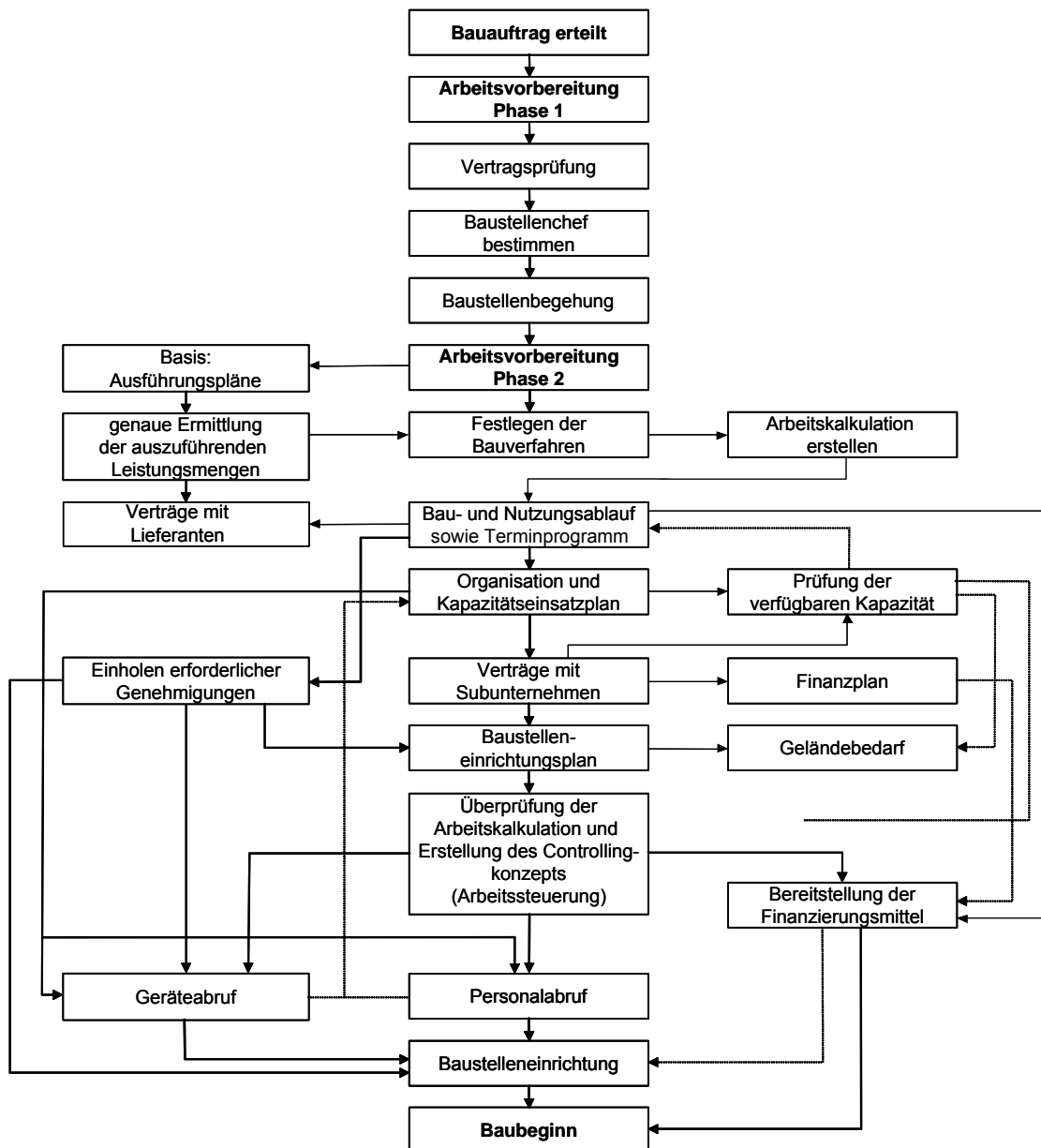


Bild 5: Ablauf der Arbeitsvorbereitung (AVOR / AV)

Die Arbeitsschritte müssen sehr detailliert erarbeitet werden, was bei Neubauten unüblich ist. Diese Detaillierung ist unbedingt notwendig, um Leerlaufzeiten der einzelnen Arbeitsgruppen und Subunternehmer zu vermeiden. Treten solche Fehlzeiten auf, werden die meisten Subunternehmer diese Kosten dem Hauptunternehmer getrennt in Rechnung stellen. Dies kann sehr schnell das Baustellenergebnis des Hauptunternehmers verderben. Daher ist es wichtig, für solche Fälle Ausweicarbeiten zu bestimmen, die in einzelnen Bauabschnittsphasen ersatzweise von diesen Subunternehmern ausgeführt werden können. Ist dies nicht möglich, sind diese Arbeitsabschnitte als ressourcenkritisch einzustufen und bedürfen besonderer Sorgfalt und Kennzeichnung für die Baustelle und die Beteiligten.

Die Subunternehmerverträge sollten nach dem Prinzip des 'back to back' erfolgen, um die Anforderungen und Risiken aus dem Hauptvertrag auf die Subunternehmer zu übertragen, und mögliche Nachtragsforderungen auf wesentliche aber klar definierte Ursachen zu beschränken.

In dieses detaillierte Bauprogramm werden alle Randbedingungen des Auftrags in Bezug auf die Aufrechterhaltung der Nutzung nach

- zeitlichen
- örtlichen

Bedingungen eingearbeitet. Dazu gehören auch die notwendigen Schutz- und Sicherungsmassnahmen.

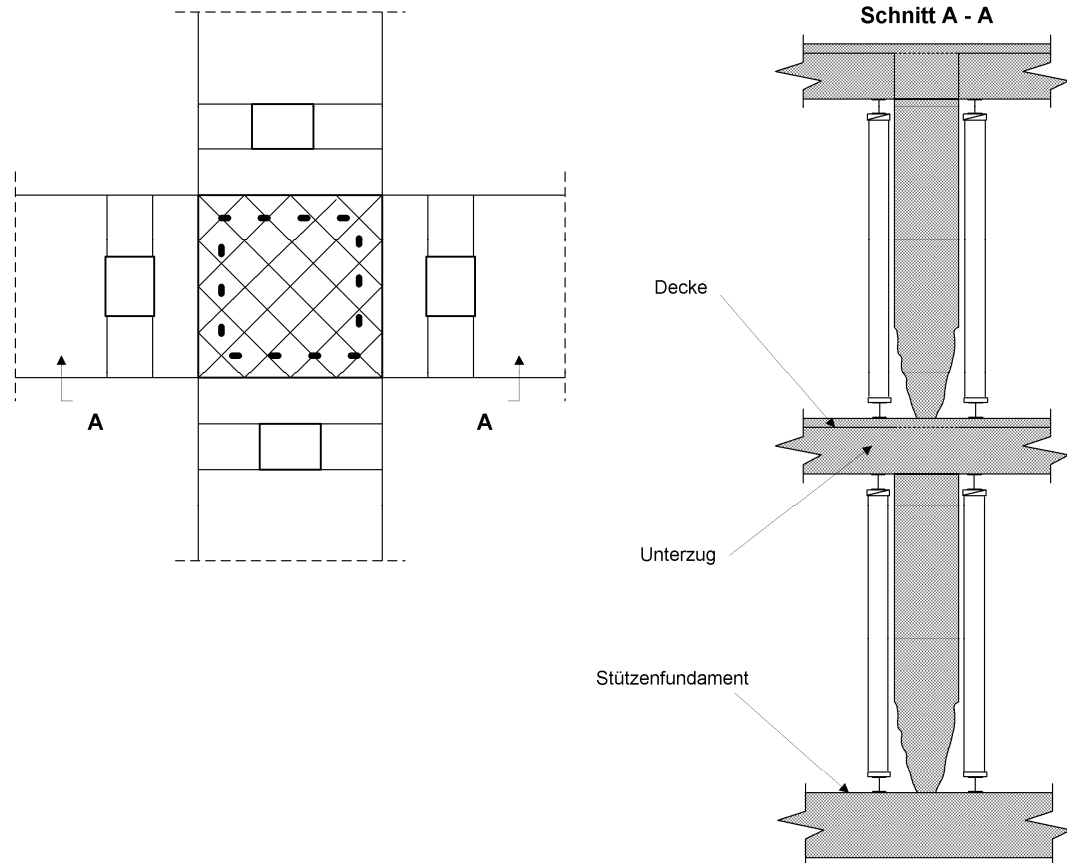


Bild 6: Hilfsstützung bei der Stützensanierung

Der Sicherheitsplan für die Instandsetzungs- und Umbauarbeiten nimmt einen besonderen Stellenwert ein. Dieser multifunktionale Sicherheitsplan muss in jedem Arbeitsabschnitt und in jeder Arbeitsphase eine adäquate Antwort auf die Sicherheit der Benutzer und der Arbeitsequipen geben können in Bezug auf:

- Unfallsicherheit
- Diebstahlsicherheit
- Kontrolle der Sicherheitseinrichtungen.

Die Gefahren für die Arbeitsequipen, die von der Nutzung und dem Betrieb des instand zusetzenden Bauwerks ausgehen, müssen möglichst sorgfältig erfasst werden und die dazugehörigen Sicherungsmassnahmen entwickelt und festgelegt. Die Bauarbeitsgruppen sind in der Regel nicht für die Gefahren, die vom fließenden Verkehr, von Produktionsanlagen, etc. ausgehen sensibilisiert. Umgekehrt sind Verkehrsteilnehmer, Industriearbeiter, Büroangestellte, Familien, etc. nicht für die Gefahren, die

von den Bauarbeiten ausgehen sensibilisiert, die direkt in ihrem Umfeld oder an ihrem Arbeitsplatz stattfinden. Jeder konzentriert sich auf seinen eignen Arbeitsprozess. Dieser wird nun während jener interaktiven Phase mit den jeweiligen Gefahren des anderen Bereichs überlagert. Dies ruft eine potentielle Erhöhung der Gefährdung hervor, die möglichst durch eine systematische Trennung der Arbeits- bzw. Verkehrsabläufe reduziert werden kann. Dazu sind klare Leit- und Trennungsmassnahmen notwendig.

Im Rahmen eines solchen Sicherheitsplanes sind Massnahmen, Hilfsmittel, Anweisungen und Informationsumfang an Benutzer und Arbeitsequipen festzulegen.

Die Hilfskonstruktionen und Spezialgeräte werden während der Ausführungsarbeitsvorbereitung endgültig detailliert und in Auftrag gegeben.

Zusammenfassend müssen folgende Aufgaben während der Auftragsarbeitsvorbereitung erledigt werden:

- detailliertes Bauprogramm mit Sicherheitsplan erstellen
- Baustellenorganisation erstellen, inklusive der Bestimmung des Führungspersonals sowie der unteren Mitarbeiterenebene (Poliere, etc.)
- Arbeitsequipen und Einsatzdisponierung festlegen
- Subunternehmer beauftragen
- Material- und Hilfsmaterialien bestellen
- Baugeräte disponieren
- Absprache des Bauprogramms mit dem Bauherrn und Behörden.

Im nachfolgenden sind wichtige Massnahmen als Checkliste zur Vorbereitung einer Instandsetzungsbaustelle aufgeführt:

- 1) **Termin- und Ablaufplanung**
- 2) **Arbeitskräftebedarf**  
Belegschaftsstand  
Anzahl der Arbeitskräfte, Maximum, Minimum, Durchschnitt  
Organigramm
- 3) **SOLL-Bauleistung-Cash Flow**  
Herstellkosten  
Bauleistung  
Zahlungsplan  
Vorfinanzierung
- 4) **Baustellen-Einrichtungsplan**  
Übersichtsplan  
Zufahrten  
Technische Installation  
Büro, Tagesunterkünfte, WC, Sanitäreinrichtung  
Verkehrsbeschränkungen  
Versorgungsanschlüsse, Infrastruktur  
Verkehrsphasenpläne
- 5) **Geräteliste**
- 6) **Ausführungskalkulation und spezifische Baustellenkennwerte**  
Leistungsvorgaben / Leistungsansätze  
Einzelkosten der Teilleistungen etc.

Spezielle Aufwandswerte  
Materialkosten

7) **Controllingkonzept** ( zur Erfassung der Stunden und des Materialverbrauchs)

8) **Formular- und Berichtswesen**

Leistungsermittlung  
Belegschaftsstand gewerbl./Angest.  
Stundennachweis/Tag  
Aufmassblätter  
Massensummenblätter  
Materialien-Ein- und Ausgang  
Planlisten  
Monatsbericht mit Termin- Kostenkontrolle sowie Auftragsentwicklung  
Nachtragsforderungen  
Tagesbericht Baustelle  
Tagesbericht Bauherr  
Stundenlohnbericht  
Stundenkarten

9) **Einreichpläne für Installationen**

10) **Takt- und Arbeitspläne unter Aufrechterhaltung des Betriebs**

11) **Materialauszug**

Massenauszug  
Preisanfragen  
Preisspiegel

12) **Nachunternehmer**

Anfragen  
Preisspiegel

13) **Betriebsanmeldungen**

Tiefbaugenossenschaft  
Arbeitsamt  
Finanzamt  
Allgemeine Ortskrankenkasse  
Zusatzversorgungskasse  
Statistisches Landesamt  
Unbedenklichkeitsbescheid

14) **Versicherungen**

Haftpflicht und Bauwerksversicherung  
Maschinenbruch  
Bank / Hermes

Die Arbeitsvorbereitung schafft schon mit der Stufe Arbeitsplanung über die Checklisten zwangsläufig den Kontakt mit den beteiligten Auftraggebervertretern und durchführenden Polieren, Subunternehmern, etc. Durch die frühzeitige Planung der Prozesse nach Arbeitsfortschritt werden im Vorfeld schon weitgehend alle Probleme, die sonst während der Instandsetzungszeit auftreten und Störungen verursachen können, erkannt und beseitigt. Es bilden sich Teams schon im Vorfeld der Durchführungsprozesse, weil alle Beteiligten im Grunde interessiert daran sein dürften, den Instandsetzungs- und Nutzungsablauf zu optimieren. Durch Arbeitsplanung werden die Ablaufprozesse im Vorfeld also versachlicht. Das Team Arbeitsplaner/Bauleiter und Arbeitssteuerer/Polier, Subunternehmer sowie des Nutzers, ergibt sich zwangsläufig, so wie sich

die weiteren Fachteams bei der Durchführung, in Quality-Circles einbinden können. Erhebliche Leistungssteigerungen sind das Ergebnis von derartig dezentralem Verantwortungsbewusstsein und Vertrauen.

Die Aufgaben der AVOR sollte wie folgt verteilt werden:

- Baustellenchef: **Arbeitsplanung** der AVOR mit Vorgabe von Leistungen, Kostenlimits, und Ressourcen
- Baustellenführer oder Polier: **Arbeitssteuerung** durch veranlassen und überwachen der Arbeitsaktivitäten auf der Baustelle auf der Basis der AVOR-Planung
- Um diese Arbeitsteilung zielorientiert durchzuführen, müssen Baustellenchef und Bauführer im Vorfeld das Projekt gemeinsam studieren und alle Vorgaben auf die praktische Umsetzung überprüfen. Die Identifikation von Planenden und Ausführenden muss sichergestellt werden um die Vorgaben einzuhalten.

### 3.1.4 Aufgaben der Arbeitsvorbereitung in der Bauphase

Während der **Bauphase** [4] wird das detaillierte Bauprogramm in Wochenprogramme für die einzelnen Arbeitsgruppen untergliedert. Hier ist es wichtig die Abhängigkeiten der einzelnen Arbeitsgruppen (Tag, Uhrzeit und nachfolgende Gruppe) jeder Gruppe deutlich zu machen. Dies sollte in einer kurzen Baubesprechung wöchentlich (freitags) überprüft und für die Folgewoche neu festgelegt werden. Dabei ist es wichtig, dass man die einzelnen Gruppen so motiviert, dass sie pünktlich und räumlich ihre Vorgaben erfüllen (Ehrenkodex, Prämie, etc.). Eine präzise Abstimmung der Arbeiten ist notwendig, um die Reibungsverluste so gering wie möglich zu halten. Dazu gehört, dass man die Arbeitsgruppen zu einem Team zusammenschweisst, das miteinander und nicht gegeneinander arbeitet. Neben der Abstimmung der Arbeitsgruppen müssen die Bewohner informiert werden über das jeweilige Arbeitsprogramm und über eingehende Störungen der Nutzung oder deren kurzfristige Einschränkung. Das Wochenprogramm wird täglich stichprobenartig überprüft. Jede Gruppe ist verpflichtet grobe Abweichungen, die möglicherweise die Erfüllung des Wochenprogramms gefährden oder Probleme bei den Benutzern verursachen könnten, der Baustellenleitung zu melden.

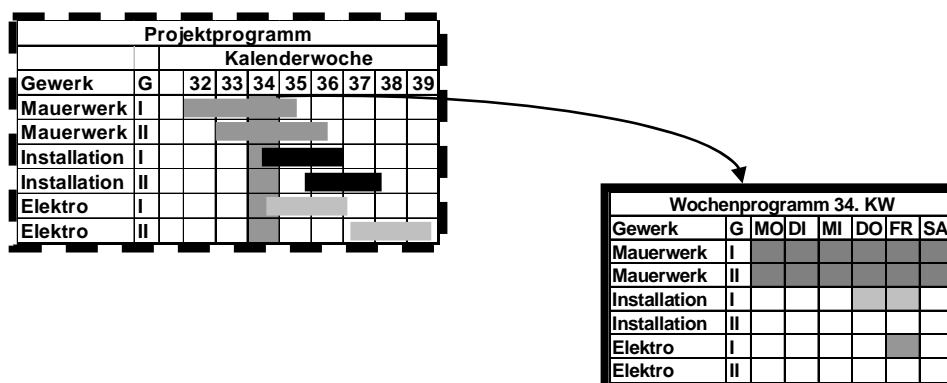


Bild 7: Arbeitsprogramm

Zusätzlich muss das Basis-Bauprogramm **wöchentlich** bezüglich des SOLL-IST-Zustandes überprüft werden um:

- Abweichungen festzustellen
- Korrekturmaßnahmen vorzubereiten und einzuleiten

- Nachunternehmer hinsichtlich veränderter Dispositionen im voraus zu informieren
- eigene Mannschaftsstärken kurzfristig anzupassen
- bestellte Materialien abzurufen
- Veränderungen gegenüber vorgegebenem Arbeitsumfang zu berücksichtigen (Nachtragsforderungen sofort stellen)

Das Basis-Bauprogramm wird **monatlich** zur Leistungsmeldung sowie zum Kosten-SOLL-IST herangezogen. Zudem werden die Änderungen, die bereits bei der wöchentlichen Überprüfung festgestellt und deren Korrekturen eingeleitet wurden, im Bezug auf den kritischen Weg genauer untersucht, sowie die Wirkung der Gegenmassnahmen kontrolliert.

Eine solche hochdetaillierte Arbeitsvorbereitung unter Berücksichtigung der Anforderungen der Benutzer und der zeitlich engen Kontrolle ist für den Bau von Neubauten nicht üblich.

Mit der Baustelleneinrichtung kann natürlich auch bereits während der Arbeitsvorbereitungsphase begonnen werden, dann jedoch stets zeitlich versetzt, d.h. jeweils mit Vorlauf für die Arbeitsvorbereitung. Vor Beginn dieser Arbeiten müssen das Konzept und die Bauverfahren festgelegt werden, damit eine ausreichende Dimensionierung der Baustelleneinrichtung erfolgen kann. Zudem muss sichergestellt werden, dass es durch die Installationen weder für die Benutzer, noch im Hinblick auf die Instandsetzungsarbeiten zu Behinderungen kommen kann. Dies ist ein ganz besonders wichtiger Aspekt bei:

- Geschäftsbauten im innerstädtischen Bereich zur Sicherstellung des Kundenflusses und der An- und Auslieferungen
- Industriegebäuden zur Sicherstellung des Material- und Produktionsflusses

damit keine zeit- und kostenaufwendigen Umzugsaktionen während der Bauphase notwendig werden.

Die Baustelleneinrichtung sollte wie folgt durchgeführt werden:

- freundliche Information der Benutzer über die anstehenden Arbeiten in allgemeiner Form
- Montage der Sicherungsmassnahmen zum Schutz der Benutzer und des Baubetriebs (Umleitungshinweise, Markierungen, Verkehrsschilder und Signale, Umleitungen, Sicherungsbauzaun, Absperrungen, Sicherheitsbeleuchtung mit Notstromversorgung, etc.)
- Vorbereitung der Nutzerumleitung oder Produktionsveränderungen (dies geht einher mit den Sicherungsmassnahmen)
- Errichtung der Installationen für die Durchführung der Instandsetzungs- und Umbauarbeiten.

### 3.2 Beginn der Arbeiten

Die **Baustellenführung** sollte das Umfeld der Instandsetzungsarbeiten vor Beginn der Arbeiten vor Ort genau studieren, um die:

- Nutzungsabläufe
- Prozesse

- Verkehrsflüsse
- Gefahren

genau kennenzulernen.

Die **Arbeitsequipen** sollten vor dem Start der Arbeiten informiert werden über:

- die Abläufe der Nutzung während der Instandsetzungsarbeiten
- besonders über die Gefahren, die von den Verkehrsanlagen, Produktionsprozessen, etc. ausgehen können
- Verhaltensweisen und Sicherungsmassnahmen zum Schutz der Benutzer
- Verhalten bei Gefahren, sowie über die zu treffenden Sicherheitsmassnahmen und deren Kontrolle.

Die **Arbeitsabläufe** bei der Instandsetzung bzw. Umbau verlaufen meist in folgender Reihenfolge:

- endgültige **Festlegung der Instandsetzungsarbeiten** in Absprache mit der Bauleitung vor Ort
- **Entfernung von geschädigter Substanz** durch Abtragarbeiten oder Teilabbrucharbeiten von vorhandener Substanz zur Veränderung und Ergänzung des Bauwerks
- **Untergrundvorbehandlung zur Herstellung** des sicheren und dauerhaften Verbundes zwischen vorhandener gesunder Bausubstanz und Ergänzungsschichten / Ergänzungsbauteilen (Haftbrücke)
- **Aufbringung der Ergänzungsschichten** in Verbundbauweise
- Oberflächenbehandlung durch Anstriche, etc.

### 3.3 Einrichtung einer Instandsetzungsbaustelle

#### 3.3.1 Allgemeines

Die **Besonderheit der Instandsetzung**, im Gegensatz zur **stationär** produzierenden **Industrie** ist, dass an dem jeweiligen Ort des instanzzusetzenden Bauwerkes die gesamte Infrastruktur zur Ausführung dieser Arbeiten jedesmal neu aufgebaut werden muss (**mobile Industrie**). Daher ist es notwendig für jede Instandsetzungsarbeit eines Bauwerks, eine individuelle Baustelleneinrichtung zu planen und zu errichten. Diese **Baustelleneinrichtung** wird für jedes Bauwerk **abgestimmt** auf:

- Grösse der Instandsetzungsmassnahme
- Art der Instandsetzungsmassnahme und Bauwerk (Industriebauten, Hochhaus, Brückenbau, Tunnelbau etc.)
- Spezifische Nutzungsbedingungen des Bauwerks während der Instandsetzungsarbeiten
- Spezifische Randbedingungen (Innenstadt, Industrieviertel, Land, etc.)
- vorhandene öffentliche Infrastruktur
- Grösse der nutzbaren Flächen für eine Baustelleneinrichtung
- Erbringung der Leistung durch Subunternehmer oder eigene Mannschaft
- Liefer- und Lagerungsmöglichkeiten
- Bauzeit, etc.

### 3.3.2 Der Baustelleneinrichtungsplan

Die **Zweckzuweisung bestimmter Flächen des genutzten Grundstücks** ist erforderlich, für die optimale Gliederung der Betriebsabläufe sowie der notwendigen Trennung der Materialflüsse wie auch der Arbeits- und Fertigungsabläufe für die Instandsetzungsarbeiten [4]. Die abhängigen Abläufe sollen auf dem kürzesten Weg ohne gegenseitige Behinderung möglich sein. Zudem ist die Baustelleneinrichtungsplanung zur **Aufrechterhaltung der allgemeinen Ordnung und dem** Zusammenwirken der verschiedenen Unternehmer (Bauhauptgewerbe, technische Gebäudeausrüstung, handwerklicher Ausbau, Aussenanlagen und Freiflächen) bei **komplexen Instandsetzungsbauprojekten notwendig**. Der Baustelleneinrichtungsplan (M=1 : 500, 200) legt die Flächennutzung fest.

Der Baustelleneinrichtungsplan kann umfassen:

- 1) **Bauwerk und Nebenanlagen**
  - vorhandene Gebäude
  - vorhandene Aussenanlagen,
  - Freiflächen
  - zu schützende Bereiche (z.B.: Bäume)
- 2) **Beschaffenheit des Geländes**
  - Grenzen
  - Zaun
  - Hindernisse
  - Belange der Nachbarn
- 3) **Verkehrsverhältnisse**
  - Anbindung an öffentliche Strassen
  - Strassensperrung, Umleitung
  - Beschilderung, Beleuchtung
  - Fussgängerwege, Schutzeinrichtungen
- 4) **Zufahrten auf das Gelände**
  - Strassen und Wege, Wendemöglichkeiten
  - Entladestellen
  - Reifenwaschplatz
  - Parkplätze
  - Abmessungen und Belastbarkeit der Wege
- 5) **Umschliessung der Instandsetzungsbaustelle**
  - Baustellenzaun, -tore, -türen
  - –Absperreinrichtungen
  - Beleuchtung
  - Hauptbriefkästen
  - Wegweiser
- 6) **Baustelleneinrichtungen**
  - Allgemeinbeleuchtung
  - Bauschild



- Baubüros
  - Zentrale Hygieneeinrichtungen
  - Zentrale Sanitätsstelle
  - Zentrale Notrufstelle
  - Zentrale Feuermeldestelle
  - Zentrale Informationsstelle (schwarzes Brett)
- 7) **Ver- und Entsorgungseinrichtungen der Instandsetzungsbaustelle**
- Hauptanschlüsse für Elektroversorgung
  - Hauptanschlüsse für Wasserversorgung
  - Hauptanschlüsse für Postdienste
  - Hauptanschlüsse für Abwasserentsorgung
  - Entsorgung von Bauschutt, Abfällen, Schadstoffen usw.
- 8) **Kanäle, Leitungen, Kabel**
- vorhandene Kanäle und Schächte
  - vorhandene Leitungen
  - vorhandene Kabel
  - vorhanden Freileitungen
- 9) **Lagerflächen**
- Lagerflächen für Anlieferung von Baustoffen und Einbauteilen
  - Lagerflächen für Abtrags- und Abbruchmaterial
  - Lagerflächen für Zwischenlagerungen
- 10) **Betriebsflächen der Instandsetzungsbaustelle**
- Baubetriebliche Einrichtungen
  - Gerüste
  - Kranstandort falls erforderlich, etc.

### 3.3.3 Versorgungseinrichtungen

#### Wasserversorgung

Der Wasserbedarf auf der Instandsetzungsbaustelle besteht je nach Qualitätsanforderungen aus Trinkwasser und Brauchwasser. Zur Dimensionierung der Versorgungsquelle, der Versorgungsleitung und eventueller Zusatzeinrichtungen, Pumpenanlagen oder Vorratsbehälter ist eine Wasserbedarfsermittlung erforderlich.

Folgende Grundbedarfswerte können zur Dimensionierung herangezogen werden:

- **Trink- und Brauchwasserbedarf je beschäftigte Person:**

Bei Tagesunterkünften ca. 20 - 30 Liter je Mann und Tag

Bei Wohn- und Schlafunterkünften ca. 40 - 70 Liter je Mann und Tag (dies kann bis zu 150 l/Tag und Mann steigen)

- **Sonstiger Brauchwasserbedarf:**

Bei Hochdruckwasserstrahlverfahren muss der Verbrauch je nach Gerätegröße und parallelem Einsatz mehrerer Düsen separat gerechnet werden. Zur Reinigung von Geräten und Fahrzeugen kann überschlägig auf den zuvor ermittelten Wasserbedarf ein Zuschlag von 20 - 25 % gerechnet werden.

- **Berücksichtigung von Wasserverlusten**

Der errechnete Gesamtwasserbedarf wird um etwa 10 - 20 % vergrössert.

Für die Dimensionierung der Leitungen kann der maximale stündliche Bedarf mit dem 1.5-fachen des durchschnittlichen stündlichen Bedarfs angesetzt werden.

### Abwasserversorgung

Gemäss den gültigen Gewässerschutzgesetzen und den dazu erlassenen Vorschriften haben sich auch Baustellenbetriebe strikte an diese Vorschriften zu halten. In Gebieten, wo Kanalisationen und Kläranlagen bestehen, sind die Abwässer an das bestehende Netz anzuschliessen; in Gebieten ausserhalb, sind Massnahmen zu ergreifen, um den Gewässerschutz zu gewährleisten.

### Stromversorgung

Auf der Instandsetzungsbaustelle wird elektrische Energie in der Form von Kraft- und Lichtstrom hauptsächlich für den Antrieb von Geräten und Maschinen, Beleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung sowie Heizung benötigt. Es ist zwingende Vorschrift, dass Einrichtung, Änderung oder Instandhaltung elektrischer Anlagen nur von Elektrofachleuten vorgenommen werden dürfen, wegen der grossen Gefahren bei unsachgemäss geplanten oder ausgeführten elektrischen Installationen.

Tabelle 1: Anschlusswerte von einigen Baumaschinen

Baumaschinen		Anschlusswerte kW
Krane Lastmoment	10-18	15-19
	20-48	20-48
	50-68	49-64
	20-88	66-83
	90-140	85-110
Aufzüge Tragkraft MN	10	15
	20	30
Betonpumpen m <sup>3</sup> /Std.	12	30.0
	25	45.0
	50	50.0
Förderbänder m <sup>c</sup>	6	1.5
	10	1.8
	15	2.5
Kompressoren m <sup>3</sup> /Min.	3.5	30
	7.5	58
	12.0	95
	17.0	140

Die Elemente der elektrischen Einrichtung einer Instandsetzungsbaustelle sind:

- **Transformator:** Wenn auf der Baustelle sowohl Hoch- als auch Niederspannung benötigt wird.

- **Baustromverteiler:** Als Anschlusschrank oder Verteilerschrank. Der Anschlusschrank enthält Zählertafel, Hauptsicherungen, Fehlerstromschutzschalter und Anschlussklemmen für die beweglichen Verbindungsleitungen zu den Verteilerschränken. Der Verteilerschrank enthält Sicherungen, Fehlerstromschutzschalter, Anschlussklemmen für die beweglichen Verbindungsleitungen und Steckdosen zum Anschluss einzelner Geräte.

### **Beleuchtung**

Eine Baustellenbeleuchtung ist in zweifacher Hinsicht erforderlich, einmal zur Beleuchtung des Arbeitsplatzes und zum anderen als Absperrungs- und Sicherheitsbeleuchtung.

Die Arbeitsplatzbeleuchtung wird sowohl punktförmig im Einsatzbereich einzelner Arbeitskolonnen oder aber grossflächig zur Ausleuchtung.

### **Einrichtungen zur Nachrichtenübermittlung**

Neben der selbstverständlichen Ausrüstung einer Baustelle mit Telefon oder Funktelefon wird insbesondere bei grösseren Baustellen häufig Sprechfunk eingesetzt. So zur Übermittlung von Anweisungen innerhalb der Baustelle über grössere Entfernungen, z.B. für Einweisung des Kranführers oder von Versorgungsfahrzeugen.

Auf fast allen Baustellen setzen Telefaxgeräte in Verbindung mit der Telefoneinrichtung ein, als Kommunikations- und Datenaustauschmittel zwischen Baustelle und Zentrale oder Lieferanten. Dies dient nicht nur der schnellen Nachrichtenübermittlung, sondern hat auch den vertragsrechtlichen Vorteil der Schriftform gegenüber dem Telefongespräch.

### **Druckluftversorgung**

Die Druckluft ist ein Energieträger, der auf Abbruch-, Umbau- und Instandsetzungsbaustellen ähnliche Bedeutung hat wie der elektrische Strom und der Verbrennungsmotoren. Die Druckluft wird durch Kompressoren erzeugt, die durch Elektromotoren oder Verbrennungsmotoren angetrieben werden. Es gibt verschiedene Kompressorsysteme. Die gebräuchlichsten im Bauwesen sind:

- **Kolbenkompressor** mit selbsttätigen Ventilen, sehr verbreitet und zuverlässig (Bild 8).
- **Schraubekompressor**, er zeichnet sich durch kontinuierliche und stossfreie Drucklufterzeugung sowie geringe Geräuschentwicklung aus.

Jedem Kompressor ist ein Luftkühler sowie ein Wasserabscheider zugeordnet, um Kondensationswasser vor dem Arbeitsgerät aufzufangen, und dieses vor dem Einfrieren zu schützen. Werden mehrere Kompressoren zu einer Kompressorenstation zusammengefasst, ist es vorteilhaft, jedes Gerät durch einen separaten Schieber an das Gesamtsystem anzuschliessen, um im Reparaturfalle nur das betreffende Gerät abkoppeln zu können.

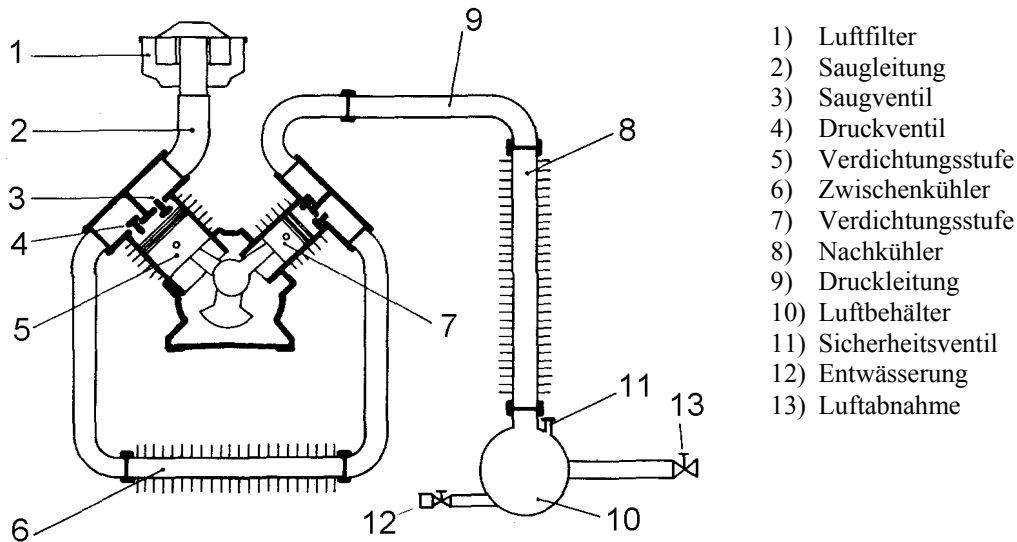


Bild 8: System eines zweistufigen Kolbenkompressors

Hinter dem Kompressor ist ein Vorratskessel als Puffer (Windkessel) erforderlich, um Druckschwankungen am **Druckluftwerkzeug** abzumindern, und um die Anzahl der Ein- bzw. Ausschaltvorgänge des Kompressors zu reduzieren. Mit Druckluft werden vor allem **Bohrmaschinen und Abbruchhämmer** angetrieben. Druckluftwerkzeuge sind nahezu wartungsfrei, langlebig, unempfindlich gegen Nässe, robust und leicht. Die Geräuschentwicklung wird durch wirkungsvolle Schalldämpfung gemindert, was allerdings einen Leistungsverlust zur Folge hat.

Je nach Grösse der Instandsetzungsbaustelle erfolgt die Druckluftversorgung über:

- Fahrbare Einzelkompressoren (Elektro u. Diesel)
- Druckluftversorgungsnetz (Stat. Kompressor / Windkessel / Leitungsnetz)

Die fahrbaren Einzelkompressoren werden meist bei Instandsetzungsbaustellen des Hoch- und Brückenbaus eingesetzt. Die Geräte können rasch weiterverschoben werden zu den verschiedenen Einsatzorten der Instandsetzungsbaustelle. Auf grossen Tunnelinstandsetzungsbaustellen werden sie auch temporär zur Spitzenabdeckung. (Kompressorengrösse 3-20m<sup>3</sup>/min.) eingesetzt. Die Versorgung geschieht meist durch einen fahrbaren Kompressor mit Elektro- oder Dieselmotorantrieb.

Druckluftversorgungsnetze werden meist nur bei Tunnelinstandsetzungen aufgrund des Liniencharakters und der beengten Platzverhältnisse benutzt. Dieses kann schematisch, wie im Bild 9 dargestellt, aufgebaut werden.

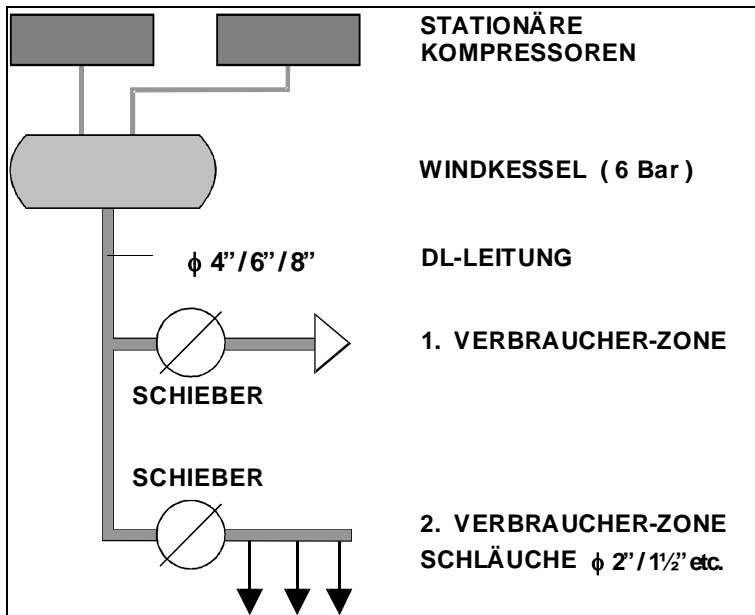


Bild 9: Druckluftnetz, schematisch

Die Kompressorenstation besteht aus einem Windkessel und ein bis mehreren Kompressoren (Bild 9). Das Druckluftleitungsnetz besteht aus Leitungen, Schiebern, Abzweigern in den gebräuchlichen  $\varnothing 4'' / 6'' / 8'' / (\text{ev. } 10'' / 12'')$ . Die Feinverteilung erfolgt mit Druckluftschläuchen  $2'' / 1'' / 3/4''$ , mit direktem Anschluss an die Verbraucherstelle. Der Leitungsdruck ist meist **6 bar**. Die Angaben für einige spezifische Geräte, die während der Instandhaltung und Instandsetzung verwendet werden, sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Richtwerte für den Luftverbrauch

Werkzeug, Gerät	Luftverbrauch [cbm/min]	Zugehöriger Betriebsdruck [bar]
<i>Aufbruch-, Abbau- und Spatenhämmer</i>		
5-10 kg Gewicht	0.6-1.2	5
11-20 kg Gewicht	0.8-1.2	5
21-40 kg Gewicht	1.2-1.8	5
<i>Drehschlagbohrmaschinen</i>		
80-110 kg Gewicht	8-10	5
ca. 150 kg Gewicht	11-12	5
<i>Schleifmaschinen</i>		
100-125 mm Schleifscheibendurchmesser	1.0-1.4	6
130-200 mm Schleifscheibendurchmesser	1.4-1.8	6
<i>Betonsspritzgeräte (30-40 m Förderweite)</i>		
3-4 cbm/h Leistung		
mit E-Motor	5-8	5-6
mit Druckluftmotor	10-16	5-6
10-14 cbm/h Leistung		
mit E-Motor	9-13	5-6
mit Druckluftmotor	20-24	5-6
<i>Schwere Abbauhämmer</i>		
(Baggeranbaugeräte)		
ca. 200 kg Gewicht	ca. 5	6
ca. 400 kg Gewicht	ca. 7	6
ca. 600 kg Gewicht	ca. 10	6
<i>Druckluftmotoren je kW (PS)</i>		
ca. 7.4 kW (PS)	0.75-1.0	6
ca. 3.7 kW (PS)	0.5-0.75	6

### 3.3.4 Bauten der Instandsetzungsbaustelle

#### Allgemeines

Aus der Notwendigkeit, Menschen und Materialien gegen Witterungseinflüsse zu schützen, sind eine Reihe von Hilfsgebäuden für die Dauer der Instandsetzungsbauzeit innerhalb der Baustelleneinrichtung vorzuhalten, z.B. Bauwagen oder Container.

Man unterscheidet grundsätzlich:

- Büros
- Werkstätten
- Magazine

- Tagesunterkünfte für Arbeitspausen
- Sanitärcontainer

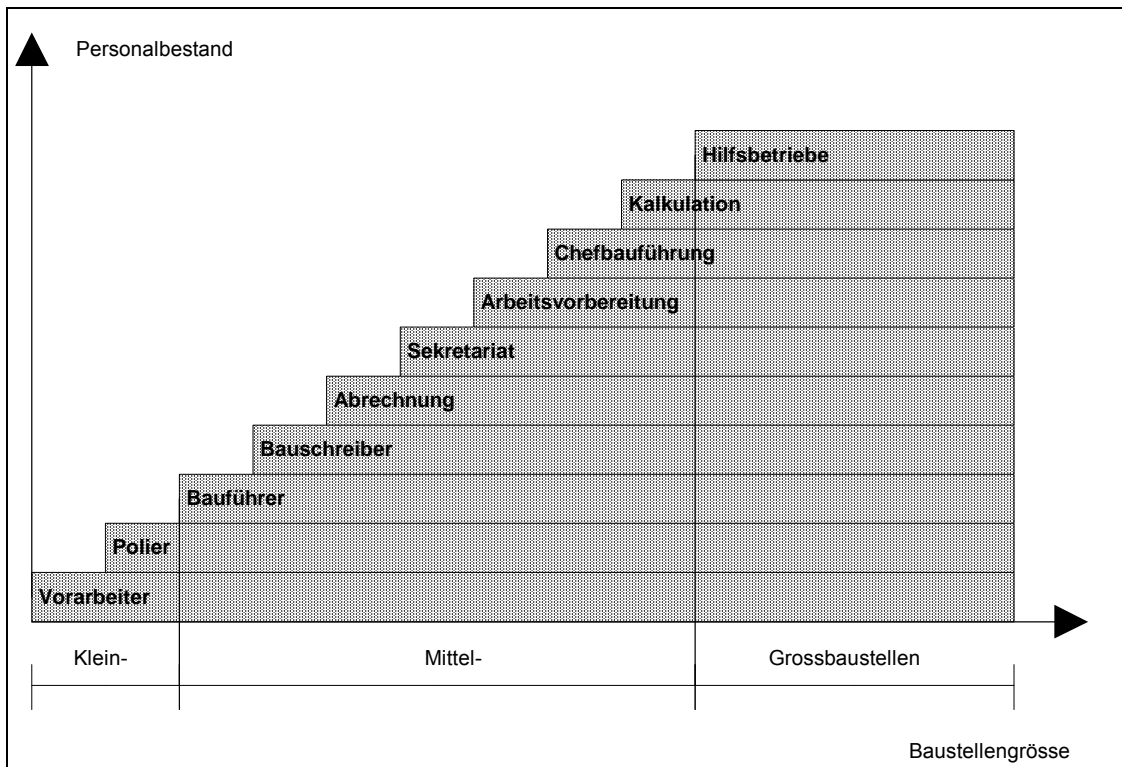
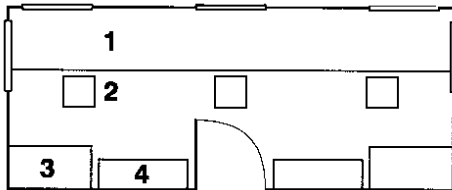
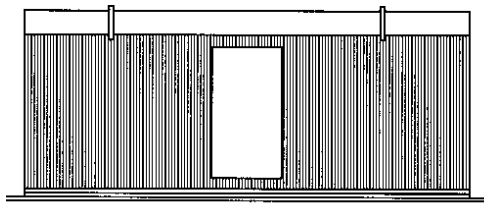


Bild 10: Baustellenpersonal in Abhängigkeit von der Baustellengröße

### Büros, Werkstätten, Magazine

Auf grösseren Instandsetzungsbaustellen sind, neben den Büroräumen für die Bauleitung des ausführenden Unternehmens, oftmals Räume für das kaufmännische Personal, sowie ein Konstruktionsbüro erforderlich. Eine Abschätzung der erforderlichen Bürofläche ist nach der Zahl der Angestellten möglich, wobei ein Platzbedarf von ca.  $10.00 \text{ m}^3$  pro Person angenommen werden kann (Bild 10).



- 1 SCHREIBPULT
  - 2 STÜHLE
  - 3 DOPPELKASTEN
  - 4 GESTELL MIT 4 TABLAREN  
BELEUCHTUNG UND ELEKTR. HEIZUNG
- MASSE (L x B x H): 6,4 x 2,5 x 2,5 m**  
**7,3 x 3,0 x 2,5 m**

Bild 11: Bürocontainer einer mittelgrossen Baustelle

Heute kann man Container zu Büromodulen zusammenfassen und somit ein Büro für eine Grossbaustelle errichten. Bürocontainer können auch platzsparend mehrstöckig (2-3 Container) übereinander aufgestellt werden.

Container können schnell und flexibel errichtet werden. Sie sind jedoch nur in Normbreiten erhältlich.

Bei kleineren Baustellen verwendet man meist ein- und zweiachsige Baustellenwagen.

### **Baustellenwerkstatt**

Baustellenwerkstätten werden meist in leicht montierbaren Stahlblechhallen untergebracht, diese werden nur bei grossen, abgelegenen Tunnel- oder Strasseninstandsetzungsarbeiten eingesetzt. Eine Werkstatt sollte mindestens einen Stand für Fahrzeuge und sonstige Baugeräte (Bohr- oder Schrängerät, bzw. Strassenbaugerät) haben. Darüber hinaus Räume für Werkstattpersonal und die Lagerung von Ersatzteilen und Schmierstoffen. Unmittelbar neben der Werkstatt sind im Freien Abstellplätze vorzusehen, die nach Möglichkeit befestigt sein sollten.

### **Magazin**

Das Magazin dient zur Lagerung von Kleingeräten und Werkzeugen sowie von Bauhilfs- und Nebenstoffen, wie Nägel, Bindendraht und Kleineisenteile usw., für Arbeitsschutzkleidung und Vermessungsgeräte. Das Magazin sollte nahe zu den Einsatzschwerpunkten auf der Instandsetzungsbaustelle liegen, um Verlustzeiten bei der notwendigen Versorgung zu vermeiden. Die Ausgabe in einem Magazin muss kontrolliert werden, d.h. entweder durch einen eigens hierfür eingesetzten Magaziner oder aber durch den Polier. In diesem Falle muss das Magazin in unmittelbarer Nähe zur Polierbude angeordnet werden. Im Übrigen müssen gegebenenfalls ein Baustoffmagazin sowie ein Treibstoffmagazin mit besonderen Anforderungen an Sicherheitsbestimmungen vorgehalten werden. eingerichtet werden.



## Unterkünfte

Die Anforderungen an Unterkünfte sind meist durch Gesetze geregelt. Unterkünfte sollen aus Sicherheitsgründen nicht in unmittelbarer Nähe von Gerüsten, Baukränen und Aufzügen aufgestellt werden.

### Tagesunterkünfte

Sie dienen als Aufenthaltsmöglichkeit für die Arbeiter während der Arbeitspausen und bei schlechtem Wetter (Bild 12). Die Bodenfläche soll grösser gleich  $0.75 \text{ m}^2$  je Arbeiter sein.

Die Unterbringung der Poliere erfolgt meist in Poliercontainer in unmittelbarer Nähe ihrer Tätigkeit auf der Instandsetzungsbaustelle, um eine dauerhafte Überwachung der Arbeiten zu erleichtern.

### Wohn- und Schlafräume in Baubaracken

Die Räume müssen eine mittlere Höhe von mindestens 2.30 m haben. Wände, Dächer und Fussböden müssen wetterdicht sein. Für jeden Arbeiter ist in den Schlafräumen ein Luftraum von mindestens  $10.00 \text{ m}^3$  und in den Aufenthaltsräumen für die Freizeit eine Bodenfläche von mindestens  $1.00 \text{ m}^2$  vorzusehen. Des Weiteren Fensterflächen von mindestens  $\frac{1}{10}$  der Fussbodenfläche, Anzahl der Bettstellen kleiner gleich 6 pro Raum, getrennte Schlafräume je Schicht. Eine Mindesteinrichtung der Räume ist erforderlich. Trinkwasser muss vorhanden sein (Bild 13).

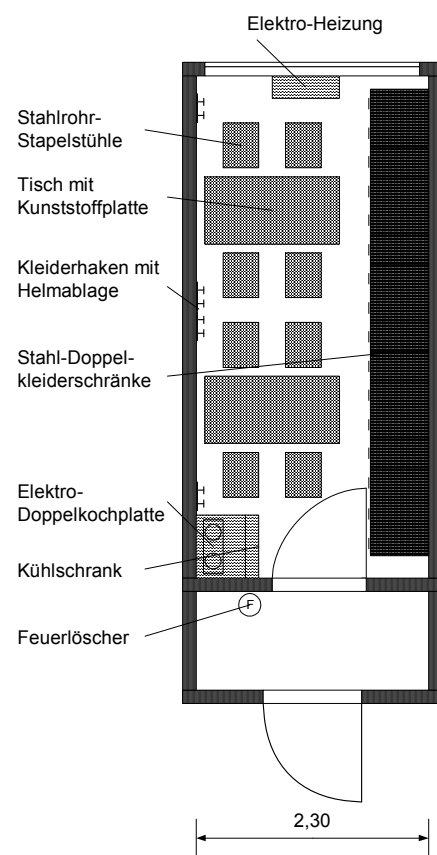


Bild 12: Tagesunterkunft

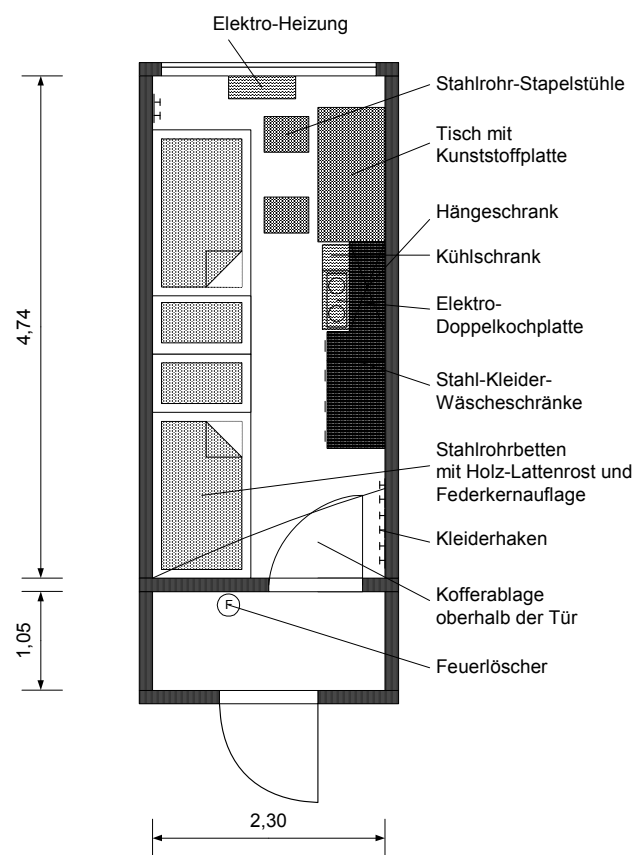


Bild 13: Schlafunterkunft

## WC- und Duscheinrichtungen

Vor Baubeginn müssen Aborte errichtet werden. Ausserdem sind Waschstellen bzw. Duschen erforderlich (Bild 14 und Bild 15).



### Einmantoilette

- 1 Spülklosett
- 1 Waschbecken
- Elektrische Installation und Heizung



Bild 14: WC-Kabine

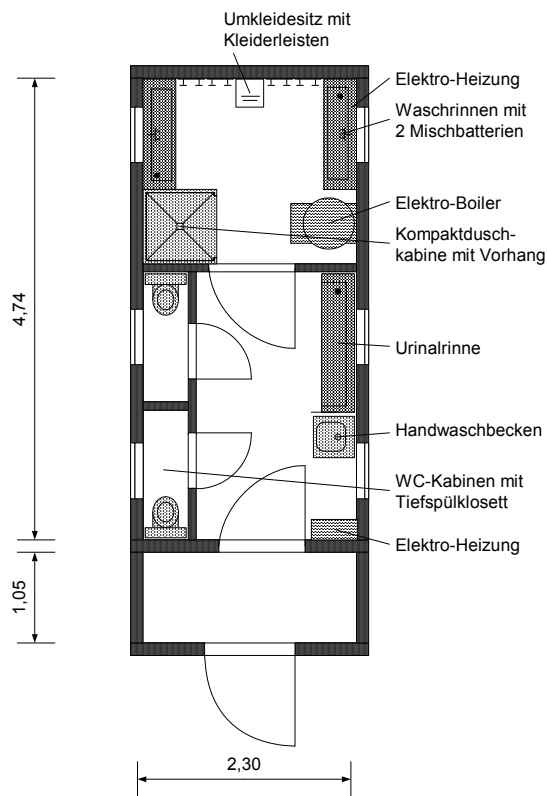


Bild 15: Sanitärcontainer

Grosse Instandsetzungsbaustellen benötigen eine Ersthilfeeinrichtung für eine Sofortversorgung nach Unfällen. Bei Baustellen mit mehr als 50 Mitarbeitern ist ein Sanitätsraum erforderlich.

### **Dimensionierung von Sozialeinrichtungen der Instandsetzungsbaustelle**

Für die überschlägliche Dimensionierung können folgende Angaben genutzt werden:

- Unterkunft 6 m<sup>2</sup>/Arbeiter
- Tagesaufenthaltsraum 1 m<sup>2</sup>/Arb.
- Sanitäranlagen, Waschräume 0.2 m<sup>2</sup>/Arb. resp.  
1 W. Platz je 5 Arb.
- WC ca. 3 m<sup>2</sup>/WC resp. 1 WC je 15 Arb

#### **3.3.5 Lager- und Bearbeitungsanlagen**

Zur Instandsetzung des Bauwerkes werden Roh- sowie Halbfertigprodukte zur Baustelle geliefert, zu ihnen gehören folgende Gruppen:

- Baustoffe
- Bauhilfsstoffe
- Einbauteile

Diese müssen meist kurzfristig zwischengelagert werden, zum

- Einbau bzw.
- Weiterverarbeiten

Daher müssen Lagerflächen für diese Materialien bereitgehalten werden, wie auch Einrichtungen zur Weiterverarbeitung.

Trotzdem sollte man aufgrund der meist geringen Platzverhältnissen bei Instandsetzungsarbeiten „Just in time delivery“ möglichst ins Auge fassen.

#### **Sicherung von Instandsetzungsbaustellen im Verkehrsraum**

Baustellen im Strassenraum müssen besonders gesichert werden. Hierzu sind die Auflagen der Polizei- und Verkehrsbehörde zu beachten (Bild 16).

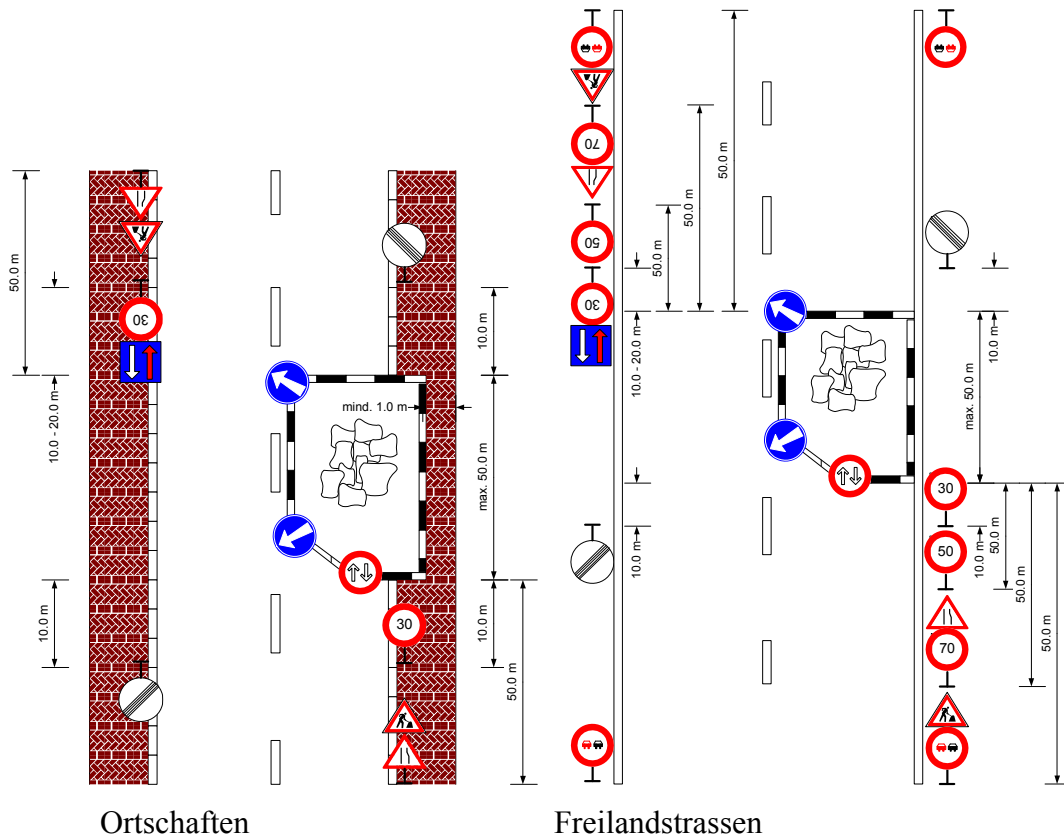


Bild 16: Sicherung von Baustellen im Verkehrsraum

### 3.3.6 Transportgeräte auf der Instandsetzungsbaustelle

#### Allgemeines

Zum Abtransport von Abbruch- und Abtragsmaterial sowie zum Antransport von Baumaterial benötigt man effiziente, angepasste leistungsfähige Transporteinrichtungen.

Als Transportgeräte verwendet man:

- Lastwagen / Dumper / Spezialfahrzeuge
- Förderbänder
- Betonpumpen
- Gleisgebundene Beförderungsmittel (Rollbahnen)
- Elevatoren
- Kräne und Hebezeug

Dazu einige Hinweise:

**Lastwagen / Dumper** dienen als gleislose Fahrzeuge zum Transport diverser Materialien, wie z.B. Abbruch- und Abtragsmaterialien / Beton / Kies-Sand etc.

**Förderbänder** in verschiedenen Längen transportieren Abbruch- und Abtragsmaterialien / Betonzuschlagstoffe / Beton d.h. loses Material. Es können auch mehrere Bänder hintereinander geschaltet werden. Förderbänder sind leistungsfähig bei relativ geringen Kosten. Sie eignen sich besonders bei Linienbaustellen unter beengten Platzverhältnissen.

**Betonpumpen** benötigt man zum effizienten Einbau von mittleren und grösseren Mengen von Beton.

**Gleisgebundenes Beförderungsmittel** werden meist bei der Instandsetzung von Bahntunnel auf bestehenden Betriebsgleisen verwendet.

**Elevatoren** und Förderschnecken werden vorwiegend bei Betonanlagen benutzt sowie zur Förderung von Abbruch- und Abtragsmaterial aus Schächten.

### **Hebezeuge**

Zu den Baugeräten mit ausschliesslich vertikaler Lastbewegung gehören:

- Einfache Seilzüge (Flaschenzug)
- Baumaterialaufzüge für kleine Baustellen
- Bauaufzüge für Personal bei grösseren Höhenunterschieden
- Hydraulische Pressen zum Heben extrem schwerer Lasten
- Schrauben- oder Bockwinden insbesondere für den Gerüstbau
- Hebebühnen (Kombination von Arbeitsebene und Hebefunktion)

### **Kräne**

Krane sind Haupttransportgeräte (Bild 17) im Hochbau für horizontale und vertikale Lastbewegungen. Sie werden nach mehreren Gesichtspunkten klassifiziert, wie z.B. nach dem Konzept des Unterwagens, des Auslegers, der Beweglichkeit, der Aufbaumöglichkeit usw. Die Kombinationsmöglichkeit der verschiedenen Bausysteme führt zu einer hohen Zahl von Krantypen.

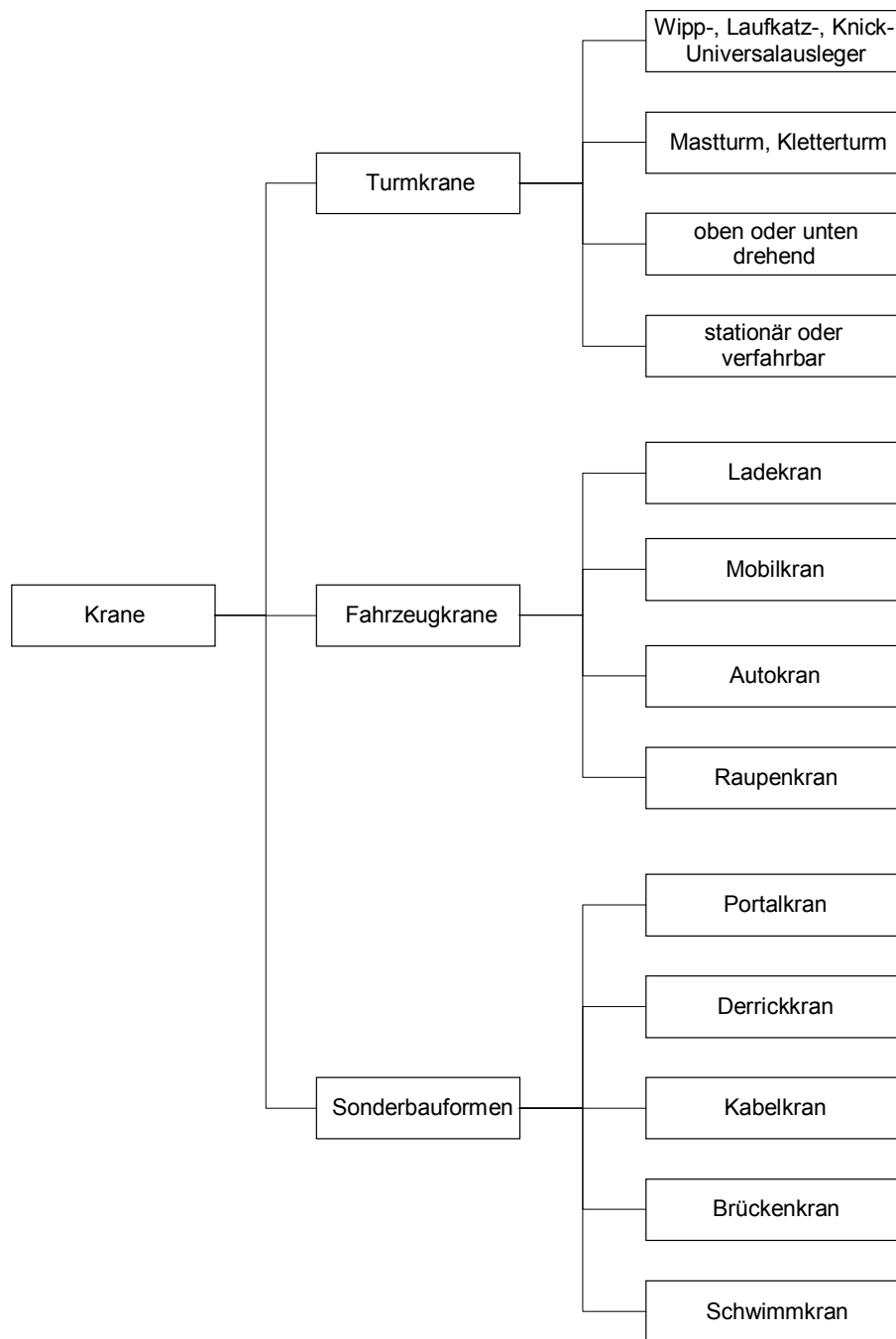


Bild 17: Kransysteme

### Leistung eines Kranes

Die Arbeit eines Kranes verläuft häufig taktweise. Der einzelne theoretische Arbeitsakt  $T_T$  setzt sich zusammen aus den Zeiten für [6]:

- 1) Anschlagen der Last
- 2) Hub-, Dreh- und Verfahrzeit der Last zum Abschlagort
- 3) Lösen der Last
- 4) Rückfahr-, Senk- und Drehzeit des Lasthakens

Als Mengeneinheit einer „**Kranleistung**“ kann die **nutzbare Hubkraft** angesetzt werden, die der zulässigen Hubkraft  $G_{\max}$ , vermindert um die Lasthalterung  $G_O$  (Last-

haken, Betonkübel usw.), entspricht. Die theoretische Grundleistung  $Q_T$  eines Kranes beträgt mit den vorgenannten Annahmen [6]:

$$Q_T = (G_{\max} - G_O) \cdot 60/t_0 \quad [\text{t/h}]$$

Für die Bestimmung der technischen Nutzleistung eines Kranes müsste die Taktzeit genauer untersucht werden. Die nutzbare Hubkraft ist des Öfteren nicht ausgenutzt, da sperrige und leichte Gegenstände bewegt werden müssen. Die Festlegung durchschnittlicher Ausfallzeiten ist kaum möglich, zumal diese von den Kranführern oft unbeeinflussbar sind. Die zeitliche Anforderung der einzelnen Gewerke an den Kran ist vorher meist nicht genau festlegbar.

Aus diesen Gründen wird die Kranleistung häufig nach der theoretischen Grundleistung ermittelt, mit einem Sicherheitsfaktor versehen, und mit dem erforderlichen grob abgeschätzten Bedarf in Einklang gebracht. In der Regel wird die Krankapazität nach unterschiedlichen Erfahrungsformeln bzw. Erfahrungsansätzen festgelegt.

### Bestimmung der erforderlichen Anzahl Turmdrehkrane

Da der Kran als universelles Hebezeug ein teures Schlüsselgerät auf fast allen Baustellen darstellt, kommt seinem Einsatz sowohl in bauablaufbedingter, als auch in wirtschaftlicher Sicht, eine übergeordnete Bedeutung zu. Für die Einrichtungsplanung ergibt sich dabei als erstes die Frage nach der benötigten Anzahl Krane auf einer Baustelle.

Es gibt verschiedene Bemessungsansätze, die alle verschiedene Vor- und Nachteile aufweisen.

### Krananzahl über die Spielzeiten

Das massgebende Kranspiel muss angenommen werden (Bild 18). Daraus kann man sich die Grundspielzeit/h und mittels eines Geräteausnutzungs- bzw. Behinderungsfaktors die Dauerleistung des Krans bestimmen. Aus der Dauerleistung kann dann die Anzahl der benötigten Krane ermittelt werden. Es gilt [6]:

$$Q_D = \frac{3600}{t_0} \cdot \eta \cdot M$$

mit  $Q_D$ : Dauerleistung des Krans [fm<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/h, t/h, Stk/h]  
 $t_0$ : Grundspielzeit [s]  
 $\eta$ : Abminderungsfaktor [-]  
 $M$ : geförderte Menge [fm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>, t, Stk]

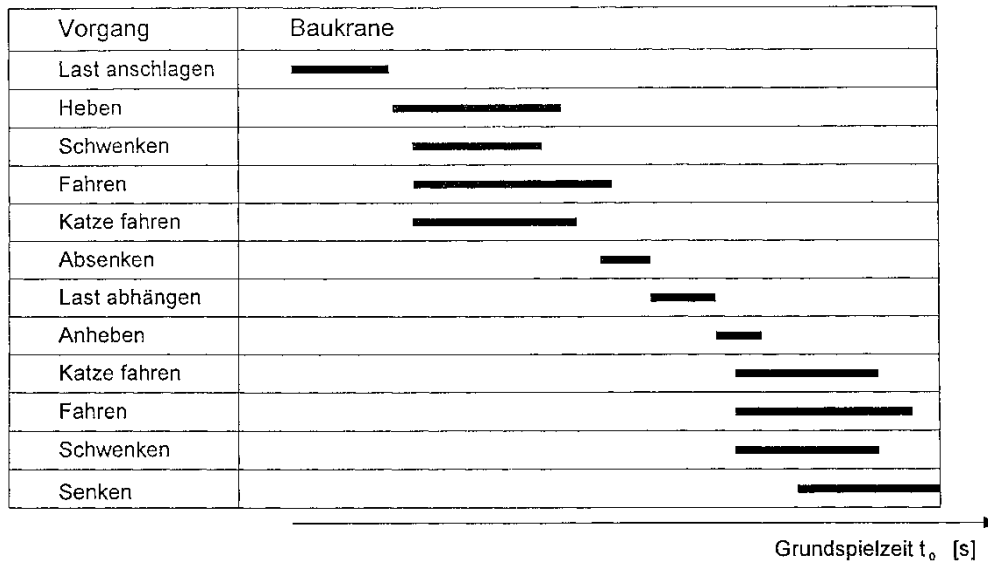


Bild 18: Diagramm zur Ermittlung der Grundspielzeiten von Kränen

Tabelle 3: Anhaltswerte für Einzelzeiten von Kranberechnungen [7]

Zeit	Einh.	Bewegung	Wert
$t_H$	[s/m]	Hub- bzw. Senkzeit des Hakens (Mittelwert)	1 bis 5
$t_s$	[s/α°]	Schwenkzeit des Krans	0.1 bis 0.2
$t_F$	[s/m]	Fahrzeit des Krans	2 bis 3
$t_K$	[s/m]	Fahrzeit der Laufkatze	1 bis 3
$t_v$	[s/α°]	Zeit für das Verstellen des Auslegers (15-85°)	1
$t_A$	[s]	Zeit für das Anschlagen der Last	30 bis 180
$t_E$	[s]	Zeit für das Entleeren des Kübels bzw. Abhängen von Lasten	30 bis 300

Das Verfahren der Bemessung über die massgebenden Kranspiele hängt stark von den zu treffenden Annahmen ab und ist daher sehr unsicher. die Fehlermöglichkeiten sind dabei:

- Festlegung des massgebenden Kranspiels:**  
 Die Kranspielzeiten nehmen bei längeren Fahrstrecken des Krans exponentiell zu, so dass bei längsgestreckten Gebäuden das für den Gebäudeschwerpunkt berechnete Kranspiel nicht das tatsächlich massgebende ist (Tabelle 3).
- Bestimmung der Dauerleistung:**  
 Die Festlegung des Abminderungsfaktors ist sehr unsicher, er schwankt zwischen 0.50 und 0.83.



### Kranzahl mittels Beschäftigtenkennzahlen (Kennzahlenmethode)

Aus der Kenntnis der Anzahl der erforderlichen Arbeitskräfte kann überschlägig der Bedarf an Kranen abgeleitet werden. Das Ergebnis einer solchen Abschätzung kann jedoch nur als grober Richtwert dienen.

### Krananzahl über das Gebäudevolumen und die Baustoffmengen (Kennzahlenmethode)

Anhand von Übersichtsplänen wird das Volumen eines Baukörpers ermittelt. Aus der Baudauer kann, unter Annahme eines durchschnittlichen Baustoffbedarfs pro  $\text{m}^3$  Bruttorauminhalt des Gebäudes und einer durchschnittlich pro Monat beförderten Baustoffmenge pro Kran, der Kranbedarf ermittelt werden.

Tabelle 4: Richtwerte für Abschätzung Baustoffbedarf /  $\text{m}^3$  Bruttorauminhalt und durchschnittlicher Beförderungsleistung im Hochbau [8]

Baustoffbedarf pro $\text{m}^3$ Bruttorauminhalt	0.35 - 0.65 t
durchschnittliche Beförderungsleistung	300 - 500 t/mon

### Krananzahl über die Kranzeiten für die massgebende Verrichtung

Die Errechnung der erforderlichen Kranzeiten erfolgt anhand von Aufwandswerten (ev. aus der Nachkalkulation) für das Hauptmengengerüst. Über einen Zuschlag für sonstige Arbeiten und für Wartezeit und Stillstände können die benötigten Kranstunden errechnet werden. Unter Annahme einer monatlichen Kranarbeitszeit ergeben sich die benötigten „Kranmonate“ und über die geplante Instandsetzungsabbauzeit der Bedarf an Kranen.

### Kranarten

Der **Turmdrehkran** ist das am häufigsten eingesetzte Hubgerät im Hochbau. Er besteht aus einem Unterwagen (fahrbarer Kran) bzw. Fundament (ortsfester Kran) und einem Mast mit angesetztem Ausleger, über den die Lasten durch das Lastseil vertikal bewegt werden. Durch eine Schwenkmöglichkeit des Auslegers um die Mastachse, das Verfahren der Laufkatze am Ausleger sowie durch Verfahren des gesamten Kranes wird eine horizontale Beweglichkeit ermöglicht. Die Schwenkbewegung des Kranauslegers kann zusammen mit einer Drehbewegung des Kranturmes oder bei feststehendem Turm durch einen oben angebrachten Drehkranz mit entsprechender Motoreinrichtung erfolgen.

Beim Turmdrehkran sind zwei Systeme zu unterscheiden:

- Das System mit **beweglicher Kransäule** hat die Vorteile, dass Drehkranz, Ballast und Motorwinde beim Aufbau nicht um die Höhe des Kranturmes angehoben werden müssen. Hierdurch ist der Kran einfach aufzubauen sowie an- und abzutransportieren.
- Das System mit **feststehender Säule** hat den Ballast und den Drehkranz in Höhe des Auslegers. Der Turm wird weniger durch Biege- und Drillmomente und der Drehkranz durch Kippmomente belastet. Grössere Hubhöhen können gegenüber einem Kran mit beweglicher Kransäule erreicht werden.

Bei den Auslegern von Turmdrehkränen unterscheidet man den **Knickausleger**, den **Waagebalkenausleger** und den Nadelausleger (Bild 19), diese unterscheiden sich wie folgt:

- Der Nadelausleger wird nur mit einer Normalkraftkomponente beansprucht,
- Der Waagebalkenausleger ist an der höchsten Spitze der Kransäule befestigt. Der Waagebalkenausleger wird durch Normalkraft und Momente beansprucht.

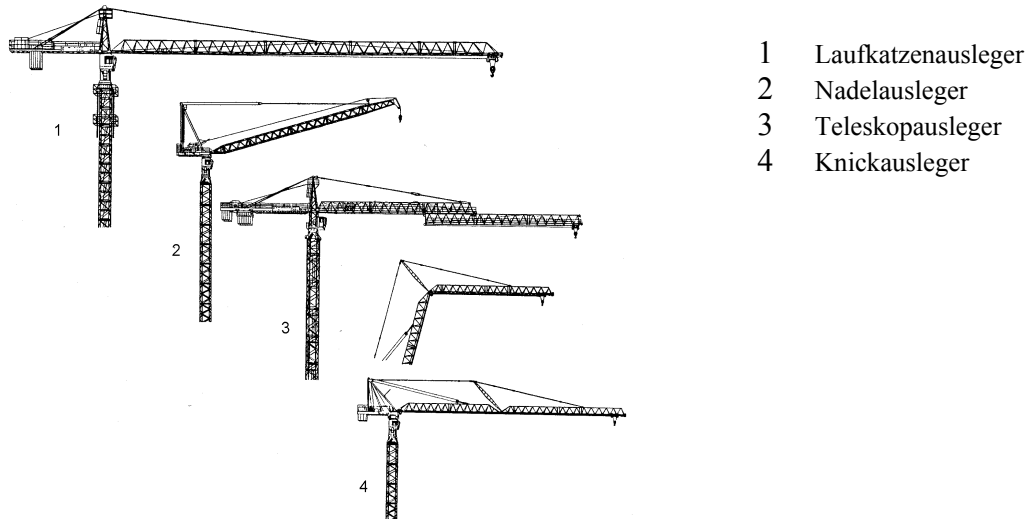


Bild 19: Auslegersysteme beim Turmdrehkran

Beim **Nadelausleger** sind die Neigung sowie die Höhe des Auslegerpunktes durch ein spezielles Auslegerseil veränderlich und können damit horizontale sowie vertikale Lastbewegungen durchführen. Sie haben eine gute Beweglichkeit in Baulücken und eine einfache Seilführung. Nachteilig ist, dass die Last nicht bis zum Turm herangeführt werden kann. Der Nadelausleger wird auch als Wippausleger bezeichnet. Beim Nadelausleger hängt die Last an einem vertikalen Seil das um die Nadelspitze geführt wird. Zur Positionierung der Last muss der Nadelausleger im gesamten bewegt werden. Bei gleicher Turmhöhe kann der Nadelausleger gegenüber dem Waagebalkenausleger grössere Höhen erreichen.

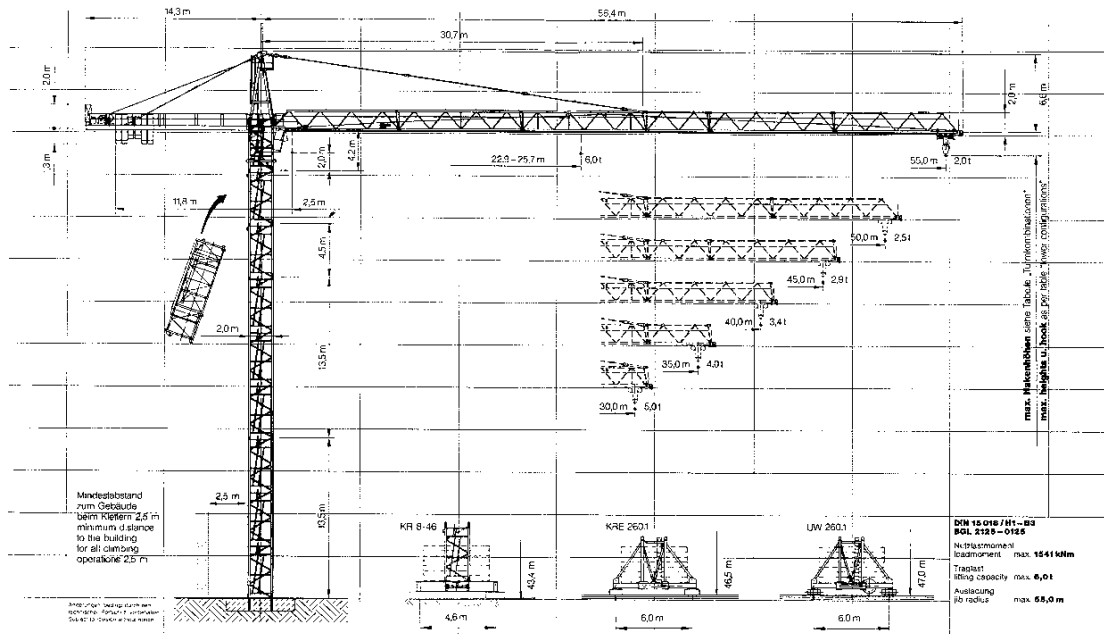
Waagebalken- und Knickausleger werden auch als **Laufkatzenausleger** bezeichnet (Bild 20 und Bild 21). Die Last horizontal entlang des Auslegers mit Hilfe einer auf dem Ausleger angehängten Laufkatze bewegt. Vorteile dieses Krantypes sind, dass sehr exakte horizontale und vertikale Lastbewegungen möglich sind und dass eine nicht drehbare Kransäule beim ortsfesten Kran gegen das Bauwerk ausgesteift werden kann und dadurch grössere Lasten und Höhen möglich sind (Silobauten, etc.). Des Weiteren kann die Last unmittelbar bis an den Turm herangeführt werden.

Der Knickausleger ermöglicht eine schnelle und einfache Hubvergrößerung durch Abknicken des Auslegers auch unter Last.

Den **Kletterkran** gibt es in mehreren Varianten. Bei einem sehr häufigen Krantyp, der einen Laufkatzenausleger voraussetzt, ist am oberen Ende um den Kranmast ein Aussenurmstück gesetzt, welches sich auf den Kranmast abstützt. Auf diesem Aussenurmstück ist der Drehkranz, die Führerkabine, Motor und Getriebe sowie der Kranausleger aufgebaut.

Mit der Laufkatze kann ein Turmgeschoss angehoben, auf einer Arbeitsbühne des Aussenturmstücks abgesetzt und auf den Kranturm aufgeschraubt werden. Durch eine Klettervorrichtung klettert an dem erhöhten Kranturm das Aussenturmstück um das eingebaute Turmgeschossstück in die Höhe.

Bis in eine Höhe von ca. 70 m kann dieser Krantyp auf Schienen fahrbar eingesetzt werden. Für grössere Höhen (bis zu 300 m) muss der Kran auf Betonfundamenten verschraubt und mit Seitenverankerungen am Bauwerk



**Traglasten (kg)  
Loaddata (kg)  
DIN 15 018 / H1 - B3**

Auslegerlänge jib length (m)	Tragfähigkeit bei Ausladung jib radius	Ausladung (m) und Tragfähigkeit (t) jib radius (m) and load capacity (t)							
		25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m	55 m	
55	bis 22,9 m 6,0t	5,4	4,4	3,6	3,1	2,6	2,3	2,0	
50	bis 24,2 m 6,0t	5,8	4,6	3,9	3,3	2,8	2,5		
45	bis 24,4 m 6,0t	5,8	4,7	3,9	3,3	2,9			
40	bis 24,6 m 6,0t	5,9	4,8	4,0	3,4				
35	bis 24,9 m 6,0t	5,9	4,8	4,0					
30	bis 25,7 m 6,0t	6,0	5,0						

Die Tragfähigkeitswerte beziehen sich auf 42,0 m Hakenweg. Bei größeren Hakenwegen verringert sich die zulässige Tragfähigkeit um das Mehrgewicht des zusätzlichen Hubseils (beim 2-fachen Seilstrangbetrieb = 2,4 kg je Meter Hakenweg).  
Load data refer to 42,0 m hook path. Larger hook path reduces max. load capacity by weight of additional rope (with 2-rope falls operation = 2.4 kg per meter hook path).

**Arbeitsgeschwindigkeiten und Motorleistungen  
Working speeds and installed power**

Motor (kW)	4,0	7,5	2 x 5,5	11,0
Geschwindigkeit speed	0t - 4,0t 1...80,0 m/min stufenlos / stepless 0t - 6,0t 1...60,0 m/min	0,8 m <sup>-1</sup> r.p.m.	30,0 m / min	0,9 m / min

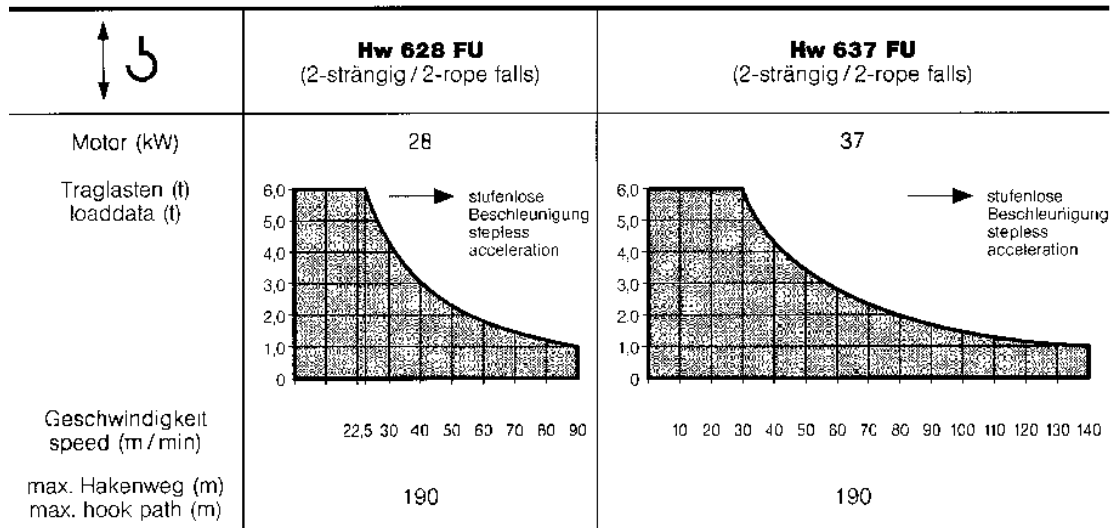
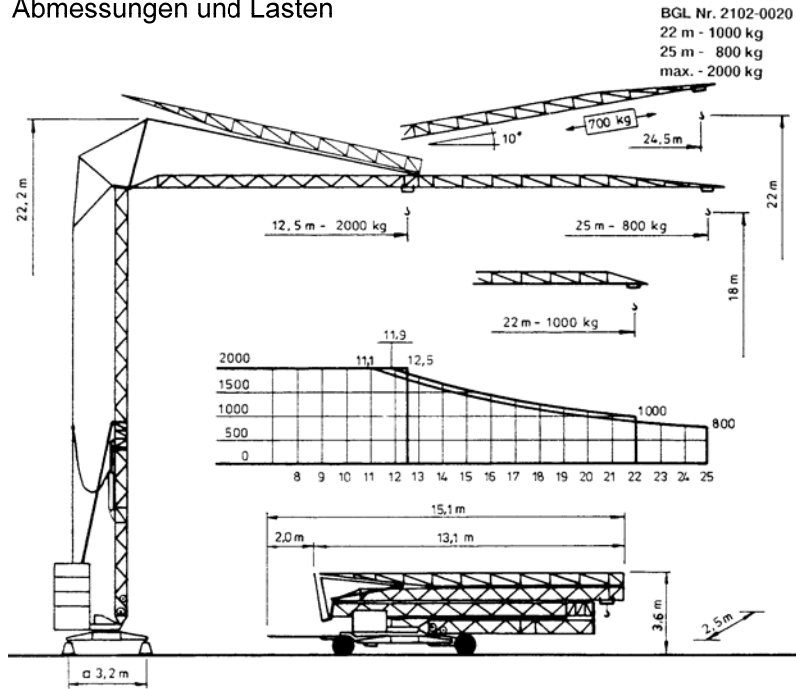


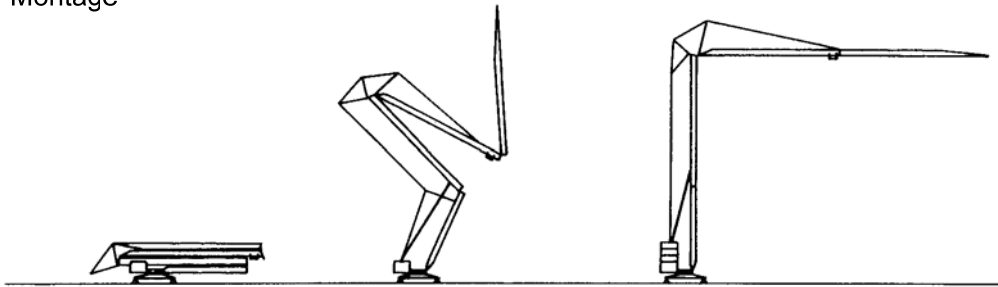
Bild 20: Hochbaukran

Für kleinere und mittlere Instandsetzungsarbeiten eignen sich besonders Schnellmontagekrane (Bild 21). Diese können den Mast teleskopartig einfahren bzw. zusammenklappen. Im zusammengeklappten Zustand können sie auf öffentlichen Strassen gefahren werden. Diese Krane können mit angebauten Hilfseinrichtungen ohne fremde Maschinenhilfe aufgebaut werden. Dagegen werden schwerere Hochbaukrane in der Regel mit Hilfe von Autokranen aufgebaut.

Abmessungen und Lasten



Montage



Montage - Platzbedarfsdiagramm

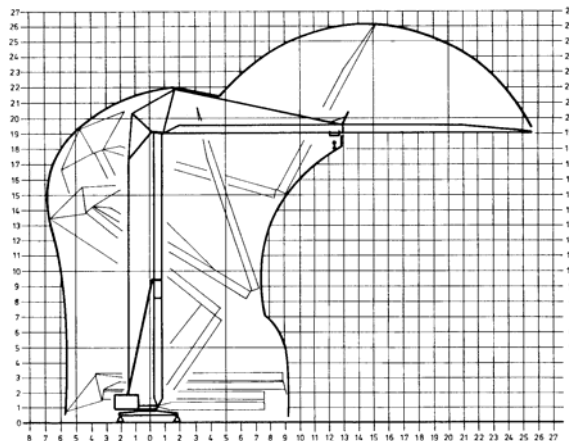


Bild 21: Schnellmontagekran

**Technische Grundsätze zur Kranaufstellung:**

- 1) alle Lagerplätze erreichbar
- 2) lange Fahrwege für den Kran vermeiden

- 3) kranintensive Bereiche gegebenenfalls mit mehreren Kranen bestreichen
- 4) Hubkraft  $\geq$  max. Last

### **Sicherheitsbestimmungen**

Sicherheitsabstände zu Gebäuden und Gerüsten.

Beim Aufbau und Betrieb der Krane ist auf eine sichere Gründung zu achten. Sie können standortfest auf Fundamenten aufgeschraubt bzw. fahrbar auf einem Unterwagen aufgestellt werden. Fahrbare Turmkrane laufen meist auf Schienen, aber es wurden auch Hochbaukrane mit Rad- oder Raupenfahrwerk entwickelt. Für sehr hohe Bauwerke (Turmbauten, Hochhäuser) werden die Krane in der Regel ortsfest montiert, und zur Aufnahme von horizontalen Lasten mehrfach gegen das im Bau befindliche Gebäude verankert.

Der Auf- und Abbau von Turmdrehkränen muss wirtschaftlich durchgeführt werden.

### **Einsatz des Autokranes**

Der **Autokran** ist eine auf einem LKW aufgebaute Krananlage mit drehbarem Kranturm, Führerkabine und Ausleger (Bild 22). Da in der Regel zusätzliche Stützfüsse ausgefahren werden müssen, sind schwere Autokrane mit teleskopierbaren Seilzugauslegern oder hydraulisch ausfahrbaren Auslegern mit Tragfähigkeiten bis über 800 Tonnen entwickelt worden. Die **Tragfähigkeit** eines Autokranes ist abhängig von:

- Arbeitsbereich
- Gegengewicht
- Abstützungsart / -möglichkeit
- Auslegerlänge / -verlängerung
- Ausladungsradius

Sie sind auf öffentlichen Strassen verhältnismässig schnell von Baustelle zu Baustelle zu verfahren und werden bei Montagen vorgefertigter Teile, also bei kurzfristig hohen Lastbewegungen wirtschaftlich eingesetzt.

Die Aufstellung muss möglichst nahe am tatsächlichen Einsatzort erfolgen. Damit wird die Baustelleneinrichtung nicht unwesentlich beeinflusst.

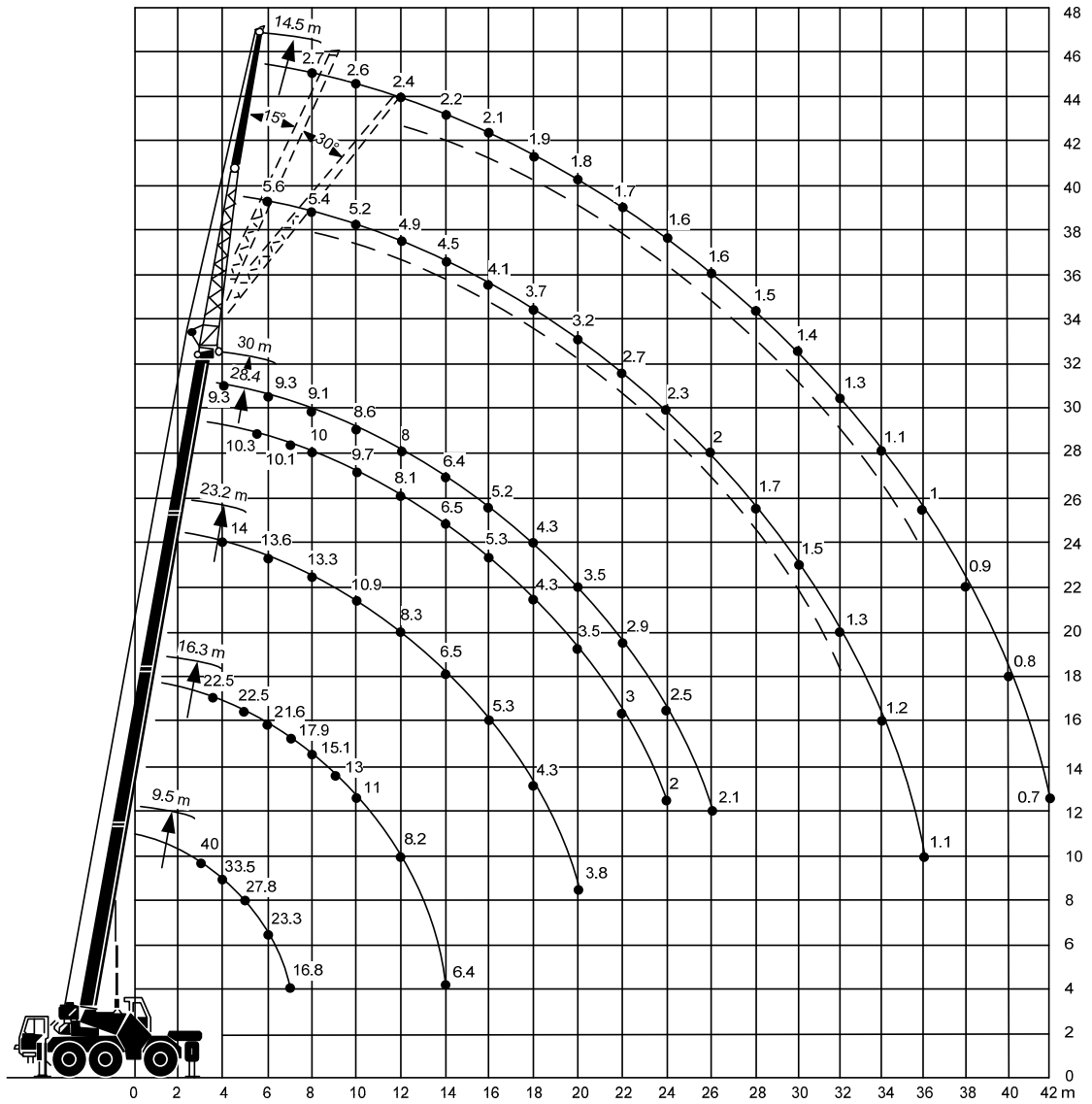


Bild 22: Autokran (Liebherr LTM 1040-3)

## Bauaufzüge

Für den Vertikaltransport bei Instandsetzungsarbeiten, besonders im Hochbau, verwendet man Bauaufzüge (Bild 23, Bild 24 und Bild 25). Der horizontale Materialtransport kann dann mittels Gabelstapler innerhalb der Stockwerke erfolgen. Das Material kann auf Paletten von dem anliefernden LKW über Zwischenlager im Bauaufzug und im Stockwerk transportiert werden.

Tabelle 5: Arten von Bauaufzügen [9]

Typ	Traglast	Eigenschaften
Schrägaufzüge	bis 200 kg	stationär, steckbar, bis 20 m Länge oder fahrbar, teleskopierbar, bis 30 m Länge
Schnellbau-Materialaufzüge	bis 1500 kg	senkrecht, bis 100 m, leichte Ausführung mit Seilantrieb, schwere Ausführung mit Zahnstangenantrieb
Personen- und Materialaufzüge	bis 4500 kg oder 30 Personen	Zahnstangenantrieb mit ein oder zwei Fahrkörben



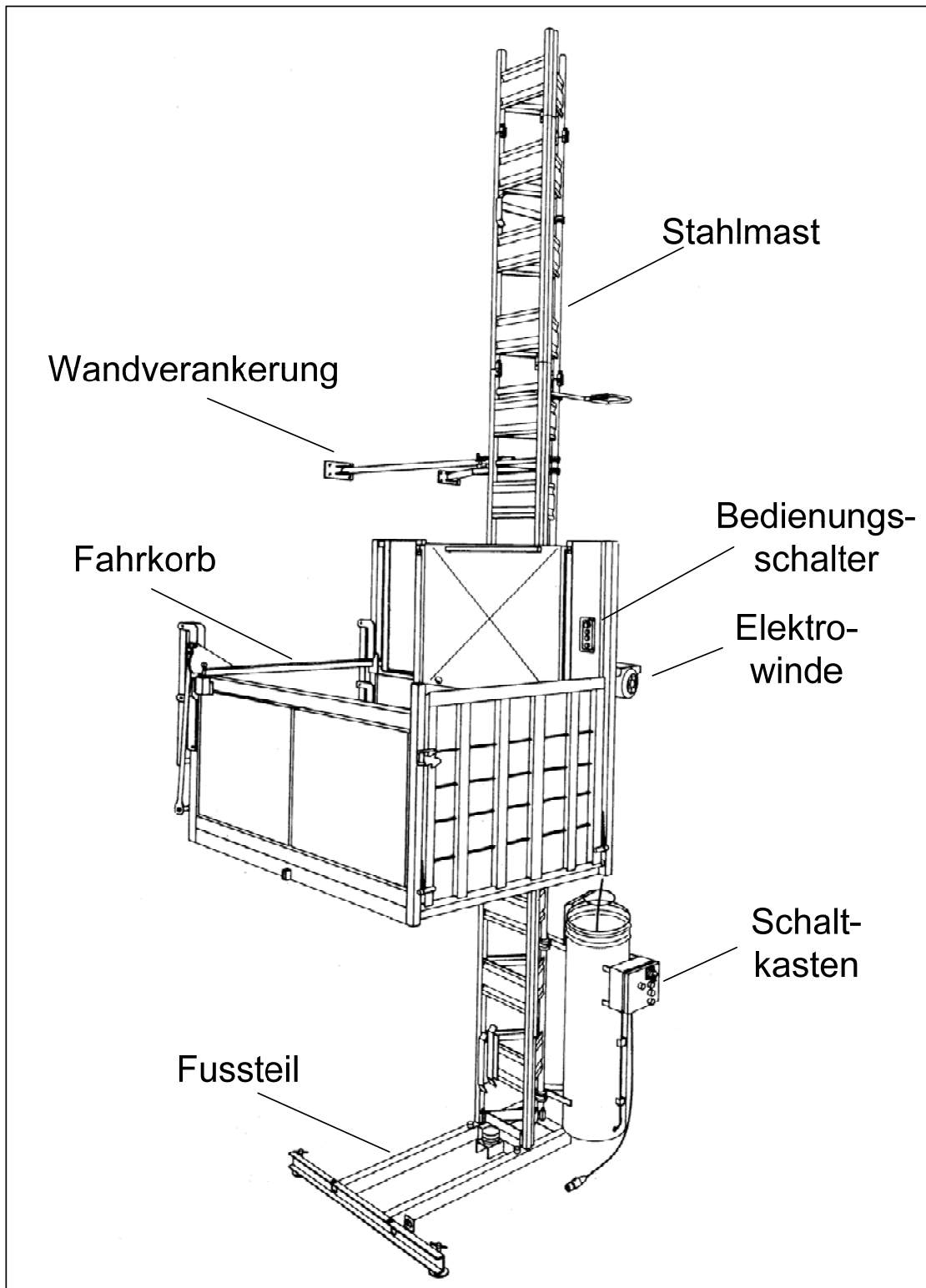


Bild 23: Leichter Lastenaufzug

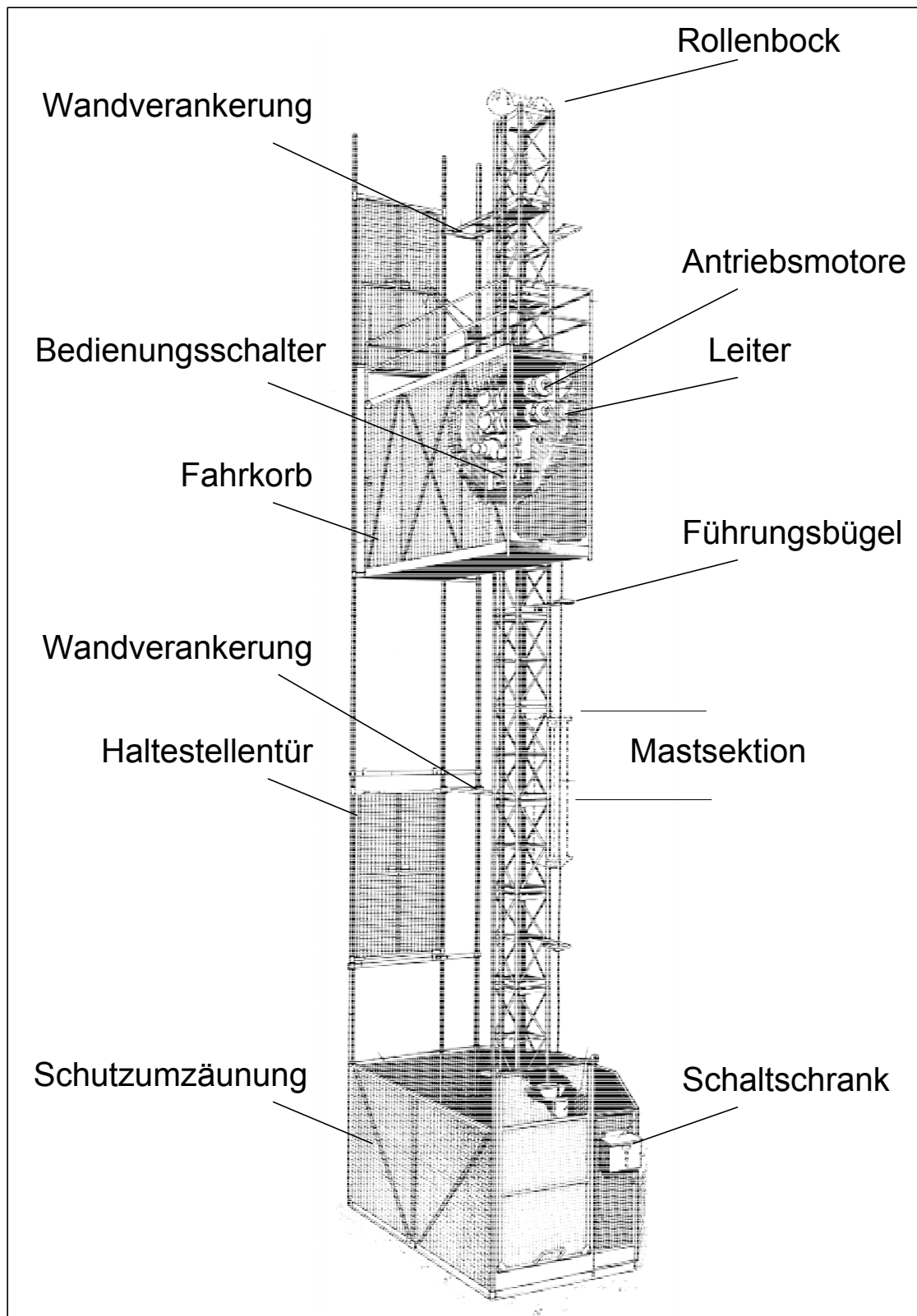


Bild 24: Personenaufzug

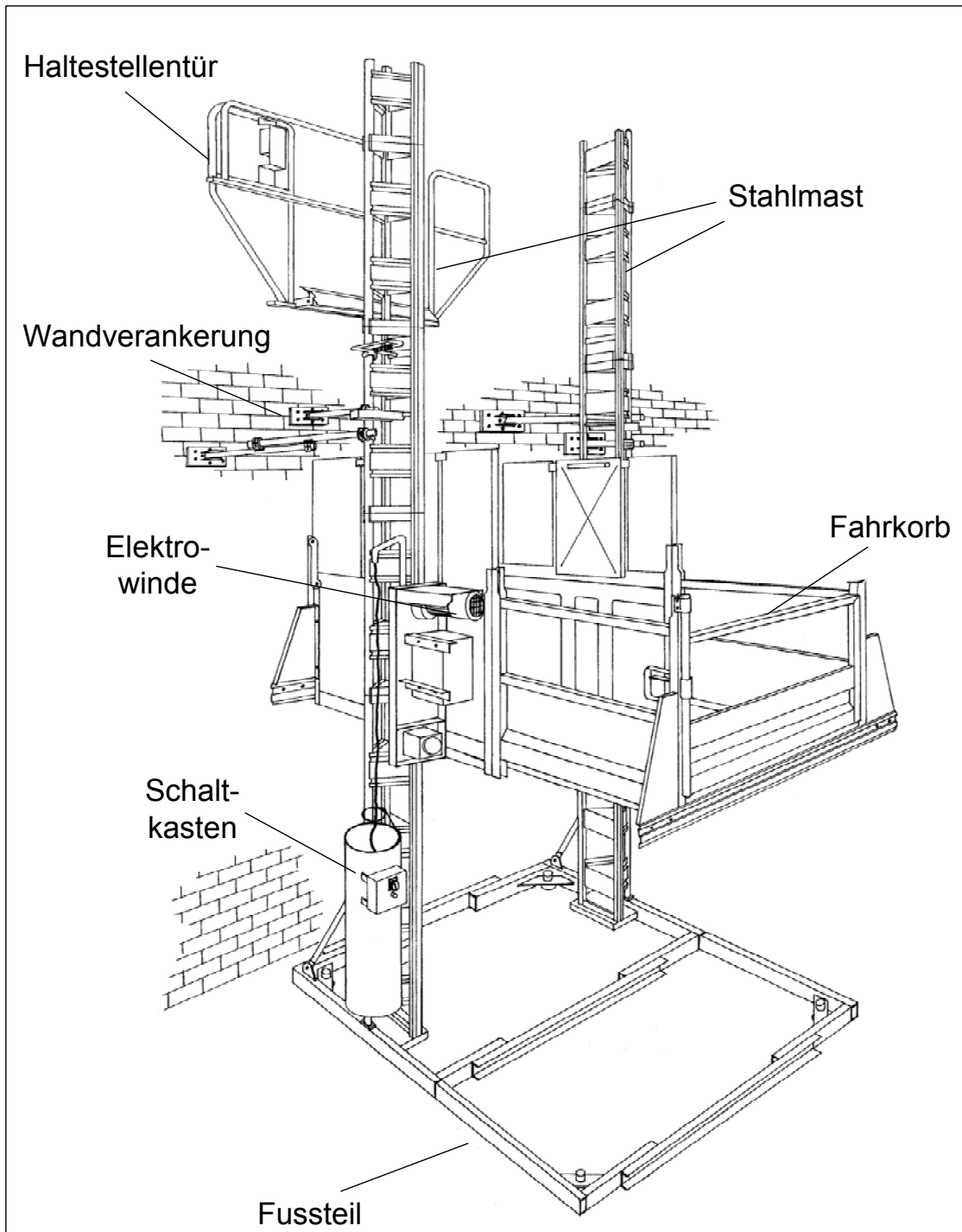


Bild 25: Schwerer Lastenaufzug

### **Sicherheitsbestimmungen für Bauaufzüge ohne Schachtgerüst**

- 1) Die Fahrbahn des Aufzuges ist an der unteren Ladestelle mit Ausnahme der Zugangsseite in einer Entfernung von 2 m ringsherum abzuschranken.
- 2) Schutzdächer sind zu errichten über der unteren Ladestelle, dem Triebwerk, dem Bedienungsstand und jenem Bereich, um den die Abschrankung an der unteren Ladestelle näher als 2 m an der Fahrbahn des Aufzuges liegt.
- 3) Sämtliche Fahrbahnzugänge sind durch eine nicht wegnehmbare Absperrung, z.B. schwenkbare oder verschiebbare Schranken, zu sichern.

- 4) Zur Verständigung des Maschinisten ist beim Bedienungsstand eine elektrische Klingel anzubringen, die von jeder Ladestelle aus betätigt werden kann.
- 5) Bei den Ladestellen muss sich das Fördergerät sicher aussetzen lassen.
- 6) Das Fördergerät muss so umwehrt sein, dass das Ladegut nicht abstürzen kann.
- 7) Das Mitfahren von Personen bei Materialtransporten ist verboten, bei jeder Ladestelle ist eine Warntafel anzubringen.

### Horizontaler Transport im Gebäude

Um Material auf der Stockwerksebene an den Einbauort zu transportieren, eignen sich bei entsprechenden Fahrmöglichkeiten im Geschoss folgendes Konzept (Bild 26):

- Schiebepattform wird im Bereich einer grossen Wandöffnung installiert
- Vertikaltransport erfolgt mittels Baukran
- Paletten werden auf der Schiebepattform verschoben zum Aufnehmen mittels Gabelstapler
- Horizontaltransport erfolgt im Stockwerk mittels Gabelstapler oder Handgabelhubwagen

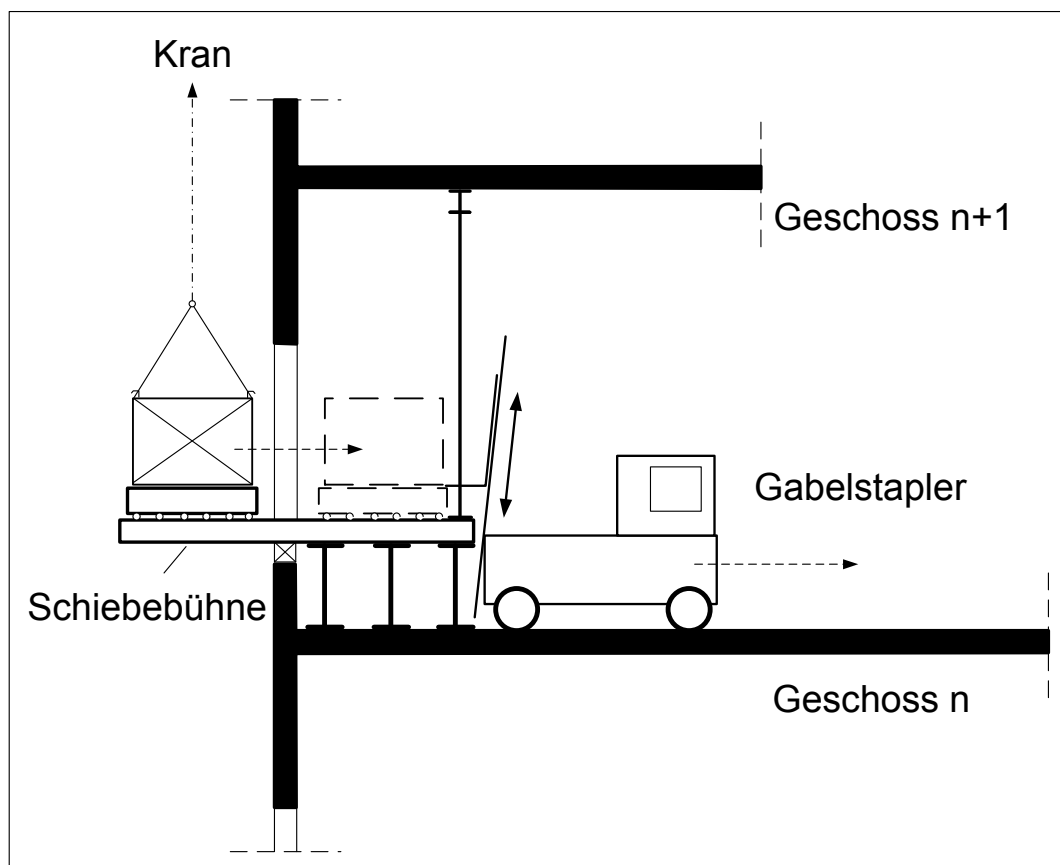


Bild 26: Schema einer umsetzbaren Schiebepühne

Die Bühne muss sicherheitstechnisch so ausgerüstet sein, dass die Übergabe des Materials einerseits unbeabsichtigtes Herunterfallen verhindert. Daher muss die Plattform mit einem Fussbrett rundum versehen sein damit Kleinmaterial durch diese Aufkantung zurückgehalten wird. Ferner müssen die Absprissungen, die im hinteren Teil der

Plattform angeordnet sind und die Abhebekräfte aufnehmen müssen aus dem Kragmoment, gegen das Anfahren der Gabelstapler geschützt werden.

### 3.4 Schutzzelte, Inspektions- und Arbeitsgerüste

#### 3.4.1 Schutzzelte

Die Funktion der Schutzzelte sowie Arbeits- und Schutzgerüste besteht darin:

- Die Arbeiten von ambivalenten Witterungsbedingungen unabhängig zu machen.
- Den Baubetrieb von den Nutzern der Infrastrukturanlagen zu trennen und die Sicherheit zu erhöhen.
- Die Umwelt vor Emissionen zu schützen, die im Rahmen der Massnahmen entstehen.

Schutzzelte bei der Instandsetzung von Brückenbauwerken (Bild 27 und Bild 28) dienen hauptsächlich um einerseits Emissionen gezielt abzusaugen und andererseits dienen sie als Witterungsschutz beim Aufbringen der Brückenisolierung.

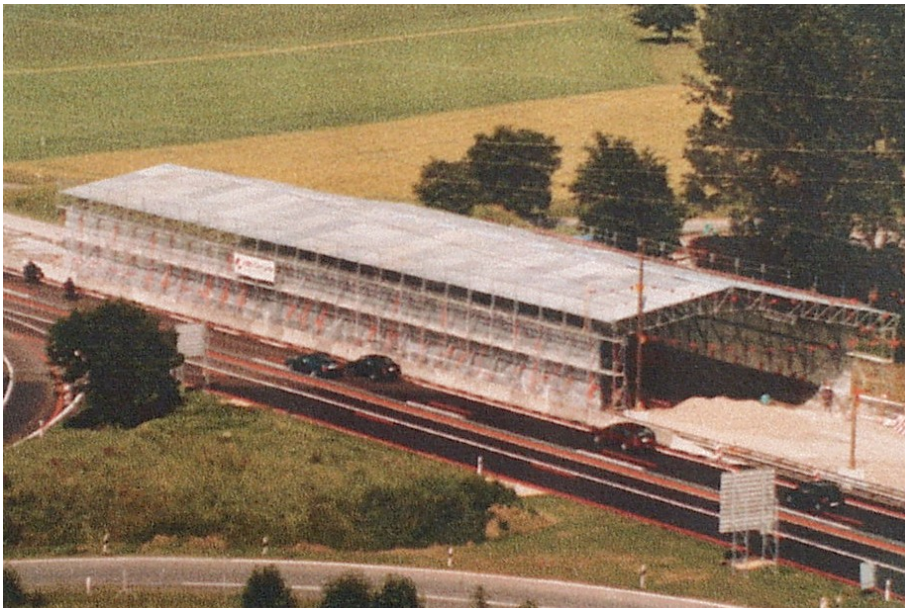


Bild 27: Schutzzelte der Firma Roth AG werden für das Aufbringen der Abdichtung eingesetzt



Bild 28: Schutzzelt

Fahrbare Inspektions- und Arbeitsgerüste dienen zur Überwachung von Bauwerken sowie zur Durchführung kleinerer Instandhaltung- und Instandsetzungsmassnahmen. Man unterscheidet folgende Systeme:

- Portalgerüste (Bild 29 und Bild 30), die auf Schienen auf der Brücke montiert werden. Diese können zur Instandhaltung und zur Instandsetzung eingesetzt werden.
- Hängegerüste (Bild 30) werden auf dem Randstreifen montiert und können wie die Portalgerüste verschoben werden.
- Mobile Inspektions- und Arbeitsplattformen sind auf einem LKW montiert (Bild 31). Diese können flexibel eingesetzt werden, z.B. zur Brückeninspektion sowie zu betrieblichen Instandhaltungsmassnahmen (Reinigung von Entwässerungsleitungen). Diese Geräte können sehr schnell von einem Bauwerk zum anderen transportiert werden. Die einzelnen Elemente können hydraulisch bewegt werden.

Diese Inspektions- und Arbeitsgerüste sind vertikal verschiebbar und horizontal schwenkbar. Damit können sie entsprechend der z.B. variablen Kastenhöhe einer Brücke angepasst werden und durch Verschwenken bzw. Einziehen des horizontalen Auslegers an Brückenpfeiler ins nächste Brückenfeld umgesetzt werden.



Bild 29: Installiertes mobiles Portalbrückengerüst

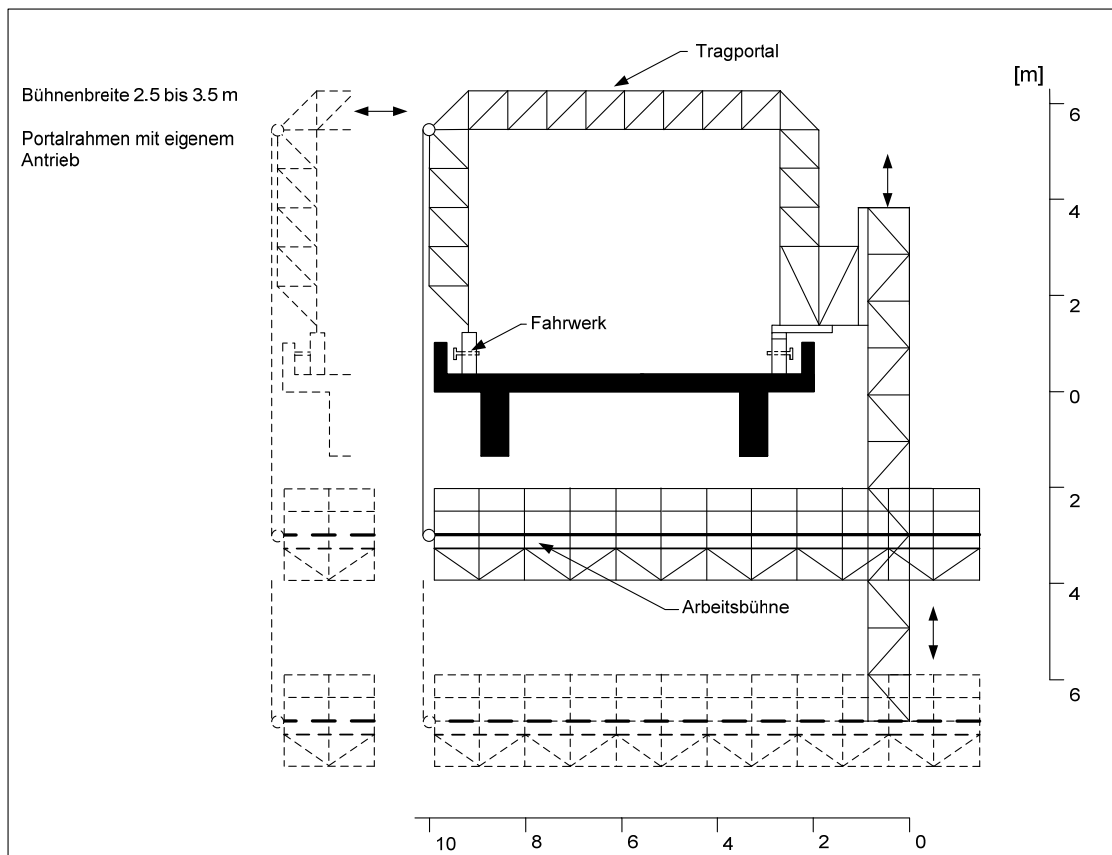


Bild 30: Fahrbare Portalarbeitsbühne, Schemazeichnung

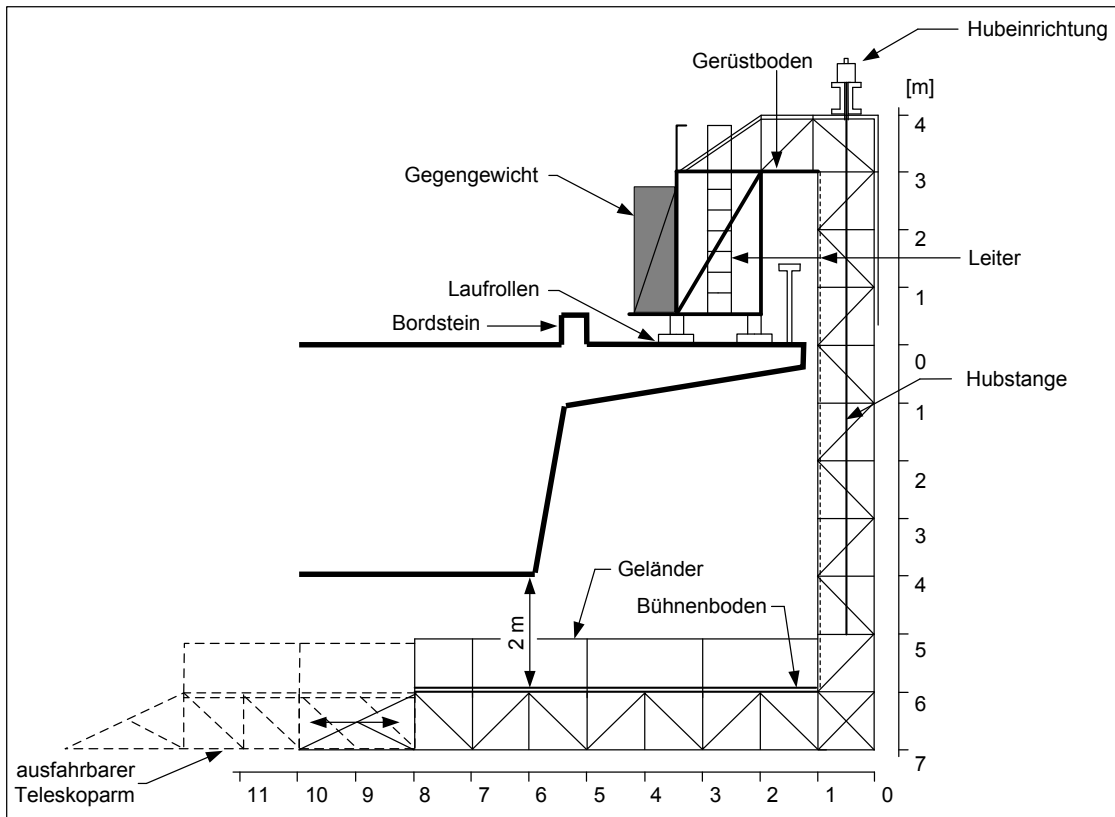


Bild 31: Fahrbarer Besichtigungswagen und Arbeitsbühne



Bild 32: Mobile Inspektions- und Arbeitsplattformen auf LKW-Träger

Die Arbeits- und Schutzgerüste sind erforderlich um flächenhafte Instandhaltungs- und Instandsetzungsmassnahmen an Brückenbauwerken durchzuführen. Dabei unterscheidet man zwischen Arbeitsgerüsten mit und ohne Emissionsschutz.

Ferner kann man die Gerüste nach ihrer Funktion wie folgt unterteilen:

- Kragarmgerüste zur Instandsetzung der Brüstung mit Emissionsschutz (Bild 33).



- Hängegerüste um die gesamte Unterseite der Brücke instandzusetzen (Bild 34).
- Kragarmhängegerüst mit Emissionsschutz und voller Einhausung (Bild 35)
- Spezialarbeitsgerüste

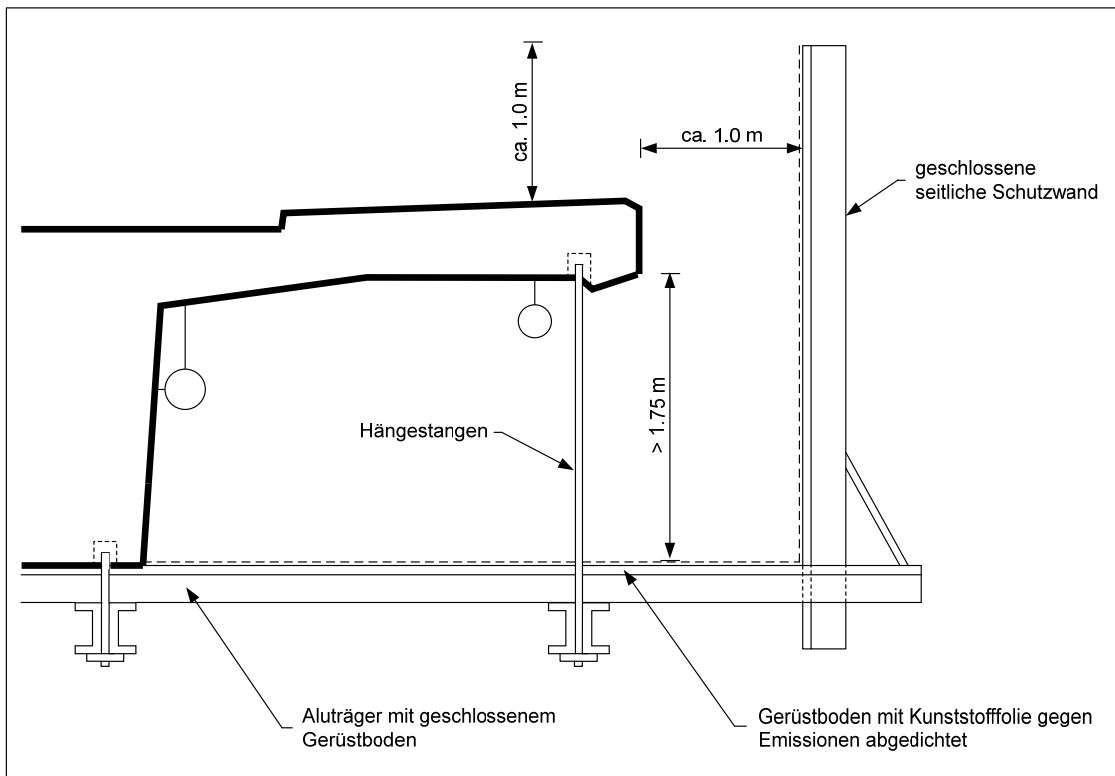


Bild 33: Kragarmgerüst: Hängegerüst mit Emissionsschutz

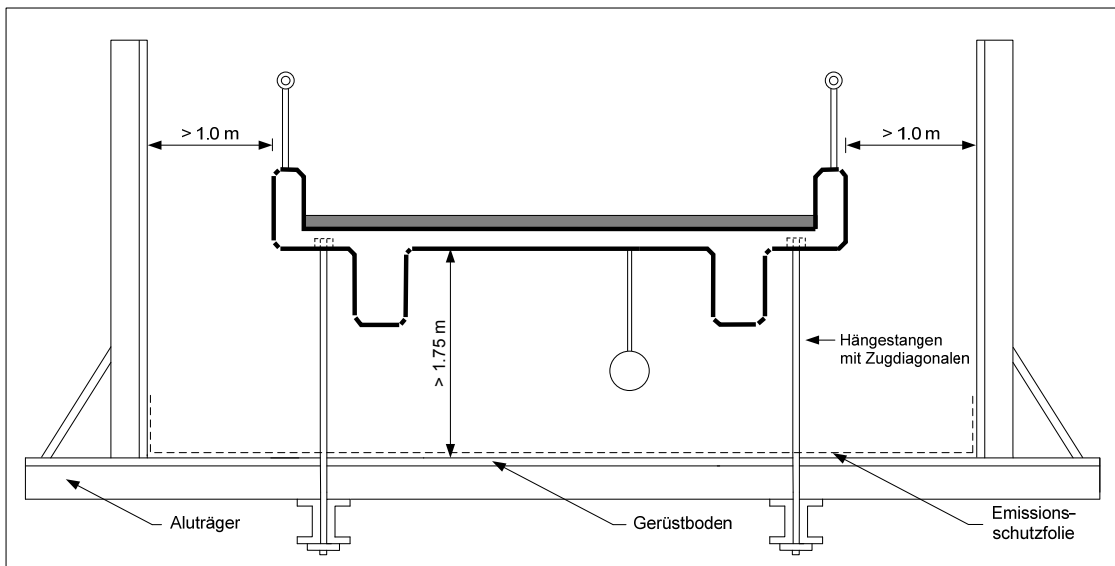


Bild 34: Vollflächiges Hängegerüst mit Emissionsschutz

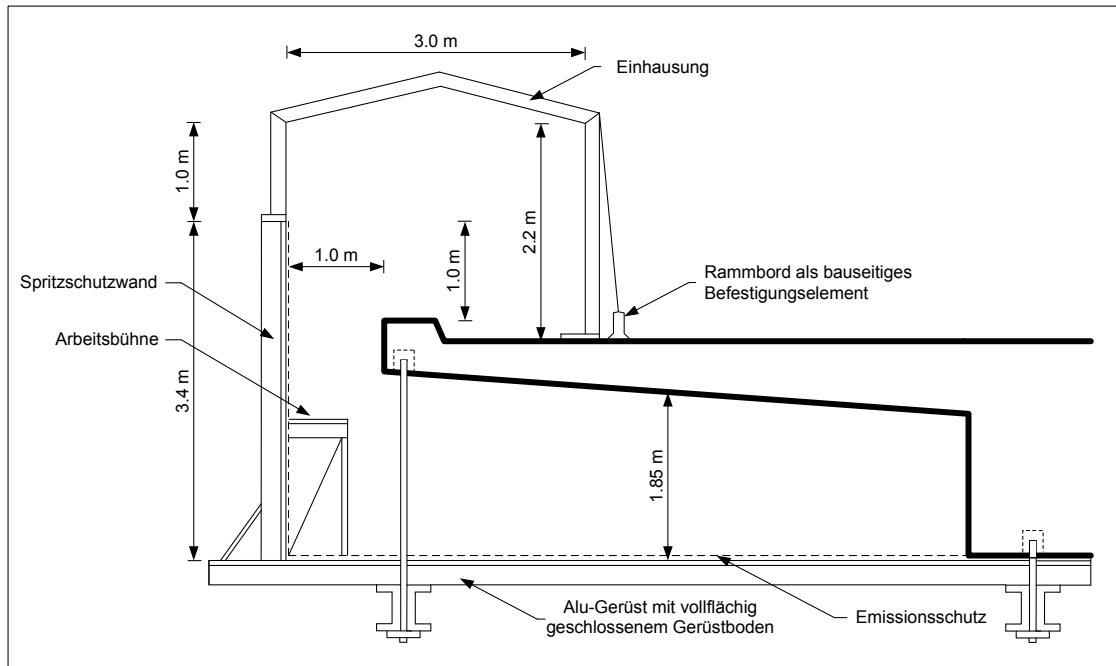


Bild 35: Kragarmgerüst mit Einhausung und dichtem Bodenbelag (Emissionsschutz)

## 3.5 Energieumsetzung auf der Instandsetzungsbaustelle

### 3.5.1 Energiearten auf Instandsetzungsbaustellen

Folgende Energiearten bzw. -formen werden heute auf Instandsetzungsbaustellen vorwiegend verwendet [6]:

- Elektrische Energie
- Verbrennungsmotoren
- Druckluft
- Hydraulik
- Dampf

### 3.5.2 Elektrische Energie

Elektrische Energie mit 220 V/380 V ist die bedeutendste Energie auf den meisten Baustellen. Sie ist wirtschaftlich, leicht handhabbar, über Kabel zu transportieren sowie ohne direkte Umweltschäden. Elektrizität kann u.a. für folgendes verwendet werden:

- Heben und Fördern von Lasten
- Pumpen von Wasser
- Betonieren: Beton pumpen, rütteln, abziehen
- Bohren
- Schleifen
- Schweißen

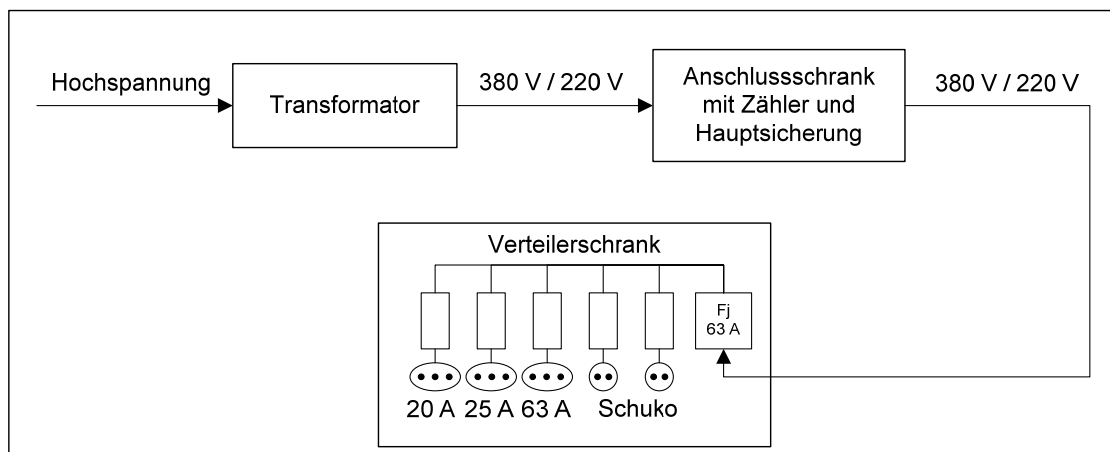


Bild 36: Schema eines Elektroanschlusses

Auf Baustellen wird ein **3-Phasen-Wechselstrom** verwendet (Bild 36). Zwischen 2 Phasen sind jeweils 220 V Spannung. Zur Entnahme von 220 V Strom werden nur 2 Phasen, bei 380 V werden 3 Phasen benutzt; eine weitere Ader ist für den Schutzleiter.

Der **Anschlusswert** für eine Baustelle ist so zu ermitteln, dass alle benötigten Verbraucher gleichzeitig in Betrieb sein können. Transformator und Anschlusschrank

werden in der Nähe der Hochspannungsleitung installiert, die Verteilerschränke werden möglichst zentral aufgestellt, etwa im Treppenhaus bei Hochbauten. Je Etage können mehrere Verteilerschränke erforderlich sein.

Es ist notwendig, elektrische Geräte abzusichern. Die Absicherung gegen Überlastung wird von einer trägen Sicherung übernommen, die kurzzeitig grössere Strommenge zum Anlaufen übertragen kann und bei einer Überlastung mit einer entsprechenden Trägheit reagieren darf. Die Absicherung gegen Stromschlag erfolgt durch sogenannte FI-Schalter. Sie haben 2 Funktionen: ein Teil des Schalters misst ständig die zu- und abfliessende Strommenge; bereits bei einer kleinen Differenz, je nach Typ verschieden, jedoch maximal 0.5 A, unterbricht der andere Teil die Stromzufuhr sofort.

Zum Lichtbogen - Kurzschluss-Schweissen verwendet man 42 V bzw. 65 V. Bei solch geringen Spannungen ist nur eine Isolierung der Kabel, jedoch keine Absicherung und keine Schutzleiter notwendig. Für grössere Strommengen werden die erforderlichen Leitungsquerschnitte zu gross.

Allgemein zeichnen sich elektrische Antriebsmotoren durch folgende Vorteile aus:

- geringe Störanfälligkeit und kaum Wartungsbedarf
- guter Wirkungsgrad
- grosser nutzbarer Drehmomentbereich
- geringere Lärm- und Abgasemissionen

### Wirkungsgrad

Bei den auf den Typenschildern der Baugeräte angegebenen Leistungen handelt es sich um die am Wellenstumpf abgegebene Leistung  $P_{ab}$ . Die zugeführte Leistung  $P_{zu}$  muss daher grösser sein und ist um den Wirkungsgrad des Motors zu erhöhen. Es gilt [6]:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

mit:	$\eta$	Wirkungsgrad			[-]
	$P_{ab}$	abgegebene	Leistung		[kW]
	$P_{zu}$	zugeführte Leistung			[kW]

Bei den Motoren liegt  $\eta$  zwischen 0.6 und 0.9. Für die **Bemessung** kann mit

$\eta = 0.80 - 0.85$  gerechnet werden.

### Leistungsfaktor

Bei induktiven Verbrauchern (Elektromotoren, Transformatoren) tritt eine Phasenverschiebung um den Winkel  $\varphi$  zwischen Strom und Spannung auf, da das Magnetfeld in der Spule bei wechselnder Stromrichtung immer wieder auf- und abgebaut werden muss, bevor ein Stromfluss eintreten kann. Die Spannung eilt dem Stromfluss voraus (Bild 37).

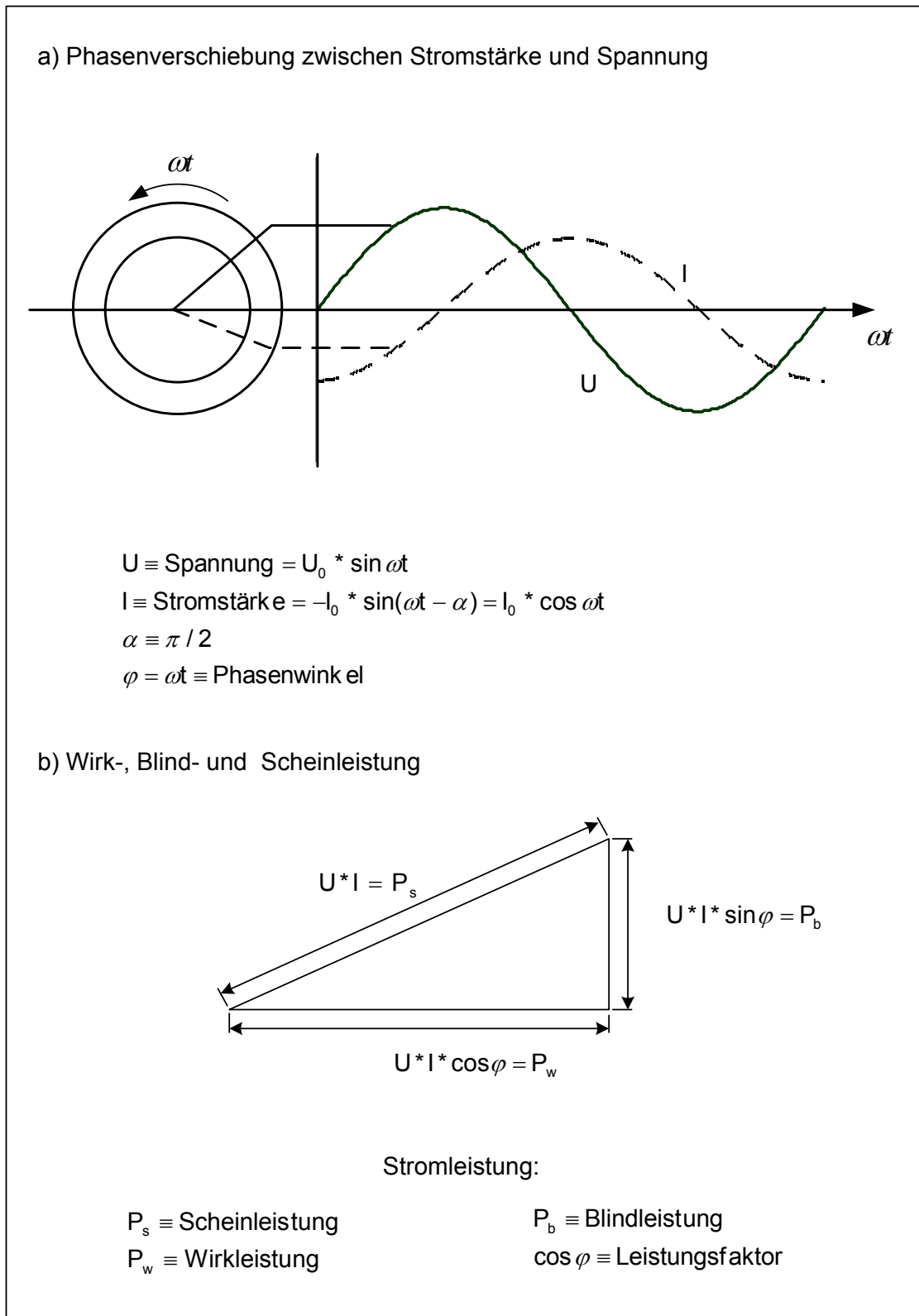


Bild 37: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung sowie Wirk-, Blind und Scheinleistung

Das Produkt zwischen Strom und Spannung ergibt dann nur eine scheinbare Leistung. Die Scheinleistung kann in die Komponenten Blind- und Wirkleistung zerlegt werden. Nur die **Wirkleistung ist in mechanische Arbeit**, Wärme oder Licht umsetzbar.

**Merksatz**

[10]:

„Die Blindleistung kann mit der Verpackung einer Ware verglichen werden; sie ist zwar nötig, aber eigentlich hat man keinen Nutzen von ihr.“

Es gilt:

$$\cos \varphi = \frac{P_W}{P_S}$$

mit:  $\cos \varphi$  Leistungsfaktor [-]  
 $P_W$  Wirkleistung [kW]  
 $P_S$  Scheinleistung [kW]

Der Leistungsfaktor liegt für Motoren unter Vollast bei rund 0.8 bis 0.9 und sinkt bei nachlassender Belastung. Durch Parallelschaltung von induktiven Widerständen (Motoren etc.) mit kapazitiven Widerständen (Kondensatoren) kann eine Verbesserung des Leistungsfaktors erreicht werden (Blindstromkompensation). Auf Baustellen lässt sich ohne Blindstromkompensator kaum  $\cos \varphi > 0.7$  erreichen, meist liegt er zwischen 0.5 - 0.7.

**Gleichzeitigkeitsfaktor**

Da nicht alle Verbraucher gleichzeitig und dauernd eingeschaltet sind, ist der tatsächliche Leistungsbedarf geringer als die Summe der für die einzelnen Geräte ermittelten Leistungsaufnahmen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Überschlägige Ansätze für Gleichzeitigkeitsfaktoren [11]

Gleichgewichtsfaktor	
einzelne Baumaschinen oder Anlagen mit mehreren Motoren	0.75 - 0.85
Kleine Baustellen mit voneinander unabhängigen Verbrauchern	0.60 - 0.75
Grossbaustellen	0.40 - 0.50

Bei überschlägigen Verfahren treten jedoch schwere Fehler auf, wenn es sich um einseitig zusammengesetzte Geräteparks handelt. Deshalb ist dann eine Zusammenstellung der einzelnen Leistungswerte mit gezielter Gewichtung vorzunehmen.

**Leistungsbedarf**

Für die Dimensionierung der für das Baustellennetz notwendigen Einrichtungselementen muss der Bedarf an elektrischer Leistung  $P_{ges}$ , der sog. Anschlusswert, ermittelt werden. Dabei sind folgende Aufgaben erforderlich [6]:

- **Leistungsaufnahme der Verbraucher** von elektrischer Energie in kW, diese entspricht der Summe der z.B. in der BGL aufgeführten Motorleistung für die auf der Baustelle eingesetzten Geräte.

Wir unterscheiden hierbei den Leistungsbedarf für Baustellenmotoren  $P_{mot}$  und den Leistungsbedarf für Lichtstrom und Wärme  $P_{Li + w\ddot{a}}$  als Summe der jeweiligen

Verbraucher auf der Baustelle. Bei der Leistungsaufnahme der Motoren müssen der Wirkungsgrad  $\eta$  und der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  berücksichtigt werden.

- Der Wirkungsgrad  $\eta$  gibt das Verhältnis der abgegebenen Leistung zur zugeführten Leistung an und liegt bei Elektromotoren in einer Größenordnung von etwa 0.80 bis 0.85.
- Der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  ergibt sich aus der Phasenverschiebung von Strom gegenüber der Spannung und liegt bei ca. 0.60.
- Da nicht alle Verbraucher gleichzeitig eingeschaltet sind, ist die tatsächlich benötigte Leistung kleiner als die durch Aufsummierung aller Verbraucher ermittelte Leistungsaufnahme. Dies wird über den Gleichzeitigkeitsfaktor  $a$  berücksichtigt, der das Verhältnis von tatsächlichem zum theoretisch möglichem Leistungsbedarf darstellt. Für den Gleichzeitigkeitsfaktor kann normalerweise angenommen werden:
  - $a = 0.4$  bis  $0.5$  für Grossbaustellen
  - $a = 0.6$  bis  $0.75$  für sonstige Baustellen
  - $a = 0.75$  bis  $0.85$  für Einzelgeräte mit mehreren Motoren, wie z.B. Kräne.

Mit diesen Angaben kann der erforderliche Leistungsbedarf (Bild 38) ermittelt werden, der für die Bemessung der übrigen Elemente der elektrischen Einrichtung massgebend ist [6].

$P_{Sges}$	gesamte Scheinleistung	[kVA]
$P_S$	Scheinleistung der Motoren	[kVA]
$P_{WB}$	Wirkleistung der Beleuchtung und elektrische Wärme	[kW]

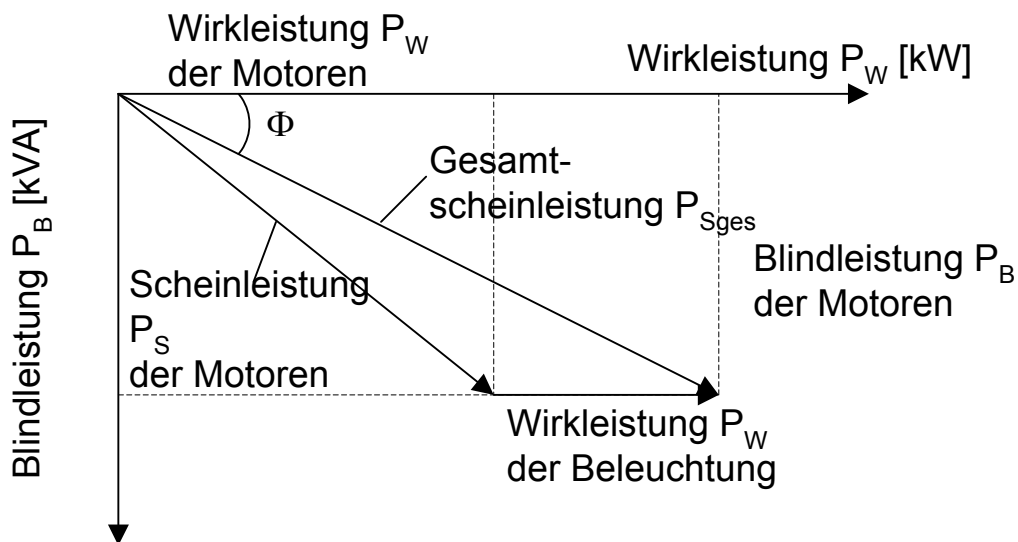


Bild 38: Beziehung von Wirk-, Blind- und Scheinleistung [6]

### 3.5.3 Ermittlung des Druckluftbedarfes

Der Druckluftbedarf für Abbruch-, Umbau- und Instandsetzungsbaustellen ergibt sich aus der Geräteliste, wobei die voraussichtlichen Einsatzzeiten der Gräte anhand des Bauablaufplanes berücksichtigt werden müssen. Die hieraus gewonnene Summe des Druckluftbedarfes muss durch eine Reihe von Faktoren korrigiert werden, um die erforderliche Kompressorleistung festlegen zu können.

Für den Zeitpunkt der Spitzenleistung ergibt sich der Druckluftbedarf als Summe aller pneumatisch betriebenen Geräte unter Berücksichtigung der Leistungsverluste und der Gleichzeitigkeit des Einsatzes.

Formel für den Druckluftbedarf [6]:

$$Q = \prod_{i=1}^4 K_i \cdot \sum Q_m = K \cdot \sum Q_m \left[ \frac{m^3}{min} \right]$$

Dabei entspricht:

$Q$  = Gesamtluftbedarf in  $m^3$  pro Minute

$K$  = Korrekturfaktor =  $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$

$Q_m$  = Luftbedarf der einzelnen Verbraucher in  $m^3$  pro Minute

Der Gesamtkorrekturfaktor  $K$  setzt sich aus 4 Einzelkorrekturfaktoren zusammen:

**$K_1$ :** Abweichung des **effektiven Arbeitsdruckes** von demjenigen, den der Maschinenhersteller angibt (meist 6 bar);  $K_1 = 0.8$  bei 5 bar; 1.0 bei 6 bar; 1.2 bei 7 bar.

**$K_2$ :** Berücksichtigung des Verschleisses von Geräten und Werkzeugen.  $K_2 = 1.05$  bei gut erhaltenen Geräten;  $K_2 = 1.10$  bei älteren Geräten.

**$K_3$ :** Berücksichtigung des Ausnutzungsgrades. Dieser wird mit zunehmender Anzahl von Geräten, die von einer Kompressoranlage versorgt werden, kleiner;  $K_3 = 0.6$  bis 0.8 bei normalen Verhältnissen;

**$K_4$ :** Berücksichtigung der Verluste durch undichte Leitungen;  $K_4 = 1.2$  bis 1.3 bei Leitungen in gutem Zustand.  $K_4$  unbegrenzt bei Leitungen in schlechtem Zustand.

### 3.5.4 Dampfenergie

Dampf wird vereinzelt noch zum Zwecke der Reinigung verwandt (Dampfstrahlgerät).



## 4 Sicherheitsanforderungen an die Bauabwicklung

### 4.1 Besonderheiten bei Instandsetzungsarbeiten

Die an die Abwicklung von Instands- und Umbauarbeiten zu stellenden Sicherheitsanforderungen wurden bereits erläutert. Die Bedeutung eines funktionalen und integralen Sicherheitsplanes soll nochmals hervorgehoben werden. In einem solchen Plan müssen die Gefährdungspotentiale für:

- Benutzer
- Bauarbeiter
- Standsicherheit für das Bauwerk
- Umwelt

identifiziert werden und die adäquaten Schutz- und Informationsmassnahmen für alle Phasen der Bauausführung geplant werden.

Die Öffentlichkeit d.h. Dritte müssen bei Abbruch und Umbaumasnahmen besonders geschützt werden. Die Öffentlichkeit, besonders die Kinder, sind beim Anblick von Abbrucharbeiten oft neugierig und beobachten den Ablauf der Arbeiten. Kinder im Besonderen sind sich der Gefahren nur unzureichend bewusst, insbesondere während der Arbeitsruhe versuchen Sie die Umbau- bzw. Abbruchstelle als Spielplatz zu nutzen. Unbefugte sind von der Arbeitsstätte fern zu halten, durch einen nicht übersteigbaren, 2 m hohen Bauzaun. Absperren von Zufahrten, Gehwegen (Umleitungen) ist erforderlich, zudem müssen Aufgänge gesperrt und Leitern etc. entfernen werden. Beim Umbau eines Gebäudes unter Betrieb muss beispielsweise der Eingang zum Gebäude gegen herabfallende Trümmern z.B. durch einen Eingangsschutztunnel überdacht werden.

Auf folgende baubetriebliche Sondermassnahmen soll hingewiesen werden:

- Bei Verkehrs- oder Produktionsanlagen, die sich in direkter Reichweite von Baugeräten befinden, müssen visuelle Profilbegrenzungen angebracht werden, damit die Baumaschine nicht unbeabsichtigt in den Nutzerraum vordringen kann. Dies ist besonders bei Geräten mit Dreh- und Schwenkeinrichtungen notwendig, wie z.B. Bagger, Bohrgeräte, Lader, etc.. Die modernen Baugeräte können mit Drehwinkelbegrenzer ausgerüstet werden, damit z.B. ein Hydraulikbagger nicht in den Verkehrsraum der Strasse oder eines Lichtraumprofils einer Bahnanlage eindringen kann. Im Bahnbetrieb werden optische und akustische Warnanlagen verwendet, um die Bauarbeiter vor herannahenden Zügen zu warnen.
- Besondere Sicherungsmassnahmen sind auch bei Sprengarbeiten sowie bei Instandsetzungs- und Umbauarbeiten von Tunnelbauten erforderlich. Damit das gesprengte Material nicht unkontrolliert herumfliegen kann, sind Gummi- oder Kettenmatten unbedingt erforderlich. Besonders effizient erweisen sich bei solchen Linienbaustellen rollbare Sprengschutzelemente. Diese Massnahme reduziert auch gleichzeitig das Absuchen der Nutzerflächen nach möglicherweise noch herumliegenden Gesteinsbrocken.

Zur Sicherstellung der **Arbeits- und Umweltsicherheit**, d.h. zum Schutz der Bauarbeiter und Benutzer sowie des Verkehrs sind Gerüste und Schutzabdeckungen notwendig. Diese müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- sicheres Ausführen der Arbeiten mit ausreichendem Arbeitsraum ermöglichen
- Auffangen des gelösten und abgebrochen Materials.

Zur Sicherstellung der persönlichen Arbeitssicherheit der Bauarbeiter sind folgende Massnahmen notwendig:

- Sicherheitskleidung beim Umgang mit gefährlicher Abtrags- und Abbruchtechnik
- Schutzmassnahmen beim Umgang mit löslichen Bauchemieprodukten.

Die **Bauwerkstragsicherheit** muss beim Abtragen von Konstruktionselementen sichergestellt werden, wie z.B. bei:

- Stützen- und Wandsanierungen
- Druckzonen von Balken, Decken, Brückentäger, etc.
- Schalen
- Fundamente (bei grösseren Eingriffen)
- etc.
- Eingriffen in die Aussteifungselemente eines Bauwerks, wie z.B.
  - Trennen von Deckenscheiben vom Kern eines Gebäudes
  - Heraustrennen von Wandscheiben, die als Windaussteifung dienen
  - etc..

Es zeigt sich insbesondere, dass bei der Vorbereitung der sicherheitstechnische Einrichtungen und Arbeitsschutzmassnahmen oftmals folgende Unzulänglichkeiten auftreten:

- in der Planungsphase werden Risiken und Gefahren nicht angemessen durchdacht, bzw. unzureichend funktionstüchtige Schutzmassnahmen geplant
- Sicherheitsmassnahmen werden nicht fachgerecht ausgeschrieben
- Schutzmassnahmen werden nicht angemessen bauvertraglich geregelt
- Sicherheitseinrichtungen stehen auf der Baustelle nicht rechtzeitig in erforderlicher Menge und/oder Qualität zur Verfügung

Aus diesen Gründen wurde auf europäischer Ebene mit der Baustellenrichtlinie 92/57/EWG [12] ein neuer Ansatz für den Arbeitsschutz am Bau gewählt. Unter bestimmten Voraussetzungen müssen Bauherrn künftig Koordinatoren für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz als besondere Sachverständige bereits in der Planungsphase benennen. Als Planungsinstrument dient der Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan der als Grundlage für die späteren Arbeiten dient.

Im deutschsprachigen Raum ist dieses Instrument mit sehr unterschiedlicher Intensität umgesetzt worden:

- **In Deutschland** haben die Berufsgenossenschaften einen Muster-SIGEPLAN (SI = Sicherheit ; GE = Gesundheit) [13] als bauübliche Planungs- und Lenkungs-massnahme geschaffen. Der SIGEPLAN sowie die Checklisten für die Gefährdungsbeurteilungen setzen die EU-Richtlinie in nationale Arbeitspapiere um.
- **In der Schweiz** hat man eine weitgehende integrale Gesamtlösung entwickelt, den sogenannten „Integralen Sicherheitsplan“ gemäss der SIA Norm 465 – Sicherheit

von Bauten und Anlagen [14]. Dieser umfasst die gesamten Phasen eines Bauwerks, sowie die unterschiedlichen Gefährdungs- und Sicherheitsrisiken die auf ein Bauwerk einwirken und von einem Bauwerk ausgehen. Dieser Ansatz geht weit über die Anforderungen der EU-Richtlinie hinaus.

## 4.2 Der Integrale Sicherheitsplan der Schweizer Bauindustrie

Die Richtlinie SIA 465 - **Sicherheit von Bauten und Anlagen** - ist seit Ende 1997 [14] in Kraft getreten. Die Richtlinie will eine **ganzheitliche Sicherheitsbetrachtung** fördern und das systematische Vorgehen zur Erfüllung der rechtlichen Anforderungen sowie die Verantwortlichkeiten für die Sicherheitsplanung und für die Umsetzung der Sicherheitsmaßnahmen aufzeigen. Die ganzheitliche Sicherheitsbetrachtung erfasst die Zusammenhänge zwischen dem Gesamtsystem, den Lebens-Phasen eines Bauwerks, den Gefährdungen, den Schutzziele sowie den Sicherheitsmassnahmen. Die Sicherheitsbetrachtungen gegenüber der EU-Richtlinie werden wie folgt erweitert:

- Erweiterung des Sicherheitsbegriffs von der Tragwerksicherheit auf die Sicherheit von Gesamtsystemen
- Erweiterung der Ermittlung von Gefahren nach der Norm SIA 160 [15] auf eine ganzheitliche Ermittlung von Gefährdungen
- Erweiterung der Sicherheit von Schutz von Leib und Leben auf den Schutz von Personen, Umwelt, Sache und Nutzung
- Erweiterung der Planung und Umsetzung der Sicherheit auf alle Phasen des Lebenszyklus, d.h. Erstellungs-, Nutzungs-, Abbruch- und Entsorgungsphase

Die Richtlinie vermittelt nicht nur Denkansätze, sondern zeigt auch die notwendige Planungs- und Umsetzungsprozesse unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit auf.

Diese Richtlinie ist bedingt durch den ganzheitlichen Systemansatz sehr komplex und wird wirtschaftlich sinnvoll nur für Grossprojekte, komplizierte Projekte und Projekte mit einem hohen Gefahrenpotential anwendbar sein. Die Grundsätze gelten jedoch für jedes Projekt. Um den formalen Aufwand in Grenzen zu halten, sollten bei kleineren und mittleren Projekten nur die Arbeitssicherheit in der Bauphase im Mittelpunkt stehen. Die Tragwerkssicherheit muss für alle Phasen den einschlägigen Normenwerken entsprechen.

Bauwerke sind in allen Phasen mit Gefahren verbunden. Die Phasen umfassen:

- Erstellungsphase mit Bauplanung und Bauausführung
- Nutzungsphase mit Überwachung und Instandhaltung sowie Instandsetzung und Umbau
- Abbruch-, bzw. Rückbau- und Entsorgungsphase

Bauten und Anlagen können einerseits von der Umwelt, Sachen und Personen gefährdet werden und andererseits können Personen, Sachen und Umwelt Bauten und Anlagen gefährden.

Die Gefahren sind verschieden und werden nach ihrer Art in einzelne **Bereiche** eingeteilt:

- technische Sicherheit
- physische Sicherheit
- Unfallverhütung und Gesundheitsschutz
- Umweltsicherheit

Durch den integralen Sicherheitsplan wird gewährleistet, dass alle vier Bereiche der Sicherheit, während **allen Phasen des Bauwerkes** systematisch und bereits ab der Planungsphase behandelt werden.

Darüber hinaus dient der Sicherheitsplan den Verantwortlichen als **Führungsmittel**, aus welchem hervorgeht, mit welchen **Gefahren** ein Bauwerk während seinen Phasen verbunden ist, und mit welchen **Sicherheitsmassnahmen** diesen begegnet wird.

Die Schutzziele müssen angeben, in welchem Umfang das Gesamtsystem bestehend aus Bauwerk, Anlagen, Personen, Umwelt und Sachen vor Gefährdungen geschützt werden soll. Die erforderlichen Sicherheitsmassnahmen gegen Gefährdung zur Erreichung der Schutzziele ergeben sich aus:

- Beachtung aller rechtlichen Grundlagen
- Beachtung des Stands der Technik und Erfahrung

Die Schutzziele werden durch den verantwortlichen Sicherheitskoordinator festgelegt (Bild 39).

Den Gefährdungen kann man mit folgenden Sicherheitsmassnahmen begegnen:

- Vermeiden durch ereignisverhindernde Massnahmen
- Beherrschen durch ereignis- oder schadenmindernde Massnahmen
- Versichern der finanziellen Auswirkung des Risikos
- Annehmen der Gefährdung

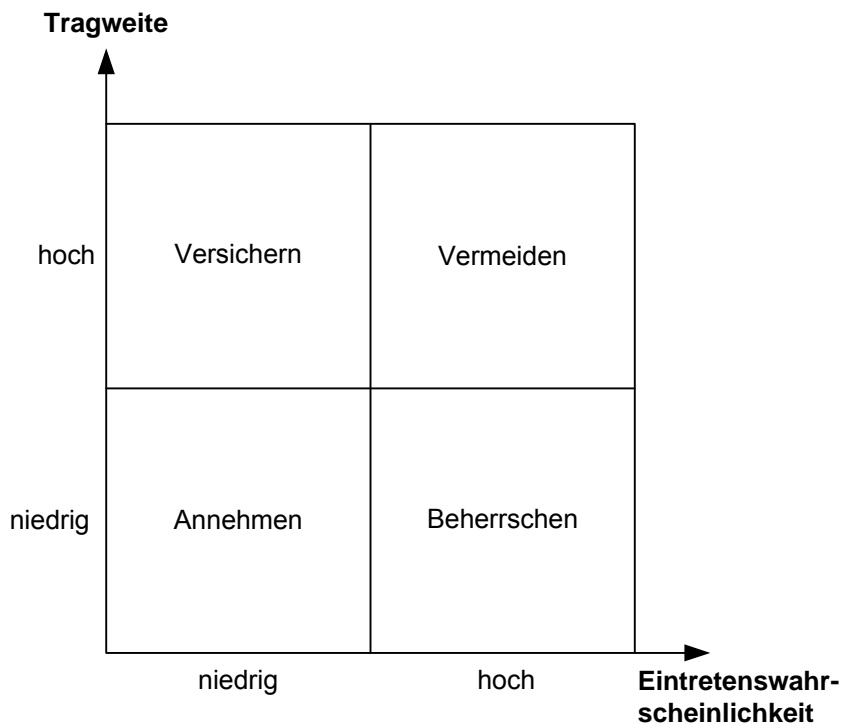


Bild 39: Management des Risikoportfolios (Risikoportfoliomanagement von Gefahren)

Die EG-Richtlinie "Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen" wurde unter der Trägerschaft der SUVA zum Projekt "Integrale Sicherheitspläne im Bauwesen" in der Schweiz weitreichend ausgebaut.

Folgende **Ziele** stehen im Vordergrund:

- Integrale Sicherheitspläne als Führungsmittel fördern
- Hilfsmittel für die am Bau Beteiligten bereitstellen
- Unterstützung bei der Erarbeitung der Sicherheitspläne
- Unterstützung bei der Durchsetzung der Sicherheitsmassnahmen
- Auswertung der Erfahrung
- Bereitstellen von Beispielen
- Informationsvermittlung
- Schulung und Weiterbildung

Der integrale Sicherheitsplan sollte in das Qualitätsmanagement im Bauwesen und in die Ausschreibungsunterlagen einfließen.

#### **4.2.1 Sicherheitsplanung**

Die Sicherheitsanforderungen sind durch Gesetze, Vorschriften und Normen gegeben. Spezifische Sicherheitsanforderungen werden durch den Bauherr und Benutzer gestellt. Das zwingt zu einer **systematischen Sicherheitsplanung** in allen Phasen des Bauprojektes. Die möglichen Gefahren, die in den verschiedenen Lebensphasen eines Bauwerks auftreten, sollen durch optimale Massnahmen reduziert werden. Die Massnahmen werden im Sicherheitsplan in der jeweiligen Phase festgehalten. Der Planungsprozess wird wie folgt durchgeführt:

- Das System bestehend aus Bauwerk, Anlagen, Personen, Umwelt und Sachen ist für jede Phase getrennt zu beschreiben.
- Für jede Phase müssen die Schutzziele festgelegt werden.
- Für jede Phase müssen die massgebenden Gefährdungen ermittelt und die Risiken bewertet werden.
- Die Sicherheitsmassnahmen zur Erfüllung der Schutzziele sind phasenbezogen zu planen.

Die Sicherheitsplanung ist ein rollender Prozess, der die einzelnen Phasen begleitet. Die Sicherheitsplanung ist so zu dokumentieren, dass die getroffenen Entscheide über Schutzziele, Sicherheitsmassnahmen und verbleibende Risiken nachvollziehbar sind.

#### **4.2.2 Umsetzung der Sicherheitsplanung**

Die Sicherheitsmassnahmen werden phasenbezogen wie folgt umgesetzt:

- Erstellungsphase: Der Unternehmer muss die geplant Sicherheitsmassnahmen umsetzen und die Bauleitung muss dies überwachen.
- Nutzungsphase: Der Betreiber muss die Sicherheitsmassnahmen realisieren, überwachen, verbessern und den Veränderungen anpassen.
- Abbruch- und Entsorgung: Der Eigentümer muss sicherstellen, dass die notwendigen Sicherheitsmassnahmen von den Unternehmern eingehalten werden.

Zur Umsetzung der geplanten Sicherheitsmassnahmen eignen sich Prüfpläne, Überwachungspläne, Arbeitsanweisungen, Checklisten, Ablaufschema, etc.

Der Wirtschaftlichkeit des Bauwerks kommt während des gesamten Nutzungszyklus grösste Bedeutung zu. Soweit keine zwingenden Rechtsvorschriften bestehen, ist unter Berücksichtigung des Kosten- und Nutzenverhältnisses zu beurteilen und zu entscheiden, ob Sicherheitsmassnahmen notwendig sind.

Die **Erfahrung** zeigt deutlich: Werden Sicherheitsmassnahmen konkret ausgeschrieben, werden sie auch durchgesetzt, im Gegensatz zu globalen allgemein geforderten und dementsprechend unpräzisen Sicherheitsmassnahmen.

In Deutschland existieren seit 1986 Leistungsbeschreibungen für sicherheitstechnische Einrichtungen und Massnahmen. Seit 1988 erarbeitet die Bayrische Bau-Berufsgenossenschaft ein Standardleistungsbuch für die Erfassung der Sicherheitspositionen in den Ausschreibungen.

Die SUVA-Kommission bemüht sich, dass die Sicherheitsanforderungen auch in Musterschreibungstexten ihren Niederschlag finden.

### **4.2.3 Aufgaben und Verantwortung der Beteiligten**

Der Bauherr und / oder Eigentümer ist für die Gewährleistung der Sicherheit an seinem Eigentum verantwortlich. Der nichtsachverständige Bauherr ist durch die beteiligten Fachleute unaufgefordert zu beraten. Der Bauherr muss die Verantwortung für die Sicherheit in den einzelnen Phasen selbst wahrnehmen oder er muss diese an Fachleute (möglicherweise in jeder Phase an einen anderen) verantwortlich delegieren.

Der vom Bauherrn beauftragte Gesamtleiter ist normalerweise mit der Planung, und Ausführung beauftragt und somit für die Sicherheit in dieser Phase verantwortlich. Der Gesamtleiter ist somit als Sicherheitskoordinator zuständig für die Planung der Sicherheit. Er muss den Bauherrn über die verbleibenden Risiken unterrichten.

Die Spezialisten wie z.B. Architekten und Fachingenieure sind im Rahmen ihrer Aufträge zuständig für die Sicherheit des Bauwerks und der Anlagen und wirken bei der Sicherheitsplanung mit.

Die Bauleitung wirkt bei der Sicherheitsplanung (Arbeitssicherheit, etc.) für Bau-, und Installationsarbeiten mit. Vor Ausführungsbeginn überprüft die Bauleitung die vom Unternehmer vorgesehenen Sicherheitsmassnahmen. Ferner überwacht die Bauleitung die Einhaltung der Sicherheitsmassnahmen.

Die Unternehmer sind verantwortlich für die Arbeitssicherheit ihrer Beschäftigten. Die Unternehmer müssen die geplanten und ihnen übertragenen Sicherheitsmassnahmen umsetzen. Ferner müssen sie alle gesetzlichen Sicherheitsvorschriften einhalten.

Der Betreiber ist verantwortlich, dass in der Nutzungsphase die geplanten Sicherheitsmassnahmen verwirklicht werden.

Es ist zu empfehlen die Verantwortung der Beteiligten vertraglich festzuhalten.

### **4.2.4 Integraler Sicherheitsplan nach SIA 465 für die Bauphase [14]**

Bei Bauprojekten kommt der Sicherheit in der Bauausführungs- und Betriebsphase eine grosse Bedeutung hinzu. Der Bauherr als Werkeigentümer überträgt die Planung sowie die Durchführung der Sicherheit an einen Sicherheitskoordinator bzw. an Fachleute. Jeder am Bauprojekt Beteiligte ist im Rahmen seines Auftrags bzw. seiner Aufgabe für die Sicherheit verantwortlich.

Zu den rechtlichen Grundlagen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit gehören z.B. SIA-Normen, das Umweltschutzgesetz, die Störfallverordnung, das Arbeits- und Unfallversicherungsgesetz, ISO-Normen, EG-Richtlinien "Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen", EG-Richtlinien "Bauprodukte" u.a. Die Vielfalt der rechtlichen Grundlagen und die Komplexität der Bauprojekte stellen an die Bauausführung eine grosse Herausforderung dar. Für die **Bauausführung** ist eine **integrale** Betrachtung im Sinne einer gesamtheitlichen und umfassenden Betrachtung der Sicherheit und die Dokumentation der relevanten Sachverhalte in **integralen Sicherheitsplänen** (IS-Pläne Bau) von grosser Bedeutung.

Ziel und Zweck des Integralen Sicherheitsplanes in der Erstellungsphase lässt sich wie folgt angeben:

- Der IS-Plan-Bau dient den am Bauprojekt Beteiligten als **Kommunikationsmittel** bezüglich Sicherheit.
- Durch den IS-Plan-Bau sollen **konzeptionelle** sowie **bauliche Massnahmen** bezüglich Sicherheit rechtzeitig in das Bauprojekt einfließen können.
- Aus dem IS-Plan-Bau soll hervorgehen, welche **Gefahren** während der Bauphase vorhanden sind und durch welche **Massnahmen** diesen begegnet wird. Er dient als Führungsmittel, welches den Verantwortlichen erlaubt, kritische Situationen rechtzeitig zu erkennen und Massnahmen optimal festzulegen.
- Die für die **Betriebsphase** vorgesehenen Sicherheitsmassnahmen (Fluchtwege, Rettungsorganisation usw.) sollen im IS-Plan-Bau berücksichtigt werden, damit diese während der Bauphase bereits eingesetzt bzw. angewendet werden können.
- Der IS-Plan-Bau dient als Grundlage für **Projektierung, Ausschreibung** sowie **Realisierung** der Sicherheitsmassnahmen.

Sicherheitsziele für die Bauphase eines Bauprojektes sind der Schutz der gefährdeten Personen vor Unfällen und Gesundheitsschäden sowie der Schutz der gebauten und natürlichen Umwelt vor schädlichen Einwirkungen. Diese Ziele gelten als erreicht, wenn alle Massnahmen gegen Gefährdungen getroffen werden, die nach geltenden rechtlichen Grundlagen notwendig, dem Stand der Technik der Erfahrung anwendbar und den gegebenen Verhältnissen angemessen sind. Die Massnahmen müssen dem **Grundsatz der Verhältnismässigkeit** entsprechen.

### **Baustelle und Bauvorgänge als System**

Die Baustelle und die damit verbundenen Vorgänge sollen als System abgrenzt und näher beschrieben werden. Die Beschreibung soll in Kurzform erfolgen und nur die für die Sicherheit relevanten Sachverhalte wie folgt beinhalten:

- **Standort und Erschliessung der Baustelle**  
sind anzugeben und in Baustelleneinrichtungsplänen darzustellen
- **Beschreibung und Dauer des Bauvorhabens**  
Die wesentlichen Daten bezüglich Grösse der Baustelle, Investitionskosten, Dauer der Instandsetzung, Anzahl Baustellenbeschäftigten usw. sind anzugeben.
- **Komponenten der Baustelleneinrichtung**  
sind zu beschreiben und in Baustelleneinrichtungsplänen festzuhalten. Es ist sinnvoll in diesen die relevanten Sachverhalte betreffend unmittelbare Umgebung (Strassen, Leitungen, Eisenbahn, Überbauung usw.) zu vermerken.
- **Bauetappen, Bauvorgänge und Bauwerkskomponenten**

Die Gliederung der Vorgänge soll sich möglichst an die Ausschreibungsunterlagen halten. Aus der Beschreibung soll ersichtlich werden, wie das Bauwerk instandgesetzt werden soll, d. h. nach welchem Bauvorgang, welcher Zustand erreicht wird (Tragwerk, Ausbau, Installationen, Betriebseinrichtungen, Ver- und Entsorgung).

- **Natürliche sowie gebaute Umwelt und Bevölkerung**

Zur natürlichen Umwelt gehören: Boden, Grundwasser, Gewässer, Tiere, Pflanzen sowie Hangrutschungen, Lawinen, Regen, Nebel, Frost, Schnee, usw. Zur gebauten Umwelt gehören: Gebäude, Verkehrswege, Leitungen, etc. Die Bevölkerung sowie die Nachbarbebauung kann von der Baumassnahme direkt betroffen werden durch Immissionen (Staub, Lärm etc.), Vibrationen, Beeinträchtigung der Infrastruktur, etc.

**Gefahrenübersicht**

Während der Bauvorgänge können einzelne oder auch mehrere Gefahren gleichzeitig auftreten. Es empfiehlt sich, die relevanten Gefahren in einer Vorgangs-Gefahren-Tabelle (Tabelle 7) aufzulisten. Daraus soll ersichtlich werden, welche Gefahren bei welchem Vorgang (Installationen, Phasen der Instandsetzung) als relevant betrachtet wurden.

Tabelle 7: Vorgangs-Gefahren [14]

Vorgänge	Gefahren										
	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>7</sub>	G <sub>8</sub>	G <sub>9</sub>	...	G <sub>i</sub>
V <sub>1</sub>	x		x		x			x	x		x
V <sub>2</sub>	x	x		x	x		x	x			
V <sub>3</sub>		x	x		x	x	x	x	x		x
...											
V <sub>k</sub>			x		x			x	x		x

Die Festlegung der Sicherheitsmassnahmen soll sich auf die einzelnen Gefahren beziehen und gemäss der Vorgangs-Gefahren-Tabelle erfolgen. Drei Möglichkeiten bieten sich an:

- Vorgangs-Gefahren und Sicherheitsmassnahmen (vorgangsbezogen)
- Gefahren und Sicherheitsmassnahmen (gefahrenbezogen)
- Gefahren/Vorgang und Sicherheitsmassnahmen (gefahren-vorgangs-bezogen)

**Gefährdungsbilder und Sicherheitsmassnahmen**

Für die betrachtete Gefahr werden mögliche Gefährdungsbilder kurz beschrieben [14]. Für das jeweilige Gefährdungsbild sind die Sicherheitsmassnahmen festzulegen. Bei einem **vorläufigen** Sicherheitsplan können Gefährdungsbilder und Sicherheitsmassnahmen mittels Stichworten in einer Tabelle festgehalten werden. Diese dient als Übersicht für einen **späteren und detaillierten** Sicherheitsplan. Für die praktische Arbeit empfiehlt sich folgende Struktur:

- **Gefährdungsbild XY-1**



Kurzbeschreibung des Gefährdungsbildes XY-1 mit kurzen Sätzen. Anschliessend kurze Beschreibung der dazugehörenden Sicherheitsmassnahmen (z.B. kursive Schrift)

- **Gefährdungsbild XY-2**

Kurzbeschreibung des Gefährdungsbildes XY-2 mit kurzen Sätzen. Anschliessend kurze Beschreibung der dazugehörenden Sicherheitsmassnahmen (z.B. kursive Schrift)

usw.

Zu den Sicherheitsmassnahmen gehören z.B. konzeptionelle, bauliche, technische, organisatorische (Abläufe, Reihenfolge der Arbeiten, Anweisungen), personelle Massnahmen, Überwachung von Abläufen und Bauteilen sowie Schaden mindernde Massnahmen (Risikoüberwachung, Alarmierung, Evakuierung usw.)

Die wesentlichen Aspekte der Risikoüberwachung sollten bereits bei der Festlegung der Sicherheitsmassnahmen behandelt werden. Dies betrifft insbesondere Risikoindikatoren, wie z.B. Verformungen, Wassereinbruch, usw. sowie Warn- und Alarmwerte. Durch die Risikoüberwachung soll sichergestellt werden, dass die Drohung einer Gefahr frühzeitig erkannt und entsprechende, den Schaden mindernde Notmassnahmen getroffen werden können. Die detaillierte Risikoüberwachung soll mit einem separaten "Überwachungsplan der eingegangenen Risiken" geregelt werden.

Als Restgefahren bezeichnet man alle unbekannte, subjektiv unerkannte und vom Betroffenen unberücksichtigte Gefahren sowie Gefahren infolge falscher oder mangelhaft ausgeführter Massnahmen. Diese Restgefahren könne hauptsächlich durch Überwachung aller unvorhergesehenen Änderungen bzw. Veränderungen unter Kontrolle gehalten werden.

### **Eingegangene Risiken**

Nicht alle Risiken können eliminiert werden. Aus Kostengründen können zudem nicht alle Risiken eliminiert werden. Gewisse Risiken müssen akzeptiert werden. Die eingegangenen Risiken müssen zusammengestellt werden und die Risikoträger, wie z.B. Bauherr, Unternehmer und Dritte sind anzugeben. In der Regel genügt die qualitative Angabe der Risiken und der Risikoträger. Gegebenenfalls sind die eingegangenen Risiken bezüglich möglicher Schäden sowie Eintretenshäufigkeit näher zu beschreiben. Dies ergibt nicht nur einen Überblick über die Grösse der eingegangenen Risiken, sondern hilft auch bei der Entscheidung, ob Risiken auf Versicherungen übertragen werden sollen. Für die Bauphase sind die Bauwesen- und Haftpflichtversicherung von Bedeutung.

Um den Sicherheitsplan nicht zu überladen, sollte die Risikoüberwachung mit einem separaten "Überwachungsplan der eingegangenen Risiken" (Tabelle 8) geregelt werden.

Tabelle 8: Überwachungsplan der eingegangenen Risiken [14]

Risikoart	Risikoträger				Risikoüberwachung			Risikobewertung		
	UN	BH	VS	DR	PL	UN	SO	SK	SM	SG
Regenfälle	x		x			x		H		
Hochwasser	x		x			x	x		M	
Schneefälle	x		x			x	x	H		
Risse/Nachbarobj.		x	x		x			H	S	
Anprall von LW		x							M	S
Sabotage/Krimin.		x	x			x	x	H	M	

### Legende zur Tabelle

Risikoträger: UN = Unternehmer, BH = Bauherr, VS = Versicherung, DR = Dritte

Risikoüberwach.: PL = Planer, UN = Unternehmer, SO = Sicherheitsorganisation

Risikobewertung: SK = klein (z.B. Sachschaden bis Fr. 100'000.-)

SM = mittel (z.B. 100'000.- bis 4 Mio Fr., Verletzte)

SG = gross (z.B. über 4 Mio Fr., Personenschäden/Tote)

### Häufigkeit des Ereignisses

H = häufig (1 x pro weniger als 10 Jahre)

M = mittel (1 x pro 10 bis 100 Jahre)

S = selten (1 x pro mehr als 100 Jahre)

Personenschäden, vor allem Todesfälle und Schwerverletzte, lassen sich nicht beheben, höchstens deren finanziellen Auswirkungen lindern. Die mögliche Schadensbehebung bezieht sich hauptsächlich auf Sach-, Folge- und Umweltschäden. Es ist wichtig aufzuzeigen, welche Konsequenzen der Schaden nach sich zieht, d.h. in welcher Zeitspanne und wie dieser Schaden zu welchen Kosten behoben werden kann.

### Sicherheitsorganisation und Notmassnahmen

Die Sicherheitsmassnahmen sind zu planen, durchzusetzen und deren Anwendung zu überwachen. Die Risiken sind zu überwachen und im Bedrohungsfall sind Notmassnahmen zu ergreifen. Dies setzt voraus, dass die damit verbundenen Aufgaben festgelegt und dass die betroffenen Personen diesbezüglich trainiert wurden.

Die Zuständigkeit und Verantwortung für die Aufgaben betreffend der Sicherheit sind festzulegen (Sicherheitskoordinator). Der Planer erhält eine Schlüsselrolle da er das Projekt und seine kritischen Stellen kennt. Er soll deshalb im Sicherheitsplan die projektspezifischen Gefahren angeben und Sicherheitsmassnahmen, sofern diese eindeutig gegeben und planerisch lösbar sind, festlegen. Gegebenenfalls muss der Planer

Fachleute beiziehen und von ihnen sowie vom Unternehmer Lösungen zur Gefahrenbewältigung verlangen. Der Unternehmer seinerseits beurteilt die vom Planer aufgezeigten Gefahren und legt die zu treffenden Sicherheitsmassnahmen fest. Er ist für alle Massnahmen zur Unfallverhütung und Gesundheitsvorsorge verantwortlich, die gemäss den Vorschriften für die Arbeitssicherheit bei Bauarbeiten einzuhalten sind. Die Organisation der Risikoüberwachung ist kurz zu beschreiben.

Entsprechend der möglichen Gefährdungen bzw. der drohenden Gefahr ist die Alarm- und Rettungsorganisation festzulegen. Es empfiehlt sich diese Organisation stufenweise - nach dem Schadenausmass - aufzubauen. Dabei soll zwischen der internen (Baustelle) und externen Organisation (Feuerwehr, Chemiewehr, Polizei, usw.) unterschieden werden. Für besondere Gefahren ist ein Notmassnahmenplan auszuarbeiten. Die SIA 465 ist in der Schweiz nicht verpflichtend anzuwenden.

### 4.3 Der SIGEPLAN der deutschen Bau-Berufsgenossenschaften

Im Gegensatz zum Integralen Sicherheitsplan hat man sich beim SIGEPLAN auf das zur Zeit in der Bauwirtschaft gravierendste Sicherheitsproblem der Arbeitssicherheit fokussiert.

Der SIGEPLAN [13] soll die Sicherheit in der Bauphase erhöhen. Diese Planungsunterlagen sollen einerseits die EG-Baustellenrichtlinie 92/57/EWG erfüllen und andererseits die Verpflichtung der Arbeitgeber zur Gefährdungsbeurteilung der Arbeitsplätze erfüllen, gemäss Arbeitsschutzgesetz von 1996 (Bild 40). Im Folgenden werden beide, sich ergänzende Elemente beschrieben, die als Instrumente des Sicherheitsmanagement auf der Baustelle dienen.

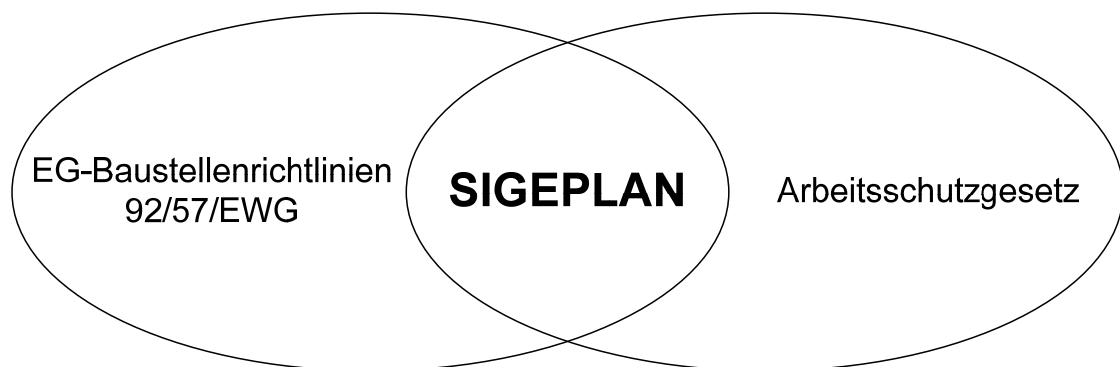


Bild 40: Rechtliche Grundlagen des SIGEPLAN's

Mit der frühzeitigen Planung der Sicherheitseinrichtung und –massnahmen, sowie die Berücksichtigung bei der Ausschreibung, kann der Bauherr folgende Vorteile erzielen:

- Die Gefährdung für alle am Bau Beteiligten minimieren
- Die Gefährdung, die von der Baustelle auf unbeteiligte Dritte ausgeht, minimieren
- Störungen im Bauablauf vermeiden
- Die Qualität der geleisteten Arbeit erhöhen
- Kosten sparen durch gemeinsam genutzte Sicherheitseinrichtungen

Die Gefährdungsbeurteilung soll vorausschauend durchgeführt werden, um vorbeugende Massnahmen rechtzeitig zu veranlassen und zu überwachen. Dies stärkt die

Mitarbeitermotivation, verringert bzw. eliminiert Störfaktoren in den Arbeitsabläufen und verringert damit die Kosten.

Der SIGEPLAN soll so einfach wie möglich erstellt werden, damit er als einfaches, überschaubares und effizientes Hilfsmittel genutzt wird.

### 4.3.1 Sicherheitplanung

Zur Planung und Umsetzung des SIGEPLAN's ist ein Sicherheitskoordinator festzulegen.

Der SIGEPLAN soll in der Planungsphase so konzipiert werden, dass er auf den ersten Blick auf einer Übersichtszeichnung die Schwerpunkte und Besonderheiten des Arbeitsschutzes des jeweiligen Projektes klar aufzeigt. Der SIGEPLAN dient als Grundlage zur Planung der Sicherungs- und Arbeitsschutzmassnahmen in folgenden Bauunterlagen:

- Baustelleneinrichtungsplan: Lage und Ort der permanenten Massnahmen
- Arbeitszykluspläne: z.B. Schutzvorrichtungen beim Sprengvortrieb
- Terminplan: Dauer der jeweiligen Schutzmassnahmen

Der SIGEPLAN (Bild 41) muss folgende Minimalbedingungen erfüllen:

- Der SIGEPLAN soll in der Vorbereitungsphase des Projektes erstellt werden, in der Ausführungsphase dem Arbeitsfortschritt und Änderungen angepasst werden.
- Die für die jeweilige Baustelle zutreffenden Bestimmungen müssen aufgeführt werden. Die Wechselwirkung Baubetrieb und Produktion oder Verkehr muss berücksichtigt werden falls relevant (z.B. Instandsetzung eines Bahntunnels).
- Spezifische Massnahmen bei gefährlichen Arbeiten müssen angegeben werden, wie z.B. Unfälle auf der Autobahnbaustelle, Zugbetrieb in Tunnelbaustellen.

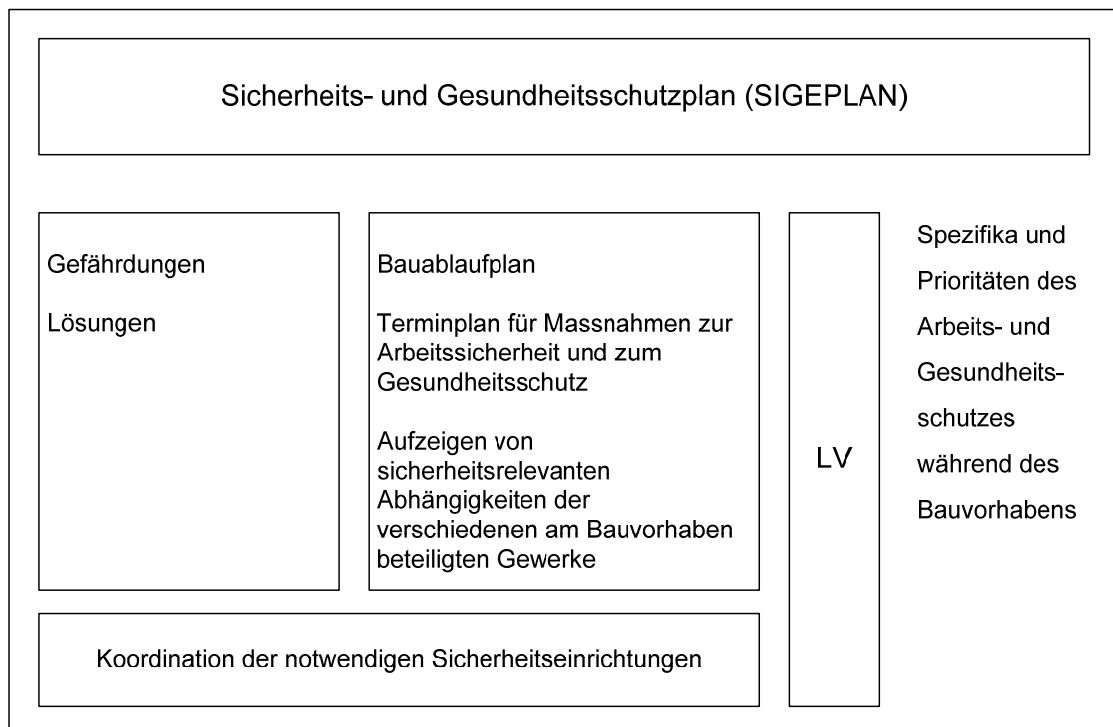


Bild 41: SIGEPLAN [13]

Der SIGEPLAN [13] soll nach dem Leitfaden der Berufsgenossenschaften erstellt werden. Der schematische Aufbau des SIGEPLAN's ist in Bild 41 dargestellt, er gliedert sich in folgende Hauptelemente:

- Im linken Planteil sind die zu erwartenden Gefährdungen während des Baustellenbetriebs mit den zugehörigen Lösungen, gegliedert nach Gewerken, aufgeführt.
- Im zentralen, mittleren Planteil dominiert der Bauablaufplan mit den Gefährdungen, die sich aus den zeitlichen Abhängigkeiten der verschiedenen Arbeiten ergeben.
- Im unteren Teil wird die erforderliche Koordination der notwendigen Sicherheitseinrichtungen sowie deren Standzeit eingetragen
- Im rechten Planteil sind folgende Eintragungen vorzunehmen:
  - Hinweise auf Ausschreibungstexte zum Arbeitsschutz
  - Positionen des Leistungsverzeichnisses
  - Hinweise auf andere Pläne, Anweisungen und Bestimmungen

Der erwähnte SIGEPLAN-Leitfaden dient als Hilfsmittel zur systematischen und zügigen Bearbeitung des Sicherheitskonzeptes für Baustellen. Im Mittelpunkt des SIGEPLAN-Leitfadens [13] stehen Gefährdungskataloge und Checklisten, in denen gewerkebezogen

- mögliche Gefährdungen mit den entsprechenden Bestimmungen aufgeführt sind,
- praktikable Lösungen zur Abwendung von Gefahren vorgeschlagen werden,
- Hinweise auf mögliche Ausschreibungstexte angeboten werden.

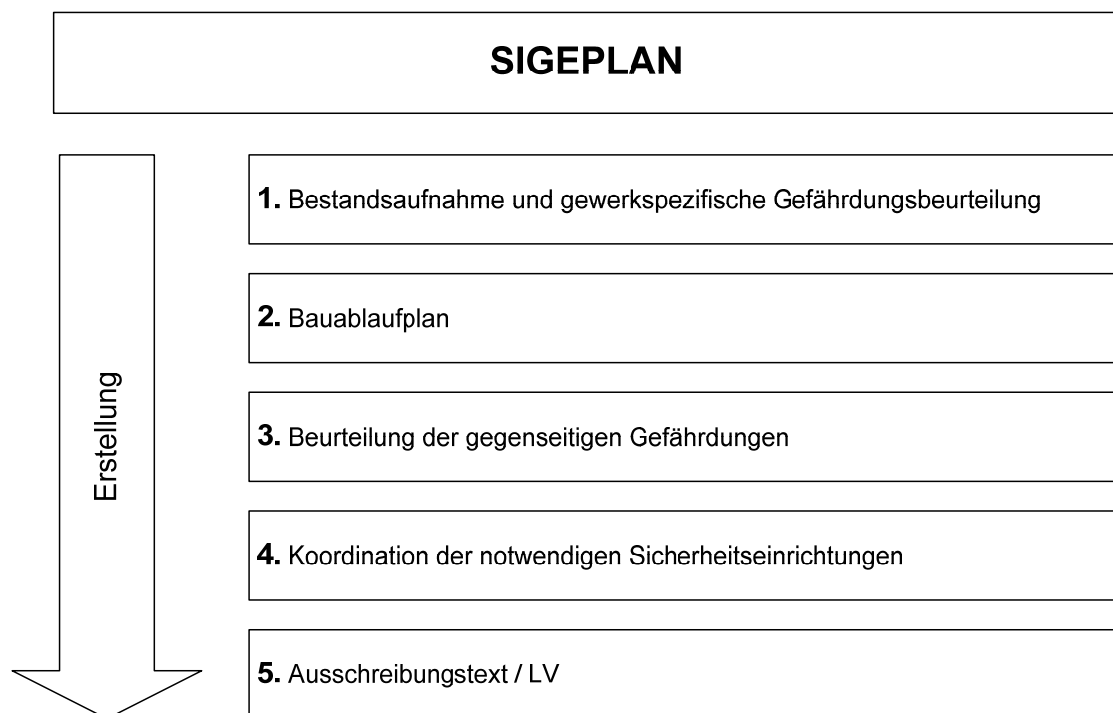


Bild 42: SIGEPLAN in 5 Schritten [13]

Der Sigeplan soll in fünf Schritten ausgearbeitet werden (Bild 42):

- Der Sicherheitskoordinator studiert Baugenehmigung, Baubeschreibungen, Pläne und Gutachten.

- Beurteilung gegenseitiger Gefährdung aus örtlicher und zeitlicher Nähe unter Beachtung und Nutzung der Checklisten.
- Bauablaufplan in den SIGEPLAN übernehmen mit zentralem Balkendiagramm für die zeitliche Planung der Sicherheitsmassnahmen.
- Baustelleneinrichtung planen unter Berücksichtigung der mittels Checklisten identifizierten Gefahren und der dort festgelegten Sicherheitsmassnahmen.
- Koordinierung der Sicherheitsmassnahmen während des Bauablaufs.
- Notwendige und wichtige Schutzmassnahmen im Leistungsverzeichnis ausschreiben.

### Umsetzung des Sicherheitsplans

Der SIGEPLAN muss als baubetriebliches Planungs- und Führungshilfsmittel (Bild 43) verstanden werden, das

- einerseits die Umsetzung notwendig erkannter Sicherheits- und Arbeitsschutzmassnahmen sicherstellt und
- andererseits die wöchentliche bzw. monatliche Kontrolle erzwingt im Rahmen des Baustellen-Controlling.

Der SIGEPLAN sollte Bestandteil des projektbezogenen Qualitätsmanagements sein und unter Verantwortung des Projektmanagements umgesetzt werden.

Der SIGEPLAN stellt ein übersichtliches und einfaches Element dar, um flexibel für jede Baustellengrösse eine dem Gefährdungsgrad und der Komplexität angepasste wirtschaftliche Sicherheitsplanung vorzunehmen. Die Richtlinie 92/57EWG muss in nationales Recht umgesetzt werden.

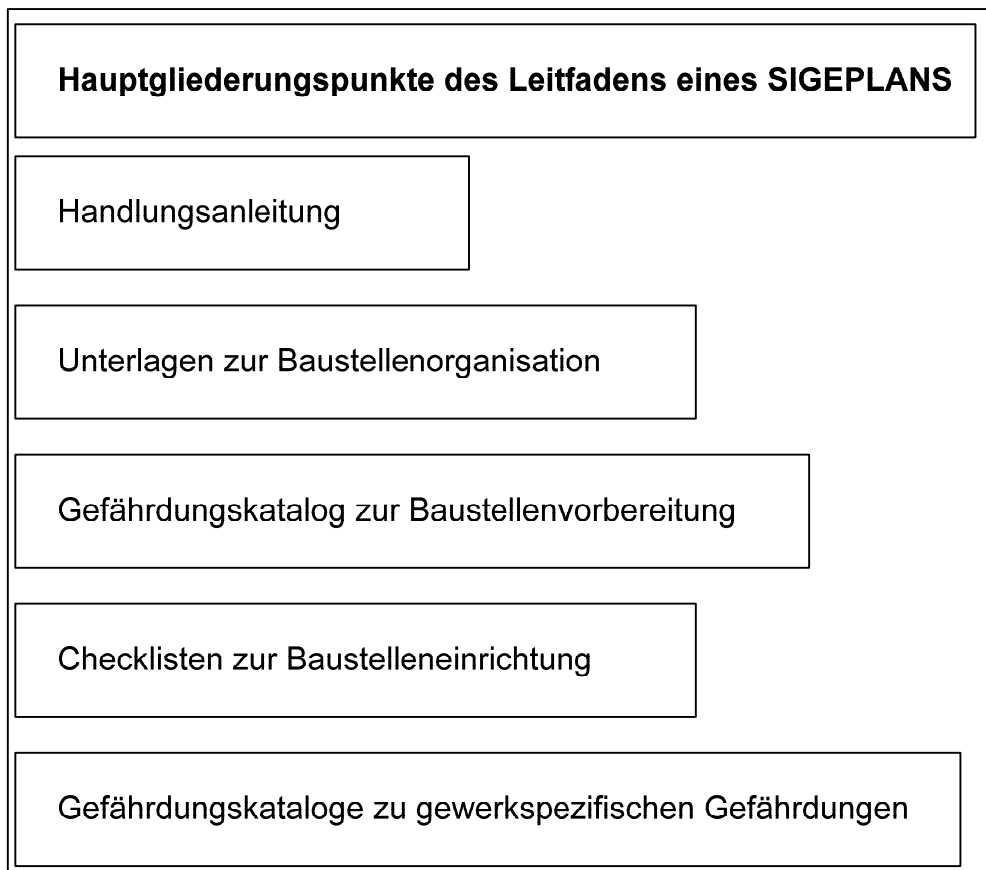


Bild 43: Hauptgliederungspunkte des Leitfadens eines SIGEPLANS [13]

### **Zusammenfassung**

Die heutigen Anforderungen an das Baustellenmanagement verlangen eine integrale Umsetzung von:

- Projektmanagement
- Qualitätsmanagement und
- Sicherheits- und Gesundheitsmanagement.

Diese Managementelemente sollten in einem baustellenbezogenen Projekt-Qualitäts-Managementhandbuch integriert werden.

Bei aller Betonung der Notwendigkeit der Sicherheits- und Gesundheits-Planungselemente muss vor Übereifer gewarnt werden. Zu detaillierte Vorgaben behindern die Einhaltung und Überwachung während der Bauphase. Die richtige, praktische Konzentration auf die wesentlichen Punkte analog zum Qualitätsmanagement, muss gefunden werden, um eine erfolgreiche Umsetzung auf der Baustelle zu erreichen.

## 5 Überwachung und Abnahme der ausgeführten Leistungen

Parallel zu den Werkstoffkontrollen, die im Allgemeinen nur unter Laborbedingungen durchführbar sind, konzentriert sich die Überwachung der Baustelle vorwiegend auf folgende Fragen:

- Sind alle Schadensstellen gefunden?
- Ist der Instandsetzungsuntergrund gereinigt und ausreichend tragfähig?
- Ist die Bewehrung weit genug freigelegt und vorschriftsmässig entrostet?
- Wurde der Korrosionsschutz rechtzeitig und vollständig hergestellt?
- Werden die vom Systemhersteller vorgeschriebenen Mischungsverhältnisse eingehalten?
- Werden die vorgeschriebenen Wartezeiten zwischen aufeinander folgenden Arbeitsvorgängen eingehalten?
- Erfolgt die Verarbeitung von Kunststoffen innerhalb zulässiger Temperaturbereiche?
- Hat der Reparaturmörtel eine verarbeitungsgerechte Konsistenz?
- Werden Nachbehandlungsmassnahmen für zementgebundene Instandsetzungswerkstoffe durchgeführt?
- Entsprechen die Verbrauchsmengen von Anstrichstoffen den Angebotswerten?

Auch für die Abnahme einer fertigen Instandsetzungsleistung stehen am Bauwerk selbst einige messbare Kriterien zur Verfügung. Einschlägige Richtlinien und Merkblätter [16], [17], [18] erwähnen in dieser Kategorie u.a.

- die kapillare Wasseraufnahme,
- die Eindringtiefe von Imprägnierungen und
- die Haftzugfestigkeit von Beschichtungen auf dem Betonuntergrund.

Ebenso wichtig ist für den Bauherrn die Beurteilung des optischen Erscheinungsbilds (Ebenheit, Kantenausbildung, Struktur, Farbgebung) instandgesetzter Bauwerksteile. Wurden vor Ausführungsbeginn Musterflächen mit dem in Aussicht genommenen Instandsetzungssystem hergestellt, so sind auch diese zum Vergleich der erbrachten mit der vertraglich zugesicherten Leistung heranzuziehen. Auf keinen Fall sollte sich ein Bauherr mit der leider häufig geübten Gewohnheit abfinden, unter der Abnahme einer Instandsetzungsleistung nicht *mehr* zu verstehen als ein gemeinsames Aufmass der abzurechnenden Flächen.

Änderungen im Leistungsumfang müssen im Rahmen von Nachträgen [19] abgegolten werden.



## 6 Umweltverträglichkeit der Instandsetzung

### 6.1 Umweltverträglichkeit der verwendeten Produkte in Bezug auf zukünftige Sanierungen

Neben der eigentlichen Instandsetzung stehen die Fragen der Umweltverträglichkeit und späteren Entsorgung sowie auch der Wiederaufbereitung der verschiedenen Sanierungs- und Vergütungsmaterialien im Vordergrund. Heute werden im grossen Umfang immer neuere Produkte von der Baustoffchemie auf den Markt gebracht, um einen Entwicklungssprung mit dem einhergehenden Marktvorteil für sich zu sichern. Dabei sind oft die Fragen hinsichtlich Langzeitbeständigkeit, umweltfreundlicher Entsorgung bei späterer Instandsetzung im Regelfall unzureichend oder auch gar nicht geklärt. Es macht keinen Sinn Betonbeschichtungen einzubauen, die im Fall späterer Sanierung als Sondermüll entsorgt werden müssen.

#### 6.1.1 Kontaminierung von Baustellenabwässern bei Abbruch- und Instandsetzungsarbeiten

Wasser, welches mit Frischbeton oder mit Festbeton in Kontakt kommt, kann einen erhöhten pH-Wert aufweisen.

Auch bei der Aufbereitung und Lagerung von Baustoffen und dessen Granulaten anfallende Sickerwässern können erhöhte Gehalte an organischen Schadstoffen sowie erhöhte pH-Werte aufweisen (SIA 431, Ziffer A1 5, [20]).

*Beispiel: Abbruch von alten Betonfundamenten, Bodenplatten o.ä. in einer Baugrube mit offener Wasserhaltung, Kontakt von Betonstaub + Wasser = Alkalische Dispersion*

Gelangt solches Betonabwasser in ein Gewässer, so hat dies einen schädigenden Einfluss auf die dort lebenden Organismen.

Aus diesem Grund ist das Einbringen von ungereinigtem Betonabwasser in ein Oberflächenwasser, in das Grundwasser oder in eine Kanalisation verboten. (SIA 431, Ziffer A1 2) Die direkte Ableitung von Baustellenabwasser in ein Oberflächengewässer oder über Meteor- oder Reinabwasserkanäle ist nur in Ausnahmefällen mit Bewilligung der zuständigen Behörde erlaubt (SIA 431, Ziffer 5 41, [20]).

#### 6.1.2 Behandlung von Baustellenabwässern:

**Neutrales Baugrubenabwasser** ist nach der Vorreinigung in einem Absetzbecken über eine bewachsene oder adsorptiv wirkende Bodenschicht zu versickern. Ist dies nicht möglich, so kann das Abwasser in die Kläranlage abgeleitet werden. Die Ableitung in ein Oberflächengewässer ist nur in Ausnahmefällen mit zuverlässigen Schutz- und Warnvorrichtungen sowie spezieller Bewilligung gestattet. (SIA 431, Ziffer 5 26)

**Klares und neutrales Grundwasser** ist nach der Vorreinigung über ein Absetzbecken wenn möglich über eine bewachsene oder adsorptiv wirkende Bodenschicht zu versickern oder in ein Oberflächengewässer abzuleiten. Bei Einleitung in ein Oberflächengewässer sind pH-Messeinrichtungen mit Warnvorrichtungen zu installieren, wenn die Möglichkeit besteht, dass alkalisches Wasser anfällt. (SIA 431, Ziffer 5 27)

**Saures und alkalisches Baustellenabwasser** ist grundsätzlich zu neutralisieren. Im Sinne einer Ausnahme kann alkalisches Baustellenabwasser ohne Neutralisation während höchstens dreier Monate und in einer Menge von maximal 1000l/d oberflächlich durch die bewachsene oder adsorptiv wirkende Bodenschicht versickert werden. Fällt alkalisches Abwasser in grösseren Mengen oder während längerer Zeit an, ist dieses zwingend zu neutralisieren und in eine Kläranlage abzuleiten. Bei leistungsfähigen Kläranlagen können nach Rücksprache mit dem Betreiber der Anlage kleinere Mengen nach der Vorreinigung über Absetzbecken in die Kläranlage eingeleitet werden. (SIA 431, Ziffer 5 16)

## 6.2 Umweltverträglichkeit der Instandsetzungsarbeiten

Zur umweltverträglichen Entsorgung bzw. der Wiederverwendung von Abstemm- und Abbruchmaterial gehört die systematische Trennung der Materialien. Zu diesem Zweck ist es meist erforderlich den Bauschutt zu selektieren und zu prüfen welche Materialien recycelt und welche der Deponie zugeführt werden müssen.

Erfolgt das Abtragen von schadhafter Bausubstanz mit einem Trägermedium für die Energie (Wasserstrahl-, Sandstrahltechnik, etc.), so muss dies auf der Baustelle sorgfältig aufgefangen werden und in einem Kreisprozess geführt werden (Recycling). Dazu benötigt man effiziente Separationsanlagen.

## 7 Planungsgrundsätze für zukünftige Instandsetzungen

Die Betondeckung sollte von den Planern ausreichend bemessen werden, um den Bauteilen und Bauwerk eine ausreichende Dauerhaftigkeit auch bei sich ändernden Klima- und Nutzungseinwirkungen zu sichern. Dabei müssen Ungenauigkeiten/Toleranzen der Bauausführung in engen Grenzen berücksichtigt werden. Auch die ausführenden Bauunternehmen sollten eine verstärkte Sensibilität entwickeln in Bezug auf die Wichtigkeit der ausreichenden Betondeckung. Heute gehen immer mehr Auftraggeber dazu übergehen, die Betondeckung der Bewehrung bereits bei der Bauübergabe mit elektromagnetischen Prüfgeräten nachzumessen, dann sollte den Baufirmen die Einsicht leicht fallen, dass Überdeckungskontrollen *vor* dem Betonieren für alle Beteiligten am billigsten sind. Nachfolgender Zahlenvergleich macht deutlich mit welchen finanziellen Konsequenzen ein Bauherr konfrontiert werden wird wenn eine zu geringe Betondeckung geplant wird oder wenn eine unzureichende Qualität der Ausführung dazu geführt hat.

Tabelle 9: Kostenauswirkung bei unzureichender Betondeckung

Nr.	Massnahmen	Kosten	Einheit
1	Gewissenhafte Lagekontrolle der Bewehrung vor dem Betonieren	0,-	€
2	1 cm zusätzliche Betondeckung durch Vergrösserung der Wandstärke (Materialaufwand)	1,-	€/m <sup>2</sup>
3	Dreifacher Schutzanstrich mit Acrylharzfarbe nach frühzeitig festgestellten Überdeckungsmängeln	40,-	€/m <sup>2</sup>
4	Komplette Flächenreparatur nach längerer Schadensentwicklung	400,-	€/m <sup>2</sup>

Die Kostenrelation der möglichen Alternativen von 1:10:100 spricht für sich! Es liegt an uns, hieraus für die Zukunft die richtigen Schlussfolgerungen zu ziehen.

Zum Thema Anforderung an die Planung unter Berücksichtigung der Instandsetzung unter Betrieb sollen nur einige Stichworte angeführt werden:

- Bemessung des Bauwerks für den Nutzungsfall Instandsetzung
- Bemessung des Bauwerks unter Berücksichtigung des Platzbedarfs für die Bauverfahrenstechnik der Instandsetzung
- Kosten-Nutzenrechnung in Bezug auf die grössere Instandsetzungsdimensionierung des Bauwerks und der über die Nutzungsdauer eingesparten Softkosten der Benutzer.

## 8 Bildverzeichnis

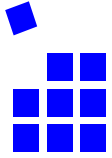
Bild 1: Ablauf der Instandsetzung.....	10
Bild 2: Vorgehensweise bei Asbestkontamination oder Asbestbaustoffen.....	13
Bild 3: Aufgabenstellung der AVOR / AV für Instandsetzungsbaustellen unter Betrieb21	
Bild 4: Arbeitsvorbereitungsprozess in der Angebotsphase.....	24
Bild 5: Ablauf der Arbeitsvorbereitung (AVOR / AV).....	26
Bild 6: Hilfsstützung bei der Stützsanierung.....	27
Bild 7: Arbeitsprogramm.....	30
Bild 8: System eines zweistufigen Kolbenkompressors.....	37
Bild 9: Druckluftnetz, schematisch .....	38
Bild 10: Baustellenpersonal in Abhängigkeit von der Baustellengrösse.....	40
Bild 11: Bürocontainer einer mittelgrossen Baustelle.....	41
Bild 12: Tagesunterkunft.....	42
Bild 13: Schlafunterkunft .....	42
Bild 14: WC-Kabine.....	43
Bild 15: Sanitärcontainer.....	43
Bild 16: Sicherung von Baustellen im Verkehrsraum.....	45
Bild 17: Kransysteme .....	47
Bild 18: Diagramm zur Ermittlung der Grundspielzeiten von Kränen .....	49
Bild 19: Auslegersysteme beim Turmdrehkran.....	51
Bild 20: Hochbaukran.....	53
Bild 21: Schnellmontagekran .....	54
Bild 22: Autokran (Liebherr LTM 1040-3).....	56
Bild 23: Leichter Lastenaufzug .....	58
Bild 24: Personenaufzug .....	59
Bild 25: Schwerer Lastenaufzug .....	60
Bild 26: Schema einer umsetzbaren Schiebebühne.....	61
Bild 27: Schutzzelte der Firma Roth AG werden für das Aufbringen der Abdichtung eingesetzt .....	62
Bild 28: Schutzzelt .....	63
Bild 29: Installiertes mobiles Portalbrückengerüst.....	64
Bild 30: Fahrbare Portalarbeitsbühne, Schemazeichnung.....	64
Bild 31: Fahrbarer Besichtigungswagen und Arbeitsbühne.....	65

Bild 32: Mobile Inspektions- und Arbeitsplattformen auf LKW-Träger .....	65
Bild 33: Kragarmgerüst: Hängegerüst mit Emissionsschutz.....	66
Bild 34: Vollflächiges Hängegerüst mit Emissionsschutz .....	66
Bild 35: Kragarmgerüst mit Einhausung und dichtem Bodenbelag (Emissionsschutz).....	67
Bild 36: Schema eines Elektroanschlusses.....	68
Bild 37: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung sowie Wirk-, Blind und Scheinleistung.....	70
Bild 38: Beziehung von Wirk-, Blind- und Scheinleistung [6] .....	72
Bild 39: Management des Risikoportfolios (Risikoportfoliomanagement von Gefahren) .....	77
Bild 40: Rechtliche Grundlagen des SIGEPLAN's.....	84
Bild 41: SIGEPLAN [13] .....	85
Bild 42: SIGEPLAN in 5 Schritten [13] .....	86
Bild 43: Hauptgliederungspunkte des Leitfadens eines SIGEPLANS [13] .....	88

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] SIA 430 Entsorgung von Bauabfällen. SIA 1993.
- [2] Luley H., Kampen R. et al.: Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen. Ein Leitfaden für den Auftraggeber. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln, 1994.
- [3] ZTV-SIB 90 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Bundesministerium für Verkehr -BMV-, Abteilung Strassenbau, Bund/Länder-Fachausschuss Brücken- und Ingenieurbau, Bonn, 1990.
- [4] Girmscheid G.: Leistungserstellungsprozess - Angebots- und Ausführungs-management in Bauunternehmen. Springer-Verlag, Berlin, 2003.
- [5] Girmscheid G.: Kostenkalkulation und Preisbildung. h.e.p. Verlag, Bern, 2003.
- [6] Girmscheid G.: Leistungsermittlung für Baugeräte und Bauprozesse. Springer-Verlag, Berlin, 2003.
- [7] Hüster F.: Leistungsberechnung für Baumaschinen. Werner-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- [8] Seeling R.: Die Kranbemessung im Hochbau unter besonderer Berücksichtigung des Warteschlangenansatzes. In Baumaschine und Bautechnik (1981), Jg. 28, Nr. 3, S. 118-124.
- [9] Fleischmann H. D., Schneider K.J. et al.: Wohnungsbau-Normen. Normen – Verordnungen – Richtlinien, 20. neubearb. und erw. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf, 1994.
- [10] Wallnig R., Wallnig G.: Elektrotechnik für Baufachleute. Geräte, Installation, Schutzmassnahmen. Bauverlag, Wiesbaden, 1987.
- [11] Seeling R.: Die optimale Stromversorgung von Baustellen. In Baumaschine und Bautechnik (1979), Jg. 26, Nr. 6, S. 293-301.
- [12] Richtlinie 92/57/EWG des Rates über die zeitlich begrenzte oder ortsveränderliche Baustelle anzuwendenden Mindestvorschriften für Sicherheit und den Gesundheitsschutz. Brüssel, 1992.
- [13] SIGEPLAN-Leitfaden zur Erstellung eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzplanes. Arbeitsgemeinschaft der Bau- und Betriebsgenossenschaften, Frankfurt am Main, Tiefbau - Betriebsgenossenschaft, München, Abruf-Nr. 631, 1998.
- [14] SIA 465 Sicherheit von Bauten und Anlagen. SIA 1998.
- [15] SIA 160 Einwirkung auf Tragwerke. SIA 1989.
- [16] AGI-Arbeitsblatt K10, Schutz von Beton. Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V., Köln, 1983.
- [17] DAfStb-Richtlinie, Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Teile 1 und 2 (Fassung August 1990) Teil 3 ( Fassung Februar 1991). Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin.
- [18] WTA-Merkblatt 5-5-90, -Entwurf-. Qualitätssicherung bei Instandsetzungs-massnahmen an Betonbauwerken (Fassung 1990). Wissenschaftlich-Technischer Arbeitskreis für Denkmalpflege und Bauwerkssanierung e.V., München.

- [19] Girmscheid G.: Faires Nachtragsmanagement - Leitfaden für Bauunternehmen und Bauherren. h.e.p. Verlag, Bern, 2003.
- [20] SIA 431 Entwässerung von Baustellen, SIA September 1997.



Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Teil 3: Grundlegende Bauverfahren zur Erhaltung von Bauwerken





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Schutzmassnahmen .....</b>	<b>2</b>
2.1	Präventive Schadensverhinderung .....	2
2.2	FerroGard-903 .....	2
2.3	Lithiumhydroxid .....	3
2.4	Monofluorphosphat .....	4
2.5	Hydrophobierung .....	5
2.6	Elektrochemische Realkalisierung .....	5
<b>3</b>	<b>Abtragsverfahren .....</b>	<b>7</b>
3.1	Übersicht .....	7
3.2	Spitzen .....	9
3.3	Fräsen .....	9
3.4	Sandstrahlen .....	11
3.5	Flammstrahlen .....	13
3.6	Höchstdruckwasser .....	13
<b>4</b>	<b>Verfahren zur Reprofilierung .....</b>	<b>18</b>
4.1	Behandlung der freigelegten Bewehrung .....	18
4.2	Untergrundvorbehandlung zur Herstellung des Haft- und Schubverbundes .....	19
4.3	Aufbringen der Reprofilierungsschichten.....	20
4.4	Patchwork .....	26
<b>5</b>	<b>Verfahren zur Oberflächenbehandlung .....</b>	<b>29</b>
5.1	Übersicht .....	29
5.2	Imprägnierung .....	29
5.3	Beschichtung.....	31
<b>6</b>	<b>Verfahren zur nachträglichen Bauwerksverstärkung.....</b>	<b>33</b>
6.1	Gradiert gespannte CFK-Bänder [6].....	33
<b>7</b>	<b>Abbruchverfahren.....</b>	<b>36</b>
7.1	Grundverfahren .....	36
7.2	Totalabbrüche von Bauwerken.....	39
7.3	Teilabbrüche von Bauwerken.....	40
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>45</b>



# 1 Einleitung

In diesem Teil werden grundlegende Massnahmen und Verfahren zur Erhaltung von Bauwerken vorgestellt. Es handelt sich dabei um Massnahmen und Verfahren, die

- entweder für verschiedene Baustoffe einsetzbar sind (z.B. Abbruchverfahren).
- oder auf einen bestimmten Baustoff bezogen sind (z.B. Beton) aber für verschiedene Bauwerke und Bauteile Anwendung finden.
- die für bestimmte Erhaltungsstufen (z.B. Instandsetzung) zum Einsatz gelangen.

Es werden ihre generelle Wirkungsweise und die besonderen Anforderungen ihrer Anwendung dargestellt.

Spezifische Ausprägungen dieser Verfahren aufgrund der besonderen Randbedingungen der zu erhaltenden Bauwerke und die Anordnung der Verfahren im Bauprozess sind Bestandteil der Teile 3-6 dieser Vorlesungsreihe.

## 2 Schutzmassnahmen

### 2.1 Präventive Schadensverhinderung

Präventiv Reaktionsmittel für eine Verhinderung von Schäden anzuwenden ist eine neue Herausforderung im Bauwesen. Noch immer werden Bauwerke erst instand gesetzt, wenn Schäden aufgetreten sind. Dass aber mit einem etwas erhöhtem Inspektionsaufwand Schwachstellen eruiert und diese mit einfachen Mitteln entschärft werden können, diese Erkenntnis ist noch nicht weit verbreitet. Grundsätzlich kann ein Beton, der den Anforderungen entsprechend hergestellt wurde, unter normalen Bedingungen seine Schutzfunktion gegenüber der Bewehrung über seine gesamte Lebensdauer erfüllen. Sind aber z.B. Mängel in der Herstellung aufgetreten und sind diese bekannt, so kommen Reaktionsmittel zum Einsatz. Schon sind verschiedene davon auf dem Markt, die eine mangelnde Betonüberdeckung ersetzen können. Tabelle 2-1 gibt einen Überblick über die gängigsten Reaktionsmittel.

Reaktionsmittel	Eigenschaften	Eignung
FerroGard-903, Korrosionsinhibitor	Bildung einer Schutzschicht auf der Bewehrung	geeignet für die Behandlung von Schwachstellen
Lithiumhydroxid, Realkalisierungsmittel	Hebung des pH-Wertes eines karbonatisierten Betons >9.5	geeignet für die Behandlung von Schwachstellen, giftig
Monofluorophosphat, Korrosionsinhibitor	Bildung einer Schutzschicht auf der Bewehrung	Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit noch nicht nachgewiesen
Hydrophobierung	Versiegelung der Betonoberfläche	für jungen Beton nicht geeignet
Elektrochemische Realkalisierung	Absenkung des Korrosionspotentials	sehr aufwändig

Tabelle 2-1: Reaktionsmittel und ihre Eignung

### 2.2 FerroGard-903

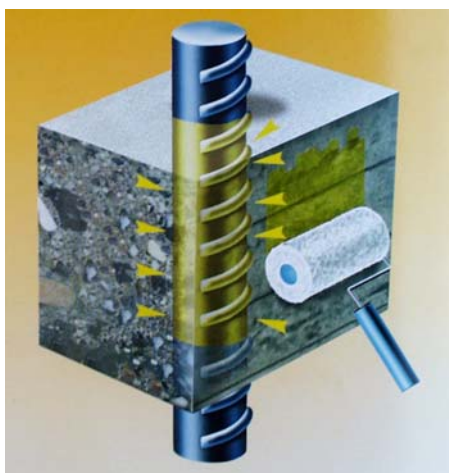


Bild 2-1: Applikation von FerroGard-903

Dieser neuartige Korrosionsinhibitor fördert auf der Oberfläche der Bewehrung die Bildung der Passivschicht, welche sowohl den Korrosionsbeginn verzögert als auch die Korrosionsgeschwindigkeit verringert. Das Produkt wird auf die Betonoberfläche appliziert (Abb. 2-2) und wird durch kapillares Saugen und Diffusion in den Beton hineingesogen. Damit können Eindringtiefen bis 50 mm erreicht werden, womit mit Bestimmtheit die zu schützende Bewehrung erreicht wird. In den Labors des Herstellers wurde das Produkt eingehend geprüft.

Die Nutzungsdauer von Stahlbeton soll durch die Anwendung von FerroGard-903 verlängert werden (Abb. 2-3). Doch fehlten Erfahrungen über das Langzeitverhalten. Entsprechende Untersuchungen zur Markteinführung wurden durchgeführt. Die Resultate zeigen, auf welche Punkte bei der Bestimmung der Dauerhaftigkeit geachtet werden muss:

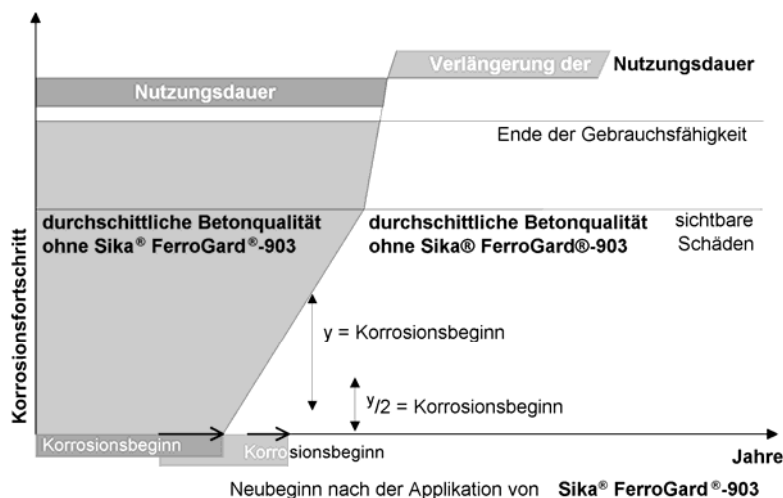


Bild 2–2: Verlängerung der Nutzungsdauer mit FerroGard-903

- FerroGard-903 kann nur an Betonoberflächen nachgewiesen werden, an der Bewehrung ist dies ohne ausserordentlichen Aufwand nicht möglich.
- Die theoretische Dicke der Schutzschicht auf der Bewehrung ist sehr gering (10 nm). Daraus lässt sich eine Grenzkonzentration errechnen, die aber in den Versuchen um ein Vielfaches überschritten wurde.
- Der Einfluss des Karbonisierungsgrades, der Kapillarporosität und des Wassersättigungsgrades haben nur einen geringen Einfluss auf das Eindringverhalten .
- Das Auswaschverhalten wird mit standardisierten Versuchen nachgebildet. Die Korrosionsschutzwirkung bleibt über lange Zeit erhalten.
- Risiko zur Makroelementbildung kann mit einer umfassenden Qualitätskontrolle ausgeschlossen werden.
- Die Applikation muss unter strenger Einhaltung von Sicherheits- und Applikationsvorschriften durchgeführt werden, ist dann aber technisch leicht durchführbar.

## 2.3 Lithiumhydroxid

Durch den Einsatz von Lithiumhydroxid wird karbonatisierter Beton wieder realkalisiert. Dazu wird eine wässrige Lösung auf die Betonoberfläche aufgebracht. Durch kapillares Saugen wird die alkalische Lösung in den Beton transportiert, worauf der

pH-Wert des Porenwassers wieder ansteigt. Im wiederhergestellten alkalischen Milieu des Betons wird der Stahl repassiviert und der Korrosionsfortschritt behindert.

Wichtigster Punkt bei der Anwendung von Lithiumhydroxid ist, dass die Bewehrung vollständig im realkalisierten Beton liegt. Ansonsten bilden sich Makroelemente und es findet die Lochfrasskorrosion mit den damit verbundenen Folgen statt. Es muss eine maximale Eindringtiefe der Lösung angestrebt werden. Aus diesem Grund darf das mit der Lithiumhydroxid-Lösung in den Beton eingebrachte Wasser zwischen den einzelnen Arbeitsgängen nicht vollständig verdunsten. Zudem muss gewährleistet sein, dass der Transport in die tieferen Betonschichten auch nach dem letzten Arbeitsgang noch mindestens zwölf Stunden anhalten kann. An der Fassadenoberfläche muss deshalb eine relative Luftfeuchtigkeit von 100% garantiert sein.

Lithiumhydroxid ist ein Alkalimetallsalz und ist mit Wasser in einer stark alkalischen Reaktion löslich. Zudem ist Lithiumhydroxid für Lebewesen wegen seiner stark ätzenden Wirkung eine Gefahr. Es ist aber kein sogenanntes Umweltgift, d.h. es kann gut abgebaut werden. Wegen dieser Gefährlichkeit sind für den Transport, die Lagerung, das Mischen und die Applikation spezielle Sicherheitsvorschriften erstellt worden:

- Transport und Lagerung erfolgt in luft- und wasserdicht geschlossenen Behältern. Zudem darf das Lithiumhydroxid nicht in Berührung mit Aluminium oder Zink geraten, da sich sonst Wasserstoff bildet, der alleine durch die Reaktionswärme entzündet werden kann.
- Bei der Mischung und der Applikation müssen die Arbeiter Schutzkleidung und Atemschutzmaske tragen. Das Gerüst ist während dieser Zeit für alle anderen Personen gesperrt. Die Lösung darf nicht in Form von Sprühnebel von der Fassadenfläche weggeweht werden.

## 2.4 Monofluorphosphat

Dieser auf Di-Natrium Monofluorphosphat (MFP) basierende Korrosionsinhibitor ist in der Schweiz schon eingesetzt worden. Im Kontakt mit der Bewehrung verstärkt MFP den natürlichen Oxidbelag, wodurch der Stahl wieder passiviert wird. Wie das FerroGard-903 wird MFP in einer wässrigen Lösung aufgetragen. Sind Teile des zu behandelnden Betons aber noch nicht vollständig karbonatisiert, reagiert MFP mit dem Kalziumhydroxid und bildet ein sehr hartes, stabiles Produkt, das die Zugfestigkeit des Betons bis zu 50 % ansteigen lässt. Diese Wechselwirkungen mit dem Beton sind aber noch nicht geklärt. Zudem zersetzt sich das MFP rasch im Beton, sodass nur noch Phosphat- und Fluoridionen nachweisbar sind. So kann die Wirksamkeit des Inhibitors nicht überprüft werden. Festgestellt wurde aber, dass die Korrosion abgenommen hat und die Potentiale deutlich tiefer liegen.

## 2.5 Hydrophobierung

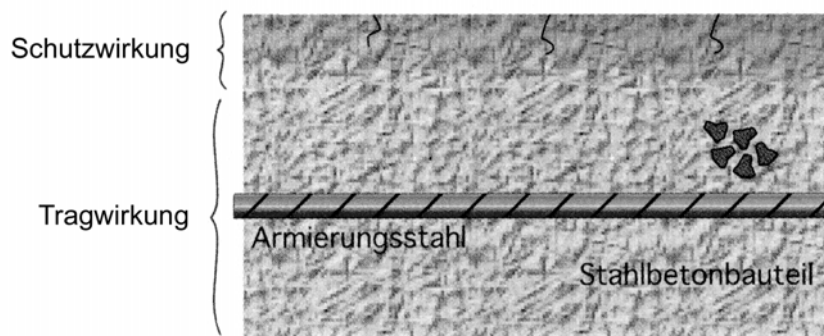


Bild 2–3: Tiefenhydrophobierung [1]

Die Hydrophobierung ist ein Spezialgebiet in der Forschung an der ETH. Deshalb werden auch periodisch Veröffentlichungen publiziert, die nur die Vorteile einer Hydrophobierung hervorheben. In der Praxis aber ist der Einsatz der Hydrophobierung auf der Brückenbaustellen noch umstritten. Vor allem bei jungem Beton ist eine Anwendung nicht sinnvoll (die Hydrophobierung wird ausführlich im Kap. 2.5 behandelt). Mit einer Hydrophobierung soll der Beton oberflächennah wasserabstossend gemacht werden. Damit fehlt die für eine Korrosion wichtige Feuchtigkeit (Bild 2–3).

## 2.6 Elektrochemische Realkalisierung

Häufig ist ein Beton chloridverseucht, ohne dass die Korrosion schon eingesetzt hat. Deshalb kam im den siebziger Jahren die Idee auf, mit einer über die Bewehrung und die Betonoberfläche angelegten Spannung die Chloridionen wieder zu entfernen. Erst 1989 wurden erste Erfahrungen in der praktischen Anwendung in der Schweiz gemacht.

Alle elektrochemischen Instandsetzungsverfahren weisen unterschiedliche primäre und sekundäre Wirkungen auf. In Tabelle 2–2 sind die Verfahren zusammengestellt:

Verfahren	Primäre Wirkung	Sekundäre Wirkung
Kathodischer Korrosionsschutz (KK)	aktiver Eingriff in den Korrosionsmechanismus Absenkung des Korrosionspotentials	Reduktion des Chloridgehaltes pH-Anstieg an der Bewehrung
Elektrochemische Chloridentfernung (ECE)	Veränderung der Angriffsbedingungen Reduktion des Chloridgehaltes	pH-Anstieg an der Bewehrung
Elektrochemische Realkalisierung (ER)	Veränderung der Angriffsbedingungen pH-Anstieg an der Bewehrung	pH-Anstieg in der Betonrandzone durch Eintrag einer alkalischen Natrium- oder Kaliumkarbonatlösung

Tabelle 2–2: Elektrochemische Instandsetzungsverfahren [2]

Allen Verfahren ist gemeinsam, dass an der Betonoberfläche eine Anode mit einem Elektrolyt aufgebracht wird. Durch den angelegten Strom, je nach Verfahren unterschiedlich lang und unterschiedlich stark, wandern die Chloridionen durch kapillares Saugen und Diffusion im elektrischen Feld von der Bewehrung weg Richtung Anode.



Im Gegenzug gelangen Natrium- oder Kaliumionen in Richtung Bewehrung und führen zu einer stabilen, passiven Umgebung.

Die elektrochemische Realkalisation ist zwar ein Verfahren mit guten Ergebnissen, aber aufwändig und sehr teuer. Zudem muss der Beton nach der Behandlung mit einem Oberflächenschutz versehen werden, um ein erneutes Eindringen von Tausalzen zu verhindern.

Bei vorgespannten Bauteilen dürfen diese Verfahren nicht angewendet werden, da sie zur Bildung von Wasserstoff an der Bewehrung, und damit zur Wasserstoffversprödung führen.

### 3 Abtragsverfahren

Die Instandsetzung von Stahlbetonbauten hat zum Ziel, dass einerseits die Schäden an der Substanz instand gesetzt werden und andererseits die Oberfläche mindestens so verbessert wird, dass künftig mit dem Unterhalt der Oberflächenbehandlung Schäden an der Substanz selbst ausgeschlossen werden können.

Es ist deshalb wichtig, für die Instandsetzung das geeignetste Konzept zu erarbeiten und zwar in Bezug auf die weitere Nutzung und den weiteren Unterhalt des Bauwerkes. Es sollte so projektiert werden, dass künftig keine Schäden mehr auftreten können. Dies wird erreicht, indem der Beton soweit instand gesetzt wird, dass er die Anforderungen für einen Schutz der Bewehrung erfüllen kann. Kann diese Schutzfunktion alleine mit dem Beton nicht erreicht werden, müssen zusätzlich Oberflächenmassnahmen ergriffen werden. Solche Massnahmen sind aber meist unterhaltsintensiver als der reine Beton und sollten deshalb vorsichtig eingesetzt werden. Eine Instandsetzung gliedert sich auf der Baustelle in folgende Arbeitsschritte (Abb. 4-1).

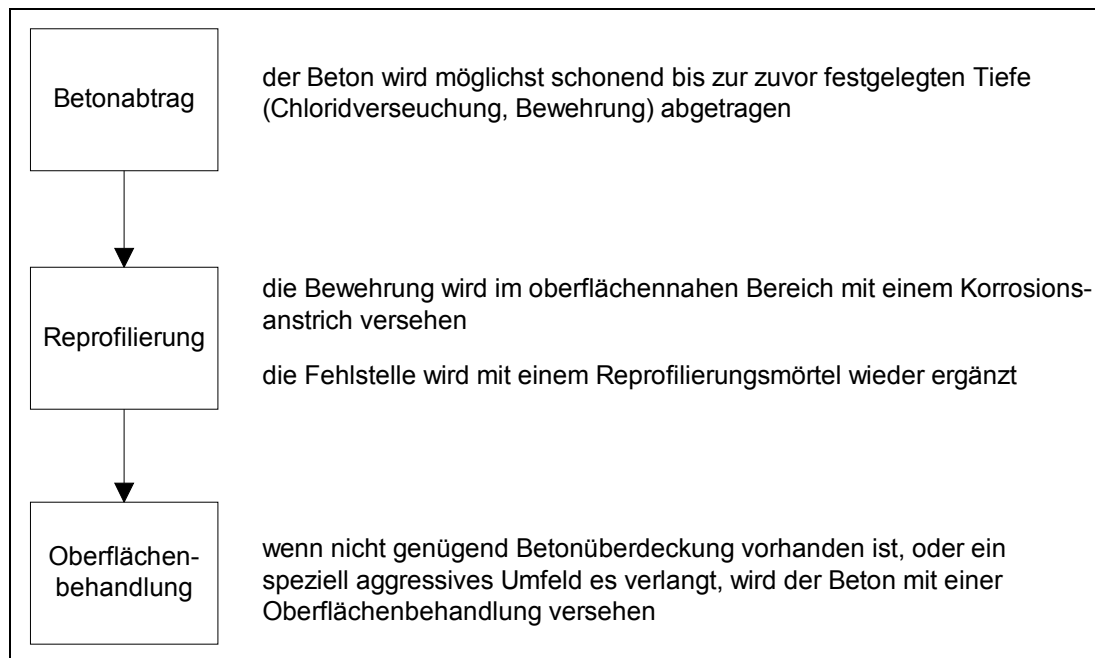


Bild 3–1: Arbeitsschritte einer Instandsetzung von Stahlbetonbauteilen

Nicht immer sind aber alle Arbeitsschritte nötig. Oder es kommen noch zusätzliche Massnahmen dazu, wie z.B. Ergänzung der Bewehrung wegen zu grossem Korrosionsverlust.

#### 3.1 Übersicht

Wurde durch eine Zustandsanalyse festgestellt, dass z.B. bei einem Stahlbetonbauteil die Bewehrung korrodiert oder dass der Beton stark chloridhaltig ist, so muss der Beton bis zur entsprechenden Tiefe abgetragen werden. Hierzu gibt es verschiedene Verfahren, die sich stark voneinander unterscheiden. Das Abtragverfahren soll möglichst schonend erfolgen, so dass der gesunde, gute Beton nicht abgetragen wird. Zudem soll

er nicht durch Mikrorisse geschädigt werden. Wenn bis zur Bewehrung freigelegt werden muss, sind folgende Grundsätze einzuhalten:

- Beim Freilegen der Bewehrung darf der Verbund zwischen Beton und Eisen an unbehauelter Stelle nicht gestört werden.
- Wird ein Bewehrungsstab zu mehr als einem Drittel seines Durchmessers freigelegt, muss er vollständig vom Beton befreit werden, da er sich sonst mit einem kleinen Trennriss vom Untergrundbeton loslösen würde.
- Der Beton ist bis mindestens 10 mm unter die Bewehrung abzutragen. Nur so kann er anschliessend effizient sandgestrahlt und eventuell mit einem Korrosionsanstrich versehen werden. Zudem muss der Reprofilierungsmörtel problemlos hinter der Bewehrung verdichtet werden können.

Folgende Faktoren sind bestimmend für die Wahl des Abtragverfahrens:

- die Qualität und die Quantität des zu entfernenden Materials (z.B. Materialzusammensetzung)
- die zur Verfügung stehende Zeit
- die Überdeckung der Bewehrung
- rechtliche Vorschriften bezüglich Vibration, Lärm, Staub und Entsorgung der Rückstände

Tabelle 3–1 gibt eine Übersicht über die einzelnen Verfahren mit den beiden Kriterien Wirkung und Lärmemissionen [3].

Verfahren	Wirkung	Untergrundstörung	Lärmemissionen
Spitzen (pneumatisch oder elektrisch)	Losbrechen des Betons, beschädigt und löst die Bewehrung	gross 5 – 20 mm	v.a. Körperschall
Fräsen	Rüttel-, Schlag- und Stosswirkung, rillenartige Oberfläche, Bewehrung kann losgerissen werden	gross 1 – 5 mm	v.a. Körperschall
Sandstrahlen (Kugelstrahlen)	trägt die Zementhaut ab und bearbeitet das Zuschlagkorn	unbedeutend	Körper- und Luftschall
Flammstrahlen	bei 3000 °C wird Beton abgesprengt	mittel 1 – 3 mm	hoher Luftschall
Höchstdruckwasserstrahlen	bricht Beton schollenförmig auf, schont die Bewehrung	keine	hoher Luftschall

Tabelle 3–1: Betonabtragverfahren

Neben diesen Hauptverfahren gibt es noch verschiedene Spezialverfahren. Zu erwähnen wäre z.B. das Heizen der Bewehrung. Bei Temperaturen um 400 – 500 °C bricht der Beton auf. Dieser Prozess dauert ungefähr 8 min. Danach muss der Beton noch mechanisch entfernt werden.

Ein Teil der aufgeführten Verfahren ist neben Beton auch für andere Materialien anwendbar.

### 3.2 Spitzen



Bild 3–2: Betonabbruch mit Spitzhammer [11]

Beim Spitzen wird mit Schlägen das Gefüge des Untergrundes gestört. Vor allem für kleine Flächen wird dieses Verfahren, trotz seiner Nachteile, häufig verwendet. Zuerst wird der Beton sauber eingeschnitten und danach mit dem Spitzhammer ausgebrochen. Dabei kann aber auch die Bewehrung beeinträchtigt werden. Mit diesem Verfahren kann nicht garantiert werden, dass der gesamte geschwächte Beton abgetragen wird.

Der Spitzhammer ist ein Werkzeug, das weit verbreitet ist, obwohl es langsam, lärmig und stauberzeugend ist. Zudem werden die Vibrationen direkt auf die Gelenke des Arbeiters übertragen. Dabei werden Arterien, Muskeln, Nerven und Knochen geschädigt [4].

### 3.3 Fräsen

Das Fräsen wird zum partiellen entfernen von Strassenbeläge angewendet. Fräsen ist ein maschineller Abtrag. Damit können sehr hohe Arbeitsleistungen erreicht werden. Ein geometrisch relativ genauer Abtrag ist möglich. Die Fräsmaschinen sind mit einem walzenförmigen Fräskopf ausgerüstet, der dem Schrämkopf einer Teilschnittmaschine (TSM) im Tunnelbau entspricht. Dieser Schrämkopf ist meist mit einer Vielzahl auswechselbarer Hartstahlrundkopfmeisseln bestückt. Während früher mit hohen Anpressdrücken gearbeitet wurde, erzeugt das Schneidrad heute eine aufwärts gerichtete Bewegung (Bild 3–3). Zudem sind diese Maschinen mit einer Staubabzugsanlage ausgerüstet die den Staub am Schrämkopf absaugt. Das zerkleinerte Material wird direkt über ein Förderband auf parallelfahrende LKW's verladen. Auf den ersten Blick erscheint es ein rasches, wirtschaftliches Abtragverfahren zu sein. Das grösste Problem ist aber, dass die Fräse auch die Bewehrung ausreisst, wenn sie mit einer geringen Überdeckung eingebaut worden ist. Es folgt ein erhöhter Materialverschleiss. Die Bewehrung wird zerstört. Zudem ist die Fräse sehr schwierig in Randbereichen mit Entwässerungseinrichtungen und Randabsätzen einzusetzen. Zudem entwickelt sie viel Lärm, vor allem Körperschall.



Bild 3-3: Fräsmaschine im Einsatz [4]

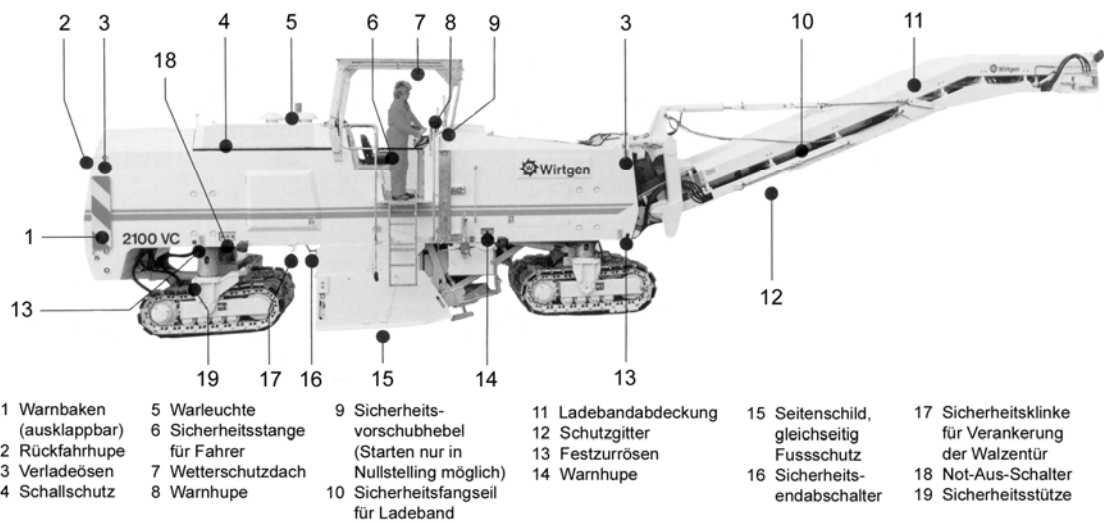


Bild 3-4: Belagsfräse [12]

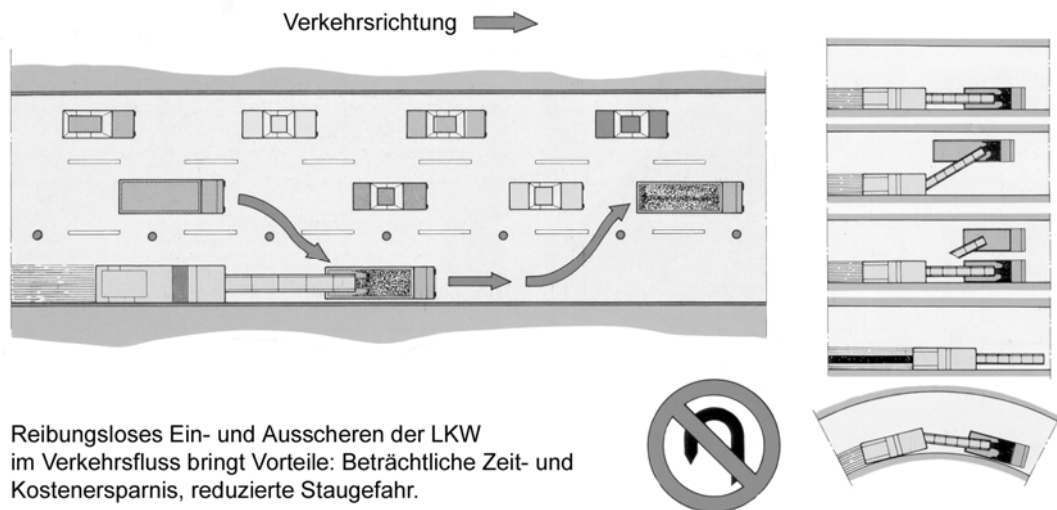


Bild 3-5: Fräsen unter Verkehr [12]

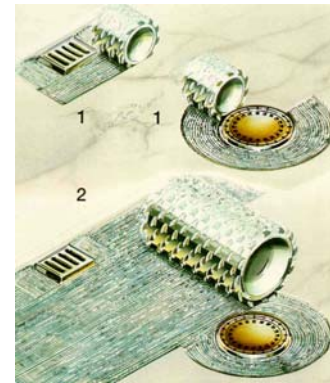
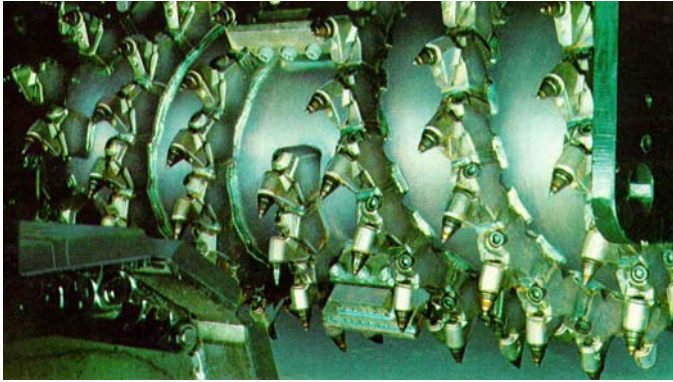


Bild 3–6: Walzenförmige Fräsköpfe



Bild 3–7: Fräskopf [20]

## 3.4 Sandstrahlen

Mittels Sandstrahlverfahren werden die besten Reinigungs- und Entrostungseffekte erzielt. Für das Sandstrahlen wurde lange Zeit natürlich vorkommender Sand verwendet. Er wird heute aber kaum mehr eingesetzt, da die Silikate im Sand gesundheitliche Folgen für Mensch und Umwelt haben und zudem die Sandkörner zu rund und zu weich sind. Heute wird deshalb künstlicher Sand (häufig gebrochene Hochofenschlacke) verwendet.

Das Sandstrahlverfahren eignet sich nicht zum Abtragen von dickeren geschädigten Beton- oder Mauerwerksschichten. Das Verfahren eignet sich gut zum Entrosten von Stahlkonstruktionen und Bewehrungen, sowie zum Entfernen von Lackschichten und Zementschlämmen, aber auch zum Aufrauen von Beton-Arbeitsfugen zur Verbesserung der Verzahnung der Aggregate und damit zur Erhöhung der Verbundwirkung. Auch für das Ausradieren von Graffiti wird Sandstrahlen eingesetzt.

Der Nachteil bei diesem Verfahren liegt in der grossen Staubentwicklung sowie in den beträchtlichen Mengen von Strahlgut das zu- und abgeführt werden muss. Arbeiter müssen wie in Bild 3–8 mit Spezialhelmen geschützt sein.



Bild 3–8: Sicherheit beim Sandstrahlen [20]

Wenn mit natürlichem Sand gearbeitet wird, müssen zudem Atemschutzgeräte getragen werden.

Man unterscheidet das:

- Trocken- und
- Nasssandstrahlen.

Beim Trockensandstrahlen wird mit einer Spritzmaschine Trockenquarzsand mittels Luftförderung durch einen Schlauch, der mit einer Düse bestückt ist gefördert. Dieses Verfahren ist mit grosser Staubentwicklung verbunden. Nach der Behandlung wird die bestrahlte Fläche mit grossen Baustaubsaugern gesäubert.

Das Feucht-Sandstrahlen, das auch als Nebelsandstrahlen bezeichnet wird, bindet das Strahlgut mit Wasser- oder Wasserdampf. Dadurch wird die Umgebung weniger stark mit Staubimmissionen belastet. Doch lässt sich das Strahlgut nach der Anwendung nicht mehr so einfach wieder einsaugen und die Trennung von Strahlgut vom Wasser erfordert zusätzliche Installationen.

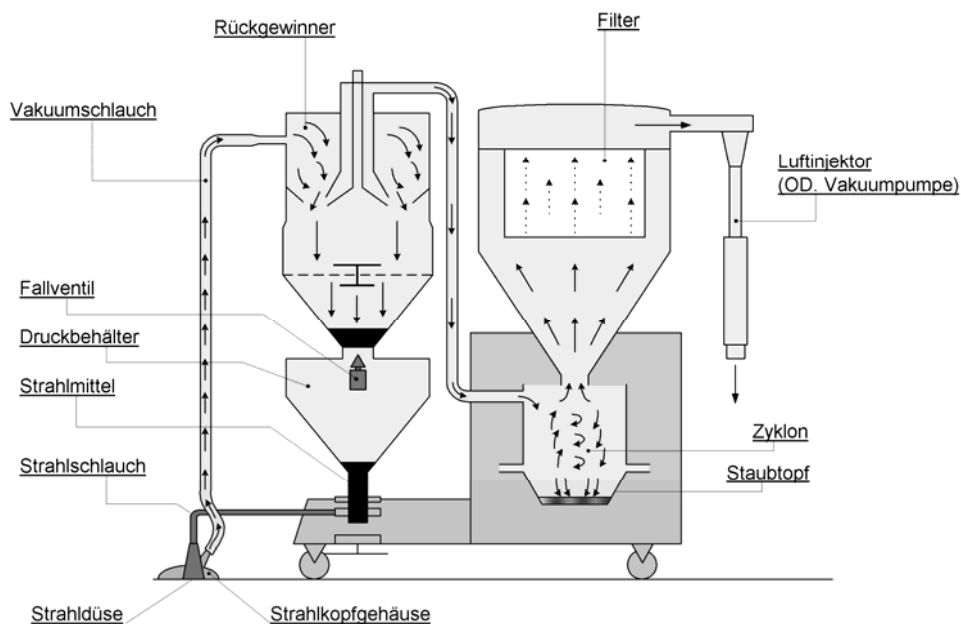


Bild 3–9: Sandstrahlverfahren

Werden anstelle von Sand Stahlkügelchen eingesetzt, spricht man vom Kugelstrahlen. Wichtig hier ist, dass das Strahlgut vollständig wieder aufgenommen wird. Dies geschieht mit grossen Magneten.

## 3.5 Flammstrahlen

Mit dem Flammstrahlen wird eine gute Tiefenwirkung beim Abtragen stärkerer Mörtelschichten erreicht. Das Abtragen ungleichmässig tief geschädigter Oberflächen ist schwieriger und erfordert meist mechanische Nachbehandlung. Das Flammstrahlen zum Entrosten der Bewehrung darf wegen der Gefahr des Ausglühens nicht angewandt werden. Bei diesem Verfahren muss beachtet werden, dass durch die plötzlichen und hohen Temperaturen hohe lokale Wärmespannungen entstehen. Diese verursachen bei dem extrem steilen Temperaturgradienten lokal hohe Schubspannungen zwischen den Bereichen mit direkter Flammbestrahlung und den Bauwerksteilen und -schichten unter Normaltemperatur.



Bild 3–10: Flammstrahlen

Durch diesen Prozess der thermisch verursachten Schubspannungen brechen die schwachen und geschwächten Oberflächenpartien aus. Das Verfahren muss mit hohem Sachverstand durchgeführt werden um keine Schädigungen der gesunden Bauwerksbereiche zu verursachen. Das Flammstrahlen mittels Gas ist relativ umweltschonend. Die Hauptanwendung des Verfahrens war das Schneiden von Beton, aber nicht das flächige Abtragen. Es wird vor allem in der Stahlbrückenerhaltung eingesetzt. Ein Einsatz unter Wasser ist ohne Probleme möglich.

## 3.6 Höchstdruckwasser

Diese Verfahren ist mit Abstand das schonendste. Der gesunde Untergrund bleibt intakt und der Verbund zwischen Beton und Bewehrung wird nicht gelockert (Bild 3–12). Der Vorgang bei den Höchstdruckwasser-Anwendungen ist noch nicht vollständig geklärt. Der Wasserstrahl erzeugt einen Staudruck auf der Betonoberfläche. Da in der belasteten Fläche kleinste Schwindrisse vorhanden sind, kann das Was-



ser dort eindringen und übt so einen hydrostatischen Druck aus. Die Risse vergrössern sich und lockern das Gefüge auf. Ist die Zugfestigkeit des Materials überschritten, lösen sich einzelne Partikel aus dem Betongefüge. Zementkomponenten werden einfacher abgetragen, da sie weicher sind. Sind viele grobe Zuschlagstoffe im Beton vorhanden, so wird ein Tiefenabtrag erschwert.



Bild 3–11: Mit Höchstdruckwasser behandelte Betonoberfläche

Mit der Variation von Wasserdruck und –menge wird die Abtragtiefe bestimmt. Folgende Grundsätze gelten für dieses Verfahren:

- Für eine grosse Bearbeitungstiefe ist eine hohe Strahlleistung erforderlich. Dies geschieht mit einem tieferen Druck (1500 bar) und mit hohem Wasserverbrauch (120 l/min). Zum Einsatz kommen wegen der hohen Rückstosskräften schwere Maschinen (Bild 3–12).
- Für hohe Flächenleistungen, aber geringer Bearbeitungstiefe, ist der Einsatz von kleineren Düsen mit hohem Druck (2500 bar) und geringem Wasserverbrauch (24 l/min) vorteilhaft. Manuelle Arbeiten sind möglich (Bild 3–13).



Bild 3–12: Maschineller Höchstdruckwasser-Abtrag



Bild 3–13: Höchstdruckwasser-Abtrag mit Handlanze

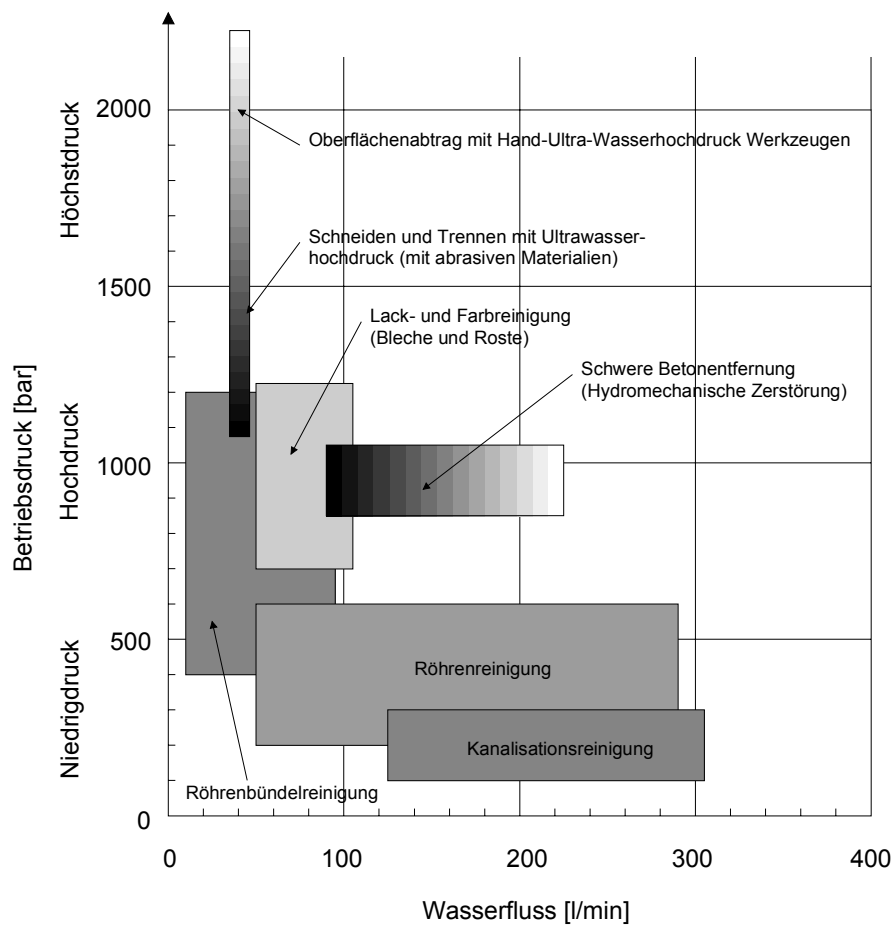


Bild 3–14: Einsatzspektrum von Wasserstrahlverfahren

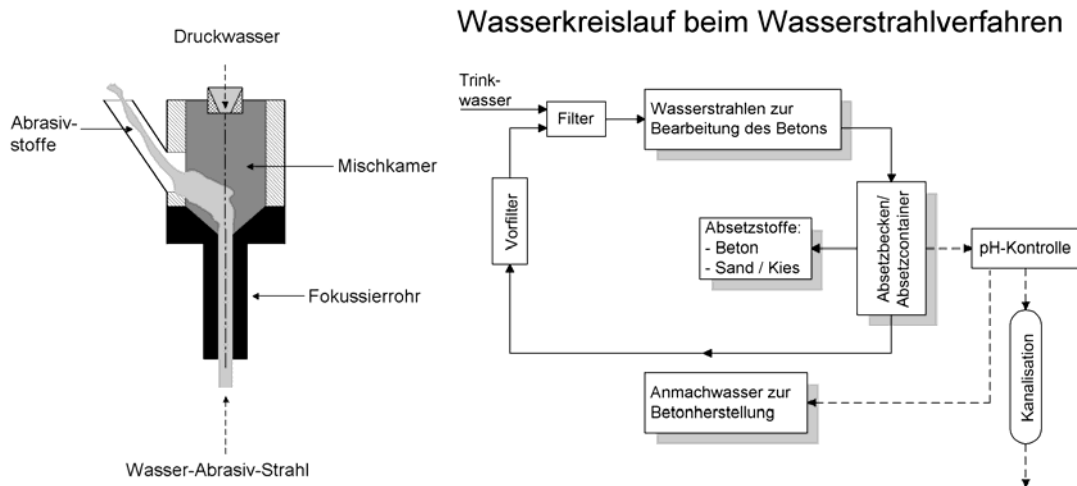


Bild 3–15: Wasserstrahlverfahren – Prinzip

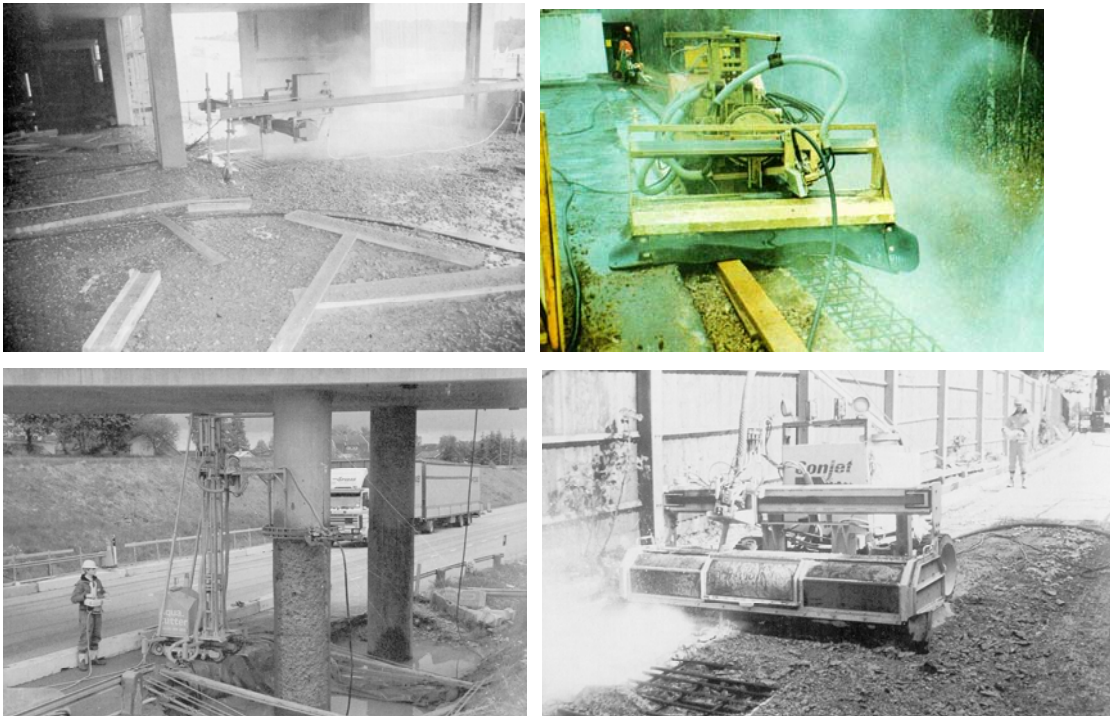


Bild 3–16: Anwendungsbeispiele des Wasserstrahlverfahrens [13]

Bei den Betonabtragsverfahrensmethoden hat sich das Hochdruckwasserstrahlverfahren als das effizienteste und gefügeschonendste erwiesen. Durch die intensive flächige Oberflächenbearbeitung wird sichergestellt, dass alle Schwachstellen aufgebrochen und abgetragen werden. Muss bei Linienbauwerken grossflächig die Oberfläche abgetragen werden, eignet sich zu diesem Zweck besonders der Einsatz von teilautomatisierten Robotern die als Multifunktionalsystem wirken. Zur Robotisierung eignen sich folgende Techniken:

- Hochdruckwasserstrahlverfahren
- Frästechnik
- Flammstrahlverfahren.

Die Geräte applizieren die Abtragtechnik (fräsen mechanisch, jetten mittels Wasser, brennen thermisch mittels Gasflamme), saugen oder kehren das Material auf und übergeben es in Fahrzeuge oder fördern es zur Aufbereitung und Wiederverwendung als Rohmaterial bzw. Spritzmaterial.

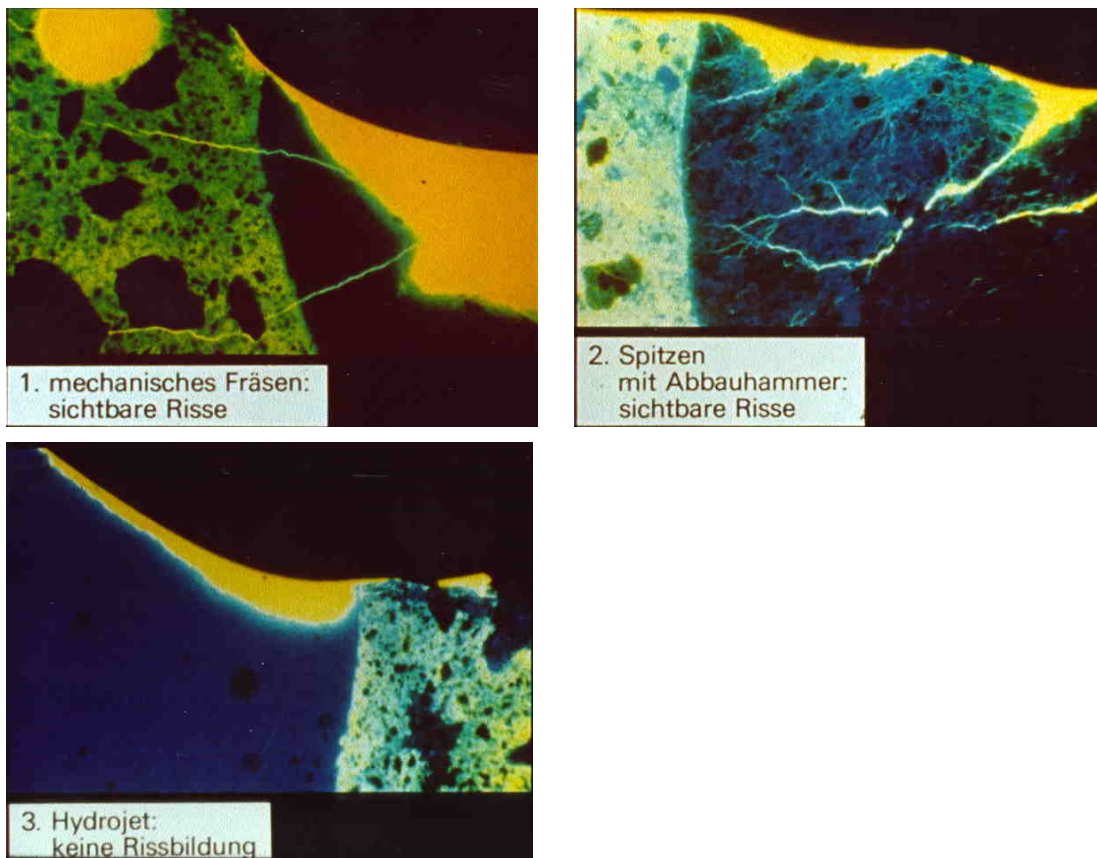


Bild 3–17: Mikroaufnahmen von Betonteilen aus verschiedenen Abbaumethoden

## 4 Verfahren zur Reprofilierung

### 4.1 Behandlung der freigelegten Bewehrung

Bei der Bewehrung müssen zwei Fälle unterschieden werden, die sich durch die Tiefe der Betonschädigung ergeben:

- ist die Schädigung nicht bis zur Bewehrung vorgedrungen, dann ist meist keine Instandsetzung erforderlich oder nur im Rahmen einer Globalsanierung. In diesem Fall sollte die Bewehrung nicht freigelegt werden oder allenfalls bis zur Oberfläche. Damit wird weitgehend der Verbund erhalten und die Kraftübertragung kaum beeinflusst. In einem solchen Fall ist es unbedingt notwendig, dass das Abtragen der Oberfläche gefügeschonend erfolgt.
- ist die Schädigung bis in die Tiefe der Bewehrung fortgeschritten und somit bereits die Korrosion in Gang gesetzt worden, ist die Bewehrung rundum freizulegen. Dies ist notwendig, um die Restrukturierungsarbeiten zuverlässig durchführen zu können und die Längstrennrisse entlang der Bewehrung zu eliminieren, die durch die Korrosion oder die Abtragarbeiten entstanden sind. Der Freiraum hinter der Bewehrung sollte aus arbeitstechnischen Gründen mindestens:
  - $10\text{mm} < \Delta l < .75 \phi_{\text{Bewehrung}}$  betragen, um die Bewehrung durch Sandstrahlen einwandfrei metallisch entrostet zu können
  - $\Delta l > 1.5 - 2 \phi_{\text{Grösstkorn}}$  betragen, um den Reprofilierungsbeton einwandfrei, vollständig und somit kraftschlüssig und dicht einbringen zu können.

Je nach Verfahren der Freilegung präsentiert sich die Bewehrung in unterschiedlicher Verfassung. Vor allem beim Spitzen und Fräsen kann die Lage der Bewehrung verändert werden. Sie muss überprüft und gegebenenfalls gerichtet werden.



Bild 4–1: Ausbruchstelle mit behandelten und unbehandelten Eisen

Bei mangelnder Überdeckung kann es nötig sein, die Bewehrung mit einer elektrisch isolierenden Korrosionsschutzbeschichtung zu versehen (Bild 4–1). Dazu sind die Eisen aber bis zur Reinheit SA 2½ mit Sandstrahlen zu reinigen. SA 2½ bedeutet ‚metal-

lich rein'. Danach muss das Eisen sorgfältig vom Strahlgut befreit werden und unverzüglich mit dem Korrosionsschutzanstrich behandelt werden. Nach der zweiten Beschichtung ist das behandelte Eisen mit Quarzsand abzustreuen, damit ein guter Verbund mit dem Reprofilierungsmörtel erreicht werden kann.

Reicht die Überdeckung oder wird eine Oberflächenbehandlung aufgebracht, kann auf eine Schutzbeschichtung der Bewehrung verzichtet werden. Sind aber durch das Abtragverfahren die Korrosionsherde nicht genügend gereinigt worden, sind auch solche Bereiche mit Sandstrahlen zu bearbeiten. Speziell vorsichtig muss man bei tausalzbeanspruchten Bauteilen sein, denn schon kleinste Rückstände von Chloriden auf der Bewehrung können lokal zu Korrosion führen.

Sind Fahrbahnplatten zu verstärken, so muss zusätzliche Bewehrung eingelegt werden (Bild 4–2). Der alte Beton wird via Schubdübel mit dem neuen verbunden (Bild 4–3), damit die beiden Betonschichten nicht voneinander abscheren. Die Höhe der Dübel muss von extern bestimmt werden, da die behandelte Betonoberfläche wegen ihrer Unebenheit nicht als Referenz dienen kann.



Bild 4–2: Schubdübel



Bild 4–3: Zusätzliche Bewehrung

## 4.2 Untergrundvorbehandlung zur Herstellung des Haft- und Schubverbundes

Nach dem alle schadhafte Bauwerksteile entfernt worden sind, kann mit der Vorbereitung des Untergrundes zur Herstellung eines möglichst monolithischen Verbundes zwischen restlicher Bausubstanz und Ergänzungsstruktur begonnen werden.

Bei Betonkonstruktionen ist der Kontaktuntergrund wie folgt zu behandeln:

- die Oberfläche des Betons muss von allen artfremden Stoffen wie Staub, etc. gereinigt werden
- alle losen Teile sowie gelockertes Gefüge muss entfernt werden
- die Oberfläche muss ausreichend lang vor dem Aufbringen des Ergänzungsbetons genässt werden, so dass der alte Beton dem Ergänzungsbeton nicht die notwendige Hydrationswassermenge entzieht. Zudem sollte die Oberfläche sehr stark aufgeraut sein (Freilegen des Korngerüstes), um eine möglichst starke mechanische Schubverzahnung zu erzeugen.
- der Ergänzungsbeton muss in ausreichender Stärke aufgebracht werden, um eine einwandfreie Verdichtung zu ermöglichen und ein ausreichend abgestuftes Korngerüst zu gewährleisten, so dass der Feinkorn- und somit der Zementanteil nicht  $300 - 350 \text{ kg/m}^3$  übersteigt und damit einen dichten und schwindarmen Ergänzungsbeton ermöglicht. Denn, wenn die Schindschubspannungen in der Haftpuge zu gross werden, kann ein flächiger Längsriss auftreten und die ganze Sanierung zunichte machen. Die Schichtstärke richtet sich nach folgenden Faktoren:
  - Verfahren zum Einbringen und Verdichten des Betons (konventionell in die Schalung betoniert und mittels Nadelinnenrüttler oder Trockenspritzbeton verdichtet)
  - Lage der Einbaustelle zum Einbringen und Verdichten des Betons (über Kopf, Bodenplatte, Wand- und Stützenbereich)
  - mögliche Anforderungen an die Dichtigkeit des Ergänzungsbetons in bezug auf die späteren Einwirkungen.

Das Aufbringen von Haftbrücken wird meist bei kleineren Instandsetzungsflächen angewandt. Diese Haftbrücken müssen intensiv auf den ausreichend durchfeuchteten Untergrund gebürstet werden. Der Reprofilierungsmörtel sollte dann auf die noch frische Haftbrücke aufgebracht werden. Dies ist jedoch bei grossflächigen Arbeiten nicht möglich. Wichtig ist es zu wissen, dass bei einer falschen Anwendung des Haftbrückenverfahrens eine wirkliche Trennfläche entstehen kann. Daher sollte man die Haftbrücke nur für spezielle Fälle anwenden.

Ein besonderes Problem stellen die Enden von nur partiell freigelegten Bewehrungsstäben dar. Es muss sichergestellt werden, dass der freigelegte Krater nicht flach ausläuft, da sonst der Reprofilierungsbeton oder -mörtel nicht verdichtet werden könnte und nur eine Zementhaut übrig bliebe. Dies wäre dann die neue zukünftige Schwachstelle.

### **4.3 Aufbringen der Reprofilierungsschichten**

Nachdem die Bewehrung entsprechend den Projektanforderungen behandelt worden ist, ist die Ausbruchstelle wieder zu verfüllen. Früher versuche man einen möglichst guten Reprofilierungsmörtel herzustellen, um die Schadstelle zu verstärken. Verwendet wurden Mörtel mit hoher Festigkeit und hohem E-Modul. Die Verarbeitung solcher Mörtel ist aber schwierig und oft sind Risse in der Kontaktstelle zum alten Beton aufgetreten. Mit den heute üblichen Anforderungen und Nachbehandlungsmethoden ist aber die Herstellung eines Betons möglich, der auch bei normaler Zusammensetzung den nötigen Schutz der Bewehrung garantiert. Zudem sollte bei der Reprofilierung darauf geachtet werden, dass das instand gesetzte Bauwerk möglichst einen homogenen Aufbau hat. Die Werkstoffeigenschaften des neuen Betons sind bestmög-

lichst denen des alten anzugleichen. Vor allem bei senkrechten Oberflächen aber kann man wegen den Verarbeitungsbedingungen auf chemische Zusatzmittel nicht verzichten.

Ausschlaggebend für eine erfolgreiche Reprofilierung sind erstens eine gute Untergrundvorbereitung mit ausgiebigem Vornässen und eventuell einer Haftbrücke und zweitens eine gute Nachbehandlung. Grössere Reprofilierungsstellen werden häufig mit Spritzbeton aufgefüllt und mit einer Nachbildung der Schalung versehen.

Probleme können bei instand gesetzten Flächen entstehen, die zusätzlich aufgedoppelt wurden, d.h. wenn bei ungenügender Überdeckung eine stärkere Betonschicht hergestellt wird. Da die Schalung meist nicht genau auf dem Rand der Instandsetzungsfläche gestellt werden kann, entsteht ein kleiner Absatz in der Reprofilierung. An diesen Kanten entstehen nun durch Beanspruchungen aus Schwinden und Lasten Spannungsspitzen, die schon nach kurzer Zeit zu einer Ermüdung des neuen Betons an dieser Stelle führen.

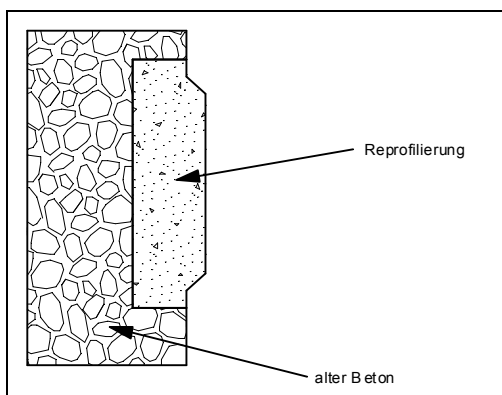


Bild 4-4: Korrekte Aufdoppelung

Betons an dieser Stelle führen. Folgen sind Risse zwischen neuem und altem Beton und Abplatzungen der Reprofilierung (Abb. 5-5).

Ist die Aufdoppelung aber die einzige Möglichkeit, um die Schadstelle instand zu setzen, so kann dies gemäss Abb. 5-4 geschehen. Auf folgende Punkte ist speziell zu achten:

- Die Reprofilierungsstelle muss grösser ausgebrochen werden, damit auch überall die gewünschte Überdeckung erreicht werden kann.
- Oberkante des alten Betons muss gleich Oberkante der Reprofilierung sein.
- Die Aufdoppelung muss wie jede reprofilierte Stelle nachbehandelt werden: Ausschalen nach 2 Tagen und Abdecken mit Folie.

Für diese Ausführung ist wegen der Schalung und der Grösse der Stelle mit einem höheren Aufwand zu rechnen.

Zum Aufbringen von Reprofilierungsschichten und zum Schliessen von Rissen eignen sich u.a. folgende Verfahren:

- Normalbeton in Schalung
- Spritzbeton
- Auftragen von Reprofilierungsmörtel



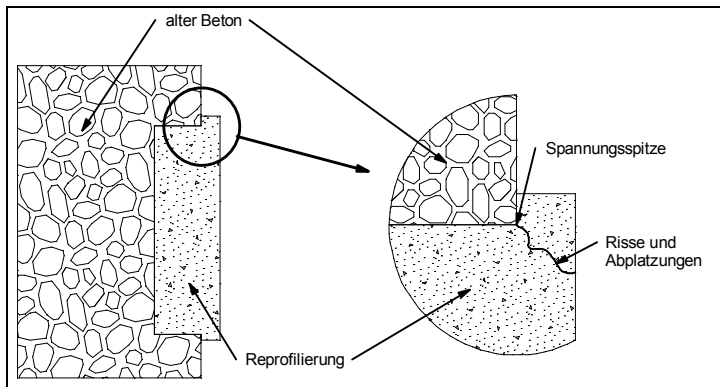


Bild 4–5: Ungünstige Aufdoppelung

- Auftragen von Beschichtungen
- Füllen von Rissen mittels Injektionstechnik.

Der **Normalbeton** wird eingesetzt wenn eine gute Zugänglichkeit und ausreichende Schichtstärke zur guten Abstufung der Sieblinie und zum Verdichten der Reprofilierungsschicht gewährleistet sind. Als Beispiele können angeführt werden:

- Deckenüberzugsbeton
- allgemein hochbelastete Druck-Tragglieder (Stützen, etc mit stark abgetragenen Teilen).

Der **Spritzbeton** ist das verfahrenstechnisch geeignetste Bauverfahren zum Auftragen grossflächiger Reprofilierungsflächen und ist ideal für einen langfristigen Schutz der Bewehrung geeignet. Die Funktion des Betons über der Bewehrung wird unterteilt in tragende Schicht und Schutzschicht. Die tragende Schicht hat die klassische Aufgabe des Betons, Druckkräfte aufzunehmen. Sie muss eine bestimmte Steifigkeit und Festigkeit aufweisen. Die Schutzschicht aus Spritzbeton aber ist eine Opferschicht. Hauptaufgabe ist der langfristige Schutz des Stahlbetonbauteils. Sie besteht aus einem Beton mit einer sehr geringen Wasseraufnahmefähigkeit, z.B. erreicht durch einen geringen W/Z-Wert oder durch eine Massenhydrophobierung. Oft ist sie nicht in der Lage eine statische Funktion zu übernehmen. Diese 20 mm dicke Schicht muss mit einer regelmässigen Überwachung auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft werden. Sobald die Karbonatisierungsfront oder das eindringende Chlorid die statisch tragende Schicht zu erreichen droht, muss die Schutzschicht ersetzt werden. So kann garantiert werden, dass der Untergrundbeton über seine gesamte Lebensdauer unkontaminiert und rissfrei bleibt. Bezüglich Rissbildung in der Schutzschicht und die Ablösung vom Untergrundbeton sind noch Untersuchungen im Gange.

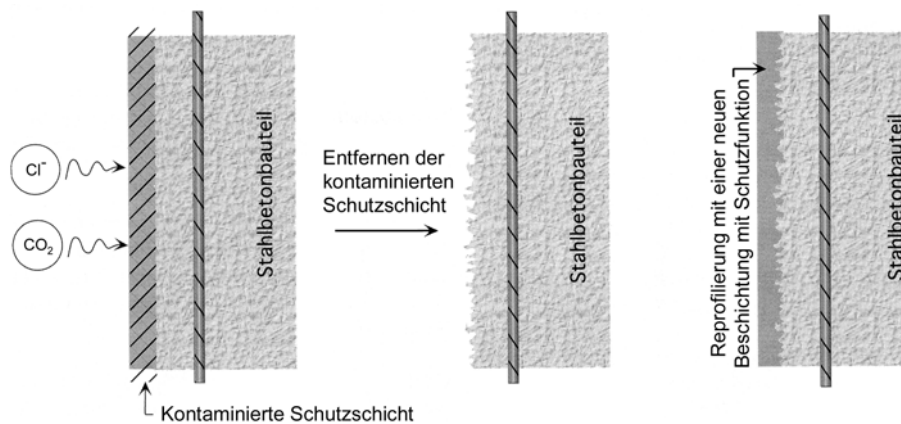


Bild 4–6: Konzept der Trennung der Aufgaben [1]

Der Spritzbeton wird ohne Schalung auf alle möglichen Lagen des Bauteils, wie z.B.:

- vertikale Bauteile (Wände, Stützen, etc.)
- über Kopf auf Deckenunterseiten
- etc.

aufgespritzt. Dabei können auch geringe Schichtstärken von 2 - 5 cm mit ausreichender Verdichtung aufgebracht werden. Es eignet sich meist das Trockenspritzverfahren, da die Spritzbetonmengen oft relativ klein sind und der Spritzvorgang öfters unterbrochen werden kann. (siehe hierzu Vorlesung Baubetrieb II - Tunnelbau).

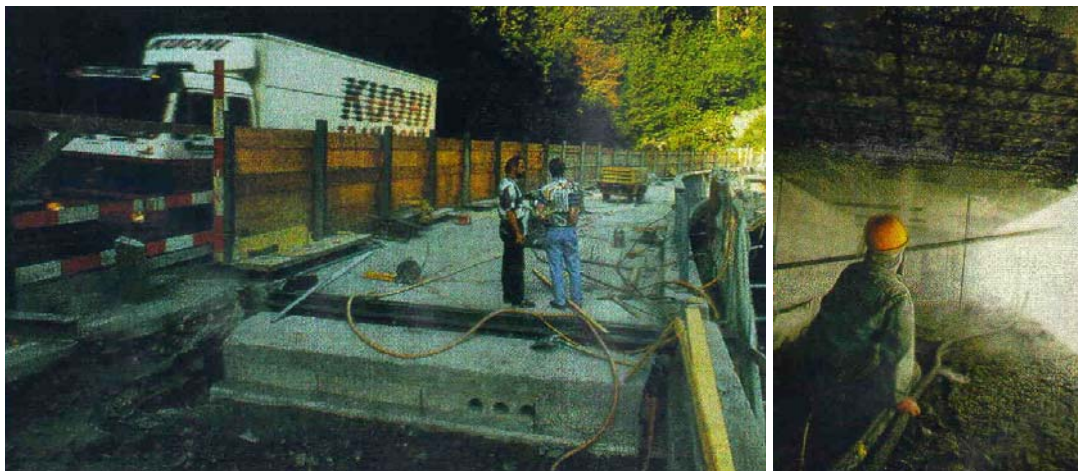


Bild 4–7: Instandsetzung unter dynamischer Belastung

Das Auftragen von **Reprofilierungsmörtel, -spachtelung und Beschichtungen** erfolgt meist in relativ dünnen Schichten für Flächenbeschichtungen sowie zum punktförmigen Auftragen bei Einzelschäden. Man verwendet diese Auftragstechnik für:

- Reprofilierung von Ausbruchstellen
- dünne flächenhafte Überzüge
- etc..

Meist verwendet man zementgebundene, kunststoffvergütete Produkte. Diese Stoffe können überall dort eingesetzt werden, wo die Oberfläche versiegelt werden soll und von dieser Schicht keine statische Tragwirkung erwartet wird. Die Instandsetzungs-

mörtel werden mit Hand oder mittels Putzmaschine aufgetragen. Auf die verschiedenen Materialien (1) wird hier nicht weiter eingegangen.

## Arbeitsfolge „Spachtelmethode“

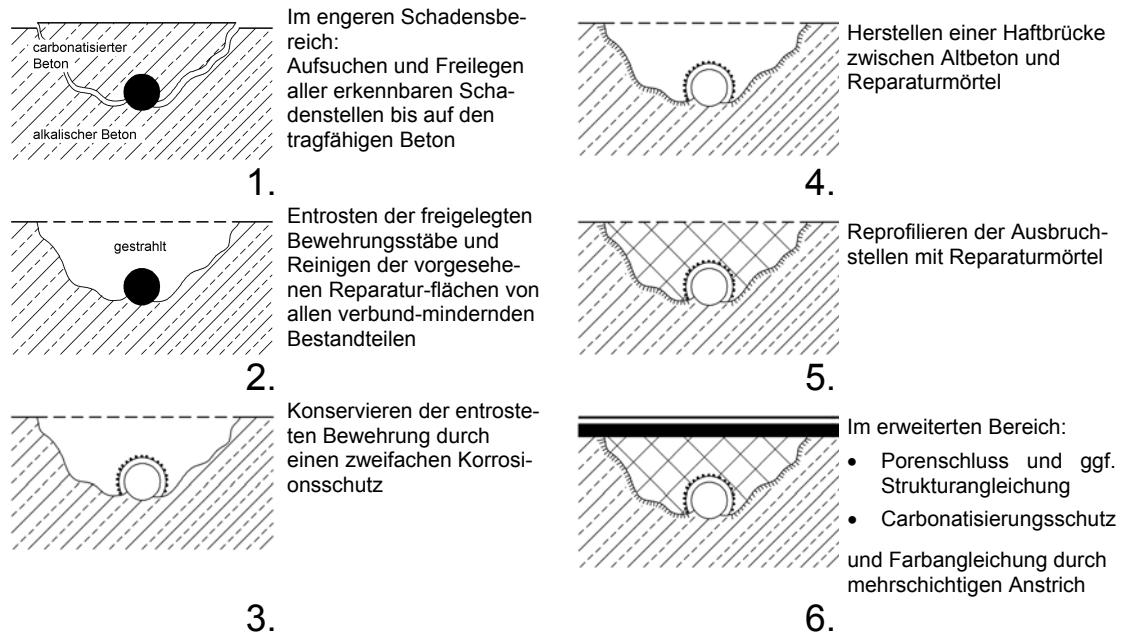


Tabelle 4-1: Spachtelmethode

Zur Verpressung von tieferen Einzelrissen verwendet man die **Injektionstechnik** mittels Packern. Die Injektionsgeräte bestehen aus:

- Druckerzeuger (Pumpe)
- Materialbehälter
- Transport- oder Förderschlauch
- Misch- und Dosiereinrichtung
- Aufgabereinrichtung.

Man verwendet meist folgende Rissfüllstoffe:

- Epoxidharz - Für kraftschlüssige Verbindungen werden lösungsmittelfreie, kalthärtende, niedrigviskose Zweikomponenten-Epoxidharze angewandt. Diese werden zum Schliessen und Abdichten von Rissen verwendet.
- Polyurethanharz - Für begrenzt dehnfähige Verbindungen werden lösungsmittelfreie kalthärtende, niedrigviskose Zweikomponenten-Polyurethane verwendet. Diese Harze haben eine grosse Dehnfähigkeit bei gleichzeitig ausreichender Haftfestigkeit. Zudem ermöglicht der Schaum die schnelle Abdichtung bei starkem Wasserantrag (Sekundenschäume). Die Verbindungen sind jedoch nicht kraftschlüssig.
- Zementleim - Für das Schliessen und Abdichten von Rissen  $> 3$  mm. Man muss beachten, dass die Rissbereiche vorgenässt werden sollten.

Das Einbringen von Injektionsharzen in Risse erfolgt unter Druck mit Hilfe von Packern. Folgende Injektionsverfahren werden angewandt:

- Klebpacker - Diese werden bis zu einem Verpressdruck von 60 bar eingesetzt. Sie bestehen aus einer kleinen Platte mit Verpressnippel, die auf den Riss aufgeklebt wird. Der Riss muss vorher vollständig verdämmt werden. Vorzugsweise verwendet man Polyurethanklebstoff für die Verklebung und Verdämmung, die dem Verpressdruck standhalten müssen. Nach Beendigung der Verfüllarbeiten werden Verdämmung und Klebpacker entfernt. Bei Verwendung von PU-Schaum kann meist auf eine Verdämmung verzichtet werden.
- Bohrpacker - Der Bohrpacker besteht aus einem zylindrischen Rohr, das am oberen Ende mit einem Verpressnippel versehen und am unteren Ende seitlich mit Schlitzen ausgerüstet ist. Die Schlitze sind mit einer Verpressmanschette, die gleichzeitig als Rückschlagventil wirkt, überzogen. Die Bohrpacker werden in Bohrlöcher gesetzt, die unter 45° den Rissbereich kreuzen, damit sich das Harz im Rissbereich verteilen kann. Die Anordnung der Bohrpacker erfolgt abwechselnd von beiden Rissufern aus. Der Abstand zwischen den Packern richtet sich u.a. nach der Bauteildicke. Diese Packer können mit sehr hohem Druck beaufschlagt werden.

Die Injektionen erfolgen stets von unten nach oben. Sobald das Harz am nächsthöheren Einfüllstutzen austritt, wird der Verpressvorgang vom nächsten Packer aus fortgesetzt. Am oberen Ende sollte eine Entlüftungsöffnung vorhanden sein.

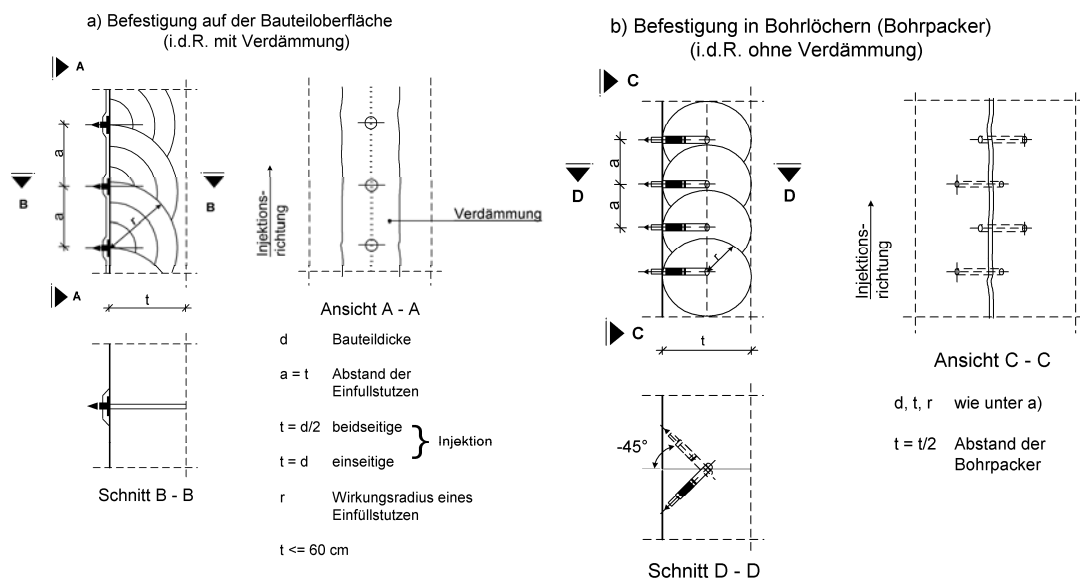


Bild 4–8: Anordnung von Einfüllstutzen

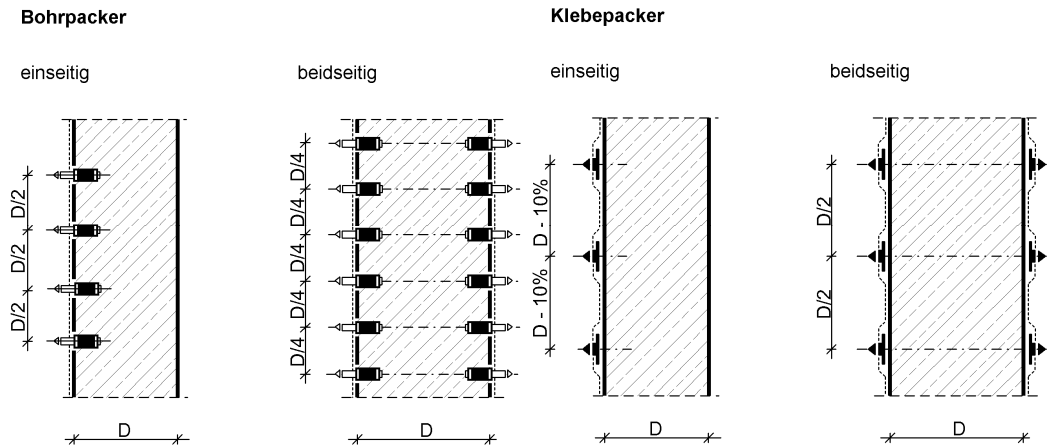


Bild 4-9: Einbauabstände von Klebe und Bohrpackern

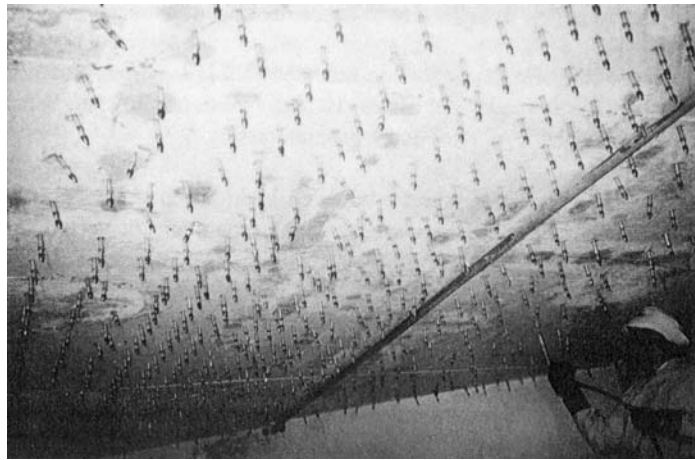
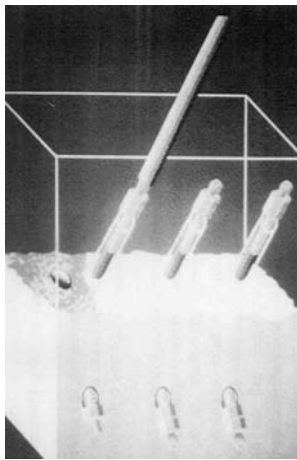


Bild 4-10: Injektionstechniken

## 4.4 Patchwork

Jedes Abtragen von Beton ist ein Eingriff in die Homogenität eines Bauwerkes. Es ist deshalb sinnvoll das Bauwerk lokal instand zu setzen und vollflächig zu schützen. Dennoch sollte das Bauwerk nicht wie auf Bild 4-11 und Bild 4-12 instand gesetzt werden. Folgende Gründe sprechen gegen eine solche Vorgehensweise:

- Durch eine ausführliche Zustandsanalyse wird festgestellt, welche Stellen an einem Bauwerk instand zu setzen sind. Das Konzept für die Instandsetzung des Brückenpfeilers in Bild 4–11 wurde wegen der Zugänglichkeit der Pfeiler vor dem Abschluss der genauen Untersuchungen festgelegt. Daher konnte im Voraus kaum eine zuverlässige Aussage über das Ausmass der Instandsetzung gemacht werden. Das Konzept sah vor, nur jene Stellen zu behandeln, die auch wirklich geschädigt sind. So ergibt sich ein Bild wie im Bereich B. Ein solches Vorgehen ist sicher nicht die wirtschaftlichste Arbeitsweise.
- Bei patchworkartiger Instandsetzung ist darauf zu achten, dass die ausgebrochenen Flächen keine vorspringenden Ecken aufweisen. Im Bereich A ist eine solche Stelle zu erkennen. Durch das Schwinden entstehen dort Spannungsspitzen, die sehr schnell zu Rissen führen. Eine solche Stelle ist ein idealer Ort für einen neuen Korrosionsherd.

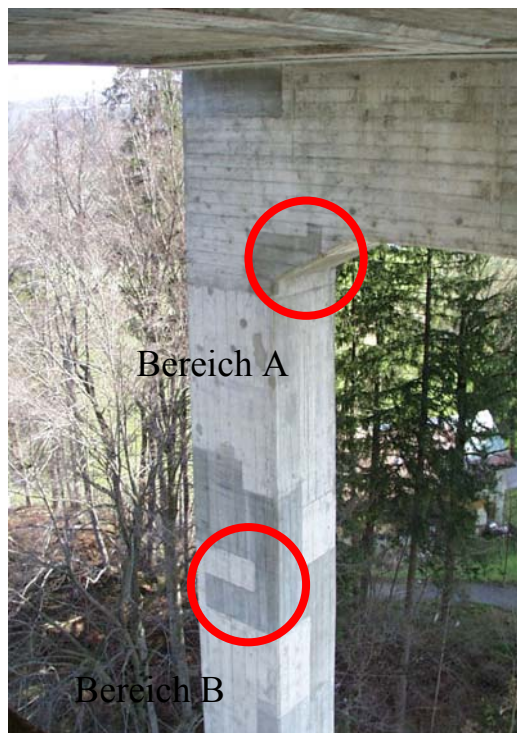


Bild 4–11: Instandsetzung eines Brückenpfeilers

- Auch Bild 4–12 zeigt eine falsch konzipierte Instandsetzung. Aus vorwiegend ästhetischen Gründen und mit dem Vorwand der perfekten Instandsetzung wurde an diesem Rahmenelement jeder Korrosionsherd von Hand ausgespitzt und reprofiliert. Ein solches Vorgehen schadet aber dem Bauwerk mehr als es nützt. Korrodierende Bindedrähte sind zwar unästhetisch, doch stellen sie keinerlei Gefahr für die Konstruktion dar. Mit dem Spitzens aber wird die Struktur des schützenden Betons gestört, und bei Reprofilierungen in dieser Grösse besteht die Gefahr, dass sie sich schon bald wieder vom alten Beton ablösen, weil durch das schnelle Austrocknen Schwindrisse nicht zu vermeiden sind.



Bild 4–12: kleine Flickstellen an Brückenrahmen

## 5 Verfahren zur Oberflächenbehandlung

### 5.1 Übersicht

Ist die Überdeckung ungenügend oder muss der Beton vor einer Tausalzbeanspruchung geschützt werden, so wird eine Oberflächenbehandlung eingesetzt. Diese Massnahme soll den Konstruktionsbeton über seine gesamte Lebensdauer schützen und aufwändige Instandsetzungsmassnahmen mit Untergrundbehandlungen verhindern. Die Oberflächenbehandlung muss periodisch kontrolliert und gegebenenfalls erneuert werden. In der Schweiz sind Verfahren gemäss Bild 5–1 üblich.

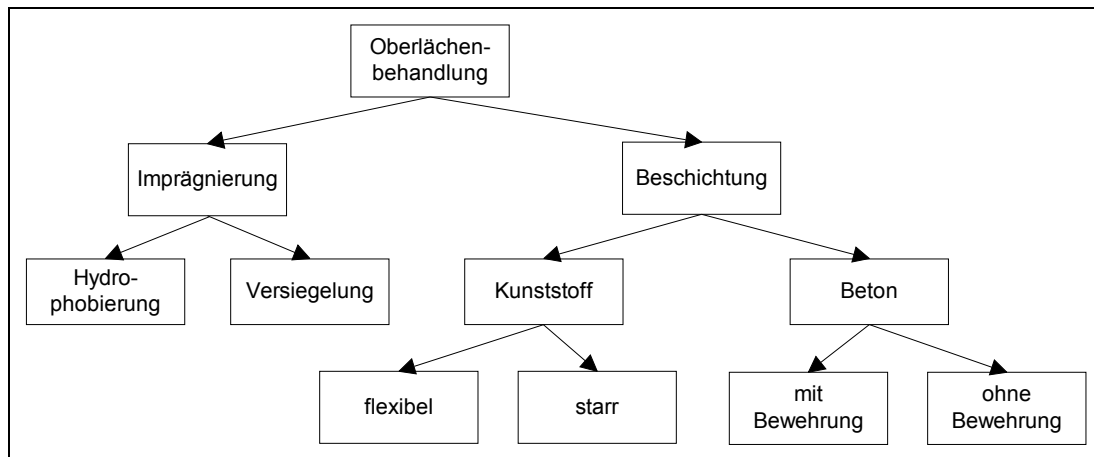


Bild 5–1: Verfahren zur Oberflächenbehandlung

### 5.2 Imprägnierung

Bei den Imprägnierungen unterscheidet man Hydrophobierung und Versiegelung. Beide beeinflussen die Oberflächenstruktur und das Aussehen nur insofern, dass dunkle Flächen wegen Feuchtigkeit nicht mehr zu sehen sind.

Durch eine Hydrophobierung wird der Beton wasserabstossend (Bild 5–2). Die Poren des oberflächennahen Betons werden bei der Applikation eines hydrophobierenden Mittels mit einem feinen Film überzogen. Die Poren werden nicht geschlossen, d.h. die Wasserdampfdiffusion und der Gasaustausch werden nicht beeinträchtigt. Dadurch wird der Beton ausgetrocknet und durch den vereinfachten CO<sub>2</sub>-Eintritt wird der Karbonatisierungsfortschritt erhöht. Da jedoch keine Feuchtigkeit ins Bauteil eindringen kann, sind die Voraussetzungen für Korrosion nicht erfüllt. Falls jedoch Wasser längere Zeit oder mit grösserem Druck einwirkt, versagt die Hydrophobierung.

Die Auswirkungen der Hydrophobierung auf die Schutzwirkung des Betons sind noch nicht vollständig geklärt. Bei der Verwendung ist aber auf Folgendes zu achten:





Bild 5–2: unbehandelter Beton (oben) und hydrophobierter Beton (unten)

- Es gibt zwei Arten, das Hydrophobierungsmittel aufzutragen: Als Paste oder in einer wässrigen Lösung. Es ist darauf zu achten, dass die Hydrophobierung nicht abtrocknen kann. Sobald sie in den Beton eingedrungen ist, und die Mittelzufuhr unterbrochen ist, wird der wasserabstossende Schutz aktiv und es kann kein zusätzliches Mittel mehr aufgetragen werden. Das Hydrophobierungsmittel dringt ähnlich wie Wasser in den Beton ein.
- Es ist nicht sinnvoll, jungen Beton zu hydrophobieren. Zum einen liegt die Wasseraufnahmefähigkeit  $A$  bei  $0.1 \text{ kg/m}^2 \sqrt{h}$  und damit ist die gross, dass die Hydrophobierung abtrocknet, bevor sie in den Beton eingedrungen ist. Zum anderen wird die Wirkung der Hydrophobierung durch die hohe Alkalinität eines jungen Betons schnell abgebaut. Neuste Untersuchungen zeigen, dass die Hydrophobierung mit Kalziumhydroxid reagiert so eine Karbonatisierung verhindert. Das  $\text{CO}_2$  dringt tiefer in den Beton ein und beginnt erst hinter der Hydrophobierung mit dem Karbonatisieren.
- Um dennoch eine wasserabstossende Wirkung zu erzielen, kann der neu aufgebrachte Beton massenhydrophobiert werden. Bei der Herstellung wird Metallseife zugegeben. Diese Kohlenstoff-Metall-Verbindung ist auch in stark alkalischem Milieu stabil.
- Die Eindringtiefen der Hydrophobierung sind noch gering (bis 12 mm) und damit besteht die Gefahr des Auswaschens. Eine heutige Hydrophobierung muss alle 10 – 15 Jahre erneuert werden.
- Falls lokal die hydrophobierende Wirkung verloren geht, saugt der ausgetrocknete Beton das Wasser an dieser Stelle sehr stark auf. Wegen der weiter fortgeschrittenen Karbonatisierung und der Feuchtigkeit sind die Voraussetzungen für die Korrosion erfüllt. Da dies ein lokales Problem ist, bildet sich ein Makroelement und damit tritt die Lochfrasskorrosion auf, die die Bewehrung sehr schnell zerstört.

Die porenverschliessenden Imprägnierungen, die sogenannten Versiegelungen, behindern auch die Wasserdampfdiffusion.

### 5.3 Beschichtung

Mit einer Beschichtung kann die Oberfläche des Betons neu gestaltet werden. Kunststoffbeschichtungen bewirken eine Reduktion der Wasseraufnahme und einen erhöhten Widerstand gegen Karbonatisierung. Unterschieden wird zwischen starren und flexiblen Kunststoffbeschichtungen. Starre Beschichtungen werden mit Schichtstärken ab 0,12 mm, flexible mit solchen ab 0,3 mm [5]. Da beim Stahlbetonbau immer Risse auftreten können, sind starre Beschichtungen eher selten. Denn bei Rissen wird das Wasser durch den ausgetrockneten Beton lokal stark aufgesogen. Die Beschichtung kann von Feuchtigkeit unterwandert werden und verliert so ihre Haftzugfestigkeit. Mit flexiblen Beschichtungen können Risse bis zu einer gewissen Öffnung überbrückt werden. Dazu sind aber höhere Schichtstärken nötig.

Weil die Beschichtungen vollflächig und haftend aufgebracht werden müssen, ist der Betonuntergrund so vorzubereiten, dass alle Unebenheiten eliminiert sind und die Oberfläche ausreichend tragfähig ist. Bei der Applikation von Kunststoffbeschichtungen ist zudem darauf zu achten, dass keine Lunkern (Hohlstellen) überstrichen werden. Die so eingeschlossene Luft würde sich bei Sonneneinstrahlung erwärmen: Es käme zur Blasenbildung der Beschichtung. Eine solch geschwächte Zone ist wiederum anfällig auf Risse. Ähnlich den Imprägnierungen haben die Kunststoffbeschichtungen ein kleines Erneuerungsintervall. Nach etwa 15 Jahren ist sie durch Temperatur, Feuchtigkeit, UV-Strahlen, usw. soweit versprödet, dass sie ihre Funktion nicht mehr erfüllen kann und entfernt und erneuert werden muss.



Bild 5–3: Spritzbetoneintrag Überkopf

Ein weiterer und häufig angewendeter Oberflächenschutz ist das Aufbringen einer zusätzlichen Spritzbetonschicht. Bei Überdeckungen von mehr als 5 cm muss die Schicht bewehrt werden. Häufig werden dazu Kunststofffasern dem Spritzgut beigegeben.

Wichtig ist aber, dass der Verbund zwischen altem und neuem Beton dauerhaft hergestellt wird. Betonvorbereitung mit Höchstdruckwasserstrahlen und 24stündiges Vornässen sind unumgänglich. Gegenüber allen anderen Oberflächenbehandlungen hat die Spritzbetonschicht die längste Lebensdauer (ca. 50 Jahre) und den kleinsten Unterhalt.

Die effizienteste Art der Nachbehandlung einer Spritzbetonschicht ist folgende: direkt nach dem Auftragen wird die Stelle mit einer Folie bedeckt, damit der Beton antrocknen kann. Nach einem halben Tag wird eine Sprinkleranlage installiert, welche die Oberfläche mit der nötigen Feuchtigkeit beliefert. Damit die Sprühfahne nicht verweht wird, ist die gesamte Stelle wieder mit einer Folie abzudecken.

Mit dem Aufbringen einer Spritzbetonschicht wird das Aussehen des Bauteils verändert. Daher wird meist die Schalungsstruktur nachgebildet. Dies geschieht entweder mit dem Anpressen von Schalungsbrettern oder durch Ritzen von Scheinfugen (Bild 5-4).



Bild 5-4: Strukturbildung

## 6 Verfahren zur nachträglichen Bauwerksverstärkung

### 6.1 Gradiert gespannte CFK-Bänder [6]

Der Hochleistungs-Faserverbundstoff CFK gewinnt im Bauwesen zunehmend an Bedeutung. Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) werden für hochbeanspruchte Komponenten seit den siebziger Jahren erfolgreich in der militärischen Luft- und Raumfahrt eingesetzt. Weil die Komponenten sehr leicht sind, spielt der Preis für Anwendungen dieser Art fast keine Rolle.

Die Verstärkung von Bauwerken mit CFK-Bändern ist heute in Europa und weiten Teilen der Welt Stand der Technik.

So wie ein gespanntes Heftpflaster eine Schnittwunde wirkungsvoller heilt als ein schlaff aufgeklebtes, verhält es sich mit Bändern aus CFK im Bauwesen. Man hat deshalb in den letzten Jahren das „System der gespannten CFK-Bänder“ zur Verstärkung von Bauwerken entwickelt. Diese Entwicklung dient dazu, das vorhandene Potential der CFK-Verbundwerkstoffe noch wesentlich besser zu nutzen.

Frühere Entwicklungsarbeiten zeigten, dass gespannte CFK-Bänder mit speziellen Endverankerungen gehalten werden müssen, da der Beton nicht in der Lage ist, die hohen Schubkräfte infolge der Vorspannung zu tragen. Das Konzept hat sich jedoch auf dem Markt in den vergangenen Jahren nicht durchgesetzt, da diese Endverankerungen zu aufwendig sind.

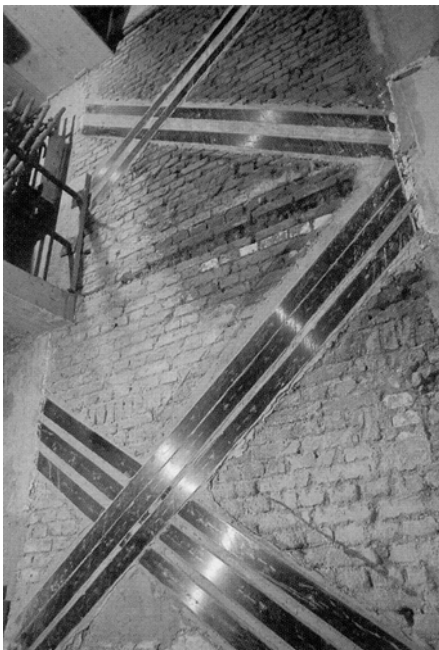


Bild 6–1: CFK-Bänder bei Mauerwerk

So wurde ein Verfahren konzipiert, bei dem die Vorspannung im Band variiert wird. Dadurch lassen sich die Bänder derart applizieren, dass die Vorspannung gegen die

Enden hin auf null abnimmt und somit keine Gefahr des Abscherens im Beton besteht. Es kann auf aufwendige Endverankerungen verzichtet werden. Durch den hohen Automatisierungsgrad (Computersteuerung) können die Lohnkosten tief und die Dauer der Sanierung kurz gehalten werden.

Die dazu benötigte Spannvorrichtung besteht aus zwei Spannelementen, die über einem Balken in der gewünschten Länge zu einem Spannbalken miteinander verbunden sind. Das Band wird etwa zu drei Viertel um die Spannwalzen geführt und eingespannt. Durch Verdrehen einer dieser Walzen kann das Band auf die gewünschte Vorspannung eingestellt werden.

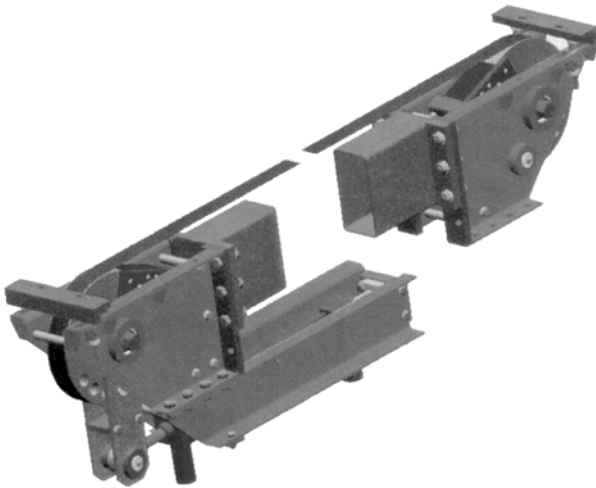


Bild 6–2: 3D-Ansicht des Spannbalkens

Das Band liegt zuoberst auf der Spannvorrichtung und wird direkt an die zu verstärkende Tragstruktur herangeführt. Durch die Umschlingungsreibung des Bandes auf der Walze wird die verbleibende Spannkraft in der Einspannung am Bandende stark reduziert. Die Krafteinleitung in das Band ist nicht mehr kritisch, und somit sind am Band keine Vorarbeiten wie Verkleben mit Spannköpfen erforderlich.

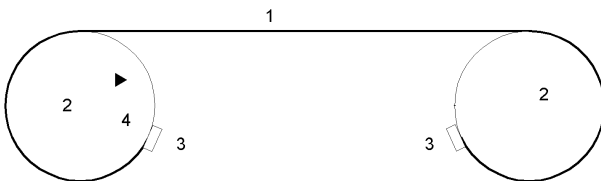


Bild 6–3: Spannen des Balkens

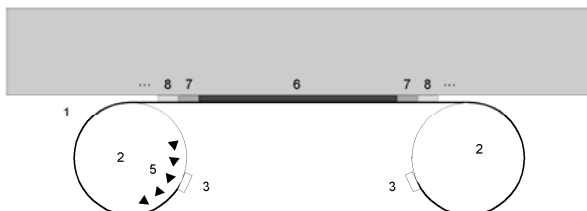


Bild 6–4: Erzeugen des Vorspanngradienten im Band

Das gespannte Band wird mit Klebstoff versehen und an die vorbereitete Struktur herangeführt. Das Ankleben erfolgt mit einem Vorspanngradienten, d.h. die Vorspannung in der Lamelle nimmt gegen ihre Enden hin ab. Dies kann erreicht werden, indem zu-

erst ein Bereich in der Mitte des Bandes voll vorgespannt verklebt wird. Danach wird die Spannkraft im System leicht reduziert und der Verbund in den daneben liegenden Bereichen hergestellt.

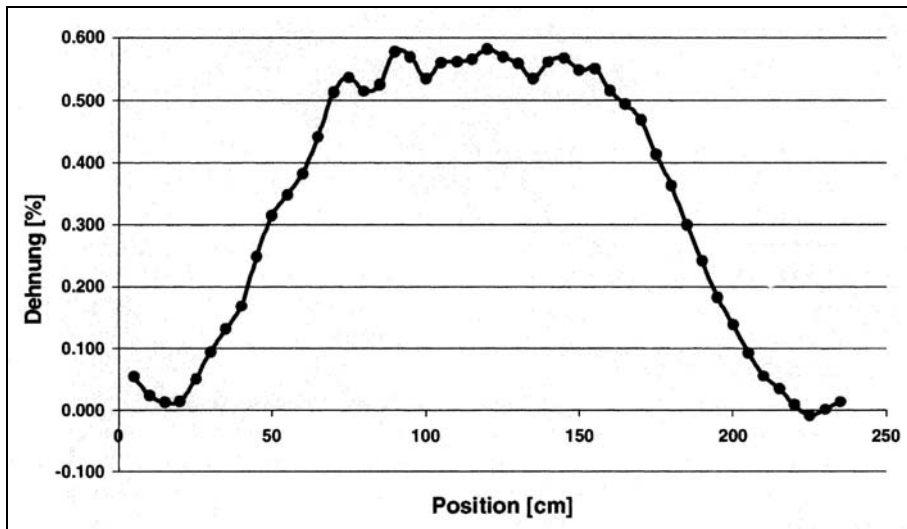


Bild 6–5: Dehnungsverteilung eines mit gradierter Vorspannung auf Beton geklebten kohlenstofffaser-verstärkten Epoxidharzbandes von 1 mm Stärke und 50 mm Breite.

Nun wird die Spannkraft wieder etwas reduziert und auf beiden Seiten ein weiteres Stück geklebt. Dieses Vorgehen wird solange wiederholt, bis man den gewünschten gradierten Vorspannungsverlauf im Band erreicht hat. Die zu verklebenden Sektoren werden mit dem CFK-Band als Heizelement elektrisch beheizt. Dies gewährleistet eine schnelle Härtung in den gewünschten Sektoren. Damit wird auch sichergestellt, dass in den noch nicht zu verbindenden Sektoren die Topfzeit des Klebstoffes nicht überschritten wird. Das Verfahren der elektrischen Widerstandsheizung hat sich in den letzten zwei Jahren erfolgreich durchgesetzt. Die Methode erlaubt es dank der relativ geringen Wärmeleitfähigkeit im Band, den Klebstoff über die Verbundlänge sehr selektiv auszuhärten.

Das Verfahren würde es auf jeden Fall erlauben, die hohe Werkstofffestigkeit bedeutend besser zu nutzen, als dies bei den bisher in der Praxis sehr erfolgreich eingesetzten schlaff aufgeklebten CFK-Bändern möglich war.

## 7 Abbruchverfahren

Vor Beginn von Abbrucharbeiten ist entsprechend der Örtlichkeiten, der Bauart, dem Bauzustand und den Baustoffen die Abbruchmethode zu prüfen und festzulegen ist. Dabei sind die möglichen Einwirkungen auf Nachbargebäude, Freileitungen, unterirdisch verlegte Leitungen etc. zu beachten. Die Termine sollen ausreichend bemessen werden und die Ausführung hat entspr. den gültigen Vorschriften zu erfolgen.

Gebäudeart	Konstruktionsart	Abbruchmethode			
		Freistehendes Gebäude		An mindestens einer Seite anschliessendes Gebäude	
		Frei an allen Seiten mindestens 2 x Höhe	Frei an allen Seiten ohne Begrenzung	Andere Seiten frei mindestens 2 x Höhe	Andere Seiten frei ohne Begrenzung
Kleinere und mittel-grosse zwei-geschossige Gebäude unter 10 m Höhe	Lasttragende Wände	A B C D	A B C D	A B C	A B C
Grosse Gebäude dreigeschossig und mehr	Lasttragende Wände	A B C D	A B C D	A B C	A B C
	Lasttragende Wände mit Schmiedeteilen	A B C D	A B	A B	A B
Skelett-Konstruktionen	Konstruktionsstahl	A B	A B	A B	A B
	Ortbeton bewehrt	A B C	A B C	A B C	A B C
	Fertigteile bew.	A B C	A B C	A B C	A B C
	Spannbeton	Siehe Abschnitt Spannbeton		Siehe Abschnitt Spannbeton	
	Composite (Stahlbeton)	A B C	A B C	A B C	A B C
	Holz	A B C D	A B C D	A B C D	A B C D
Balkone u.dgl.		A B C	A B C	A B C	A B C
Brücken		A B C D	A B C D	A B C D	A B C D
Gemauerte Gewölbe		A B C	A B C	A B C	A B C

- A = Mit handgeführtem Werkzeug abreißen  
 B = Mit Anbauhammer abreißen (auch auf Minibagger)  
 C = mit Schlagkugel (Fallkugel) abreißen  
 D = Abbruch durch Drücken oder Ziehen, Sprengen

Tabelle 7-1: Typische Abbruchmethoden für verschiedene Gebäudetypen [7]

### 7.1 Grundverfahren

- **Abtragen (von Hand).**  
 Abtragen ist das Abbrechen von Mauerwerk, Beton, Stahl etc. mit Handwerkzeug, durch Stemmen mit Druckluftgeräten und Autogenschweissen von einem sicheren Standort aus.



Bild 7-1: Abbauhammer händisch [7]



Bild 7-2: Abbauhammer auf Bagger [8]

- **Abgreifen.**  
Beim Abgreifen werden Bauwerkteile mittels Greifer oder Zange mechanisch von oben her abgetragen.



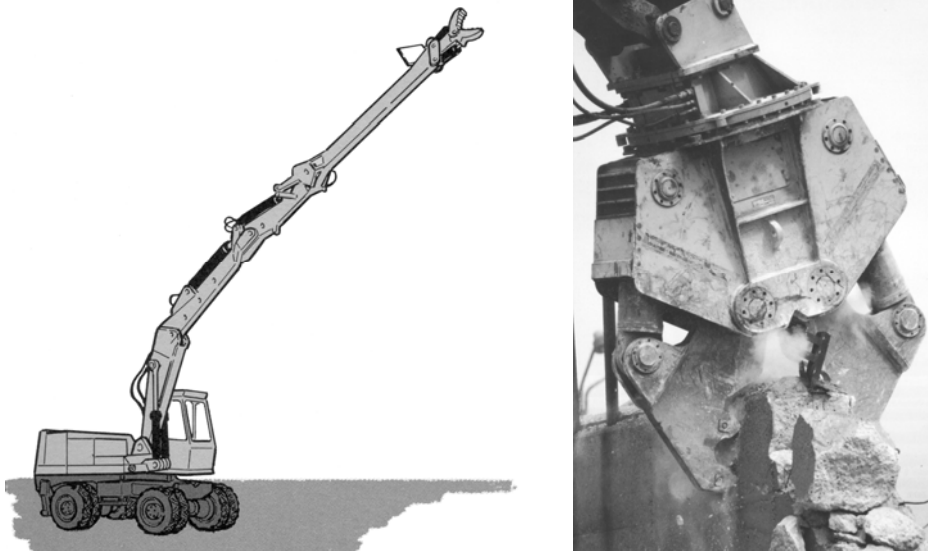


Bild 7-3: Hydraulikscheren [7,9]

- **Einschlagen.**

Einschlagen ist das Zerstören von Bauwerksteilen unter Zuhilfenahme von stähler-  
nen Fallbirnen, die am Ausleger hängen: Dabei lassen sich folgende Techniken  
anwenden:

- Fall der Birne aus der Senkrechten,
- Schlag in Richtung Ausleger,
- Schlag durch Schwenken des Auslegers.

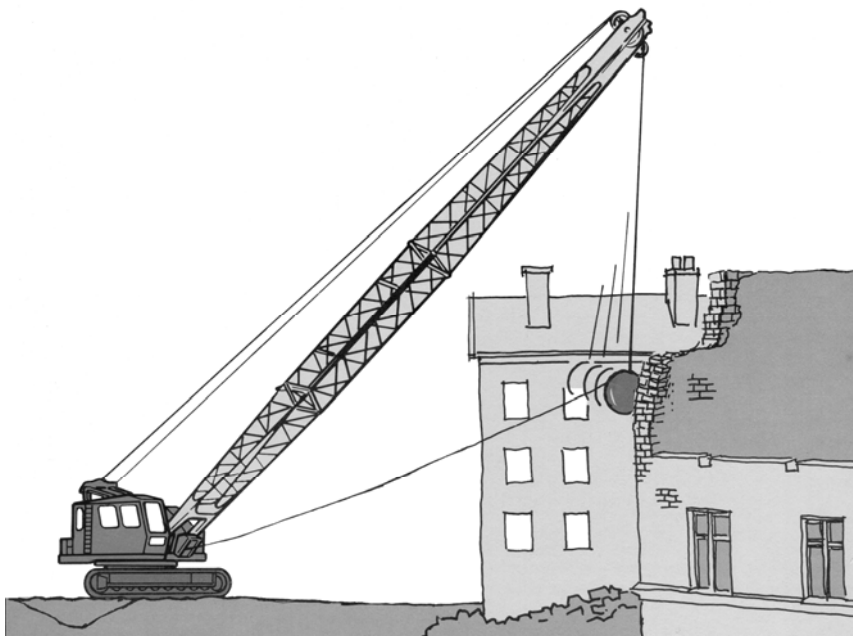


Bild 7-4: Fall- oder Schlagkugel [7]

- **Eindrücken.**

Beim Eindrücken werden Bauwerksteile mit Hilfe von hydraulischen Geräten zum  
Einsturz gebracht. (kontrolliertes Eindrücken)



Bild 7-5: Drücken und Ziehen [7]

- **Einreissen.**  
Es werden durch Seilzug zusammenhängende mehr oder weniger grosse Bauwerksteile umgezogen. Voraussetzung: genügend Raum und mögliche Verankerung des Einreisseiles.
- **Demontieren.**  
Auseinandernehmen (durch Lösen oder Abtrennen) von Konstruktionsteilen einer baulichen Anlage
- **Sprengen.**  
Bei der Abbruchmethode "Sprengen" werden bauliche Anlagen mit Hilfe von Sprengladungen in Teile zerlegt und zum Einsturz gebracht. Dabei können verschiedene Demontagestufen vorausgehen, bis nur noch die Tragkonstruktion übrig bleibt.

## 7.2 Totalabbrüche von Bauwerken

Es ergeben sich bei **Totalabbrüchen** grundsätzlich zwei alternative Vorgehensweise:

- Abbrechen in mehr oder weniger differenzierten Demontagestufen bei **gleichzeitiger Sortierung** in verschiedene Container (MMK des SBV).
- Abbrechen des gesamten Bauwerkes in einem durchgängigen Arbeitsvorgang (Zentralbibliothek) mit **anschliessender Sortierung** verschiedener Stoffe.

Beide Vorgehensweise beschreiben nur ein Grundprinzip, und sind im praktischen Einsatz oft miteinander kombiniert. Als wesentliche Kriterien für die Wahl der Abbruchmethoden werden die Platzverhältnisse am Abbruchort und die zeitliche Vorgabe, sowie die Annahmgebühren in Deponien und bei Abnehmern massgebend sein.

Der erhöhte Zeitaufwand beim geordneten Rückbau ist von vier Bedingungen abhängig:

- Die Bauart des abzubrechenden Bauwerkes, seine Zerlegbarkeit in Bauteile und Baustoffe, sowie die Verschiedenartigkeit der Baustoffe
- Die Geräte- und Maschinenausstattung des Abbruchunternehmers, ihre Eignung für kleinteiligeres Zerlegen.
- Das Personal des Abbruchunternehmers inbezug auf Bestand, Erfahrung und Kontrolle.
- Der Grad der Sortierung, der angestrebt wird und direkt von möglichen Materialabnehmern vor Ort und den vorhandenen Recycling-Anlagen abhängt.

Mit der Zielsetzung einer Wiederverwendung des Materials wurden auch die Methoden des Abbruchs geändert:

Einschlagen, Eindrücken, Einreißen und Sprengen wird durch Demontieren, Abgreifen und Trennen ersetzt. (Siehe auch Vorlesung "Trennen von Beton")

### 7.3 Teilabbrüche von Bauwerken

Mit Teilabbrüchen von Bauwerken werden - im Gegensatz zu Totalabbrüchen - Vorhaben bezeichnet, bei denen ein nicht abzubrechender Teil des Bauwerks funktionsfähig erhalten bleiben muss. z.B. Auskernen, Entfernen von Zwischenwänden, Geschosse etc.

Gemeinsam ist allen Teilabbrüchen eine starke Einschränkung in der Anwendung von Geräten und Maschinen wegen des Schutzes der zu erhaltenden Bauteile vor Beschädigungen durch Trümmer, Vibration, Sprengung, Wasser und Staub. Es ergibt sich ein wesentlich **höherer Arbeitsaufwand**. Ausserdem können meistens **nur kleinere Geräte** eingesetzt werden.

Solche Verfahren können nur auf der Basis sorgfältiger Ingenieurleistungen durchgeführt werden: Abstimmung und Auswahl der einzelnen Geräte, eine genaue Abbruchstatik mit Standort der Bagger, Radlader und des Abbruchmaterials, damit die zulässigen Deckenbelastungen nicht überschritten werden.

Leistungen und Kosten für die verschiedenen Verfahren sind in Bild 7–6 dargestellt.

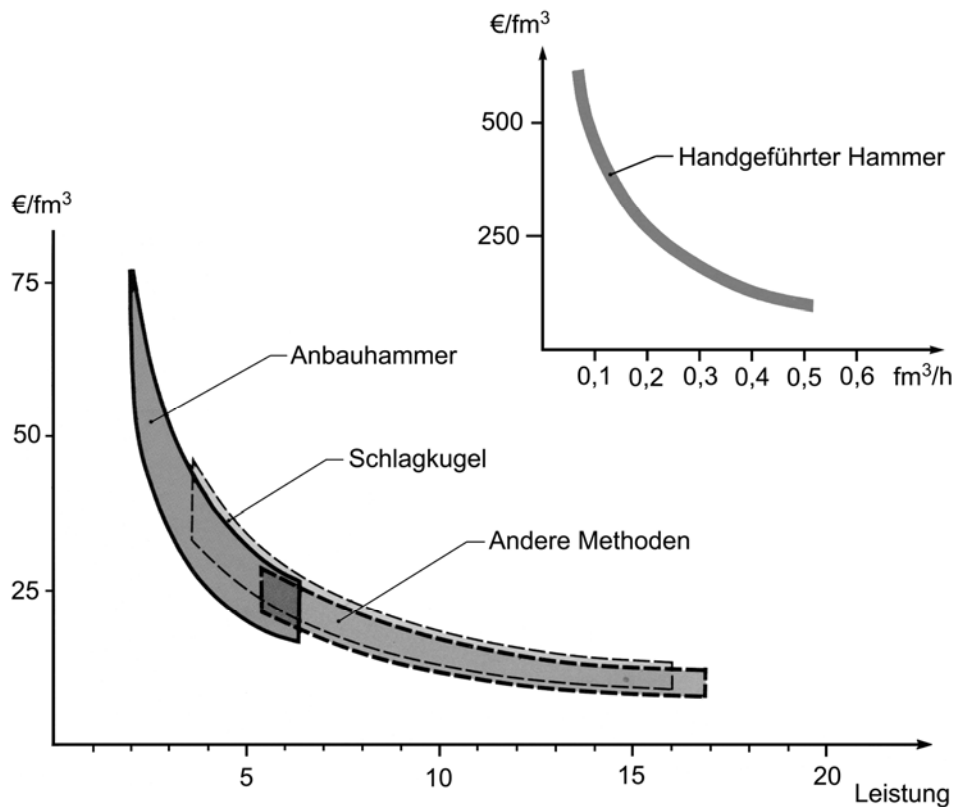


Bild 7-6: Zusammenstellung der Leistungen und Kosten [7]

Material		Material-Stärke	Anbauhammer Abbruchkosten (ohne Verladung)		Handgeführte Werkzeuge (ohne Verladung)		Fallkugel (einschl. Verladung)		Eindrücken (einschl. Verladung)	
			Leis- tung fm³/h	Kosten DM/m³	Leis- tung fm³/h	Kosten €/m³	Leis- tung fm³/h	Kosten €/m³	Leis- tung fm³/h	Kosten €/m³
Stahl- Beton	Stark bewehrt	unbe- grenzt <0,6 m	0,05-0,2	650-175	1-3	100-35				
	Schwach bewehrt	unbe- grenzt <0,6 m	0,1-0,3	500-125	1-4	85-35	3-8	170-50		
Beton unbe- wehrt		unbe- grenzt <1,0 m <0,2 m	0,2-0,4	250-90	2-6	35-12.5	8-13	50-35		
									4-9	35-17.5
Mau- erwerk		Unbe- grenzt <1,0 m	0,3-0,6	125-50	3-8	25-10	10-20	35-25		
		<0,6 m							10-20	17.5- 12.5
Ge- misch- tes Materi- al		Unbe- grenzt <1,0 m <0,6 m	0,3-0,4	125-40	3-8	25-12.5	8-15	50-35		

☐ = nicht geeignet

Tabelle 7-2: Anwendbarkeit, Leistungen und Kosten der verschiedenen Verfahren [7]

Im Regelfall gehen allen Instandsetzungsarbeiten Abtragsarbeiten und Teilabbrucharbeiten voraus. **Teilabbrüche** werden meist mit herkömmlichen Verfahren durchgeführt, wie z.B. mittels:

- Hydraulikbagger mit hydraulischen Abbruchhämmer und Abbruchzangen
- Hydraulikbagger mit Tieflöffel
- Seilbagger mit Abbruchbirne zum Abbruch von Gebäudeteilen
- erschütterungsarmes Sprengen (mit herkömmlichen Sprengstoffen geringerer Brisanz, Expansionssprengstoffe, hydraulische Keile, etc.)
- Schlagguillotine zum Zerstören von Strassendecken

**Das Arbeitsprinzip**

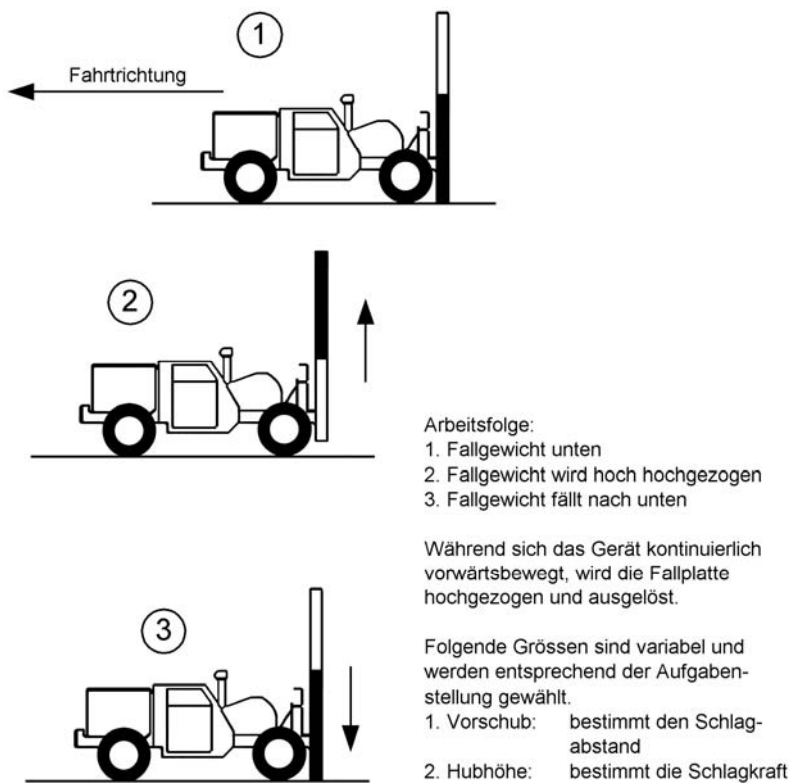


Bild 7-7: Betonzetrümmerer

- handgeführte Pressluft- und Hydraulikhämmer



Bild 7-8: Presslufthämmer

- Betonsägen, Seilsägen, etc.

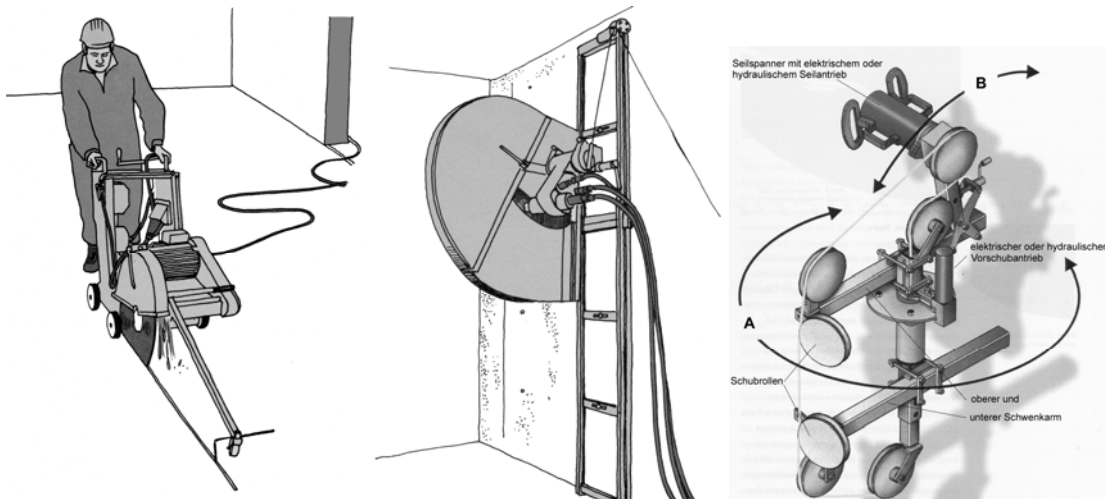


Bild 7–9: Verschiedene Sägen [7, 10]

- Drehendes Bohren

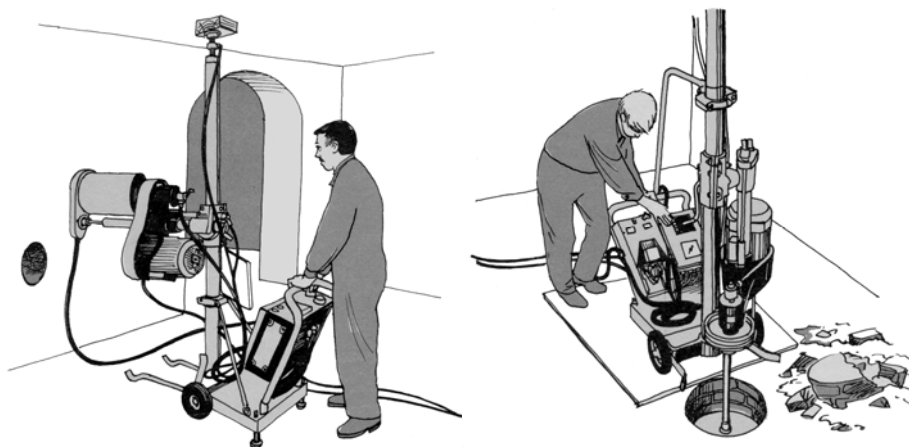


Bild 7–10: Bohren in der Wand und im Fussboden [7]

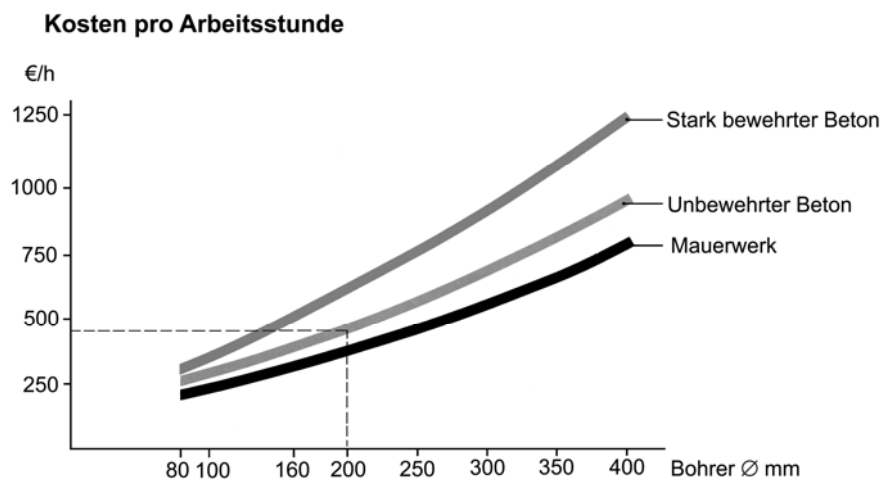


Bild 7–11: Zusammenstellung der Leistungen und Kosten für das Drehbohren [7]

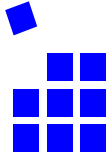
- Abstimmverfahren mittels **elektrischem Stemmhammer und Flachmeiselbestückung**: Dieses Verfahren wird hauptsächlich zum Abtragen von kleineren Schädigungsflächen und zum Nacharbeiten verwendet.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Martinola G., Wittmann F., Sadouki H., Gerdes A., Schutzmassnahmen für Stahlbeton, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 24, Juni 2000
- [2] Hunkeler F., Grundlagen der elektrochemischen Realkalisierung, Schweizer Baublatt, Nr. 47, Juni 1999
- [3] Rechsteiner A., Hess B., Wolfseher R., Betonabtrag mittels der Höchstdruckwasserstrahl-Technik, Schweizer Ingenieur und Architekt, Separatdruck aus Heft Nr. 4, 1996
- [4] Removing concrete from bridges, National cooperative highway research program, synthesis of highway practice 169, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., June 1991
- [5] Wolfseher R., Die Sanierung von Stahlbetonbauten, Baufachverlag, Dietikon, 1994
- [6] Meier, U., Stöcklin, I.: Gradiert gespannte CFK-Bänder. Schweizer Baublatt, Nr. 100, Dezember 2000
- [7] Atlas Copco MCT AB, Abbruch-Handbuch, Nacka, September 1985
- [8] Hydraulikhämmer, Prospekt Krupp Bautechnik, 1993
- [9] Prospekt Vibra-Ram Wack GmbH, 1992
- [10] Marques, P., Hydrostress AG, Kreisseilsägetechnik - eine neue Technologie, World of Grinding and Cutting, Issue 124/1998
- [11] Removing concrete from bridges, National cooperative highway research program, synthesis of highway practice 169, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., June 1991
- [12] Kaltfräse 2100 DC, Die Technik. Prospekt Wirtgen, 1994
- [13] Momber, A., Handbuch Druckwasserstrahltechnik, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1993







Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Teil 4: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Bahntunneln



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Schadensbilder .....</b>	<b>5</b>
3.1	Spezifische Schäden/Mängel von Bahntunneln .....	5
3.2	Schadensentwicklung.....	8
<b>4</b>	<b>Baustelleneinrichtung .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Verfahren zur Erhaltung der Nischen .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Verfahren zur Erhaltung der Widerlager.....</b>	<b>13</b>
6.1	Fensterbauweise .....	13
6.2	Lamellenbauweise .....	16
6.3	Sicherungsverfahren .....	16
6.4	Ausbruchverfahren .....	19
6.5	Schutterrungsverfahren.....	20
6.6	Neuerstellung des Widerlagers .....	21
<b>7</b>	<b>Verfahren zur Erhaltung der Sohle.....</b>	<b>22</b>
7.1	Sicherungsverfahren .....	23
7.2	Ausbruchverfahren .....	25
7.3	Schutterungsverfahren .....	28
7.4	Verfahren zur Neuerstellung der Sohle .....	30
<b>8</b>	<b>Verfahren zur Erhaltung des Gewölbes.....</b>	<b>33</b>
8.1	Ausbruchverfahren .....	33
8.2	Verfahren zur Neuerstellung mit statischer Wirkung .....	36
8.2.1	Ortbetonbauweise.....	38
8.2.2	Spritzbetonbauweise .....	39
8.3	Verfahren zur Neuerstellung ohne statische Wirkung .....	41
8.3.1	Entwässerung .....	41
<b>9</b>	<b>Bahntechnische Arbeiten .....</b>	<b>44</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>45</b>
<b>11</b>	<b>Rahmenbedingungen .....</b>	<b>46</b>
11.1	Betriebsverhältnisse während der Erhaltungsarbeiten .....	48
11.1.1	Einspurtunnel.....	48
11.1.2	Doppelspurtunnel.....	49
11.2	Auflagen des Bauherrn.....	50
11.3	Verfügbare finanzielle Mittel .....	51

11.4	Länge .....	51
11.5	Lage .....	51
11.6	Bestandsaufnahme .....	51
<b>12</b>	<b>Beispiele .....</b>	<b>53</b>
12.1	Zuger Stadttunnel.....	53
12.1.1	Ausgangslage .....	53
12.1.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	54
12.1.3	Erhaltungskonzept .....	55
12.1.4	Ausführung .....	56
12.2	Hauenstein-Tunnel .....	57
12.2.1	Ausgangslage .....	57
12.2.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	58
12.2.3	Erhaltungskonzept .....	59
12.2.4	Ausführung .....	60
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>64</b>

# 1 Einleitung

Die Thematik "Erhaltung von Tunnelbauwerken" gewinnt zunehmend an Aktualität. Die Tunnel der SBB erreichen heute ein Durchschnittsalter von über 100 Jahren und stossen somit an die Grenzen ihrer ursprünglich vorgesehenen Lebensdauer. Da die SBB einen sicheren und konkurrenzfähigen Betrieb anbieten müssen, sind seit ca. 20 Jahren grosse Bestrebungen zur Erhaltung von Tunnelbauwerken im Gang.

Bei den Tunnelbauwerken der SBB kann grundsätzlich zwischen zwei übergeordneten Auslösern für Erhaltungsmaßnahmen unterschieden werden. Einerseits weist die Bausubstanz Schäden auf und andererseits genügt das Lichtraumprofil den heutigen Ansprüchen nicht mehr. Sehr oft treten sie gemeinsam auf. Im Zuge einer Erhaltungsmaßnahme wird deshalb normalerweise auch das Lichtraumprofil den heutigen Standards angepasst. Die hierfür notwendigen Baumassnahmen sind unter schwierigsten Verhältnissen durchzuführen. Der Zugbetrieb muss häufig aufrecht erhalten werden. Dies führt in einem Doppelspurtunnel zu sehr beengten Arbeitsräumen. Im Einspurtunnel hingegen, sind die Erhaltungsarbeiten auf ganz genau einzuhaltende Zeitfenster zu beschränken oder eine Vollsperrung wird notwendig. Diese und weitere Rahmenbedingungen, die einschneidende Konsequenzen auf die Wahl der Bauverfahren ausüben, lassen die Ausführung von solch komplexen Arbeiten zu Speziallösungen werden. Solche Speziallösungen weisen dementsprechend kaum Systematisierungstendenzen bezüglich des Bauablaufs auf. Sie werden stets für die Erhaltung eines einzelnen Objekts konzipiert, was sich häufig in einer ungenügenden Wirtschaftlichkeit der Verfahren manifestiert.

## 2 Bestandsaufnahme

Bevor mit der Projektierung der Erhaltung begonnen werden kann, sind alle verfügbaren Unterlagen des Bauherrn zu sichten und auszuwerten. Besonders die durchgeführten Inspektionen und Kontrollen enthalten oft hilfreiche Informationen. Sie vermitteln ein erstes Bild über den Tunnelzustand. Dieses erste Bild muss aber in jedem Falle durch eine Aufnahme des Ist-Zustandes (Bestandsaufnahme) ergänzt werden. Die Bestandsaufnahme hat die Erfassung der hydrologischen und geologischen Verhältnisse, der geometrischen Profile des Tunnels sowie der vorhandenen Schäden und Mängel zum Ziel. Die Aufnahmeverfahren der Bestandsaufnahme werden hierbei ständig neu- und weiterentwickelt. Folgende Aufnahmeverfahren werden in der Praxis eingesetzt:

- **Abklopfen, visuelle Aufnahme.**  
Das Abklopfen auf Hohlstellen und die visuelle Beurteilung des Tunnelgewölbes entsprechen einer einfachen, zeitintensiven aber notwendigen Methode einer Bestandsaufnahme. Das Abklopfen und die visuelle Aufnahme weisen einige Nachteile gegenüber neueren, elektronischen Verfahren auf. Neben dem grossen zeitlichen Aufwand ist vor allem die Subjektivität der Beurteilung zu nennen. Diese Methode erfordert drei bis vier Mann, welche mit Hilfe eines speziellen Inspektionswagens das Gewölbe auf Hohlstellen untersuchen.
- **Videoaufnahme.**  
Die Videoaufnahme zeichnet sich durch eine grosse Leistungsfähigkeit aus. Allerdings erlaubt sie auch nur eine visuelle Beurteilung des Tunnelgewölbes. Der Einfluss der Subjektivität bei der Beurteilung des Tunnelzustandes kann aber durch mehrere Prüfpersonen verringert werden. Die Videoaufnahme wird meist zur Unterstützung des thermographischen Aufnahmeverfahrens angewendet. Die neueste Generation von Videoaufnahmegegeräten ist in einem Tunnelscanner eingebaut. Diese neuen Geräte zeichnen ein unverzerrtes Bild des Tunnelgewölbes auf und weisen eine verbesserte Bildqualität auf. Die gewonnenen Daten werden direkt im Computer gespeichert. Mit Hilfe der Videoaufnahme lassen sich auch Pläne erstellen und animierte "Inspektionsdurchfahrten" simulieren.
- **Linienmesssysteme.**  
Bei Linienmesssystemen werden die Deformationen in der Tunnelauskleidung berührungslos mittels Messmodulen aufgenommen. Gemessen werden im Allgemeinen die Distanz vom Messmodul zur Tunneloberfläche und der zurückgelegte Weg des Messwagens mittels Laufrad. Die Genauigkeit hängt dabei von der Geschwindigkeit ab, mit der das Zweiwegfahrzeug (Bild 2-1) den Tunnel durchquert. Alle Daten werden automatisch in einem Computer gespeichert, der auch die nachfolgende Auswertung übernimmt. Linienmesssysteme können gut mit dem thermographischen Aufnahmeverfahren kombiniert werden.



Bild 2-1: Zweiwegfahrzeug

Das Linienmesssystem wird heute zusehends von einem neuen Aufnahmeverfahren abgelöst. Dabei wird mit einem speziellen Gerät das Tunnelgewölbe aufgenommen und in dreidimensionale Pixels abgespeichert. Dieses Aufnahmeverfahren erlaubt die Erstellung von Tunnelprofilen in einen beliebigen Schnitt. Ausserdem können neu definierte Profile direkt mit den vorhandenen Profile verglichen werden. Daraus lassen sich die notwendigen Nachprofilierungsarbeiten exakt bestimmen.

- **Tunnelprofilaufnahmen.**

Mit kompakten, portablen Profilaufnahmegeräten lassen sich entsprechende Messungen schnell und präzise ausführen. Die Messungen erfolgen reflektorlos. Die Daten werden auf einem mitgeführten Computer abgespeichert. Dieses Aufnahmeverfahren wird oft zur Ausführungskontrolle und weniger in der Bestandsaufnahme eingesetzt. Das Gerät ist klein und kann überall ohne wesentliche Behinderungen des Baubetriebs aufgestellt werden. Es hat eine Leistungsfähigkeit von bis zu fünfzehn Aufnahmen pro Stunde und ist einfach zu handhaben.

- **Thermographische Aufnahme.**



Bild 2-2: Messresultat einer thermografischen Aufnahme

Die thermographische Aufnahme ist das am weitesten entwickelte Verfahren. Bevor es allerdings angewendet werden kann, sind aufwendige Eichungen (Bohrproben, genaue Gesteinstemperaturmessungen) notwendig. Daher ist dieses Verfahren



erst ab einer gewissen Tunnellänge sinnvoll einsetzbar. Die flächendeckende Aufnahme der Tunnelauskleidung mittels thermographischem Verfahren wird vor allem bei einem kompletten Gewölbeersatz angewendet. Bei der thermographischen Aufnahme wird mittels Wärmefühlern ein schwacher Wärmestrom zwischen der Tunnelluft und der Auskleidung gemessen. Dieser Wärmestrom wird durch die vorhandene Feuchtigkeit, Hohlräume, schlechte Hinterfüllung etc. beeinflusst, und lässt Rückschlüsse auf den vorhandenen Zustand des Tunnelgewölbes zu (Bild 2-2). Die gesamte Apparatur wird von einem schienengängigen Trägerfahrzeug (Zweiwegfahrzeug) mitgeführt. Die Praxis hat gezeigt, dass sich mit diesem Verfahren der Tunnelzustand recht genau erfassen lässt. Die Leistungsfähigkeit kann bis zu fünf Kilometern pro Stunde betragen.

- **Auswirkungen und Probleme einer Bestandsaufnahme.**

Die Bestandsaufnahme hat einschneidende Auswirkungen auf die Projektierung und die Ausführung von Erhaltungsmaßnahmen. Ein erfolgreiches Erhaltungskonzept hängt zwingend von der Qualität der Bestandsaufnahme ab. Die Bestandsaufnahme ist der Projektierung vorgeschaltet und liefert hierfür die Basisdaten. Die Durchführung einer Bestandsaufnahme darf nur unwesentliche Einwirkungen auf den Zugbetrieb ausüben. Falls grössere Behinderungen des Betriebs unvermeidlich sind, müssen diese in eine längerfristige Planung (Fahrplananpassungen) einfließen. Um Behinderungen zu vermeiden oder möglichst gering zu halten, werden vor allem die schwach frequentierten Nachtintervalle zur Bestandsaufnahme genutzt.

Die Aufnahmen des Ist-Zustandes eines Tunnels sind sehr arbeits- und demnach auch kostenintensiv. Vor allem die konventionellen Verfahren, wie Abklopfen und die visuelle Beurteilung, sind in ihrer Leistungsfähigkeit sehr beschränkt. Mit den neuen, durch elektronische Hilfsmittel unterstützten Verfahren zur Bestandsaufnahme (z.B. thermographische Aufnahme), kann eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit erzielt werden.

### 3 Schadensbilder

#### 3.1 Spezifische Schäden/Mängel von Bahntunneln

In Bild 3-1 sind die drei wesentlichen Schaden- und Mängelbilder (visuell) mit den Schäden und Mängeln auslösenden Ereignissen dargestellt.

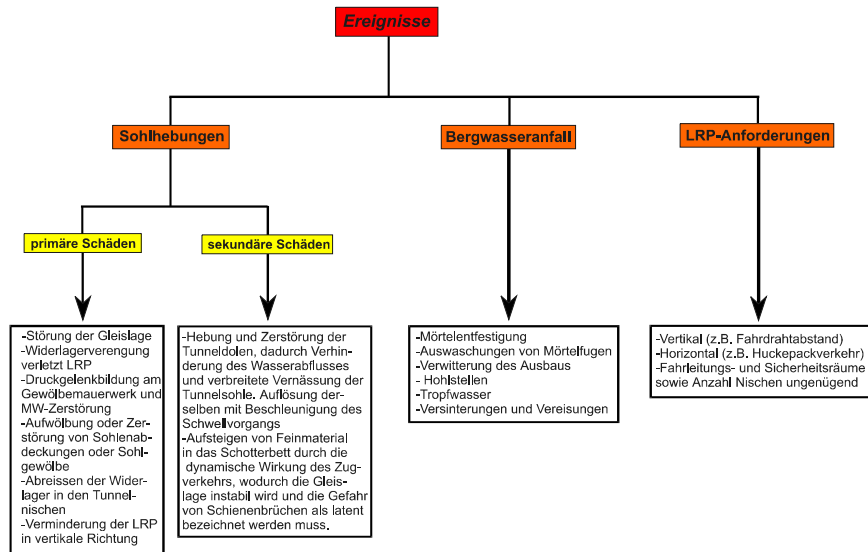


Bild 3-1: Schaden- und Mängelstruktur von Bahntunneln

Erläuterungen zu den einzelnen spezifischen Schäden können der Tabelle 3–1 entnommen werden. Dabei wird auch in Kurzform auf die relevanten Auswirkungen eingegangen.



Bild 3-2: Schotterverschlämmung

Schäden, Mängel	Erklärungen und Auswirkungen der Schäden/Mängel
<b>Sohlhebungen</b>	
<b>Primäre Schäden</b>	
Störung der Gleislage	Die Gleislage passt sich der unregelmässigen Sohlhebung an. Somit wird ein erhöhter Unterhaltsdienst nötig, der enorme finanzielle Mittel erfordert.
Widerlagerverengung	Widerlagerverengungen sind mit den Sohlhebungen eng verbunden. Oft ist ein Einwärtsrücken der Widerlager zu beobachten, welches das erforderliche LRP beeinträchtigen kann.
Druckgelenkbildung:	Abblätterungen und Abschalungen infolge Druckgelenkbildung am Tunnelgewölbe. Diese Zerstörung kann das ganze Tunnelgewölbe erfassen und wirkt sich statisch sehr ungünstig aus.
Zerstörung des Sohlgewölbes:	Die Zerstörung ist auf Biegung oder Abscheren der Einwärtsrückenden Sohle bzw. Widerlager zurückzuführen.
Abreissen der Widerlager in den Tunnelnischen:	Die Tunnelnischen weisen gegenüber den Einwärtsrückenden Widerlager eine grössere Steifigkeit auf und können die Deformation nicht mitmachen. Es resultiert ein Abreissen der Widerlager.
LRP-Verminderung	In vertikaler Richtung muss, infolge der Sohlhebung, mit einem verminderten LRP gerechnet werden.
<b>Sekundäre Schäden</b>	
Hebung der Tunnelentwässerung	Durch die Sohlhebung werden ausser den primären auch sekundäre Schäden ausgelöst. Die Hebung der Tunnelentwässerung zählt zu den häufigsten sekundären Schäden. Das Wasser kann mangels Gefälle nicht mehr abfliessen. Es resultiert eine Vernässung der Tunnelsohle, die Verwitterung der Tunnelsohle beginnt. Ausserdem wird der Quellvorgang von ton- und anhydrithaltigem Gestein durch das vorhandene Wasser noch beschleunigt.
Instabile Gleislage	Durch die Verwitterung der Tunnelsohle entsteht Feinmaterial. Infolge der dynamischen Belastung der vorbeifahrenden Züge resultiert eine Pumpwirkung, die Feinmaterial in das Schotterbett einbringt (Bild 3-2). Dadurch wird die Gleislage instabil und es besteht die Gefahr von Schienenbrüchen und Gleisverschiebungen.

<b>Bergwasseranfall</b>	
Mörtelentfestigung	Aggressives Wasser greift den Mörtel an. Durch die einsetzende Verwitterung des Mörtels verliert er an Festigkeit. Dadurch kann das ganze Mauerwerk so weit geschwächt werden, dass einzelne Steine oder ganze Partien niederbruchgefährdet sind.
Auswaschung von Mörtelfugen	Als Nebenerscheinung der Mörtelentfestigung tritt das Auswaschen der Mörtelfugen auf. Dadurch entstehen Kontaktfugen mit örtlich hohen Spannungen, was Abplatzungen und eine Schwächung der statischen Eigenschaften des Mauerwerks bewirken kann.
Verwitterung des Ausbaus	Durch Bergwasseranfall, der womöglich noch aggressive Inhaltsstoffe aufweist, wird der Prozess der Verwitterung und Alterung des Gewölbeausbaus beschleunigt. Die Folge davon sind Abplatzungen und Einbrüche. Der Pilzbefall wird durch die vorhandene Feuchtigkeit begünstigt und trägt seinerseits zu einer beschleunigten Verwitterung bei.
Tropfwasser	Tropfwasser löst Korrosionserscheinungen an Schienen und Fahrleitungen aus. Falls das Wasser aggressive Stoffe wie Salze enthält, wird der Vorgang beschleunigt.
Hohlstellen	Durch den Bergwasseranfall findet auch hinter der Spritzbetonschale respektive dem Mauerwerk Verwitterung statt. Im Zusammenwirken mit Auswaschungen und einer mangelhaften Hinterfüllung, können sich Hohlstellen bilden. Diese Hohlstellen unterbinden den kraftschlüssigen Verbund zwischen dem Ausbau und dem Gebirge, was eine latente Gefahr für Niederbrüche bedeutet.
Versinterungen und Vereisungen	Versinterungen und Vereisungen können das Lichtraumprofil einengen und stellen für den Zugbetrieb eine grosse Gefährdung dar. Vereisungen sind vor allem bei den Tunnelportalen anzutreffen. Versinterungen können über die ganze Tunnellänge angetroffen werden.
<b>LRP-Anforderungen</b>	
Vertikale LRP-Anforderung	Die vertikale LRP-Anforderung ist vorwiegend auf den heutzutage notwendigerweise grösseren Fahrleitungsabstand zurückzuführen. Zudem werden die Wagen der Bahn immer höher (Doppelstockzüge).
Horizontale LRP-Anforderung	Der Querschnitt eines Tunnels ist massgebend für das Lichtraumprofil. Besonders durch den Huckepackverkehr entstehen entsprechende Konsequenzen für das horizontale LRP.
Fahrleitungs- und Sicherheitsräume, Nischen	Um dem neuen, erweiterten Lichtraumprofil gerecht zu werden, müssen die Fahrleitungshalterungen in speziell auszubrechende Nischen versetzt werden. Sicherheitsräume und Nischen sind für das Unterpersonal unerlässlich und müssen erweitert, respektive neu erstellt werden.

Tabelle 3–1: Spezifische Schäden und Mängel an Bahntunneln

### 3.2 Schadensentwicklung

Bei vielen Tunneln treten immer wieder dieselben Mängel und Schäden zum selben Zeitpunkt auf. Deshalb kann ein Schadensfahrplan der typischen Ereignisse erstellt werden (Tabelle 3–2).

Jahre	Typische Ereignisse, Schäden und Mängel
0	Im Zuge der Bauwerksabnahme nach der Erstellung werden erste Ausführungsfehler ersichtlich, die je nach Art und Ausmass korrigiert werden müssen.
0 - 5	Bis 5 Jahre nach der Abnahme des Bauwerks können Garantieschäden geltend gemacht werden.
5 - 15	Grobe Planungs- und Ausführungsfehler, wie mangelhafte Entwässerung und ihre Folgen, instabile Widerlager infolge Sohlenabsenkung, etc. werden ersichtlich.
15 - 25	Die Verschlammung und Versinterung der Entwässerungsleitungen und die Korrosionserscheinungen der Fahrleitung und der Schienen durch Tropfwasser, entsprechen typischen und häufig auftretenden Schäden dieser Zeitperiode. Ausserdem ist mit ersten LRP-Veränderungen infolge Gebirgsbewegungen zu rechnen.
25 - 50	Schäden infolge Planungsfehlern, wie zum Beispiel die Unterschätzung des Quelldrucks und der daraus resultierenden Sohlhebungen, die Nichtbeachtung der Auswirkungen eines veränderten Wasserhaushaltes des Gebirges, die Vernachlässigung einer konsequenten Ausführungskontrolle bezüglich der Hinterfüllung und der daraus entstehenden nachbruchgefährdeten Hohlstellen, etc., werden ersichtlich.
50 - 80	Erste altersbedingte Schäden wie Verwitterung des Mauerwerks, unkontrollierter Wasserabfluss, Auswaschungen von Fugen, Zerstörung von Teilen der Auskleidung, etc., treten auf. Es ist jedoch auch mit gravierenden Mängeln bezüglich des erforderlichen LRP und der Bahntechnischen Anlagen zu rechnen.
80 - ...	Eine markante Zunahme der altersbedingten Schäden ist zu verzeichnen. Dies kann soweit führen, dass die Betriebssicherheit nicht mehr gewährleistet werden kann. Ausserdem entsprechen die Bahntechnischen Anlagen und das LRP kaum mehr dem üblichen Standard.

Tabelle 3–2: Schadensentwicklung bei Bahntunneln

## 4 Baustelleneinrichtung

Die Baustelleneinrichtung nimmt einen entscheidenden Platz im Bauprozess "Tunnelerhaltung" ein. Zur Baustelleneinrichtung einer Tunnelerhaltungsmassnahmen gehören:

- **Baustelleninstallation.**  
Die Baustelleninstallation umfasst die Erstellung von Baupisten und Rampen, die Einrichtung des Installationsplatzes, den Anschluss der Baustelle an Strom und Wasser, das Abwasserkonzept, die Telekommunikation, etc..
- **Tunnelinstallationen.**  
Unter den Tunnelinstallationen werden die Bewetterung, der Anschluss an Strom, Wasser und Druckluft, die Wasserhaltung, usw. verstanden.
- **Sicherheitsdispositiv.**  
Unter dem Sicherheitsdispositiv werden alle notwendigen Massnahmen verstanden, die zur Sicherung einer einwandfreien Betriebserhaltung und zum Schutz der Arbeitskräfte vorzusehen sind.
- **Bauzüge.**  
Die Entwicklung und das Zusammenstellen von speziellen Bauzügen kann unter gewissen Voraussetzungen notwendig sein. Dies reicht von einfachen Materialzügen bis zu hochtechnisierten Betonzügen (Bild 4-1, Bild 4-2).
- **Baumaschinen.**  
Strassen- und schienengängige Baumaschinen sind ein integraler Bestandteil für die Baustelleneinrichtung einer Tunnelerhaltungsmassnahme.



Bild 4-1: Betonierzug [33]

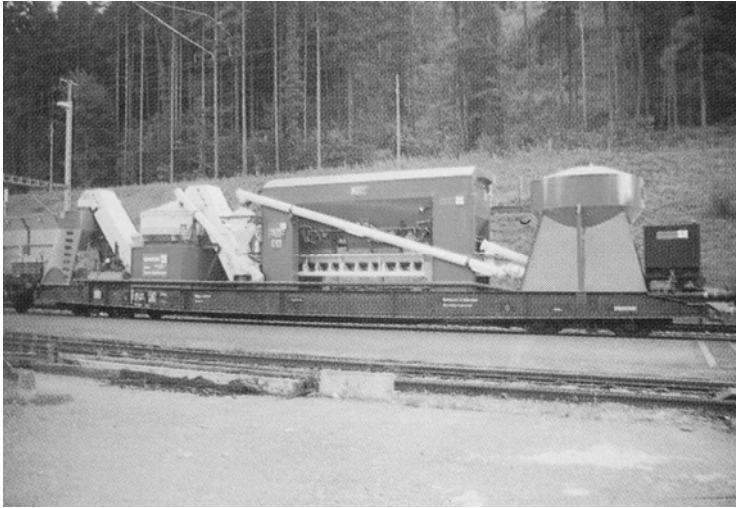


Bild 4-2: Trockengemisch-Aufbereitungsanlage [34]

## 5 Verfahren zur Erhaltung der Nischen

Im Zuge einer Tunnelerhaltung werden meistens auch neue Nischen erstellt und/oder bestehende erweitert. Der Bau und die Erweiterung von Nischen hat vielfältige Gründe, die zu verschiedenen Nischentypen führen.

Nischen werden für gewöhnlich vorgängig und separat erstellt. Sie können jedoch auch während der Widerlagerunterfangungsarbeiten (zum Beispiel Bahndienstnischen) oder während der Gewölbearbeiten (zum Beispiel Tragwerksnischen) erstellt werden. Der Bauablauf für die Nischen gestaltet sich üblicherweise folgendermassen:

- 1) Gewölbe vor Ausbruch sichern z.B. Anker
- 2) Ausbruch des Mauerwerks/Gebirges und Schüttern (Bild 5-1)
- 3) Armierung, Drainage und evt. Abdichtung verlegen
- 4) Betonieren in Orts- (Nischenböden) oder Spritzbeton (Nischenwände und -gewölbe)

Die Bauverfahren für die Nischen sind analog zu den Verfahren des Widerlagers und des Gewölbes (vgl. Kap. 6 und 7). Auf einzelne, ausgewählte Nischentypen wird nur kurz eingegangen:

- **Bahndienstnischen.**  
Sie beinhalten zum Teil elektrische Anlagen und dienen als Schutz- und Stauräume für das Unterhaltungspersonal beziehungsweise deren Gerätschaften.
- **Spülnischen.**  
Spülnischen sind etwas kleiner ausgebildet als Bahndienstnischen. Von den vorhandenen Schächten aus lassen sich die Entwässerungsleitungen frei spülen.
- **Fluchtnischen.**  
Besonders in langen und stark frequentierten Tunneln werden Fluchtnischen als Schutzräume im Falle einer Zughavarie erstellt. Fluchtnischen können aber auch bei Unterhaltsarbeiten genutzt werden, zum Beispiel als Depot von Materialien und Geräten.
- **Tragwerksnischen.**  
Sie bieten Platz für Signale und Fahrleitungsaufhängungen. Somit wird das ohnehin knapp bemessene Lichtraumprofil nicht weiter tangiert.
- **Nachspannnischen.**  
In Nachspannnischen werden Spanneinrichtungen der Fahrleitung untergebracht.
- **Einspeisnischen.**  
In den Einspeisnischen werden die Hochspannungskabel vom Kabelkanal zur Fahrleitung geführt.





Bild 5-1: Nischenausbruch

## 6 Verfahren zur Erhaltung der Widerlager

Widerlagerunterfangungen/Widerlagerneuerstellungen werden oft vorgängig im Zuge von Sohlabsenkungen erstellt. Sie können aber auch unabhängig von Sohlabsenkungen ausgeführt werden. Bei Arbeiten im Widerlagerbereich gilt es den diversen Sicherungsproblemen besondere Beachtung zu schenken. Allgemein muss mit Setzungen und Horizontalbewegungen der Widerlagerfüsse gerechnet werden. Das Mauerwerk ist aber diesbezüglich sehr flexibel und kann Deformationen bis zu einem gewissen Mass schadlos ertragen.

Üblicherweise wird die Widerlagerunterfangung in der sogenannten Fensterbauweise ausgeführt. In Spezialfällen kann aber auch die sogenannte Lamellenbauweise angewendet werden. Die verschiedenen Bauverfahren (Bild 6-3) können unverändert auf beide Bauweisen übernommen werden. Anschliessend werden die Fenster- und die Lamellenbauweise kurz erläutert.

### 6.1 Fensterbauweise

Die Fensterbauweise stellt die gebräuchlichste Form der Widerlagerunterfangung dar. In einem ersten, vorauseilenden Schritt werden die Hinterfüllungen mittels Injektionen verfestigt. Falls es notwendig erscheint, werden auch Systemanker oder lastverteilende Riegel und Schalen aus Spritzbeton eingebracht. Danach beginnt der fensterweise Ausbruch der Widerlagerfüsse und des darunterliegenden Gebirges. Ein Ausbruchfenster besitzt eine Breite zwischen 2.50 und 5.00 Meter. Zwischen zwei Fenstern sollte die dreifache Länge eines solchen, als Gebirge oder schon unterfangenes und standfestes Widerlager, vorhanden sein. Zum profilgenaueren Ausbruch des Widerlagers kann das Mauerwerk horizontal oder vertikal mit einer Steinsäge vorgeschnitten werden (Bild 6-1). Die horizontale Variante wird als eigentliche Untervariante der Fensterbauweise, als sogenannte Trennscheibenbauweise, bezeichnet. Ein durchgehender Schnitt trennt das alte, auszubrechende Fundament von der Gewölbemauer. Statisch gesehen ist diese Lösung eher problematisch, da sich das Tunnelgewölbe durch diesen Eingriff gesamtheitlich verformen kann. Die Betonarbeiten werden in Ortbeton (Bild 6-2) oder in sehr seltenen Fällen in Spritzbeton ausgeführt.

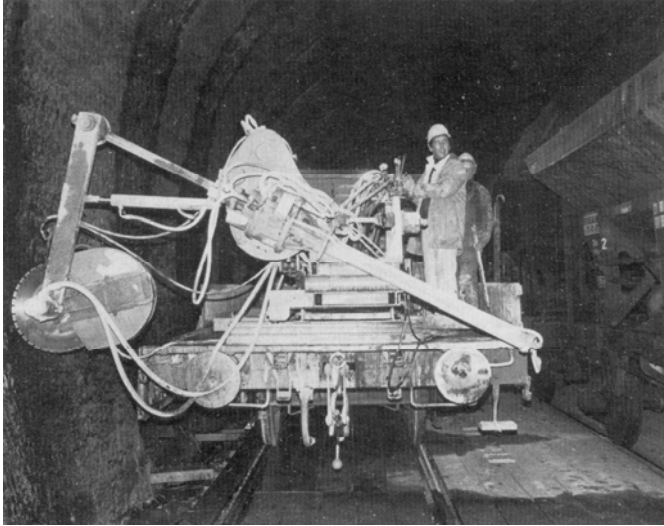


Bild 6-1: Steinsäge zum Vorschneiden des Mauerwerks [34]

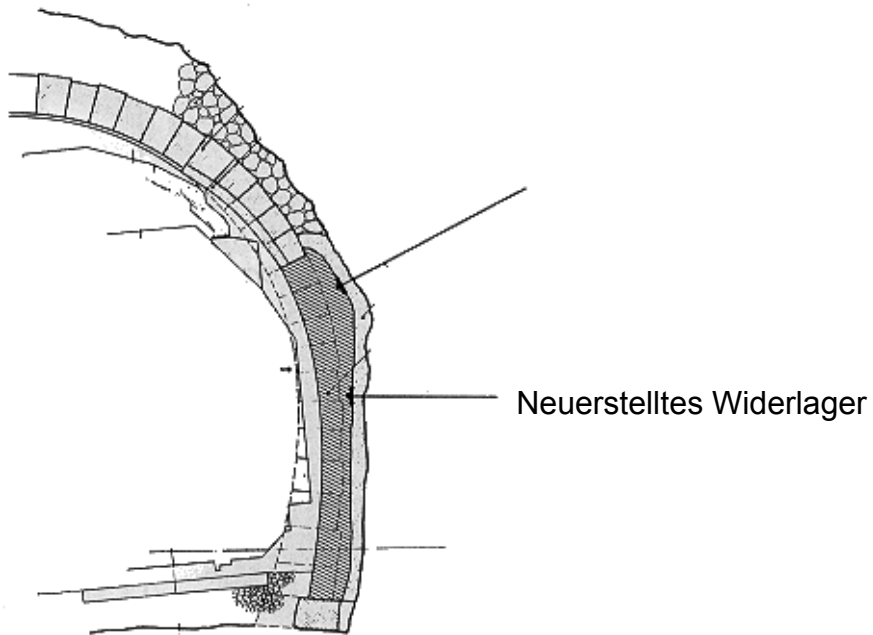


Bild 6-2: Neuerstelltes Widerlager in Ortbeton

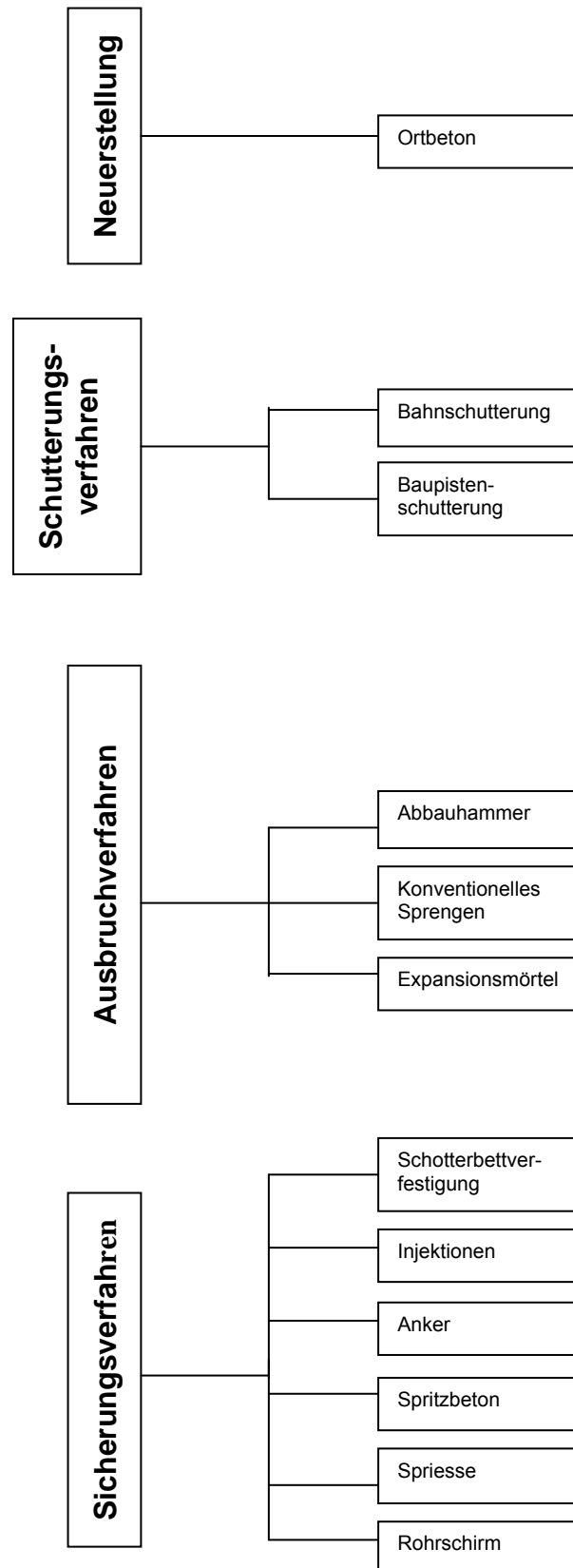


Bild 6-3: Verfahren zur Erhaltung der Widerlager

## 6.2 Lamellenbauweise

Bei der Lamellenbauweise wird die Sohle und der Widerlagerfussbereich gleichzeitig, abschnittsweise (lamellenweise) ausgebrochen. Der grosse Vorteil liegt darin, dass, je nach Lamellenbreite und Untergrundbeschaffenheit, kein aufwendiger Verbau am Betriebsgleis notwendig wird. Ausserdem kann unter ganz speziellen Bedingungen mit einer hohen Arbeitsleistung gerechnet werden. Dies trifft vor allem auf einspurige Tunnel zu, wo mittels Hilfsbrückenelementen die ausgebrochenen Lamellen überbrückt werden (Bild 6-4). Um einen effizienten Baufortschritt zu gewährleisten, müssen aber innerhalb eines Tunnels mehrere Lamellenbaustellen gleichzeitig betrieben werden. Dies bedingt eine minutiöse AVOR und eine aufwendige Logistik. Die Baupiste oder das Baugleis erfahren beim gleichzeitigen Ausbruch mehrerer Lamellen ständige Unterbrüche, was sich auf den Bauablauf äusserst negativ auswirken kann. Die Alternative, das Erstellen einzelner Lamellen, scheidet oft an der Wirtschaftlichkeit und dem gedrängten Terminprogramm. Die Betonarbeiten werden normalerweise in Ortbeton ausgeführt. Die Lamellenbauweise wird nur sehr selten angewendet.

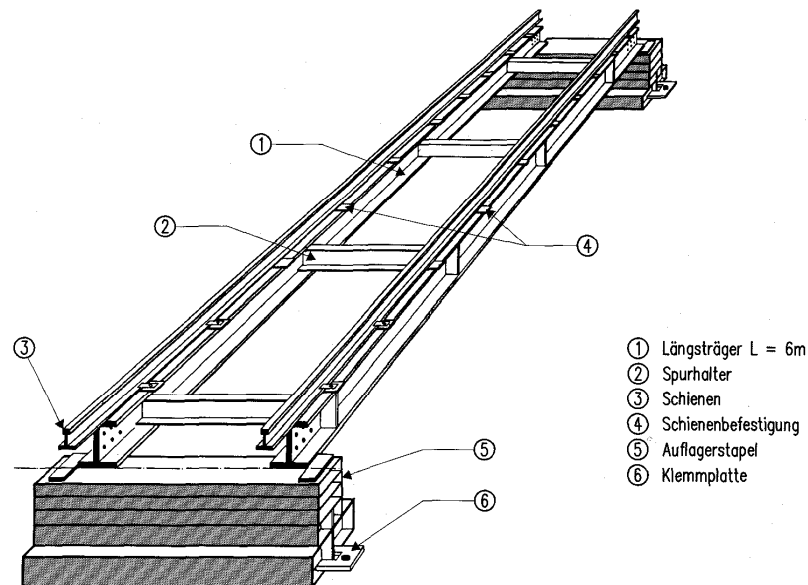


Bild 6-4: Hilfsbrückenelement

## 6.3 Sicherungsverfahren

Die Wahl der Sicherung hat unter Berücksichtigung einer ganzen Reihe wesentlicher Einflussfaktoren zu erfolgen. Dabei fällt vor allem der kleine zur Verfügung stehende Arbeitsraum ins Gewicht. Daraus folgt, dass von vornherein solche Erhaltungsmassnahmen wegfallen, zu deren Ausführung voluminöse Maschinen und Geräte eingesetzt werden müssen, oder deren Arbeitstakt sich nicht in den Zeitrhythmus von Bahnbetrieb/Baubetrieb eingliedern lässt. Für Sicherungsmassnahmen sind deshalb flexible Methoden mit kleinen Geräten vorzuziehen. Die eigentlichen Sicherungsmassnahmen beziehen sich auf folgende drei Bereiche:

- Sichern des Mauerwerks (Eigengewicht, Gebirgslasten)
- Sichern der Hinterfüllung (Eigengewicht)
- Sichern des Gebirges im Lockergestein (Erddruck)

Als direkte Sicherungsmassnahmen sind Anker, Spriessungen, Abstützungen, Injektionen, Jetting u.a. zu nennen. Anschliessend werden die Verfahren zur Sicherung näher erläutert. Diese Bauverfahren können sowohl kombiniert als auch einzeln angewendet werden können.

### **Schotterbettverfestigung/Schotterhalterung**

Eine Schotterbettverfestigung kann mittels Zementinjektionen erreicht werden. Sie soll eine stabile Gleislage garantieren. Die Schotterhalterung wird mittels Schaltafeln und eingerammten Stahlprofilen (leichtere Rundstähle) erstellt. Sie verhindert ein Abrutschen des Schotters während der Bauarbeiten.

### **Injektionen**

Injektionen stellen den Kontakt zwischen Mauerwerk und Gebirge her. Hohlräume werden verfüllt und die Hinterfüllung zum Teil verfestigt. Die Kraftschlüssigkeit zwischen Gebirge und Mauerwerk ist eine Voraussetzung für eine allenfalls nachfolgende Ankerung. Mit dem Verfestigen der Hinterfüllung wird ausserdem dem Einbruch des losen Materials während des Ausbruches des Widerlagerfusses vorgebeugt. Es gibt verschiedene Injektionsmittel, die je nach hydrologischen Gegebenheiten und dem allgemeinen Mauerwerkszustand zur Anwendung kommen. Bei schlechtem Fugenzustand wird beispielsweise eine Zementsuspension oder thixotroper Mörtel als optimal erachtet. Sollte starker Wasserandrang vorherrschen, dann finden PUR-Injektionen Verwendung. Der Einsatz von PUR-Injektionen ermöglicht auch kritische Bereiche einwandfrei zu stabilisieren. Bei weitgehend unproblematischen Bedingungen sind Zementsuspensionen oder Zementmörtel die richtige Wahl. Die Injektionen werden mit wenig Druck eingebracht, um das Mauerwerk nicht zusätzlich zu belasten. Es wird solange injiziert, bis der höchstzulässige Druck erreicht ist oder das Injektionsgut aus den Entlüftungslöchern quillt. Allgemein müssen Injektionen als kostenintensive Sicherungsmassnahme bezeichnet werden.

### **Anker**

Der Anker ist ein sehr flexibles, aber kostenintensives Sicherungsmittel. Er kann schnell eingebracht werden und findet sowohl in der punktuellen als auch in der systematischen Sicherung Anwendung. Beim Widerlagerfuss wird meist vor dem Ausbruch geankert. Hierbei bietet sich vor allem die Arbeit ab Bahnwagen an. Es können jedoch auch Bohrgeräte zum Einsatz kommen, die mit Raupen ausgerüstet sind. Durch das Aufbringen einer Ankervorspannung kann die Reibung zwischen Mauerwerk und Gebirge so erhöht werden, dass durch Anker auch grössere vertikale Lasten aufgenommen werden können. Mit der Ankerung will man kleinste Bewegungen des Gewölbes und der damit verbundenen Instabilität vorbeugen. Bei standfestem Gebirge finden vor allem Spreizhülsen- und Klebeanker Verwendung. Im Lockergestein oder weichen Böden werden Zementinjektionsanker bevorzugt. Die aufgebrauchten Ankerkräfte sind bei schwachem Mauerwerk durch Longarinen zu verteilen. Die Longarinen sind zu untermörteln, damit die Kraft gleichmässig abgegeben wird. Die Gewölbelasten werden durch das Erzeugen von Reibungswiderständen infolge Andruckkräfte aufgenommen (Bild 6-5).

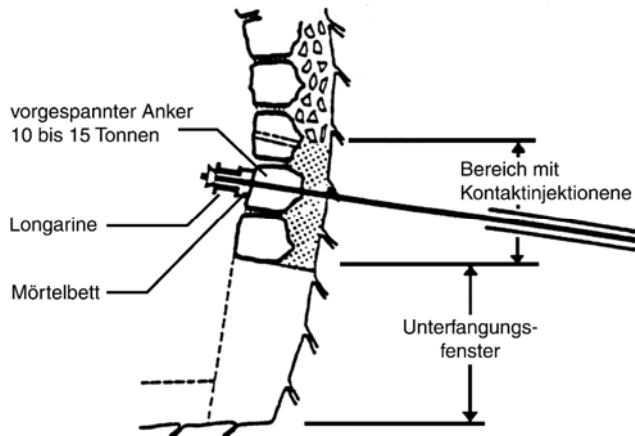


Bild 6-5: Anker im Widerlagerfussbereich

### Spriessung

- **vertikal:**

Bei gutem Mauerwerk und gesundem Fels kann ein Fenster der Widerlagerunterfangung durchaus mit Holz- oder Stahlspriessen unterfangen werden (Bild 6-6). Die massgebende Komponente in dieser Baumethode stellt die Fensterlänge dar, die nicht unbeschränkt gross sein darf. Bei schlechtem Fels sind Massnahmen zu treffen, um die Spriesslast verteilt auf die Sohle abzugeben. Hierbei bietet sich das Aufspritzen einer Spritzbetonschicht an.

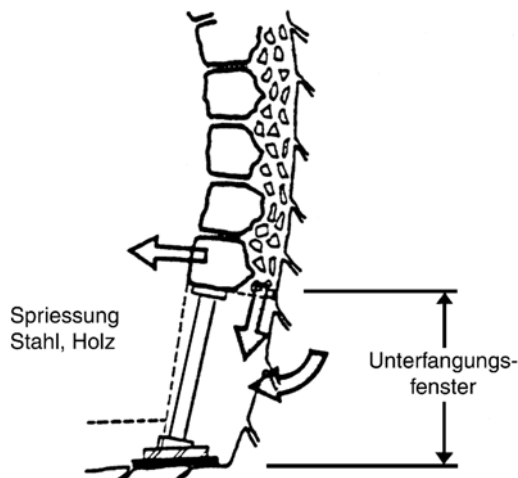


Bild 6-6: Vertikale Spriessung

- **horizontal:**

Die Horizontalspriessung dient der Stabilisierung von einwärtsrückenden Widerlagerfüssen (Bild 6-7). Sie wirkt sich baubetrieblich störend aus und wird nur dort eingebracht, wo das Gebirge eine Ankerung bezüglich Zeit und Kosten nicht zulässt. Die Stahlspreizen können mittels Hebegerät (Bagger o. ä.) eingebracht werden. Der grosse Nachteil gegenüber den Ankern liegt darin, dass ein vorgespannter Anker aktiv wirkt, die Stahlspreize aber nur Kräfte übernimmt, wenn Bewegungen stattfinden. Damit kann sich die aufzunehmende Kraft vervielfachen, was bei der Dimensionierung der Spriessung zu berücksichtigen ist.

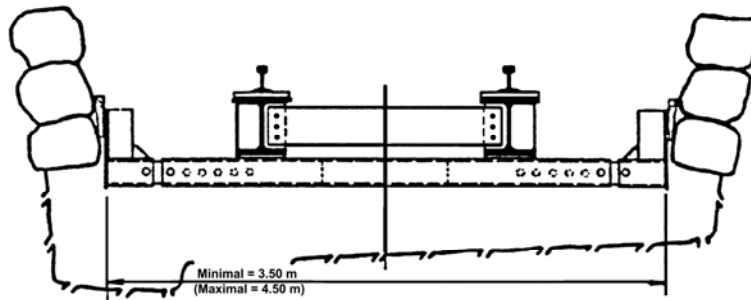


Bild 6-7: Stahlspreizen als horizontale Spreiung

### Spritzbeton

Spritzbeton kann als Sofortsicherungsmaßnahme bei drohenden Ein- oder Niederbrüchen im Widerlagerbereich verwendet werden. Das Aufbringen einer armierten Spritzbetonschale im Widerlagerbereich bewirkt eine bessere Lastverteilung und verhindert somit etwaige Gewölbeneinbrüche durch Unterfangungsarbeiten.

### Rohrschirm

Beim Ausbruch von Widerlagerunterfangungsfenstern können seitliche Rohrschirme als Kopfschutz eingesetzt werden.

## 6.4 Ausbruchverfahren

### Abbauhammer

Die wichtigste Komponente des Bauverfahrens "Abbauhammer" stellt der Hydraulikbagger dar. Dieses Arbeitsgerät ist äußerst flexibel einsetzbar. Es kann je nach Notwendigkeit mit einem Tieflöffel zu Schutturen oder mit einem Abbauhammer für den Ausbruch bestückt werden und erbringt eine hohe Arbeitsleistung (Bild 6-8). Die Kosten des Verfahrens sind gegenüber anderen Ausbruchverfahren relativ gering. In überbautem Gebiet können sich allerdings Probleme bezüglich Lärmemissionen und Erschütterungen ergeben.



Bild 6-8: Spezialbagger mit horizontal drehbarem Ausleger für Widerlagerausbruch und -aushub [34]



## Konventionelles Sprengen

Beim konventionellen Sprengen müssen Löcher in die Widerlagerfüsse gebohrt werden. Hierzu werden sowohl strassengängige als auch schienengängige Bohrgeräte verwendet (Bild 6-9). Da möglichst schonend gesprengt werden muss, sind lange Bohrarbeiten notwendig. Das Widerlager muss vor der Zündung mehrschichtig abgedeckt werden. Ausserdem sollte zum Schutz der Fahrleitung und anderer Einrichtungen eine Sprengschutzwand aus Stahl und/oder Holz ausfachung eingesetzt werden, die ohne grossen Zeitaufwand ein- und ausgebaut werden muss. Das konventionelle Sprengen weist einige Nachteile auf:

- Potentielle Gefahr der Auflockerung des Gewölbes durch die Sprengerschütterung.
- Sprengstelle muss sorgfältig mit Sprengmatten abgedeckt werden um Beschädigungen der technischen Einbauten zu verhindern und die Wurfweite zu begrenzen.

In besonderen Fällen, wenn der Einsatz des Abbauhammers an technische und wirtschaftliche Grenzen stösst, kann das Sprengen bei harten, abrasivem Fels eingesetzt werden.

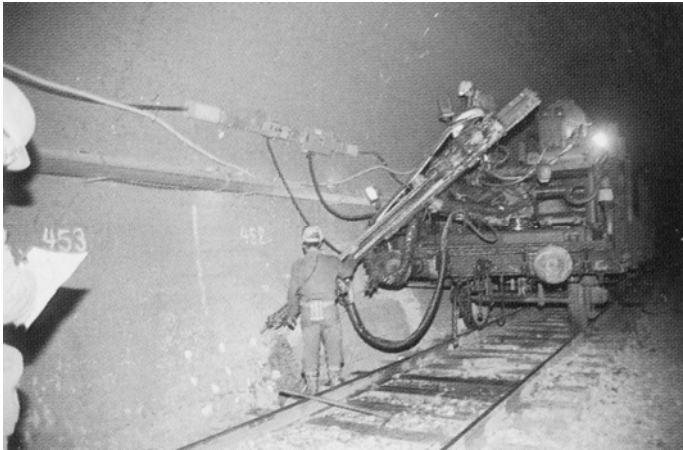


Bild 6-9: Bohrarbeiten [34]

## Expansionsmörtel

Expansionsmörtel wird nur in Ausnahmefällen verwendet. Dort, wo wegen Lärm- und Erschütterungsemissionen der Einsatz von Abbauhämmern untersagt ist, stellt dieses Verfahren aber eine interessante Alternative dar. So zum Beispiel in städtischen Gebieten bei geringer Überdeckung. Das Vorgehen ist dem konventionellen Sprengen nicht unähnlich. Es werden Löcher oder Schlitze erstellt und mit Expansionsmörtel verfüllt. Die Volumenvergrösserung während des Abbindevorgangs sprengt den Fels. Der Aufwand für dieses Bauverfahren ist gross und ein beachtlicher Nachteil ergibt sich aus dem schlecht einschätzbaren zeitlichen Verlauf des Sprengens. Dies wirkt sich besonders stark auf den einzuhaltenden Baurythmus aus. Ausserdem sind die Kosten für den Abbau mittels Expansionsmörtel rund sechs mal höher als beim Bauverfahren "Abbauhammer".

## 6.5 Schutterrungsverfahren

vgl. Kap. 7

## 6.6 Neuerstellung des Widerlagers

Das Spritzbetonverfahren wird nur zu Sicherungszwecken eingesetzt. Die Neuerstellung des Widerlagers beschränkt sich auf das Ortbetonverfahren (Bild 6-10). Der Ortbeton wird mit Mischern, mit Pumpen oder mit einem Betonzug angeliefert. Es wird eine Schalung mit Rutsche errichtet, die höher als die Betonierhöhe ist. Durch den aufgebauten hydrostatischen Druck wird verhindert, dass der zu betonierende Abschnitt infolge Absacken des Betons nur unzureichend verfüllt ist. Zur Sicherheit ermöglichen eingelegte Injektionsschläuche ein nachträgliches Verpressen (Bild 6-11).



Bild 6-10: Schalungsarbeiten am Widerlager

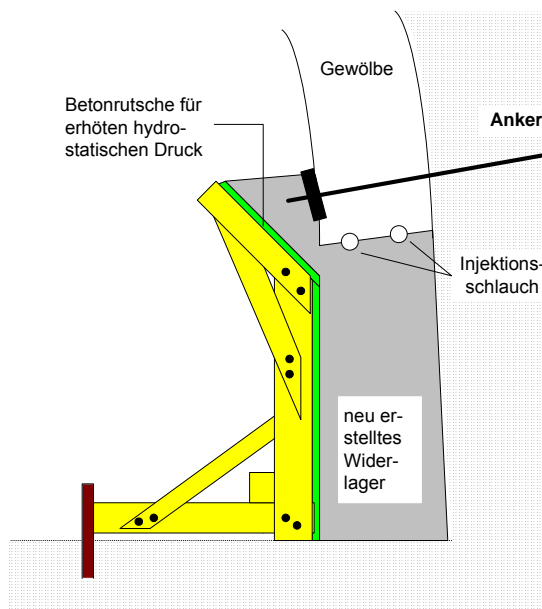


Bild 6-11: Betonieren des Widerlagers

## 7 Verfahren zur Erhaltung der Sohle

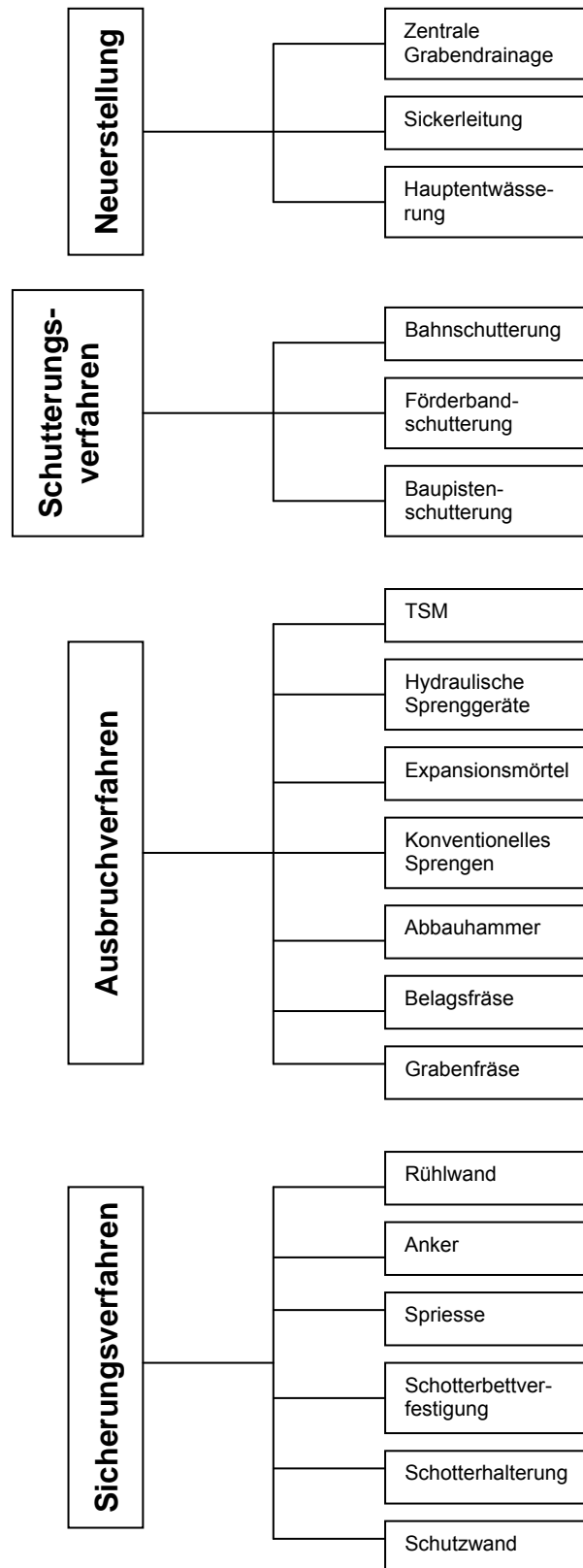


Bild 7-1: Verfahren zur Erhaltung der Sohle

Häufig führt die vorhandene, zu geringe Fahrdrachhöhe oder der Zustand der Sohle infolge Hebung zu Erhaltungsarbeiten an der Sohle. Die Entwässerungsleitungen steigen infolge der Sohlenhebung ebenfalls hoch. Durch dieses Phänomen wird das Gefälle in den Entwässerungsleitungen zu klein und das anfallende Wasser kann nicht mehr abgeführt werden. Die Sohle wird nicht mehr entwässert und verschlammte zusätzlich. Dies hat eine instabile Gleisanlage zur Folge, die aus betriebstechnischer Sicht nicht tragbar ist. Durch den Einbau eines Sohlgewölbes, respektive einer Sohlplatte, kann das Problem der Hebung und damit auch der Verschlammung weitgehend unterbunden werden. Die dadurch notwendige Erneuerung des Sohlgewölbes stellt oft den Hauptteil der Arbeiten einer Tunnelehaltung dar. Eine Übersicht der Verfahren zur Erhaltung der Sohle enthält Bild 7-1.

## 7.1 Sicherungsverfahren

Die Sicherungsverfahren umfassen die Baugruben- und die Betriebsgleissicherung. Viele Bauverfahren können beiden Teilgebieten der Sicherung zugeschrieben werden (Bild 7-2). Die projektspezifischen Rahmenbedingungen (vgl. Kap. 11) üben einen grossen Einfluss auf die Wahl und die Kombination der Bauverfahren aus.

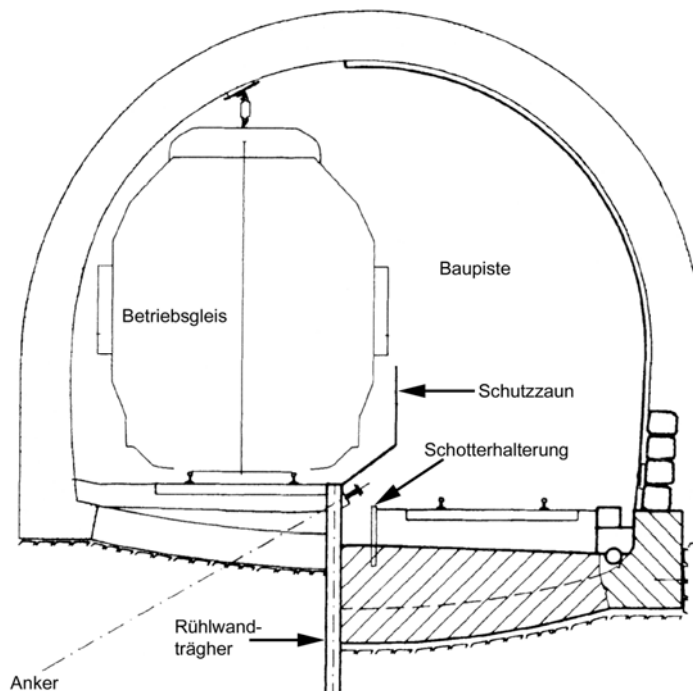


Bild 7-2: Sicherungsverfahren zur Baugruben- und Betriebsgleissicherung [8]

### Rühlwand

Während der Sohlarbeiten bildet die Rühlwand das Hauptsicherungsmittel eines zweigleisigen Bahntunnels. Sie stabilisiert das Betriebsgleis und übernimmt Funktionen der Baugrubensicherung beim einseitigen phasenweise Absenken der Sohle.

Die Rühlwandträger werden vor Beginn der Aushubarbeiten versetzt. Dazu müssen verrohrte Bohrungen durch den Bahnschotter erstellt werden. Die Rühlwand wird normalerweise mit Holz ausgefacht, da dadurch ein einfacher Rückbau möglich wird. Für das Bohren der Löcher und das Versetzen der Träger kann z.B. ein speziell entwi-

ckelter Bahnwagen zur Anwendung gelangen. Auf diesem Bahnwagen befinden sich zwei parallel arbeitende Bohrgeräte und ein Trägerversetzgerät (Bild 7-3).



Bild 7-3: Bohr- und Versetzwagen für Rühlwandträger [33]

### **Anker**

Anker stellen ein unverzichtbares Hilfsmittel für die Standfestigkeit der Rühlwand dar. Zusätzliche Sicherheit bringt eine Longarine, die zum Beispiel aus zwei U-Profilen besteht. Vorgespannte Anker erhöhen die Reibungswerte. Dadurch können auch beträchtliche vertikale Lasten übernommen werden. Anker werden meist vorauseilend eingebracht. Die Bohrgeräte sind demnach vorzugsweise, aber nicht zwingend, auf Bahnwagen stationiert.

### **Spriesse**

Ist das Gestein nicht ankerfähig oder nur unter grossem finanziellen und zeitlichen Aufwand oder aus anderen technischen und /oder baubetrieblichen Gründen nicht möglich sein, so werden Stahlsprisse eingesetzt. Sie haben die gleiche Aufgabe wie Anker, nämlich die Baugrubenwand- und Betriebsgleisstabilisation. Sie werden horizontal über die Baugrube verlegt, vor dem Sohlaushub eingebaut und sind periodisch zu prüfen. Die Nachteile von Stahlsprissen sind:

- stören unter baubetrieblichen Gesichtspunkten, da sie die Sohlarbeiten behindern
- werden erst wirksam, wenn Bewegungen stattfinden, die aufzunehmende Last kann sich vervielfachen.

### **Schotterbettverfestigung**

Die Schotterbettverfestigung wird im Zuge des Rühlwandbaus erstellt. Sie stellt eine Stabilitätssteigerung des Betriebsgleises dar. Verfestigt wird mittels Niederdruck-Zementmörtelinjektionen. Es kann später noch nachinjiziert werden, falls sich eine Betriebsgleisverkipfung einstellen sollte.

### **Schotterhalterung**

Der Schotter wird beidseitig z.B. mittels speziellen Stahlprofilen und Schaltafeln gegen Abrutschen gehalten.

### **Schutzwand**

Die Schutzwand schützt einerseits den Bahnbetrieb vor den Bauarbeiten und andererseits die Bauarbeiter vor dem Zugbetrieb. Sie wird meist auf die bereits erstellten Rühlwandträger aufgesetzt. Die Schutzwand kann aber auch mobil auf Bauwagen installiert werden (Bild 7-4).



Bild 7-4: Bauzug mit Schutzwand [33]

## **7.2 Ausbruchverfahren**

Die Ausbruchverfahren sind sehr vielfältig. Normalerweise wird aus wirtschaftlichen Gründen ein gewähltes Verfahren über die gesamte Erhaltungslänge beibehalten. Die Anwendung verschiedener Verfahren kann sich durch ändernde Rahmenbedingungen aber durchaus ergeben.

### **TSM**

Das Verfahren mittels TSM (Bild 7-5) wird in weichem bis mittelhartem Untergrund eingesetzt. Folgende Vorteile zeichnen es gegenüber dem üblichen Abbauhammerverfahren aus:

- weniger Lärmemissionen
- exakter Aushub (kein Überprofil!)
- höhere Leistungsfähigkeit
- geringere Erschütterungen

Daneben muss aber auch der schwerwiegende Nachteil des grossen Staubanfalls erwähnt werden (Entstaubungsanlage/Lüftung).



Bild 7-5: Sohlausbruch mit einer TSM auf einem Hydraulikbagger

### Hydraulische Sprenggräte

Hydraulische Sprenggeräte ermöglichen den Felsabbruch durch hohe Pressenkräfte. Vorgängig werden mit einem Bohrer Löcher von ungefähr 100 Millimeter Durchmesser erstellt. In diesen Löchern können die hydraulischen Keile angesetzt werden. Durch das Auseinanderpressen der Keile werden Felsteile ausgebrochen. Dieses Verfahren weist eine geringe Leistungsfähigkeit auf.

### Expansionsmörtel

(vgl. Kap. 6)

### Konventionelles Sprengen

Beim konventionellen Sprengen der Sohle sind folgende Punkte zu beachten:

- Die bestehende Fahrleitung darf nicht durch herumfliegende Trümmer zerstört werden.
- Das Haufwerk der Sprengung darf das Lichtraumprofil des Betriebsgeleises nicht beeinträchtigen.
- Die eingezogenen Installationsleitungen wie Wasser, Strom und Druckluft müssen entsprechend geschützt werden.
- Sprengungen dürfen nur bei gesperrtem Betriebsgeleise durchgeführt werden.

Da beim notwendigen schonenden Sprengen viele Löcher zu bohren sind, kommt vorzugsweise ein Bohrjumbo zum Einsatz (Bild 7-6). Die Auflagen des Bauherrn an das Bauverfahren "Konventionelles Sprengen" sind ausserordentlich hoch, was zum einen aufwendige Massnahmen mit sich zieht und zum andern die Leistung des Verfahrens mindert. Zur Erzielung der oben angeführten Randbedingungen müssen folgende Massnahmen getroffen werden:

- Sprengstelle muss sorgfältig mit Sprengschutzmatten (verstärkte Gummimatte mit Ketten- oder Seilnetzbewehrung sowie Autoreifen) gesichert werden
- Ladungen der Zündstufen sollten beschränkt werden und zeitlich so versetzt werden, dass es möglichst zu keiner grösseren Überlappung der Energieströme kommt

Trotzdem kann das Verfahren in hartem Gestein und/oder in total gesperrten Tunneln auch heute noch wirtschaftlich angewendet werden. Besonders Nischen werden oft gesprengt.



Bild 7-6: Bohrjumbo [33]

### **Abbauhammer**

(vgl. Kap. 6)

### **Belagsfräse**

Mit der Belagsfräse kann, ähnlich wie beim Strassenbelag, die Betonsohle abgehobelt werden. Dieses Verfahren eignet sich besonders für dicke unbewehrte Betonsohlen, wo eine Schwächung keine negativen Auswirkungen für die Querschnittstragfähigkeit hat.

### **Grabenfräse**

Die Grabenfräse (Bild 7-7) dient dem Aushub relativ schmaler, tiefer Gräben für Drainagezwecke. Die Anwendung dieses Spezialgerätes setzt meist eine Baupiste voraus. Die Leistungsfähigkeit der Grabenfräse ist im Lockergestein sehr gut, im weichen Mergel oder Sandstein noch relativ hoch. Die Leistung hängt vom Werkzeugbesatz und dem Anpressdruck des Gerätes ab. Ihr Einsatz ist aus Platzgründen und logistischen Überlegungen auf total gesperrte Tunneln beschränkt.





Bild 7-7: Grabenfräse [16]



Bild 7-8: Entwässerungsgraben mit Grabenfräse erstellt [36]

### 7.3 Schutterungsverfahren

Die Schutterung wird wie folgt untergliedert:

- Ladevorgang mit Ladegerät und/oder Übergabeeinheit
- Transport im Tunnel

Generell kann dieser Vorgang wie in allen Tunnelneubauten durchgeführt werden. Bei eingleisigen Tunneln und zweigleisigen Tunneln mit einseitigem Bahnbetrieb sind jedoch die Platzverhältnisse im Querschnitt so beengt, dass für das Beladen der Transporteinheit meist folgende Kombinationen eingesetzt werden:

- Hydraulikbagger (meist Tieflöffel) in Kombination mit einem Übergabe- bzw. Beladeband (Bild 7-10) für die Transporteinheit
- Kombinationsgerät, z.B. Schaeff Tieflöffelbagger mit Abbauhammer und integriertem Übergabeband oder TSM

Der Transport im Tunnel kann wie folgt durchgeführt werden:

- über das Baugleis mittels Bahnkipper oder seltener Flachbettwagen
- über die Baupiste mittels Muldenkipper im Vorwärts- und Rückwärtsverkehr bei ausgebauten Baugleisen
- mittels aufgehängtem Förderband und Bandspeicher (s. Baubetrieb II - Bauverfahren des Tunnelbaus)

#### Bahnschutterung

Ein strassen- oder schienengängiger Hydraulikbagger beschickt ein Förderband, welches das Aushubmaterial einem Bahnkipper zuführt (Bild 7-9). Anstelle der Bahnkipper können auch Flachwagen für die vorübergehende Bunkerung eingesetzt werden. Um das gebunkerte Material auf den zahlreichen Flachwagen zu verteilen, kann ein flachwagengestützter Raupenlader verwendet werden.



Bild 7-9: Bahnkipper mit Förderband

### **Förderbandschutterung**

Ein Bagger schuttert das Material auf ein Aufnahme- und Steigband, welches das am Gewölbe aufgehängte Förderband bedient. Die Installationen sind umfangreich, die erzielbaren Leistungen sehr gut (Bild 7-10).

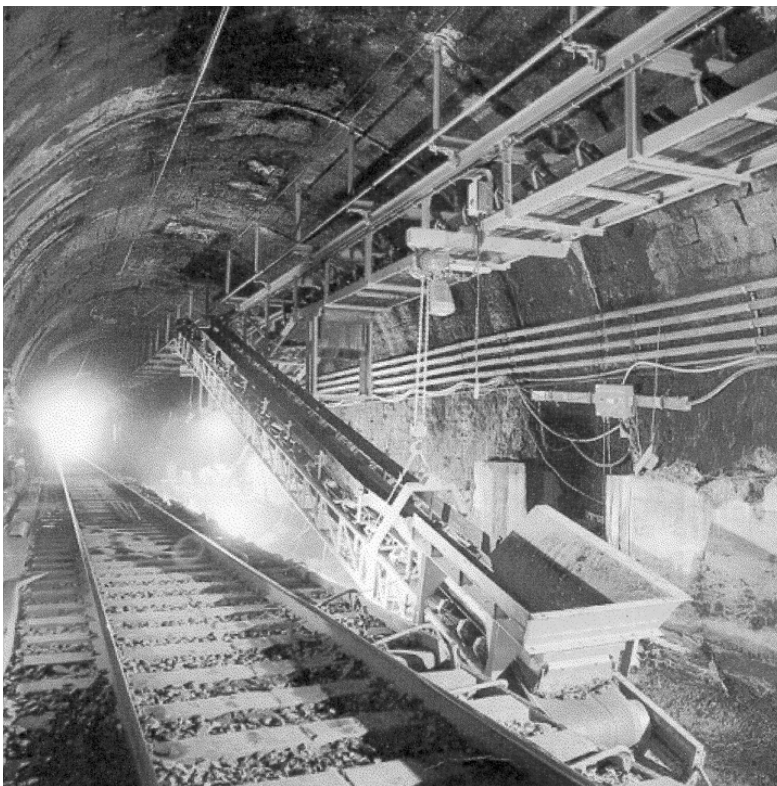


Bild 7-10: Förderbandschutterung

### **Baupistenschutterung**

Wird das Baugleis komplett ausgebaut oder der Tunnel total gesperrt, so eröffnet sich die Möglichkeit einer Baupistenschutterung. Mittels Hydraulikbagger oder Universal-ladegerät und Muldenkipper oder Dumper wird das Material geschuttert. Je nach Platzverhältnissen im Querschnitt ist beim Baggereinsatz ein Aufladeband erforderlich.

Meistens erfolgt der Schutterbetrieb in folgender Kombination:

Das Aufnehmen des gelockerten Materials erfolgt mittels Hydraulikbagger der das Beladeband über einen Aufgabetrichter beschickt. Das Beladeband ist an der Tunneldecke auf zwei abgehängten Schienen rollbar gelagert, um mit fortschreitenden Sohl- und Widerlagerausbruch nachgezogen werden zu können. Das Ladeband (Bild 7-10) besteht aus folgenden Teilbereichen:

- Aufgabe- und Steigband im Bereich des Ladegerätes
- horizontales Beladeband zum Unterfahren durch den Schutterzug (s. Baubetrieb II)

Die Verteilung des Ladeguts auf die Bahnkippwagen kann auch autark durch integrierte Beladebänder erfolgen, die auf den Transportwagen installiert sind (Bild 7-10). Bei diesem Konzept kann mit einem nachschleppbarem Aufgabe- und Steigband im Ladebereich gearbeitet werden. Die Bandlänge wird so ausgelegt, dass der erste Bahnwagen auf dem nachgelegten Baugleis erreicht wird.

## **7.4 Verfahren zur Neuerstellung der Sohle**

### **Zentrale Grabendrainage-Herstellung**

Bei der Herstellung der zentralen Grabendrainage wird ein tiefer Schlitz durch eine Grabenfräse erstellt, falls das Bodenmaterial dies zulässt. Dabei wird das bestehende Bauwerk, vor allem der heikle Widerlagerbereich, kaum tangiert. Die Grabenfräse ist strassengängig ausgebildet, das heisst, dass die Gleisanlagen vor einem Einsatz entfernt werden müssen (Bild 7-7). Ausserdem ist in einem vorgängigen Arbeitsgang der Schotter abzutragen. Nachfolgend wird der Schlitz mit der Grabenfräse erstellt. Die Sickerleitung wird verlegt und der Graben mit einem einstufigen Filterkies verfüllt. Allerdings ist eine Totalsperrung des Tunneln Voraussetzung für den Einsatz der Grabenfräse. Mit der zentralen Grabendrainage kann ein Vernässen der Sohle und das damit verbundene Aufsteigen von Filtermaterial wirkungsvoll unterbunden werden. Die Problematik einer Drainage, die sich in der Mittelachse befindet, besteht darin, dass das Gebirgswasser des Gewölbes am Widerlager austritt und über die Tunnelsohle der mittleren Drainage zugeführt wird. Das hat meistens zur Folge, dass das Schotterbett permanent durchfeuchtet und feinste Sedimente eingeschwämmt werden und das Schotterbett langfristig destabilisieren.

### **Sickerleitungsherstellung**

Die gebräuchlichste Methode der Neuerstellung der Tunnelentwässerung ist das Versetzen von Sickerleitungen entlang der Widerlager (Bild 7-11). Die Sickerleitung nimmt das Wasser aus der Gewölbeabdichtung, üblicherweise einer dichten, ca. 7 bis 10 cm starken Spritzbetonschale auf und leitet es der Vorflut zu. Die Sickerleitungen werden entlang beider Widerlager erstellt, wobei sie durch Querleitungen miteinander verbunden sein können. Bevor die Entwässerungselemente jedoch versetzt werden können, müssen einige Arbeitsgänge bereits ausgeführt sein. Vorgängig muss ein Unterlagsbeton eingebracht werden. Darauf wird gewöhnlich eine Dichtungsfolie verlegt.

Schliesslich folgt die Sohlbewehrung und das Einbringen des Betons (Bild 7-12). Nach dem Verdichten und Erhärten des Betons können die Entwässerungselemente in die entsprechenden Aussparungen verlegt und der Schotter eingebracht werden.

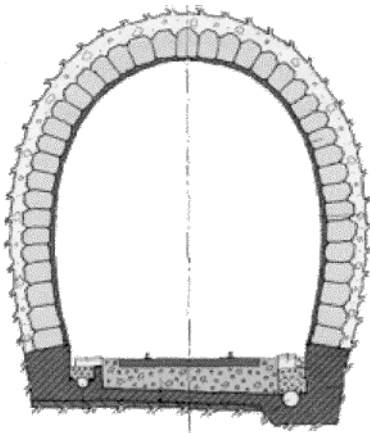


Bild 7-11: Sickerleitung entlang der Widerlager

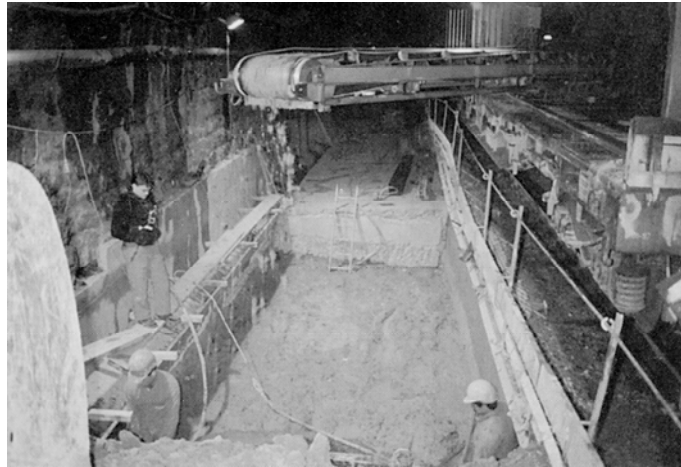


Bild 7-12: Betonieren der Sohle [8]

### Herstellung der Hauptentwässerung

Der Einbau der zentral liegenden Hauptentwässerungselemente und der Drainageleitungen erfolgt nach dem Einbringen des Unterlagsbetons und der Dichtungsfolie. Anschliessend wird die Sohle bewehrt und betoniert. Die Entwässerungselemente können später also nicht mehr ausgewechselt werden und müssen deshalb unterhaltsfreundlich ausgebildet sein. Das anfallende Wasser im Gewölbe wird mittels Quer- und Längsdrainageleitungen der Hauptentwässerung zugeführt. Für das Versetzen der schweren, vorfabrizierten Entwässerungselemente kann z.B. ein speziell angefertigtes, bahngestütztes Verlegegerät zur Anwendung gelangen (Bild 7-13). Das Verlegegerät besteht aus einer tischartigen Rahmenkonstruktion mit Laufkatze und Hebeeinrichtung, deren Rahmenstiele mit Radsätzen ausgerüstet sind, die ein Längsverfahren der Rahmenkonstruktion (Sonderportalkran) ermöglichen. Dadurch können die Elemente von den Flachbettwagen aufgenommen und versetzt werden. Auf dem Flachbettwagen werden Fahrschienen montiert, die im Bereich der Wagenübergänge z.B. durch demontierbare Zwischenstücke (während der Zugfahrt) verbunden werden können. Die Rahmenkonstruktion muss möglicherweise mit einem Gegengewicht ausgerüstet werden, um beim Absenken des Entwässerungselements die Kippstabilität des Rahmens zu sichern. Die Laufkatze kann mit einer Elektroseilwinde oder Hydraulikzylinder zum Heben der Elemente ausgerüstet werden. Dieses von Flachwagen zu Flachwagen verschiebbare Verlegegerät versetzt die Elemente innert kürzester Zeit.

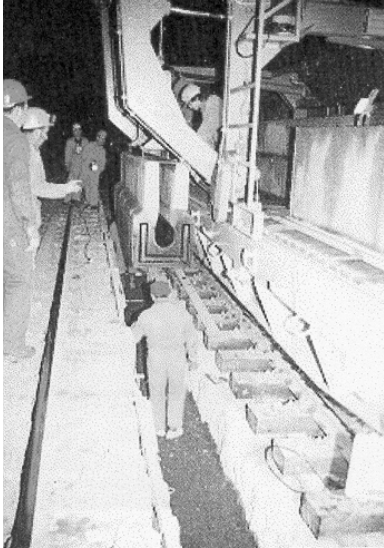


Bild 7-13: Verlegegerät mit Hauptentwässerungselement

## 8 Verfahren zur Erhaltung des Gewölbes

Die Erhaltung des Gewölbes lässt sich in zwei Hauptgruppen gliedern:

- Die Neuerstellung mit statischer Wirkung beinhaltet den Totalabbruch des alten Gewölbes und den Wiederaufbau eines neuen Gewölbes in der Ort- oder in der Spritzbetonbauweise.
- Die Neuerstellung ohne statische Wirkung beinhaltet das Aufbringen einer dichten, ca. 7 bis 10 cm starken Spritzbetonschale auf das alte Gewölbe. Es kann sich dabei als erforderlich erweisen, das alte Gewölbe örtlich abzutragen und/oder das Gewölbe punktuell mit Spritzbetonplomben instand zu setzen.

Nachfolgend werden die für beide Hauptgruppen zur Anwendung gelangenden Ausbruchverfahren dargestellt.

### 8.1 Ausbruchverfahren

#### Konventionelles Sprengen

Dieses Verfahren kann bei sehr hartem Gestein oder in total gesperrten Tunnel, trotz strengen Auflagen seitens der Bauherren, wirtschaftlich angewendet werden. Es wird jedoch vermehrt durch das Bauverfahren "Schrämen" abgelöst.

#### Schrämen

Dank der neuen leistungsfähigen und kompakten Arbeitsgeräte (Hydraulikbagger, Steinsägen), stellt das Schrämen heute das meist verwendete Bauverfahren für einen totalen Gewölbeausbruch dar. Mit dem Ausdruck Schrämen wird das Vorschneiden des Mauerwerks/Gesteins mit einer Steinsäge und der nachträgliche Ausbruch der Gesteinsrippen mit dem Abbauhammer oder einer speziellen, mehrblättrigen Steinsäge verstanden (Bild 8-1). Beim Einsatz der mehrblättrigen Steinsäge beträgt der Schnittabstand ca. 5 Zentimeter. Die verbleibenden schmalen Gesteinsrippen können problemlos mit einem Flachmeißel oder einem leichten Abbauhammer ausgebrochen werden (Bild 8-2).

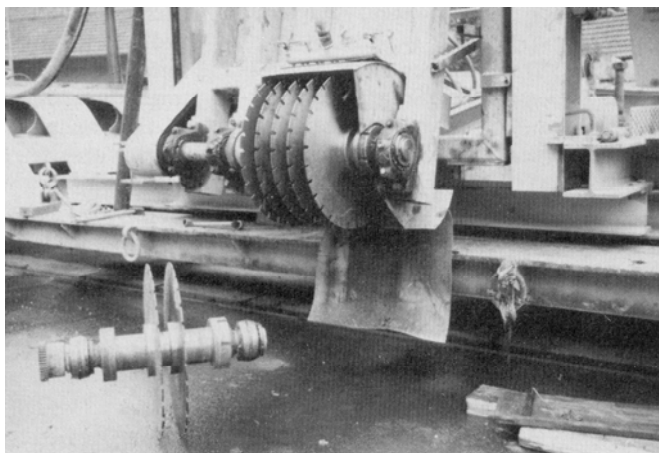


Bild 8-1: Mehrblättrige Steinsäge [35]

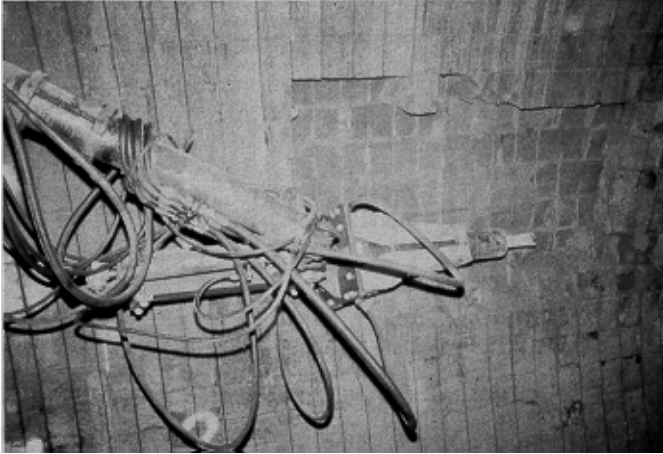


Bild 8-2: Hydraulischer Meißel zum Gewölbeabtrag [35]

Beim Ausbruchverfahren mit dem Abbauhammer kommt eine einblättrige Steinsäge zur Anwendung. Sie soll mittels Begrenzungsschnitten die Auflockerung des anstehenden Mauerwerks verhindern, was beim Abbauhammerverfahren ohne Begrenzungsschnitt nur mit ungenügendem Erfolg erreicht wird.

Steinsägen können auf einem Bahnwagen montiert und manuell oder über eine Automatik betrieben werden (Bild 8-3). Die Arbeitsweise ist dann wie folgt (Bild 8-4): Der Sägekopf (1) wird über den Zylinder (2) via Tastrollenventil (3), das eine verkleinerte Tunnelkontur-Schablone (4) abfährt, angesteuert. Die Position des Sägekopfes wird über ein mit der Schablone verbundenes Gestänge (5) festgelegt. Der Vorschubzylinder (6) sowie der Blattantrieb werden manuell über die Fernbedienung betrieben. Bei manueller Arbeitsweise werden alle Bewegungen über die Fernbedienung einzeln betrieben.

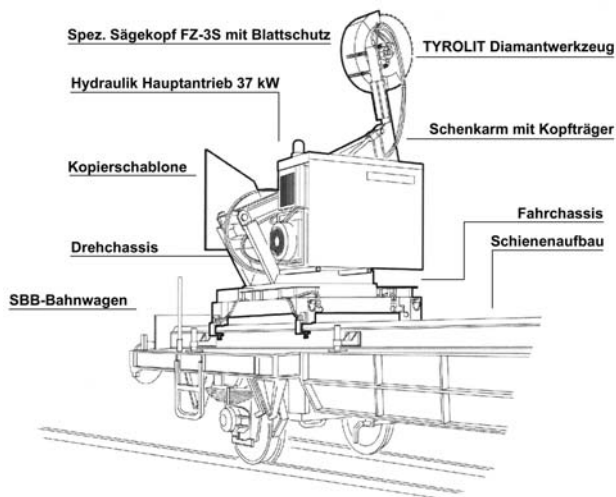


Bild 8-3: Steinsäge auf Bahnwagen [37]

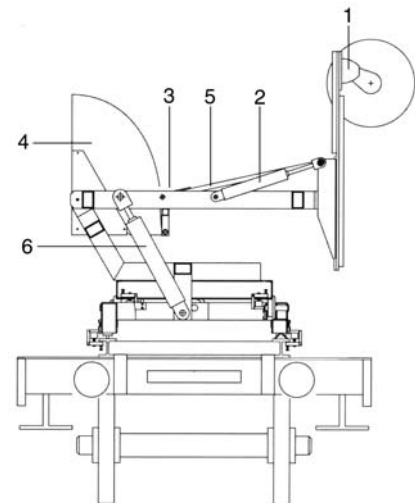


Bild 8-4: Arbeitsweise [37]

Nach dem Ausbruch wird die Hinterfüllung ausgeräumt. Als bevorzugtes Sicherungsmittel kommen dafür Stahlbögen zum Einsatz. Dadurch kann ein sicheres Ausräumen der Hinterfüllung gewährleistet werden (Bild 8-5).

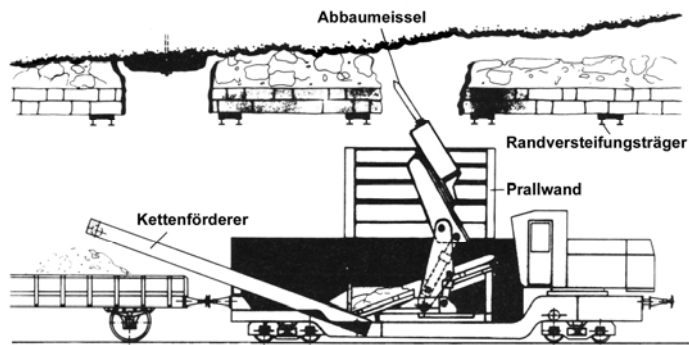


Bild 8-5: Ausräumen der Gewölbehinterfüllung [35]

## Fräsen

Heutzutage werden vermehrt speziell entwickelte TSM für das Fräsen des Mauerwerks eingesetzt (Bild 8-6). Eine TSM weist folgende Vorteile auf:

- eine gute Leistung bei Mauerwerk mit kleiner bis mittlerer Festigkeit
- schonender Abbau des Tunnelgewölbes (geringe Erschütterungen)
- Bauzeitverkürzung durch gleichzeitiges Schrämmen, Laden, Übergeben
- sofortige und kontinuierliche Schutterung des Ausbruchmaterials

Allerdings hat dieses Bauverfahren auch einige Nachteile zu verzeichnen:

- schmale Schlitze sind schwierig zu erstellen
- Fräsen eines bewehrten Gewölbes ist fast nicht möglich
- relativ teures Gerät, wenn Schrämmkopf nicht auf Hydraulikbagger aufgesetzt
- punktförmige, hohe Drücke auf das Mauerwerk
- starke Staubentwicklung
- Abfräsen von Mauerwerk hoher Druckfestigkeit schwierig (kleine Leistung, hoher Meisselverbrauch)

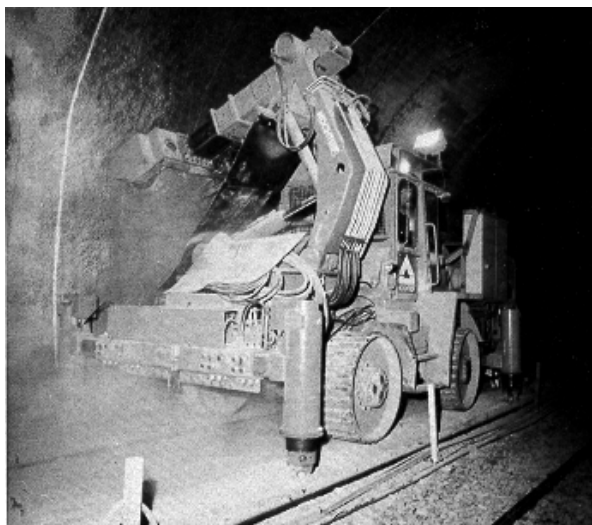


Bild 8-6: Fräsen des Gewölbes



## Abbohren

Das Erstellen von aneinandergereihten Löchern beliebiger Tiefe mittels Schlagbohrmaschine wird als "Abbohren" bezeichnet. Die sogenannte Bohrfräse (Bild 8-7) kann zum flächenhaften, genauen Abtrag von Mauerwerk eingesetzt werden. Die Leistungsfähigkeit ist relativ hoch. Bei nicht allzu hartem Gestein ist auch der Verschleiss der Bohrkronen begrenzt. Dieses Verfahren wurde am Arlbergtunnel sehr erfolgreich eingesetzt und dürfte auch in der Zukunft eine interessante Alternative bei grossflächigem Gewölbeabtrag darstellen. Die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens entsprechen denjenigen des Bauverfahrens "Fräsen".

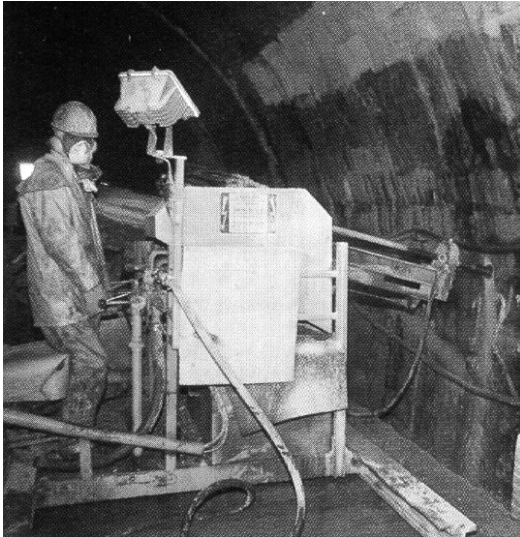


Bild 8-7: Bohrfräse

## Alternative Bauverfahren

Ein vielversprechendes Verfahren stellt das Schneiden und Abtragen von Betongewölben mittels Wasserhochdruck dar. Dieses Verfahren wird bei Betonerhaltungsarbeiten schon längere Zeit angewendet. Für Tunnelerhaltungen in Bahntunneln kam es bisher aber noch nie zum Einsatz, da die alten Gewölbe meist aus Mauerwerk und nicht aus Beton bestehen. Ausserdem ist bei der Verwendung des Wasserhochdruckverfahrens äusserste Vorsicht bezüglich quellfähigen Gesteinen wie Anhydrit oder Tonmineralien geboten. Diese Gesteine können bei grossem Wasseranfall enorme Quelldrücke entwickeln und stellen somit eine grosse Gefahr für das gesamte Bauwerk dar.

## 8.2 Verfahren zur Neuerstellung mit statischer Wirkung

Die Neuerstellung mit statischer Wirkung zeichnet sich durch einen kompletten Einbau eines neuen Gewölbes aus. Grundsätzlich kann von einer Ort- und einer Spritzbetonbauweise gesprochen werden. Die Verfahren beider Bauweisen sind in Bild 8-8 zusammengefasst. Der Verfahrensablauf ist:

- 1) Abbruch bzw. Abtrag des alten Gewölbes
- 2) Sicherung von bestehendem Gewölbe und Gebirge
- 3) Schutterung des abgetragenen Materials
- 4) Neuerstellung des Gewölbes

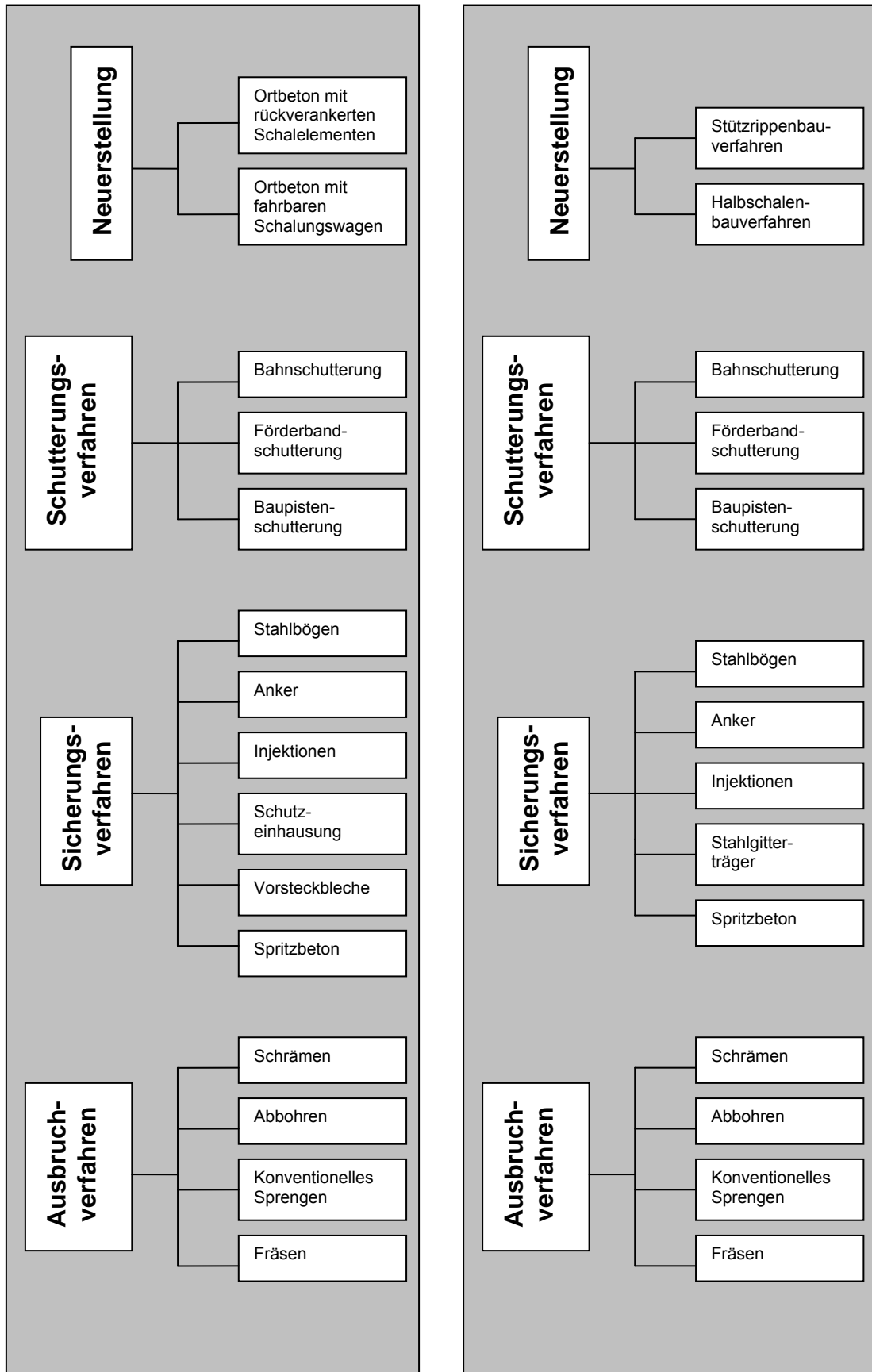


Bild 8-8: Verfahren zur Neuerstellung des Gewölbes mit statischer Wirkung

### 8.2.1 Ortbetonbauweise

Bei der Ortbetonbauweise kommen folgende zwei Schalungstypen zur Anwendung:

- rückverankerte Schalelemente
- fahrbare Schalwagen, die zusätzlich noch Schutzaufgaben bezüglich des Betriebsgleises übernehmen können.

Schalwagen werden ausserdem als Arbeitsbühne verwendet und führen verschiedenste Arbeitsgeräte wie Bohr- und Schrämwerkzeug, Spritzbetonausrüstung, hydraulische Pressen für die Vorsteckbleche, etc. mit sich. Solche Schutz- und Schalwagen bieten eine hohe Sicherheit bezüglich des Zugbetriebes. Typischerweise werden sie bei Einspurtunnels angewendet (Bild 8-9). Doch auch bei Doppelspurtunnels stellen sie eine interessante Alternative dar, wobei während des Baus das eine Gleis abgebrochen und das Betriebsgleis in die Tunnelachse verlegt werden muss. Der Schutz- und Schalwagen muss folgende drei Bedingungen zwingend erfüllen:

- Das Lichtraumprofil der Bahn darf nicht verletzt werden
- Der Schutz- und Schalwagen muss so ausgebildet werden, dass er zusammengeklappt werden kann, um in den Tunnel ein- und auszufahren.
- Von der Arbeitsbühne aus müssen alle zu bearbeitenden Stellen des Gewölbes erreichbar sein.



Bild 8-9: Schalwagen

Bei sehr schlechtem Mauerwerk, das heisst dort wo mit einem Gewölbeneinbruch durch kollabierendes Mauerwerk gerechnet werden muss, können vorseilend Stahlbögen zwischen Schutzwagen und Gewölbe eingebracht werden. Über die Stahlbögen werden dann die Vorsteckbleche eingetrieben. Unter deren Schutz wird die Hinterpackung ausgeräumt und das Gewölbe abgebrochen. Als primärer Schutz wird eine mit Ankern und Baustahlnetzen gesicherte Spritzbetonschale aufgespritzt. Nach dem Einbau der Flächendrainage in Form einer Noppenfolie, dem Verlegen der Bewehrung und dem Setzen der Anker, wird das Ortbetongewölbe in Etappen von ca. 10 Meter betoniert.

Betoniert wird jeweils während der Betriebspausen, da der Schalwagen für seine Stabilität im Bauzustand Queraussteifungen benötigt, die das Lichtraumprofil der Bahn

durchdringen. Nach ungefähr drei Stunden Erhärtungszeit werden die Queraussteifungen ausgebaut und die Schalhaut mittels Ankern im Fussbereich gesichert. Der Beton muss eine hohe Frühfestigkeit aufweisen, damit baldmöglichst ausgeschalt werden kann. Diese Ausschaltfrist ist, um einen vernünftigen Betonrhythmus einhalten zu können, auf ca. 12 Stunden angesetzt. Der Organisation des Betontransports und dem Nachweis der Frühfestigkeit gilt es besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

### **8.2.2 Spritzbetonbauweise**

Bei der Spritzbetonbauweise wird das neue Gewölbe ausschliesslich in Spritzbeton erstellt. Somit entfällt jegliche Art von Schalungsarbeiten. Der Ausbruch des alten Gewölbes wird heute vor allem durch die Bauverfahren "Schrämen" und "Fräsen" geprägt. Das konventionelle Sprengen ist aus Gründen der Sicherheit eher in den Hintergrund getreten, kann aber bei sehr hartem Gestein nach wie vor wirtschaftlich eingesetzt werden. Bei allen Abbruchbauverfahren kommt ein lamellenweiser Abbruch zur Anwendung.

Je nach Rahmenbedingungen werden für die Neuerstellung das übliche "Stützrippenbauverfahren" oder das eher seltene "Halbschalenbauverfahren" angewendet.

Bei beiden Verfahren wird der Spritzbeton

- entweder auf die vorhandene Schale aufgebracht, wenn das Lichtraumprofil nicht verletzt wird
- oder erst nach Abbruch der alten Schale aufgebracht, wenn das Lichtraumprofil verletzt wird

Der wesentliche Unterschied der beiden Bauverfahren besteht im Bauzustand der Spritzbetonschale.

### **Halbschalenbauverfahren**

Die einseitig aufgespritzte Spritzbetonschale (Bild 8-10) wird über die ganze Erhaltungslänge oder Teilen davon, mittels Ankern an das Restmauerwerk oder den dahinterliegenden Fels aufgehängt. Der grosse Vorteil besteht darin, dass man die Erhaltung einseitig auf der ganzen Länge durchführen kann, ohne dass ein Gleiswechsel notwendig wird. Allerdings sind ein gut erhaltenes Mauerwerk oder ein guter Fels Voraussetzung, um dieses Verfahren erfolgreich anzuwenden. Eine ständige Kontrolle, vom Ausbruch bis zum Ringschluss, ist wegen der Gefahr eines Gewölbeeinbruchs notwendig.



Bild 8-10: Einspritzen von Halbschalen

### Stützrippenbauverfahren

Es werden in regelmässigen Abständen Spritzbetonringe über das ganze Gewölbe erstellt (Bild 8-11). Die Spritzbetonrippen können durch eingespritzte Stahlgitterträger oder Stahlbögen verstärkt werden (Bild 8-12). Es muss ein schneller Ringschluss angestrebt werden. Dies zieht häufige Gleiswechsel mit sich. Die halbseitigen Stützrippen werden durch temporäre Anker bis zum Ringschluss gehalten. Sobald die Stützrippen stehen, kann mit dem endgültigen Einspritzen des Gewölbes begonnen werden. Wird das Lichtraumprofil der Bahn verletzt, müssen die Stützrippen in zuvor ausgebrochene Stützrippennischen versenkt werden. Dies bedeutet einen nicht unerheblichen Mehraufwand.

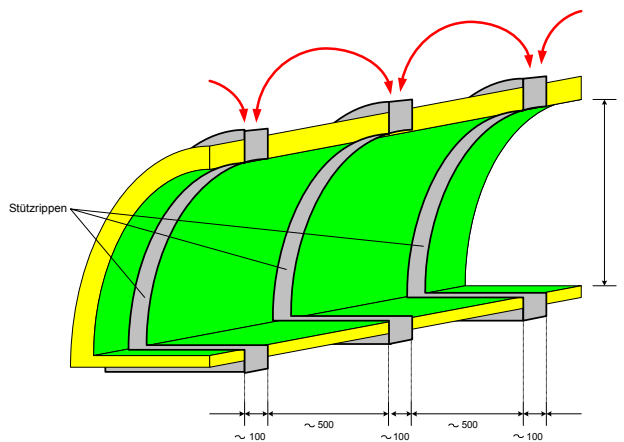


Bild 8-11: Prinzip des Stützrippenbauverfahrens



Bild 8-12: Stützrippen mit rückverankerten Stahlbögen

### 8.3 Verfahren zur Neuerstellung ohne statische Wirkung

Bei der Neuerstellung des Gewölbes ohne statische Wirkung besteht das Hauptziel in der Vergrößerung des Lichtraumprofils und in der Abdichtung des Tunnelgewölbes. Sie erfolgt in den Schritten

- Abtrag des Mauerwerkes
- Schutterung
- Aufbringen einer Isolierung mit Entwässerung
- Aufbringen einer Spritzbetonschale

Dabei wird das Mauerwerk nicht abgebrochen, sondern, wo es erforderlich ist, nur geometrisch angepasst. Es bildet weiterhin zusammen mit dem Gebirge die statische Tragschale des Tunnels. Die aufgespritzte dichte Spritzbetonschale trägt die Regenschirmflächenisolierung sowie sich selbst, kann aber keine zusätzlichen Gebirgslasten übernehmen. Sie muss zudem bis zu einem gewissen Grad den möglichen Stauwasserdruck aufnehmen. Die Verfahren zur Neuerstellung des Gewölbes ohne statische Wirkung sind in Bild 8-13 dargestellt.

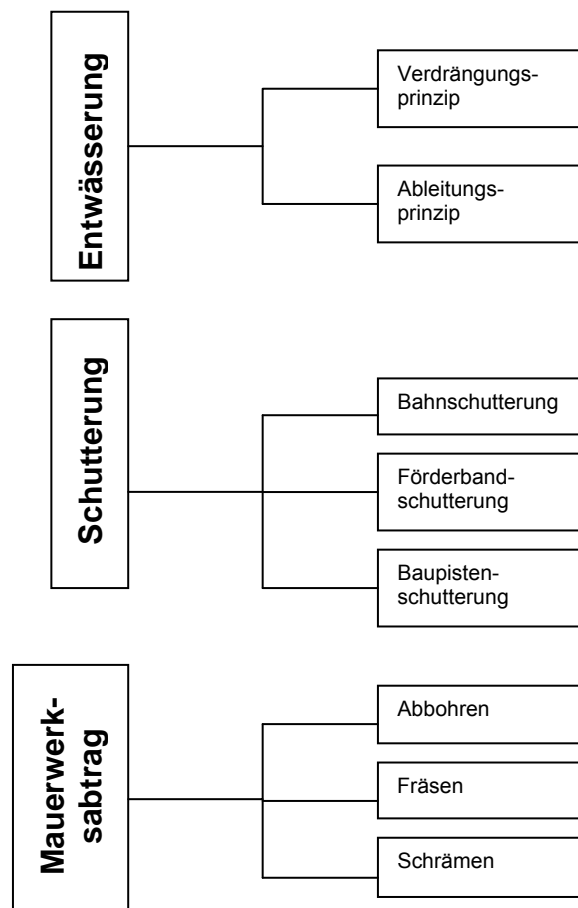


Bild 8-13: Verfahren zur Neuerstellung des Gewölbes ohne statische Wirkung

#### 8.3.1 Entwässerung

Zur Trockenlegung und Wasserableitung eines Tunnels verwendet man meist die folgenden Methoden:

- flächenhaftes Ableitungsprinzip (Regenschirmprinzip)
- Drainageschlitzsystem in äquidistanten Abständen im Querprofil
- Bau von einem zusätzlichen Entwässerungstollen

### Ableitungsprinzip

Das Ableitungsprinzip wird meist bei flächenhaftem Wasseraustritt angewandt. Es wird, wenn das Tunnelprofil ausreichend ist, eine Isolierfolie mit Drainagematte auf das bestehende Tunnelgewölbe aufgebracht und mit Tellerankern befestigt. Auf diese Folie wird dann eine 7-15 cm Dicke Spritzbetonschale aufgebracht, die als Isolierträger dient (Bild 8-14). Am Fusspunkt wird das Drainagewasser an einer Längsrigole aufgefangen und abgeleitet. Bei diesem System müssen die Gefahren der Versinterung vorher intensiv untersucht und entsprechende Massnahmen getroffen werden, z.B. Rückstaurigolen mit Syphone, um keine Luft einzulassen.

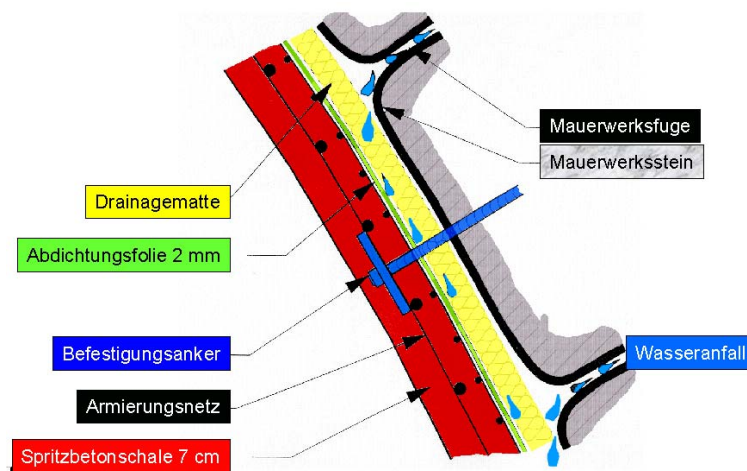


Bild 8-14: Ableitungsprinzip mit Spritzbetonschicht und Isolierung

### Drainageschlitzsystem

Um lokal quellartige Wasseraustritte abzuleiten, verwendet man das Drainageschlitzverfahren. Das vorhandene Mauerwerk wird lokal mittels Diamant-Kreissäge geschlitzt und das dazwischen liegende Mauerwerk mittels Abbauhammer ausgestemmt. Um das Wasser frühzeitig von der Tunnelschale abzufangen und gezielt dem Schlitz zuzuführen, können zusätzliche Entwässerungsbohrungen fächerartig vom Schlitz vorgetrieben werden. Das Wasser wird im Schlitz mit Beton eingespritzten Kunststoffhalbschalen abgeleitet. Diese sind mit Spülöffnungen versehen (Bild 8-15). Dies ist ein Vorteil gegenüber dem Ableitungsprinzip.

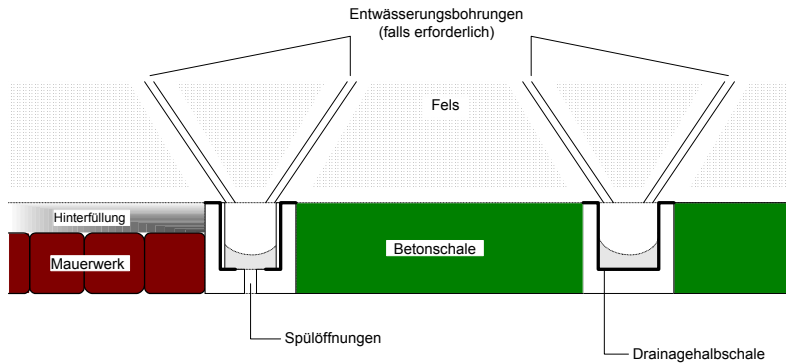


Bild 8-15: Drainageschlitz mit zusätzlichen Entwässerungsbohrungen

### Entwässerungsstollen

Bei bestehenden Tunnelbauwerken, die sich im Bereich von schwankenden Grundwasserspiegeln befinden, die die Sohle erreichen können und möglicherweise noch zusätzlich ein Quellen von anhydrithaltigen Böden hervorrufen, haben sich zusätzliche Drainagestollen bewährt. Der Drainagestollen wird z.B. unterhalb der Tunnelröhre (Bild 8-16) oder zwischen zwei Tunnelröhren (Bild 8-17) angeordnet. Mit im Querprofil angeordneten Drainagebohrungen (Brunnen) wird das Wasser gezielt abgesenkt in den Stollen abgeleitet oder gepumpt. Diese Massnahme ist entwässerungstechnisch sehr effizient, aber folgende Aspekte sollten berücksichtigt werden:

- Das Gebirge wird grossflächig entwässert
- Entwässerungsstollen und Drainagebohrungen mit der entsprechenden Ausrüstung sind relativ teuer und aufwendig

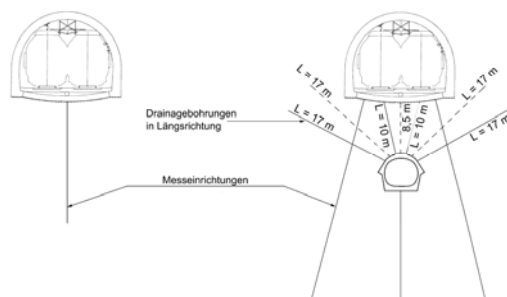


Bild 8-16: Drainagestollen unterhalb einer Tunnelröhre [36]

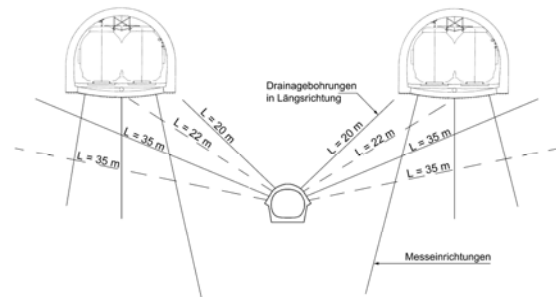


Bild 8-17: Drainagestollen zwischen zwei Tunnelröhren [36]



## 9 Bahntechnische Arbeiten

Die bahntechnischen Arbeiten werden vorwiegend von Fachdiensten der SBB ausgeführt. Sie werden in Zukunft jedoch verstärkt von der SBB ausgelagert im Rahmen moderner schlanker Managementstrategien, die sich auf die Kernkompetenzen konzentrieren. Die bahntechnischen Arbeiten umfassen die Erstellung der Gleisanlagen, der Fahrleitung einschliesslich der Tragwerke, der Kabel und der Sicherungsanlagen (Bild 9-1). Die Arbeiten beanspruchen im Allgemeinen sehr viel Zeit im Bauprogramm und Es wird nicht weiter auf sie eingegangen. Anzumerken bleibt noch, dass der Gleisneubau und andere bahntechnische Arbeiten vermehrt auch vom Bauunternehmer ausgeführt werden.

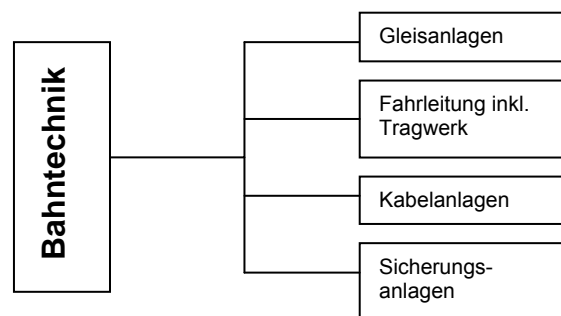


Bild 9-1: Bahntechnische Arbeiten

## 10 Zusammenfassung

Bei den Verfahren zur Tunnelerhaltung kann von einem recht hohen Mechanisierungsgrad gesprochen werden. Vor allem multifunktionale Arbeitsgeräte, wie zum Beispiel Hydraulikbagger, TSM, Bohrgeräte, etc. werden vermehrt eingesetzt. Aufgrund der meist sehr engen Platzverhältnisse müssen die Geräte kompakt gebaut sein und sollten eine hohe Leistungsfähigkeit aufweisen. Eine starke Tendenz zum TSM-Abbruchverfahren kann dabei für den Sohlausbruch und den Gewölbeabtrag verzeichnet werden. Trotzdem bleibt auch die Handarbeit eine wichtige Komponente in dem äusserst vielfältigen und sich schnell ändernden Bauablauf von Tunnelerhaltungsmassnahmen. Zur Effizienzsteigerung und Kostenoptimierung sollte man bereits bei der Planung der Massnahmen möglichst mechanisierte Verfahren berücksichtigen. Oft werden Erhaltungsmassnahmen nur nach  $m^2$  oder  $m^3$  Abbruch bzw. Gewölbeneuerstellung geplant. Dabei wird oft übersehen, dass viele kleinflächige Arbeiten mit sehr unregelmässigen geometrischen Formen entstehen. Zudem werden Methoden kleinflächig gewechselt. Viele Planer glauben, dadurch die Kosten zu minimieren. Aber das permanente Wechseln erhöht den baubetrieblichen Aufwand und senkt die Leistungen. Das bedeutet, dass bei jeder Arbeitsänderung Geräte, Methoden, Verfahren neu mobilisiert und demobilisiert werden müssen. In dieser Zeit wird keine Leistung erbracht und die allgemeinen Projektkosten steigen gegenüber den direkten Leistungskosten überproportional. Ferner entwickelt sich durch den permanenten Wechsel von Abschnittsgrössen, Verfahren und Methoden kein Arbeitsrhythmus und Taktplan. Die Arbeiten bewegen sich permanent in der Lernkurve mit suboptimalen Leistungen. Daher sollten Erhaltungsmassnahmen von Planern und Unternehmern gemeinsam geplant werden, damit optimale Arbeitsabschnitte entstehen, die vom Arbeitsrhythmus auf die Betriebspausen und Zeitfenster in Tages- und Wochentakt abgestimmt werden. Durch eine interaktive Bauphasenverzahnung von Planung und Ausführung lassen sich Kosten minimieren. Im Rahmen beschränkter funktionaler Ausschreibung können kompetente Unternehmen oder Kooperationen neue Geschäftsfelder entwickeln.

## 11 Rahmenbedingungen

Es werden nur die relevanten, spezifisch auf den Bauprozess "Tunnelerhaltung" ausgerichteten Rahmenbedingungen näher betrachtet. Es gibt noch zahlreiche weitere Rahmenbedingungen, die den Bauprozess, die Bauweisen und die Bauverfahren beeinflussen. Zu diesen gehören die "Auflagen von Behörden" und die vorhandenen "produktionstechnischen Faktoren des Unternehmers". Diese Rahmenbedingungen gelten jedoch nicht speziell für den Bauprozess "Tunnelerhaltung", sondern sind projekt- bzw. auftraggeberspezifisch und werden deshalb auch nicht weiter berücksichtigt. Die Bild 11-1 verschafft einen Überblick über die Rahmenbedingungen.

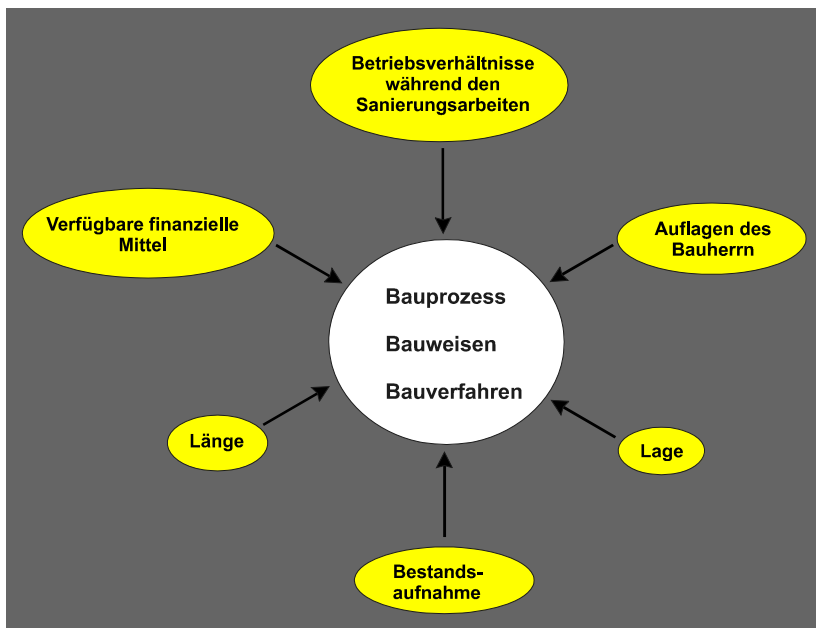


Bild 11-1: Übersicht über die relevanten projekt- und objektspezifischen Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen können in projektspezifische und objektspezifische Rahmenbedingungen gegliedert werden (Bild 11-2). Die projektspezifischen Rahmenbedingungen weisen einen besonders starken Einfluss auf die Wahl der Bauverfahren auf. Die objektspezifischen Rahmenbedingungen üben einen geringeren aber nicht unwesentlichen Einfluss auf den Bauprozess "Tunnelerhaltung" beziehungsweise auf die Wahl der Bauverfahren aus.

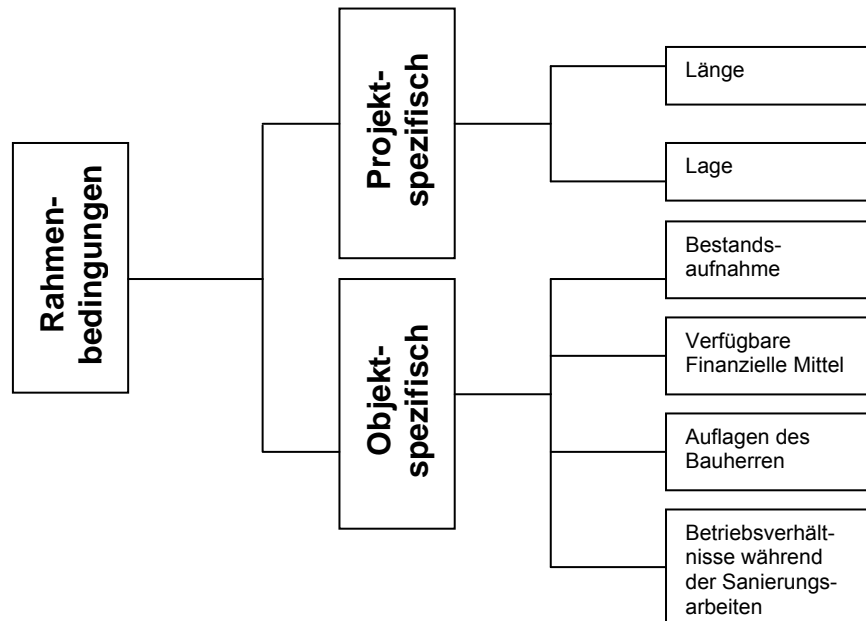


Bild 11-2: Strukturierung der Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen erweisen sich in ihren Abhängigkeiten als äusserst komplex. Welche Abhängigkeit oder welcher Einfluss für die Wahl der Bauverfahren massgebend wird, hängt vom Projekt selbst ab. Die Findung der besten Bauverfahren entspricht einem Optimierungsprozess, der durch gegenseitige Einflüsse und Rückkopplungseffekte der Rahmenbedingungen und der Bauverfahren geprägt ist.

Als vielleicht wichtigster gegenseitiger Einfluss zwischen zwei Rahmenbedingungen, ist jener zwischen den "Betriebsverhältnissen während den Erhaltungsarbeiten" und den "Auflagen des Bauherrn" zu bezeichnen. Die Auflagen des Bauherrn haben in erster Linie die Betriebssicherheit zum Ziel. Die Betriebssicherheit und die Betriebserhaltung bilden die Grundlage zur Festlegung der Betriebsverhältnisse während den Erhaltungsarbeiten. Durch diese eindeutige Bestimmung der Betriebsverhältnisse wird die Terminvorgabe für den gesamten Bauprozess "Tunnelerhaltung" geprägt. Diese terminlichen Einflüsse wirken sich ihrerseits wieder auf die Auflagen des Bauherrn aus (Rückkopplung). Es resultiert ein Teiloptimierungsprozess, der zusätzlich von weiteren Rahmenbedingungen beeinflusst wird.

Ein weiterer, grundlegender Optimierungsprozess stellen die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den "verfügbaren finanziellen Mitteln" und der "Bestandsaufnahme" dar. Die verfügbaren finanziellen Mittel bestimmen den Aufwand der Bestandsaufnahme. Je nach Aussagekraft und Resultat der Bestandsaufnahme müssen die verfügbaren finanziellen Mittel angepasst werden.

Die Länge hat einen direkten Einfluss auf die "Betriebsverhältnisse während den Erhaltungsarbeiten". Wobei sich dieser Einfluss auf die Betriebsverhältnisse eines Doppelspur隧nells beschränkt. So macht es durchaus Sinn, in einem sehr langen Doppelspur隧nells die eingleisige Betriebserhaltung nur etappenweise einzuführen. In einem sehr kurzen Tunnel kann hingegen die einseitige Entfernung der gesamten Gleisanlage eine gute Lösung darstellen.

## 11.1 Betriebsverhältnisse während der Erhaltungsarbeiten

Es lassen sich die in Bild 11-3 aufgeführten Betriebsverhältnisse bei der Erhaltung von Bahntunneln unterscheiden.

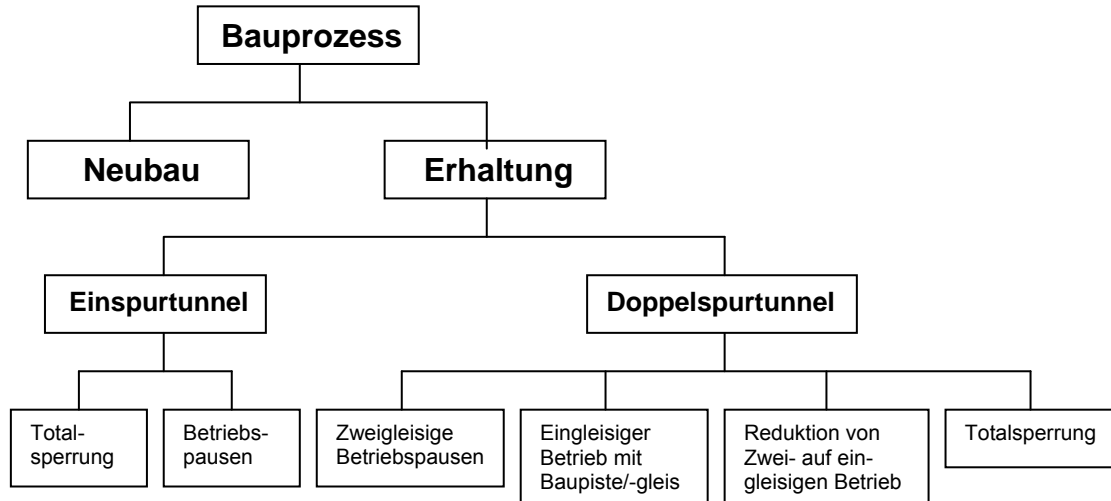


Bild 11-3: Mögliche Betriebsverhältnisse während der Erhaltungsarbeiten

Heute kann eine Tendenz zu Totalsperrungen mit entsprechenden Umleitungen und zu eingleisigem Betrieb mit Baupiste verzeichnet werden. Die Entscheidung einer Totalsperrung hängt wesentlich von der Streckenpriorität ab. Die vom Bauherr vorgegebenen Betriebsverhältnisse schränken die anwendbaren Bauverfahren stark ein. Ausserdem weist diese Rahmenbedingung einen enormen Einfluss auf die restlichen Rahmenbedingungen auf. Die Rahmenbedingung "Betriebsverhältnisse während den Erhaltungsarbeiten" stellt die erste, zentralste und eindeutig wichtigste Rahmenbedingung des Bauprozesses "Tunnelerhaltung" dar. Durch die "Betriebsverhältnisse während den Erhaltungsarbeiten" wird im Besonderen die Rahmenbedingung "Auflagen des Bauherrn" stark geprägt und der Bauablauf und damit die Kosten insgesamt entscheidend beeinflusst. Bezüglich der zu wählenden Betriebsverhältnisse müssen die Gesamtkosten analysiert werden. Dabei ist eine Nutzwertanalyse mit integrierter Kostenbetrachtung durchzuführen. In der Kostenanalyse muss z.B. die Effizienzsteigerung der Bauausführung durch Totalsperrung und die Kosten des zusätzlichen bahnbetrieblichen Aufwandes berücksichtigt und mit der Teilspernung und ineffizienteren Bauabläufen verglichen werden.

### 11.1.1 Einspurtunnel

#### Totalsperrung

Besonders Strecken geringer Priorität werden heute während umfangreicher Erhaltungsarbeiten häufig gesperrt. Der Personenverkehr wird dabei üblicherweise durch Busse vorgenommen, während der Güterverkehr umgeleitet wird. Diese Möglichkeit einer Tunnelerhaltung ist viel einfacher, sicherer und effizienter durchzuführen als die Alternative unter Betrieb.

#### Betriebspausen

In Einspurtunnels, wo der Betrieb zwingend erhalten werden muss, besteht nur die Möglichkeit, während Betriebspausen (Nacht) zu arbeiten. Um den Betrieb am nächs-

ten Tag sicherzustellen, müssen die Arbeiten am Ende der Nachtphase soweit fortgeschritten sein, dass zu keiner Zeit eine Gefährdung des Zugbetriebes besteht. Hierfür hat sich der Einsatz von Hilfsbrücken bei Sohlarbeiten bewährt (Bild 11-4). Die Betriebsverhältnisse und die zu garantierende Betriebssicherheit stellen höchste Ansprüche an die AVOR. Durch das bestehende Betriebsgleis lassen sich nur Bauzüge einsetzen. Dieses zeit- und kostenintensive Verfahren wird bei Strecken hoher Priorität, wo eine Betriebsumlagerung auf Busse zu aufwendig ausfallen würde, erfolgreich angewendet.

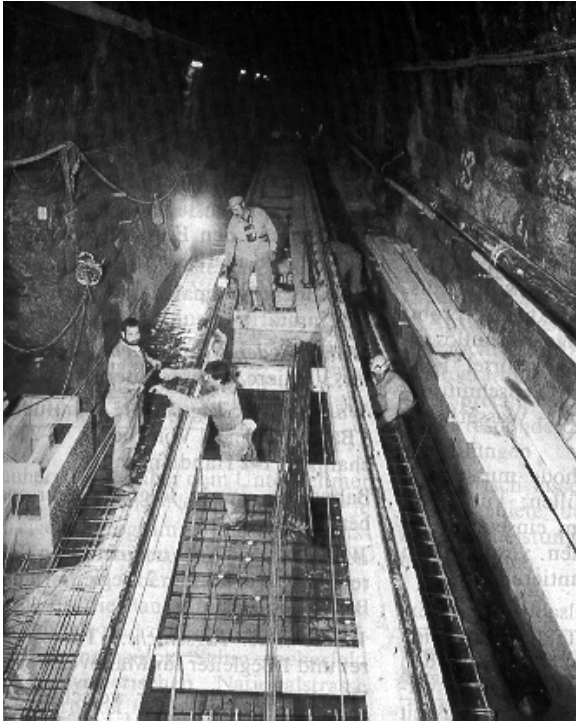


Bild 11-4: Hilfsbrücke bei Sohlarbeiten in Einspurttunnel

### 11.1.2 Doppelspurttunnel

#### Zweigleisige Betriebspausen

Eine theoretisch denkbare, in der Praxis aber noch nie durchgeführte Möglichkeit der Betriebserhaltung, stellt die "zweigleisige Betriebserhaltung" dar. Die Strecke müsste hierbei eine sehr hohe Zugdichte am Tag aufweisen und in der Nacht praktisch frei von Zugverkehr sein. Sind am Erhaltungsobjekt Arbeiten an der Sohle und den Gleisen auszuführen, so sind, analog dem Einspurttunnel, Hilfsbrücken zu verwenden.

#### Eingleisiger Betrieb mit Baugleis/Baupiste

Der Zugbetrieb bleibt eingleisig während 24 Stunden am Tag erhalten. Auf der anderen Spur werden zwischenzeitlich die Erhaltungsarbeiten durchgeführt. Das Gleis kann dabei eingebaut bleiben und als Baugleis genutzt werden, oder man baut es aus und erstellt eine Baupiste. Die heutigen Tendenzen weisen in Richtung Baupiste, da die für das Baugleis notwendigen Bauzüge äusserst kostenintensiv sind und bezüglich Logistik einen hohen Aufwand erfordern. Es muss allerdings betont werden, dass die Rahmenbedingungen "Lage" und "Länge" einen grossen Einfluss auf die Wahl Baugleis/Baupiste ausüben. So dürfte die Variante "Baugleis" vor allem bei langen Tunneln zur Anwendung gelangen.

### **Reduktion von zwei- auf eingleisigen Betrieb**

Diese Speziallösung kann bei schwach frequentierten Strecken zum Einsatz kommen. Die besonderen Vorteile dieser Methode liegen bei den Lichtraumprofilverhältnissen, die dank der Änderung auf einspurigen Betrieb grosszügiger ausfallen. Man kann dadurch den arbeitsintensiven Fertigungsteilprozess des Gewölbeausbruchs einsparen. Mittels Schalwagen wird eine neue Ortsbetonschale direkt auf das alte Gewölbe aufgebracht. Dieser Schalwagen wird auch als Schutz- und Arbeitswagen konzipiert, so dass der Zugbetrieb unter höchster Sicherheit aufrecht erhalten werden kann.

### **Totalsperrung**

Eine Totalsperrung eines Doppelspurtunnels erleichtert die Arbeiten beträchtlich und schlägt sich auch entsprechend positiv in den Kosten der reinen Baumassnahmen nieder. Trotzdem muss die Variante als Speziallösung angesehen werden, da Doppelspurtunnel üblicherweise nur bei stark frequentierten Strecken hoher Priorität anzutreffen sind. Die notwendigen Massnahmen bezüglich der zwingenden Aufrechterhaltung des Personen- und Güterverkehrs im Falle einer Totalsperrung, würden bei Strecken hoher Priorität entsprechend aufwendig ausfallen und könnten kaum bewerkstelligt werden.

## **11.2 Auflagen des Bauherrn**

Die "Auflagen des Bauherrn" beziehen sich in erster Linie auf die Betriebssicherheit. Ausserdem stellt auch die Terminvorgabe eine wichtige Komponente der Rahmenbedingung "Auflagen des Bauherrn" dar.

### **Betriebssicherheit**

Der Bauherr verlangt eine uneingeschränkte Betriebssicherheit, welche durch entsprechende Vorschriften und Massnahmen gewährleistet werden muss. Diese notwendige Betriebssicherheit innerhalb des Tunnels entfällt, falls der Tunnel einer totalen Betriebssperre unterworfen wird. Diese Massnahme erleichtert den Baubetrieb. Der Unternehmer kann sich bei diesen Betriebsverhältnissen frei organisieren.

Nachfolgend ist eine Auswahl möglicher Auflagen des Bauherrn bezüglich der Betriebssicherheit aufgelistet:

- Die Fahrleitung muss nach den Betriebspausen wieder betriebsbereit sein
- Für die Durchfahrt spezieller Züge müssen die Betriebspausen unterbrochen werden können
- Der Zugang zum Tunnel kann nur über das Betriebsgleis in genau einzuhaltenden Zeitfenstern erfolgen.
- Es steht nur eine beschränkte Länge des Tunnels für die Bauzüge zur Verfügung. Damit wird auch die Anzahl Bauwagen beschränkt

### **Terminvorgabe**

Die Terminvorgabe muss aufgrund der Fahrplaneinhaltung bei einer Totalsperrung und beim eingeschränkten Betrieb um jeden Preis eingehalten werden. Eine Nichteinhaltung verursacht meist enorme Kosten für den Bauherrn (Betriebskosten) und den Unternehmer (Konventionalstrafe). Diese Rahmenbedingung bestimmt in einem nicht unerheblichen Masse die Wahl der Arbeitsabschnitte, Massnahmen und Bauverfahren.

### 11.3 Verfügbare finanzielle Mittel

Die verfügbaren finanziellen Mittel bestimmen das Ausmass von Tunnelerhaltungsmassnahmen. Als Grundlage zur Abschätzung der für die Tunnelerhaltungsmassnahmen aufzubringenden finanziellen Mittel, dienen die regelmässigen Inspektionen und die Bestandsaufnahme. Als Ursache für die Nichteinhaltung der Kostenvoranschläge kann die meist ungenügende Bestandsaufnahme angesehen werden. Die Qualität und das Ausmass der Bestandsaufnahme beeinflussen aber nicht nur die Kosten sondern auch die Bauzeit, respektive die Terminvorgabe des Bauherrn. Damit überhaupt ein realistischer Kostenvoranschlag erstellt werden kann, sind umfangreiche Abklärungen innerhalb einer Bestandsaufnahme unerlässlich.

### 11.4 Länge

Die Länge kann eine entscheidende Komponente der Bauverfahrensauswahl darstellen. Sie wirkt sich in erster Linie auf den Entscheid Baugleis/Baupiste aus und hat dementsprechenden Einfluss auf die Logistik. In einem Doppelspurtunnel, der während der Ausführung von Erhaltungsarbeiten unter Betrieb bleibt, kann die Logistik bis zu 50 % des gesamten unternehmerseitigen Aufwandes betragen. Die Logistik umfasst bezeichnenderweise den An- und Abtransport von Materialien. Darin enthalten ist das gesamte Schutterungskonzept und die Betoneinbringung. Ausserdem die Baumaterial- und Mannschaftstransporte zu den einzelnen Baustellen. Aber auch der Transport von Baugeräten, ob strassen- oder gleisgängig, wird Logistik zusammengefasst. Die Länge des Tunnels kann auch das Bewetterungskonzept während den Erhaltungsarbeiten prägen.

### 11.5 Lage

Die Lage bestimmt zum Teil die Art der Baustelleneinrichtung. Man spricht dabei generell von gleis- und strassengängigen Installationen. Befindet sich in unmittelbarer Nähe ein Bahnhof, der zusätzliche Kapazitäten in Form von Baustellentransporten und evt. Rangierfahrten bei Verwendung von Bau- und Betriebszügen erträgt, drängt sich die gleisgängige Installation auf. Steht das Bauwerk hingegen abseits und wäre eine gleisgängige Installation nur mit langen Anfahrtswegen möglich, so wird üblicherweise eine strassengängige Installation gewählt. Auch hier üben verschiedene Rahmenbedingungen wie die "Betriebsverhältnisse während den Erhaltungsarbeiten", die "Länge", die "Auflagen des Bauherrn", etc. grossen Einfluss auf die Wahl der Installationsart aus.

Die Lage beinhaltet auch die topographischen und landschaftlichen Eigenheiten der Umgebung, in der das Bauwerk steht. Zusammen mit behördlichen Auflagen kann die Lage durchaus die Einschränkung respektive die Bevorzugung gewisser Bauverfahren bewirken.

### 11.6 Bestandsaufnahme

Unter der Rahmenbedingung "Bestandsaufnahme" werden der erfassbare Tunnelzustand, die geologischen und die hydrologischen Verhältnisse zusammengefasst. Der ausgewiesene Tunnelzustand hängt ausschliesslich von der Bestandsaufnahme ab und vermittelt demnach kein objektives Bild. Je detaillierter und aufwendiger die Be-



standsaufnahme durchgeführt wird, desto klarere Aussagen bezüglich des Tunnelzustandes sind möglich. Die Bestandsaufnahme ihrerseits hängt wiederum von anderen Rahmenbedingungen ab. Namentlich die Auflage des Bauherrn (Betriebssicherheit, Termingebundenheit, Begehbarkeit) und die verfügbaren finanziellen Mittel üben einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Bestandsaufnahme aus.

Extreme geologische und hydrologische Verhältnisse haben grossen Einfluss auf die Bauverfahrenswahl, wobei dies mit entsprechenden Auswirkungen auf die Rahmenbedingung "Auflagen des Bauherrn" verbunden ist. Somit stehen auch diese beiden Rahmenbedingungen in starker Wechselwirkung zu einander.

## 12 Beispiele

### 12.1 Zuger Stadttunnel

#### 12.1.1 Ausgangslage

Der 1896 in Betrieb genommene einspurige Zuger-Stadttunnel liegt an der stark frequentierten Gotthardstrecke Zürich-Zug-Goldau und unterfährt bei einer nur geringen Gewölbeüberdeckung von 1.5 bis 15 m die Zuger Altstadt.

Der Bahntunnel liegt in der würmeiszeitlichen Moräne und tangiert bergseitig auf wenige Meter verwittrte, verschleppte Molasse, die vermutlich aus der Zeit der Moränenablagerung aus grösserer Höhe abgeglitten ist. Die Moräne besteht vorwiegend aus siltigen bis siltigtonigen Sanden und ist sehr wasserempfindlich. Der eigentliche Fels der oberen Süsswassermolasse wurde erst in ca. 20 m Tiefe erbohrt.

Nach bald 100-jähriger Nutzung des Bahntunnels ohne nennenswerte Erneuerungsarbeiten (Ausnahme Widerlageraussteifung und Elektrifizierung) wies der Tunnel Anfangs der 80er Jahre folgende Mängel und Schäden auf, welche eine umfassende Erneuerung unumgänglich machten:

#### **Wasserinfiltrationen durch das Tunnelmauerwerk**

Das durch die Mauerwerksfugen eindringende Wasser beeinträchtigte die Fahrleitung und das Gleisbett und bildete im Winter an den Wänden starke Eispanzer. Diese führten stellenweise zu Profilverengungen.

#### **Verwitterter und ausgewaschener Fugenmörtel**

Wasser und Frost hatten im Verlaufe der Jahre den Mörtel in den Mauerwerksfugen ausgeschwemmt und zerstört. Der fehlende Fugenmörtel bewirkte eine zunehmende Schwächung und Lageveränderung des gesamten Mauerwerkverbandes. Die Hinterfüllung, vor allem im Scheitelbereich, war stellenweise ausgeschwemmt. Druckgelenke, Risse und Abplatzungen im Mauerwerk waren deutliche Anzeichen von Bewegungen innerhalb des Mauerwerkes, die durch den Gebirgsdruck verursacht wurden. Die Auswertung der seit 1932 regelmässig durchgeführten Deformationsmessungen hatten jährliche Widerlagerverengungen in der Grössenordnung von 0.4 bis 0.9 mm ergeben.

#### **Lokaler Befall des Mauerwerkes durch den Hausschwamm**

Nährboden für den Hausschwamm waren die beim Vortrieb hinter dem Mauerwerk belassenen Holzeinbauten. Im Verlaufe der Jahre hatte der Hausschwamm die Mauerwerksfugen zerstört und sich lokal auf der Gewölbeoberfläche ausgebreitet.

#### **Wasser in der Tunnelsohle / Grundwasserspiegel**

Die Tunnelentwässerungsrigole lag zu hoch und vermochte das anfallende Bergwasser in der Sohle nicht abzuleiten (Grundwasserspiegel ca. 60-100 cm über Oberkante Schwellen). Als Folge wurde der Untergrund aufgeweicht und das Schotterbett mit Feinanteilen verschmutzt. Dies führte zu einer unruhigen Gleislage mit erhöhtem Aufwand für den Unterhalt.

## Ungenügende Profilverhältnisse und eine zu geringe Fahrdrachthöhe

Die vorhandenen Profilverhältnisse genühten den heutigen Anforderungen nicht mehr. Die Fahrdrachthöhe unterschritt stellenweise die vorgeschriebene Mindesthöhe.

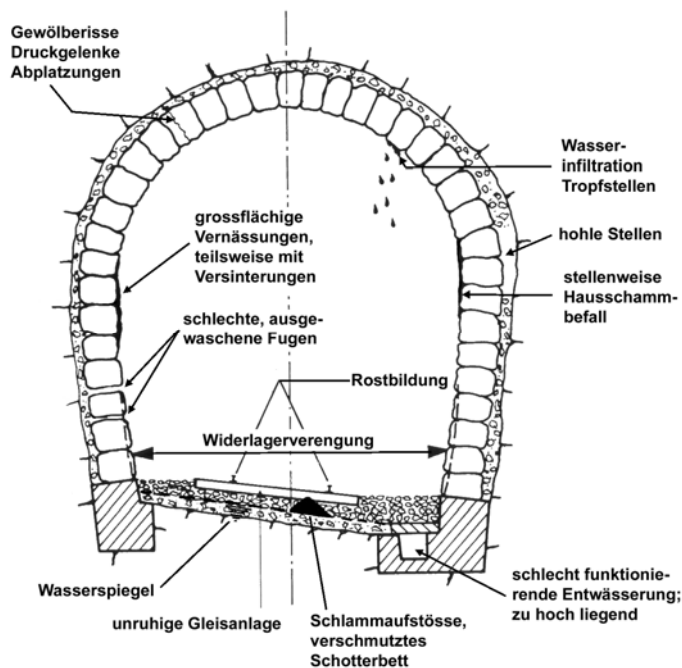


Bild 12-1: Schäden und Mängel

### 12.1.2 Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen

Der Bahnbetrieb konnte für die Erneuerung des Tunnels auf dieser stark frequentierten Strecke nicht eingestellt werden. Die Bauarbeiten waren deshalb während der nächtlichen betriebsfreien Zeit auszuführen. Da die fahrplanmässigen Betriebspausen nur sehr kurz waren (etwas mehr als 4 h), mussten fahrplanmässige Anpassungen für eine wirtschaftliche Ausführung der Arbeiten vorgesehen werden. Im Hinblick auf die Erneuerung wurde der Fahrplan auf den Fahrplanwechsel so angepasst, dass eine Arbeitszeit von ca. 8.5 h zur Verfügung stand. Für den Betrieb hatte dies zur Folge, dass täglich sieben Züge umzuleiten bzw. durch Busse zu ersetzen waren. Diese Massnahmen tangierten u.a. die 'Fahrplan-Spinnen' von Zürich und Mailand und mussten frühzeitig programmiert werden. Zum Schutze des Personals und zur Gewährleistung eines regulären Bahnbetriebes waren verschiedene Sicherheitsvorkehrungen einzuplanen. Dazu gehörten:

- Automatische Zugwarnanlagen ausgerüstet mit Horn und Drehleuchten. Diese Anlagen standen bei Arbeiten und Kontrollgängen ausserhalb der nächtlichen Zugpause zur Verfügung.
- Sicherheitswärter, die zusätzlich zu den automatischen Zugwarnanlagen für die Sicherheit von Arbeitergruppen, die tagsüber im Gleisbereich arbeiteten, verantwortlich waren.
- Nottelefon beim Portal zur sofortigen Verständigung der massgebenden Stellen bei Unfällen etc.

- Baufunkeinrichtung zur Gewährleistung einer einwandfreien Verbindung zwischen den einzelnen Bauzügen untereinander und mit dem betriebsführenden Bahnhof Zug.
- Langsamfahrstelle VR = 50 km/h im Bereich der Arbeiten an der Tunnelsohle.

Infolge der geringen Überdeckung des Tunnels im Stadtbereich wurden frühzeitig Baulärmsimulationen im Tunnel durchgeführt und die Immissionen in den kritischen Gebäuden über dem Tunnel gemessen. Die Resultate dieser Messungen und die daraus resultierenden Einschränkungen und Massnahmen zur Verhinderung von nächtlichen Ruhestörungen wurden in den Ausschreibungsunterlagen berücksichtigt.

### 12.1.3 Erhaltungskonzept

Aufgrund der ermittelten Schäden und Mängel wurden Konzepte mit unterschiedlichen Erneuerungszielen ausgearbeitet. Der Entscheid fiel zugunsten einer Gesamterneuerung mit einem festgelegtem Erneuerungsziel von 50 Jahren, d.h. der Tunnel sollte nach der Erneuerung während 50 Jahre ohne grössere Unterhaltsarbeiten genutzt werden können.

Mit dem Erneuerungsziel waren folgende Bedingungen verknüpft:

- Verbesserung der Lichtraumprofilverhältnisse unter Berücksichtigung der Fahrleitungs-, Bügel- und Umbauprofile.
- Die Ausbaugeschwindigkeit ist von VR = 75 km/h auf VR = 80 km/h zu erhöhen.
- Tropfwasser darf die bahnbetrieblichen Anlagen nicht beeinträchtigen.
- Die Tunnelentwässerungsverhältnisse in der Tunnelsohle müssen einwandfrei gelöst werden.

Die mit dem Erneuerungsziel definierten Bedingungen bestimmten die Art und den Umfang der Erneuerungsarbeiten. Die bahnbetrieblichen Einschränkungen diktierten die Arbeitsabläufe. Nachfolgend sind die Massnahmen beschrieben.

### Gleisgeometrie und -nivelle

Zur Verbesserung der Profilverhältnisse und der Fahrleitungshöhe musste die bestehende Gleisnivelle zwischen 30-45 cm abgesenkt werden. Durch Verschieben der Gleislage bis max. 10 cm werden die zu kurzen Übergangsbögen auf die erhöhte Ausbaugeschwindigkeit angepasst.

### Gewölbeabdichtung

Abdichtung des gesamten Gewölbes mit einer ca. 10 cm starken netzarmierten Spritzbetonverkleidung. Um den Wasserhaushalt im Gebirge und damit auch über dem Tunnel möglichst nicht zu verändern, wird das durch das Mauerwerk eindringende Wasser in Halbschalen gefasst und der Tunnelentwässerung zugeführt. Vorgängig war das vom Dampfbetrieb her stark verrusste und versinterte Mauerwerk mittels Sandstrahlen zu reinigen.

### Eliminierung des Hausschwammes

Der oberflächlich lokal auftretende Hausschwamm wurde chemisch behandelt und anschliessend abgeflammt. Aus Kostengründen musste auf eine Entfernung der hinter dem Mauerwerk liegenden Holzeinbauten verzichtet werden.

## Sohlenplatte

Als Trennung zwischen dem Untergrund und dem Oberbau wurde eine armierte Betonplatte eingebaut. Diese schützt den Untergrund vor weiterer Verwitterung, überträgt die aus dem Zugverkehr auftretenden dynamischen Belastungen gleichmässig auf den Untergrund und verhindert das Eindringen von Feinanteilen aus dem Untergrund in das Schotterbett. Gleichzeitig bildet sie eine Aussteifung der beidseitigen Widerlager.

## Widerlagerunterfangungen

Durch die Absenkung der Tunnelsohle mussten die Tunnelwiderlager unterfangen werden. Die neuen Fundationen sind direkt in die Sohlenplatte integriert. Der starre Verbund zwischen Sohlenplatte und Widerlagerfundament verhindert weitere Deformationen.

## Neumauerungen

In Bereichen, wo das vorgegebene Lichtraumprofil nicht eingehalten war, wurde das bestehende Mauerwerk fensterweise ausgebrochen und in neuer Lage aufbetoniert.

## Entwässerung

Entwässerungsleitungen entlang beider Widerlager fassen das Bergwasser aus den Gewölbeableitungen und aus den seitlichen Widerlagern und führen es dem Vorfluter zu.

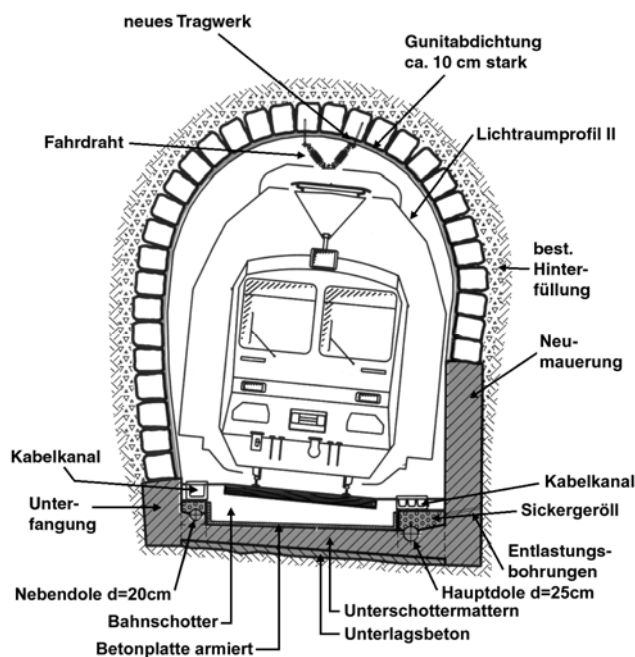


Bild 12-2: Tunnel nach Erhaltungsmassnahmen

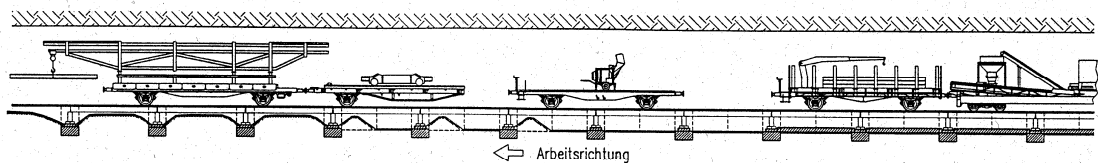
### 12.1.4 Ausführung

Aus Platz- und Organisationsgründen waren sämtliche Bauinstallationen auf Bahnwagen aufgebaut (Bild 12-3). Ebenso wurde sämtliches Baumaterial auf Bahnwagen in den Tunnel transportiert, bzw. das anfallende Aushubmaterial mittels Bahnkipper transportiert. Zu diesem Zweck stellten die SBB insgesamt 20 Bauwagen zur Verfügung. Die Bauwagen wurden tagsüber vom Unternehmer in Nähe des Bahnhofs Zug be- und entladen und vom Zugpersonal für den neuen Nacheinsatz entsprechend um-

manövriert. Für den Transport der Bauwagen in den Tunnel und für Manöver während der Arbeitszeit standen zwei Dieseltraktoren während der ganzen Bauzeit im Einsatz.

Die bahnbetrieblichen Randbedingungen beeinflussten die Wahl des Bauvorganges ganz erheblich. Da die Gleisanlage tagsüber in betriebsbereitem Zustand sein musste, wurden die Bauarbeiten in der Tunnelsohle von einer Hilfsbrücke her ausgeführt. Die ca. 390 m lange Hilfsbrücke bestand aus 6 m langen Trägerelementen, die auf vorgängig erstellten Einzelfundamenten abgestellt waren. Unter dieser Hilfsbrücke wurden fensterweise die Tunnelwiderlager unterfangen und anschliessend die Bodenplatte eingebaut.

Nach Abschluss der Arbeiten in der Tunnelsohle wurden die Hilfsbrückenelemente dem Arbeitsfortschritt entsprechend etappenweise ausgebaut



#### Voraushub und Einbau Hilfsbrücke

- Laufender Schwellenabbau
- Voraushub Schotter, Steinbett, Sandeinlage
- Abbruch alte Dole
- Einbau Auflagerstapel für Hilfsbrücke Verankern auf Sockel
- Einbau Hilfsbrücke

#### Ausbruch und Betonieren Unterfangung

- Aushub Mittelteil und Unterfangen in "Fenstern"
- Unterlagsbeton einbringen
- Absperrung Tunnelmauerwerk
- Sichern des anstehenden Baugrundes
- Armieren und Betonieren der Unterfangung

#### Einbau Betonplatte

- Verlegen der Hauptdole
- Armieren und Betonieren der Betonplatte

Bild 12-3: Bauvorgang

## 12.2 Hauenstein-Tunnel

### 12.2.1 Ausgangslage

Am 7. Januar 1916 stellte die «Sissach-Gelterkinden-Bahn» ihren Betrieb ein, und tags darauf dampften die Züge erstmals auf der neuerstellten Basislinie über Tecknau, durch den 8.1 km langen Hauenstein-Tunnel nach Olten. Eines der ersten grossen Bauvorhaben der noch jungen Bundesbahn war vollendet. Der Hauenstein-Basistunnel, in den Jahren 1912 bis 1916 erbaut, diente vor allem der Leistungssteigerung im Nord-Südverkehr. Bereits beim Bau des Tunnels traten die ersten geologisch bedingten Schwierigkeiten auf. Sie zeigten sich vor allem im Heben der Tunnelsohle und führten schon drei Jahre nach Inbetriebnahme zu ersten umfangreichen Erhaltungsmassnahmen. Mit zunehmender Streckenbelastung traten immer grössere Schäden an den Tunnelanlagen auf. Das Quellen der Sohle führte zu Hebungen der Gleise, zu Profilverengungen und zu Beschädigungen am Mauerwerk. Starke Kalkablagerungen und Veränderungen der Gefälleverhältnisse zerstörten die Tunnelentwässerung, was zu weiterer Verschlammung und Zersetzung führte. Über längere Zeit geführte Untersuchungen und Abklärungen - führten zum Entschluss, beim Hauenstein-Basistunnel eine Totalrekonstruktion durchzuführen. Mit den Arbeiten wurde am 24. November 1980 begonnen. Da trotz der angeordneten Umleitungen während der Rekonstruktion täglich immer noch rund 200 Züge den Tunnel befahren, waren die Anforderungen an Planer und Ausführende ausserordentlich gross - ja ungewöhnlich. Nur durch General-

stabsarbeit war es möglich auf dieser umfangreichen und komplizierten Baustelle unter Wahrung der grösstmöglichen Sicherheit die vorgegebenen Termine einzuhalten.

### **12.2.2 Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen**

Damit während der Erhaltungsarbeiten im Hauenstein-Basistunnel (HBT) der Betrieb entsprechend den Marktbedürfnissen im Personen- und Güterverkehr abgewickelt werden konnte, mussten zahlreiche Massnahmen geplant und flexibel - teils kurzfristig angeordnet werden.

Das Bauprojekt 1980 basierte auf einer jeweiligen 1/3-Sperrung eines Streckengleises. Dabei waren die nachstehenden betrieblichen Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Gesamte Kapazität im Einspurabschnitt von zirka 160 Zügen pro Tag,
- Zusätzliche Kapazität für Umleitungszüge auf der oberen Hauensteinlinie von max. 40 Zügen pro Tag,
- Zunahme der Anzahl Züge bis zu 20 % mit Einführung des Taktfahrplanes ab Fahrplanwechsel 1982,
- Gewährleistung einer fahrplanmässigen Abwicklung des Taktfahrplanes,
- Beschränkte Möglichkeit von Zugumleitungen via Bözberglinie, wegen der hohen Streckenbelegung am Bözberg sowie des einspurigen Streckenabschnittes Brugg-Othmarsingen,
- Keine Umleitungen von Reisezügen zwischen Basel und Olten - Luzern/Bern via Bözberglinie infolge zu hohen Zeitverlustes,
- Keine Einschränkung von kundendienstlich wichtigen Leistungen

Die Bauarbeiten wurden im November 1980 ohne wesentliche Einschränkungen des Zugverkehrs begonnen. Bereits im Jahre 1981 führten Schwierigkeiten bei der Ausführung der umfangreichen Baumanöver in Tecknau, sowie Behinderungen der Rangierung durch den intensiven Zugverkehr, zu beträchtlichen Verlustzeiten. Der Baudienst gelangte deshalb mit dem Begehren an den Betriebsdienst, den Zugverkehr im HBT zu reduzieren, um:

- Die Unfallrisiken bei den Tunnelarbeiten zu mindern,
- Kurzintervalle für Sprengungen und Arbeiten im Lichtraumprofil des Betriebsgleises zu ermöglichen,
- Das Bauzugmanöver während der Schichtpausen zu entlasten.

In Anbetracht der grossen Schwierigkeiten beim Bauzugmanöver und den weiteren Begehren des Baudienstes prüfte der Betriebsdienst im Jahr 1982 sämtliche Umleitungsmöglichkeiten. Ab anfangs 1983 wurden täglich 14 Güterzüge Basel-Aarau-Gotthard und umgekehrt via Bözberg umgeleitet. Für Züge zwischen Basel und Olten - Luzern/Bern konnte nur eine Umleitung über die obere Hauensteinlinie in Frage kommen.

Als schwierig erwies sich das Einplanen der Bauzüge, besonders derjenigen, welche die Baustelle über das Betriebsgleis umfahren und von Süden in das unterbrochene Baugleis einfahren mussten: Einerseits fielen die beiden Schichtwechsel mit den Flutstunden im Reisezugverkehr zusammen. Aus technischen Gründen konnten zudem nicht alle Bauzüge im HBT signalmässig verkehren, was zusätzliche Behinderungen in der Betriebsabwicklung verursachte.

### 12.2.3 Erhaltungskonzept

Das definitive Bauprojekt mit Kostenvoranschlag stand Ende 1978 der Bauherrschaft zur Verfügung. Es erfasste nicht nur die baulichen Massnahmen zur Sanierung des Tunnels, sondern auch die Arbeiten zur Anpassung des Profils an die internationalen Normen. Zusätzlich waren die baulichen Anlagen für fachdienstliche Neuanlagen im Projekt berücksichtigt. Die Blockunterteilung mittels Spurwechselstellen in den Drittelpunkten des Tunnels wurde in den Jahren 1976 bis 1979 im Sinne von vorbereitenden Massnahmen für die Sanierungsarbeiten realisiert. Der Ersatz der bestehenden Fahrleitung durch eine Schnellfahrleitung wurde beschlossen, die Kabelanlagen waren dem neuen Betriebskonzept des Tunnels anzupassen. Der Umfang des Bauprojektes konnte demnach wie folgt zusammengefasst werden:

- Sanierung des Tunnels zur Substanzerhaltung und Gewährleistung der Betriebssicherheit.
- Anpassung des Tunnelprofils an die internationalen Normen für Lichtraumprofile (LRP). Diese Normen wurden während der Bauausführung durch die neue Eisenbahnverordnung EBV vom 1. Januar 1984 ersetzt.
- Neuanlagen des Fahrleitungsdienstes, des Sicherungswesens, des Kabeldienstes und des Bahndienstes.

Die Sanierungsarbeiten umfassten den Einbau von neuen und das Ersetzen von bestehenden Sohlgewölben im Bereich der quellfähigen Mergel, das Abdecken verwitterter Felsoberflächen, den Ersatz der Tunnelentwässerung, die Abdichtungsmassnahmen zur Verhinderung der Vernässung der Felsoberfläche und den Ersatz der gebrochenen Tunnelmauerung.

Kostenintensiv waren die Arbeiten für den Verbau der Sohle durch das Einziehen der Sohlgewölbe. Massgebende Kriterien für den Gewölbeeinbau waren:

- das zu erwartende Endquellmass,
- die Bereiche mit Widerlagerverengungen, durch die das Lichtraumprofil gefährdet ist,
- das Sicherstellen der Funktionstüchtigkeit der Entwässerungsanlagen.

Gesamthaft waren im Projekt 2212 m Sohlgewölbe vorgesehen, davon der Ersatz von 157 m<sup>2</sup> bestehender Gewölbe in den Keuperschichten.

Die Tunnelentwässerung wurde erneuert. Entscheidend war das Erfassen alles anfallenden Wassers aus den Seitenentwässerungen, im Gewölbebereich und der Planum mit der direkten Zuleitung zum Kanal. Ebenso wichtig war ein unterhaltsfreundliches Konzept.

Der in Beton vorgefabrizierte Kanal wurde auf die ganze Länge des Tunnels eingebaut. Die Elemente weisen Durchmesser von 20 cm bis 45 cm auf. Die Länge betrug 4 m, das Gewicht 6 bis 8 t. Die durchgehende Elementöffnung war mit einem Riffelblech abgedeckt.

Die Seitenentwässerungen wurden in geschlossenen Rohrleitungen mit Durchmesser > 200 mm angeordnet und mindestens alle 50 m durch Querleitungen an den Vorflutkanal angeschlossen. Damit sollte verhindert werden, dass bei Verschluss eines Teilstücks Sanierungsarbeiten auf grosse Längen erforderlich werden.

Die Tunnelabdichtung, mittels einer 7 cm starken Spritzbetonschicht, wurde in den Portalbereichen vollflächig auf eine Länge von 300 m; im Tunnelinnern, im Bereich



der durchlässigen Mergelpartien ausgeführt. Gesamthaft waren rund 25800 m<sup>2</sup> Spritzbeton vorgesehen.

Ein umfangreiches Ausmass an Bauarbeitern erforderten die Massnahmen zur Realisierung der Schnellfahrleitung. 65 Fahrleitungsnischen waren im Gewölbe zu erstellen. Für die Stromversorgung im Tunnel wurden acht Streckentrennungs- und vier Streckeneinspeisungsnischen mit Abmessungen von 4,60 m Tiefe, 3,00 m Breite und 4.70 m Höhe ausgeführt.

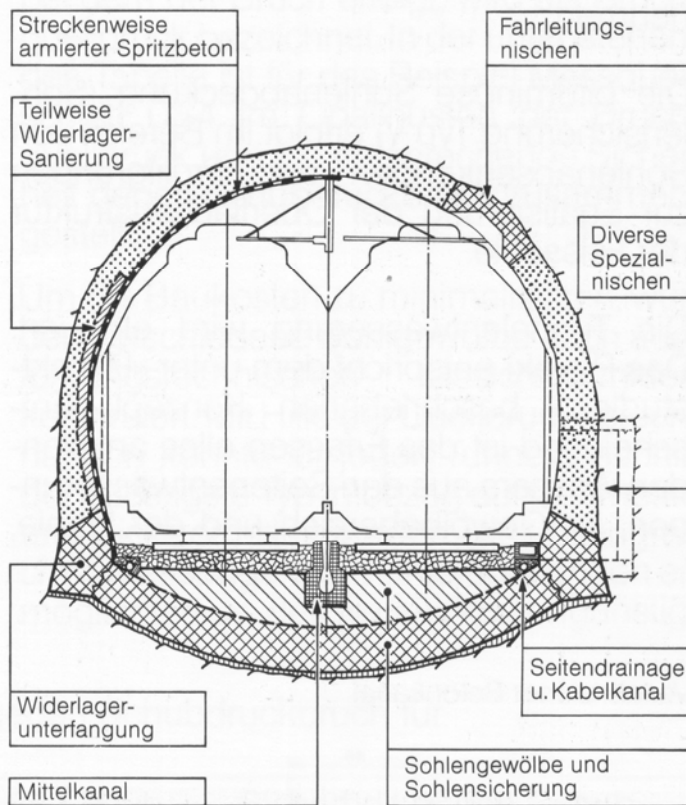


Bild 12-4: Erhaltungskonzept

### 12.2.4 Ausführung

Praktisch sämtliche für die Ausführung benötigten Geräte waren auf Bahnwagen aufgebaut. Damit während der Schicht gearbeitet werden konnte, mussten diese Bauwagen vom Schichtführer in der richtigen Reihenfolge aufgelistet werden, damit anschliessend das Rangier-Manöver durch die Station Tecknau ausgeführt werden konnten. Für die Manövrierbereitungen musste dieses Zugformationsprogramm jeweils zirka zwei Stunden vor Schichtende auf der Station Tecknau eintreffen. Das bedeutete für die Schichtführer, dass sie das Arbeitsprogramm für die nächste Schicht erstellen mussten, ohne den Arbeitsstand am Ende der eigenen Schicht genau zu kennen. Die Wagen mussten in der richtigen Reihenfolge und am richtigen Ort eingereicht werden, weil im Tunnel keine Auswechslungen vorgenommen werden konnten und eine Falscheinreihung die Einstellung einer Arbeitsstelle für eine ganze Schicht bewirkte. Der Bauzug durfte, wegen der beschränkten Geleiselängen in Tecknau, eine Maximallänge von 650 m nicht überschreiten.

Während der zweistündigen Schichtpausen musste jeweils der ganze Arbeitszug, gleichzeitig mit dem Manöver auf der Station Tecknau, von der Unternehmung be-

und entladen werden. Einzelne Wagen konnten nur auf hierzu reservierten Gleisen beladen werden. Damit das Manöver durch die Beladearbeiten möglichst ungestört durchgeführt werden konnte, wurden sechs Wasserzapfstellen an verschiedenen Orten auf dem Stationsgebiet erstellt. Für den Verlad von Festmaterialien waren zwei Pneu-krane im Einsatz, welche die Bauwagen an dem für das Manöver geeignetsten Ort beluden. Um einen zügigen Manöverablauf zu erreichen, mussten die Beladearbeiten dem Manöver angepasst werden. Grössere Ladearbeiten, sowie Reinigung und Unterhalt der Bauwagen, konnten jeweils nur am Wochenende ausgeführt werden. Eine enge Zusammenarbeit und Koordination zwischen dem SBB- und dem Unternehmerpersonal war Voraussetzung. Bedingt durch die engen Platzverhältnisse in Tecknau wurde der 150 m lange Betonzug für den Sohlgewölbbau für sich allein, ausserhalb der Schichtpausen, in Tecknau beladen. Während des Manövers in Tecknau wurde er vom Bahnhof Olten oder von der Station Gelterkinden aus, vor dem übrigen Bauzugteil, in den Tunnel geschoben.

Bauwagen, welche nicht im Einsatz standen, wurden im Bahnhof Sissach abgestellt. Bei Bedarf mussten diese frühzeitig wieder abgerufen werden. Bei allzu kurzfristigem Bedarf, zum Beispiel für den Ersatz von defekten Geräten, traf ein angeforderter Wagen unter Umständen zu spät ein. Die betreffende Arbeit musste dadurch für eine Schicht unterbrochen werden.

Transporte von Materialien und gleisunabhängigen Maschinen für die Sohlenbaustelle, wie Bagger, Walzen, Bohrjumbo oder Raupenladeschaufel, konnten jeweils nachts in einer Totalsperre von maximal 2 1/2 Stunden, auf dem Betriebsgleis, in den Tunnel gebracht werden. Arbeiten, welche eine längere Totalsperre erforderten, konnten nur am Wochenende, nachts während fünf bzw. vier Stunden ausgeführt werden. Solche Arbeiten mussten vor Beginn einer neuen Bauphase, ein halbes bis ein Jahr zuvor, grob vorprogrammiert werden, damit an den entsprechenden Wochenenden Züge, zum Teil grossräumig umgeleitet werden konnten.

Die gesamte «Baustelle» wies eine Länge von 2500 m und eine Breite von 4 m auf. Auf dem Nebengleis verkehrten täglich zirka 200 Züge mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h.

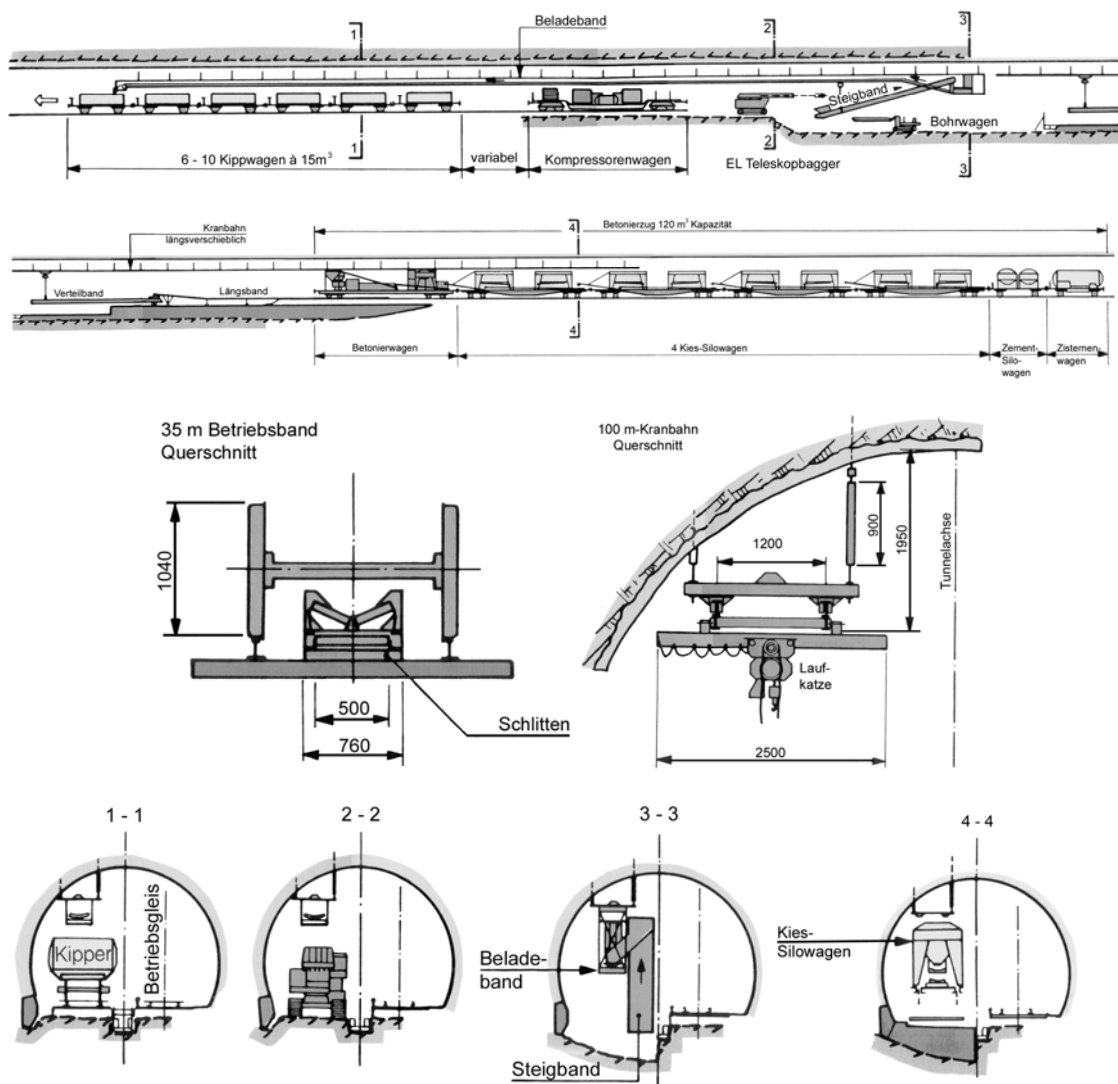


Bild 12-5: Bauvorgang [33]

Im folgenden soll der Bauvorgang (Bild 12-5) erläutert werden.

### Materialaushub

Die Wagen für den Widerlageraushub bestanden aus einer Wagenkombination von Förderbandladevorrichtung zur Aufnahme des Aushubmaterials und einem Wagen mit vor Kopf montiertem Hydraulikbagger mit Knickarm oder mit Teleskopbagger.

### Bohr- und Versetzwagen für Rühlwandträger

Auf jedem Wagen waren zwei Bohrgeräte im Abstand der Bohrungen montiert und ein Trägerversetzgerät für die Rühlwandträger. Die Bohrungen wurden zuerst verrohrt mit der ersten Rotationsbohrmaschine durch den Bahnschotter gebohrt, und dann erfolgte durch die Verrohrung mit einem Imlochhammer die Felsbohrung. Zur Staubbekämpfung wurde eine Staubabsauganlage installiert.

### Versetzwagen für vorfabrizierte Rigolenelemente

Für das Versetzen der tonnenschweren Entwässerungselemente wurde ein kombinierter Transport- und Versetzwagen benutzt. Das Elementversetzgerät konnte mit den

hydraulischen Hebe- und Vershubarme die Elemente, die sich auch auf dem Plattformwagen befanden, fassen und sie an die Versetzstelle transportieren und einbauen ohne das Lichtraumprofil des Betriebsgleises zu berühren (Bewegungsbegrenzung).

#### **Schrämwagen**

Auf einem Flachwagen wurde der teleskopierbare Schrämarm und das Antriebsaggregat (TSM) oder ein laffetierter Rotationsbohrhammer mit Spezialkrone und der nötigen Installation für die Schrämmaterialaufnahme und Materiallagerung montiert. Je nach Umfang und Reichweite der Schrämarbeiten war auch die Grösse dieses Wagens zu dimensionieren.

#### **Sandstrahlwagen**

Für die Sandstrahlarbeiten zur Aufrauung des Tunnelgewölbes wurde ein spezielles Gerüst mit Staubwand konstruiert, welches diese Arbeiten von den übrigen Arbeitsstellen trennte. Das Sandstrahlgerät sollte mit einer Nassstrahldüse und einer Entstaubungsanlage ausgerüstet sein. Als Strahlmittel kann entstaubte Schmelzkammerschlacke (1.5 - 2.5 mm) verwendet werden. Es waren auch eine unabhängige Wasser- und Sandversorgung mit entsprechenden Dosieranlagen auf dem Wagen zu installieren.

#### **Spritzbeton- und Gunitierarbeiten**

Der Wagen für die Sandstrahlarbeiten konnte in Kombination mit dem Transportwagen für das Trockengemisch auch für Spritzbetonierarbeiten am Gewölbe verwendet werden. Entsprechend wurde er mit Schnellbindertanks und Spritzbetonmaschinen ergänzt. Zur Aufbereitung des Trockengemisches wurde auf einem zweiten Bahnwagen eine Zentrale mit Mischer, Zementsilo und Zuschlagstoffen eingerichtet.

#### **Betonzug**

Für die Instandsetzungs- und Umbauarbeiten im Sohlgewölbe, Gewölbe, Paramente, Nischen etc. wurde eine moderne Betonzentrale in Form eines Betonierzuges zusammengestellt: Auf dem ersten Wagen befanden sich Mischzentrale mit Zementsilos und Wassertanks, Dosieranlagen und Zwangsmischer. Es folgten die Zuschlagstoffe in je einem Komponentenwagen, welche über Förderbänder mit dem Wagen der Betonmischzentrale verbunden waren. Der Betonzug hatte eine Kapazität von meist über 100 m<sup>3</sup>.

#### **Entstaubungsanlagewagen**

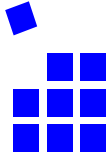
Neben der fest installierten Ventilationsanlage wurde es bei Arbeitsstellen mit starker Staubentwicklung (Schrämen, Reinigen etc.) von Nöten einen speziellen Staubabsaugwagen zum Einsatz zu bringen. Er bestand aus einer Nassentstaubungsanlage (Rotovent) und zwei Ventilatoren, um von den Arbeitsstellen über Saugleitungen den Staub direkt dem Rotovent zuzuleiten.

## 13 Literaturverzeichnis

- [1] Erhaltung von Tunnelbauwerken. In: Tunnel-Sonderausgabe, Symposium 12./13. März 1987, Technische Universität München
- [2] Galli, W.: Erhaltung Rosenbergunnel. Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich, 1996
- [3] Erhaltung Villnachertunnel. Bauprojekt, Bauherr: SBB; Kreisdirektion III, Zürich, Projekt: Ingenieurbüro W. Galli
- [4] Erhaltung Rosenbergunnel. Bauprojekt ,Bauherr: SBB, Kreisdirektion III, Zürich ,Projekt: Ingenieurgesellschaft Galli-Heierli AG
- [5] Erneuerung Zuger Stadttunnel. Bauprojekt, Bauherr: SBB, Kreisdirektion II, Luzern
- [6] Erhaltung Riesbachtunnel. Bauprojekt ,Bauherr: SBB, Kreisdirektion III, Zürich
- [7] Galli, W.: Sicherungs-, Stütz- und Gebirgsverbesserungsmassnahmen im Untertagebau. In: Untertagebau-Symposium der ETH Zürich, 7./8. April 1988
- [8] Kleiner, P.; Nauer, H.: Erneuerung des Rosenbergunnels. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, Sonderdruck, H. 9, 1998
- [9] Zuger Stadttunnel ,Tunnel-Projekt-Doku, Ingenieurbüro W. Galli, Februar 1995
- [10] Bolli: Rekonstruktion des Rickentunnels. In: Schweizer Baublatt, 1976, H.7
- [11] Rucker, H.: Rekonstruktion und Profilerweiterung unter Aufrechterhaltung des Bahnbetriebes am Beispiel des zweigleisigen Arlbergunnels. In: Sicherheit und Risiken bei Untertagebauwerken, ETH-Symposium. 21. / 22. März 1991, Zürich
- [12] Erhaltungsarbeiten im Zürcher Riesbachtunnel der SBB. In: Schweizer Baublatt, 1987, H. 64
- [13] Glättli, M.: Zunehmender Erhaltungsbedarf an den SBB-Tunnels. In: Schweizer Baublatt, 1987, H. 64
- [14] Pagliari, Fechtig, Dörig: SBB-Tunnel Meitschligen. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 1998, H. 29
- [15] Nauer, A.; Peter, H.: Tunnelerhaltung Riesbachtunnel. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 1989, H. 35
- [16] Ackermann, A.: Modernisierung der Tunnel der Bahnlinie Beira Alta in Portugal. In: Tunnel, 1997, H.2
- [17] Lichtensteiner, F.: Erneuerung des Rufenen-Tunnels unter planmässigen PU-Injektionen. In: Tunnel, 1995, H. 3
- [18] Sala, A.: Eingleisige Schmalspurtunnel. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 1990, H. 7

- [19] Golta, A.; Teichert, P.: Instandstellung der Centovalli-Bahntunnel. In: Schweizerische Bauzeitung, 1976, April
- [20] Ein neues Tunnel-Erhaltungsverfahren. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, 1981, H. 37
- [21] Beck, A., Golta A.: Tunnelerhaltungen der Schweizerischen Bundesbahnen. In: Schweizerische Bauzeitung, 1972, September
- [22] Amberg: Messtechnische Hilfsmittel bei Erhaltungen von Tunnelbauwerken. In: Tunnel, 1989, H. 3
- [23] Martinek, K.; Spang, J.: Flächiges Abtragen von Mauerwerk und Beton der Leibungen von Eisenbahntunneln und anderen Bauwerken. In: BMT, 1991, H. 6, und BMT, 1992, H. 1
- [24] Ruffert, G.: Spritzbeton bei der Erhaltung und Aufweitung von Eisenbahntunneln. In: Strassen- und Tiefbau. 1989, H. 11
- [25] Ruffert, G.: Erhaltung von Eisenbahntunneln. In: Strassen- und Tiefbau, 1996, H. 10
- [26] Kopotsch, K.; Weremüller, H.; Wäsche, H.: Silica-modifizierter Spritzmörtel im Feucht-Dünnstrom-Spritzverfahren zur Mängelbeseitigung in Tunneln der DB-Neubaustrecke Hannover-Würzburg. In: Beton- und Stahlbetonbau, 1990
- [27] Fechtig, R.; Jolissaint, P.: Die Erhaltung von Bahntunneln. In: Tunnel, 1986, H. 1
- [28] Girmscheid, G.: Baubetriebliche Managementaspekte bei der Erhaltung von Bauwerken. In: Bautechnik, 1997; H. 10
- [29] Martinek, K.: Die Instandstellung der Eisenbahntunnel bei der deutschen Bahn. In: Felsbau, 1987, H. 3
- [30] Fechtig, R.: Sicherheit und Risiken bei Tunnelbaurekonstruktionsarbeiten. In: Sicherheit und Risiken bei Untertagebauwerken, ETH-Symposium, 21. / 22. März 1991, Zürich
- [31] Erhaltung von Tunnelbauwerken. Impulsprogramm "Bau" des Bundesamtes für Konjunkturfragen Schweiz, 1993
- [32] Erhaltung Dettenbergtunnel. Bauprojekt der Electrowatt Engineering, September 1998
- [33] Etterlin; A.: Rekonstruktion des Hauenstein-Basistunnels. Technische Dokumentation
- [34] Martinek, K., Spang, J., Flächiges Abtragen von Mauerwerk und Beton der Leibungen von Eisenbahntunneln und anderen Bauwerken, BMT (Baumachinentechnik), 6/1991
- [35] Jenewein, G., Instandsetzung eines 60m langen Abschnittes des zweigleisigen Rehbergtunnels bei Paderborn, Teil II, Sonderausgabe Tunnel, März 1987
- [36] Chiaverio, F., Versuchsdrainagestollen Belchen: Quelldruckproblematik im Belchentunnel und Ausführung des Stollens, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0159, Zürich, 2000
- [37] Tunnel-Profilanlage. In: Schweizer Baublatt, 2001, H. 99





Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Teil 5: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Strassentunneln





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Schadensbilder .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Verkehrsführung.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Verfahrensordnung .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Beispiele .....</b>	<b>12</b>
4.1	Tunnel Steg [1].....	12
4.1.1	Ausgangslage.....	12
4.1.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	13
4.1.3	Erhaltungskonzept .....	13
4.1.4	Ausführung .....	14
4.2	Barregtunnel.....	15
4.2.1	Ausgangslage [2] .....	15
4.2.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen [2] .....	16
4.2.3	Erhaltungskonzept [3] .....	16
4.2.4	Ausführung [4] .....	18
4.3	Tunnel Nazzano [5].....	18
4.3.1	Ausgangslage.....	18
4.3.2	Ausführung .....	19
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>22</b>



# 1 Schadensbilder

Typischerweise bestehen die überwiegenden Bauteile von Tunneln des strassengebundenen Verkehrs aus Stahlbeton. Daher sind die zu beobachtenden Schäden und Mängel denen anderer Stahlbetontragwerke (z.B. Brücken) ähnlich. In Tabelle 1–1 sind für verschiedene Bauteile von Strassentunneln (hier Tagbautunnel) einige dieser Schäden und Mängel aufgeführt.

Bauteil	typische Schäden und Mängel
Decken	Fugenrisse Abplatzungen am Fugenrand Wasseraustritt an Fugen Ausblühungen und Verfärbungen Risse in Deckenplatte Betonabplatzungen Kiesnester Armierungskorrosion
Wände	durchsickerndes Oberflächenwasser mineralische Ablagerungen bei Fugen und Rissen Korrosion der Armierung Betonabplatzungen
Vorgehängte Wandplatten	korrodierte Aufhängegarnitur Armierungskorrosion
Kabelkanäle	Undicht und starke Schmutzablagerungen Korrosion der Armierung
Fahrbahn (Beton)	Schlechte Griffigkeit Ablösungen und Schlaglöcher Spurrinnen und Aufwölbungen Frosthebungen und Setzungen
Fahrbahnabschlüsse (Beton)	korrodierende Armierung Betonabsprengungen

Tabelle 1–1: Typische Schäden und Mängel von Strassentunneln

Die in Frage kommenden Instandsetzungsverfahren entsprechen denen für Stahlbetonbauteile andere Bauwerke, wie z.B. Brücken. An dieser Stelle sollen diese Verfahren nicht weiter erläutert werden. Es wird auf das Kapitel 2 und 7 der Vorlesungsreihe verwiesen.

## 2 Verkehrsführung

Für die Durchführung von Tunnelerhaltungsmassnahmen in Strassentunneln sind grundlegende Überlegungen zur Verkehrsführung notwendig. Von der betrieblichen Seite aus gesehen, wäre eine Sperrung des Tunnels wünschenswert. Es ergäben sich folgende Vorteile:

- Bauabläufe einfacher
- Einsatz von grösseren Maschinen möglich
- alle Installationen im Tunnelraum
- grössere Sicherheit
- keine aufwendige Schutzmassnahmen
- keine Arbeitsunterbrüche, dadurch höhere Leistungen.

Es werden dabei aber die Nachteile für den Nutzer des Tunnels und die daraus entstehenden wirtschaftlichen Wirkungen übersehen. Vielfach sind die Umfahrungsmöglichkeiten angesichts grosser Verkehrsmengen und der Lage der Tunnel (z.B. Innenstadtbereich) deutlich eingeschränkt. Bei einer Sperrung einer Tunnelröhre ist mit grossen Verkehrsbelastungen und Staubildungen auf dem Verkehrsnetz zu rechnen. Staus stellen immer ein Ärgernis für die Strassennutzer dar. Zudem werden oft wirtschaftlichen Folgen von Staus übersehen. Deutsche Studien zeigen, dass eine Stunde Stau zwischen 120'000 und 180'000 Fr. an volkswirtschaftlichen Kosten verursacht. Daher sollten die Stauzeiten auf ein unumgängliches Minimum reduziert werden.

Die Möglichkeit der Sperrung einer Tunnelröhre während der ganzen Instandsetzungsperiode ist somit meistens nicht möglich. Vorausgesetzt, dass während der Nacht die Verkehrsmenge so klein ist, dass die Auswirkungen einer Sperrungen ertragbar bleiben, sind z.B. Vollsperrungen in der Nachtzeit denkbar.

In den Abbildungen Bild 2-1 bis Bild 2-4 ist beispielhaft die Verkehrsführung für einen 4-spurigen Tunnel mit zwei Röhren und Ein- bzw. Ausfahrten dargestellt. Für den Verkehr mussten während der Erhaltungsmassnahmen immer 3 Fahrspuren zur Verfügung stehen. Da es sich um einen Tunnel handelte, der stark vom Berufsverkehr beansprucht wird, musste zudem ein täglicher Richtungswechsel der Fahrspuren beachtet werden. Am Morgen mussten stadteinwärts 2 Fahrspuren zur Verfügung stehen, am Nachmittag stadtauswärts. Der Bereich der Instandsetzungsarbeiten wurde Tag und Nacht gesperrt. Daraus ergaben sich 4 Bauphasen.

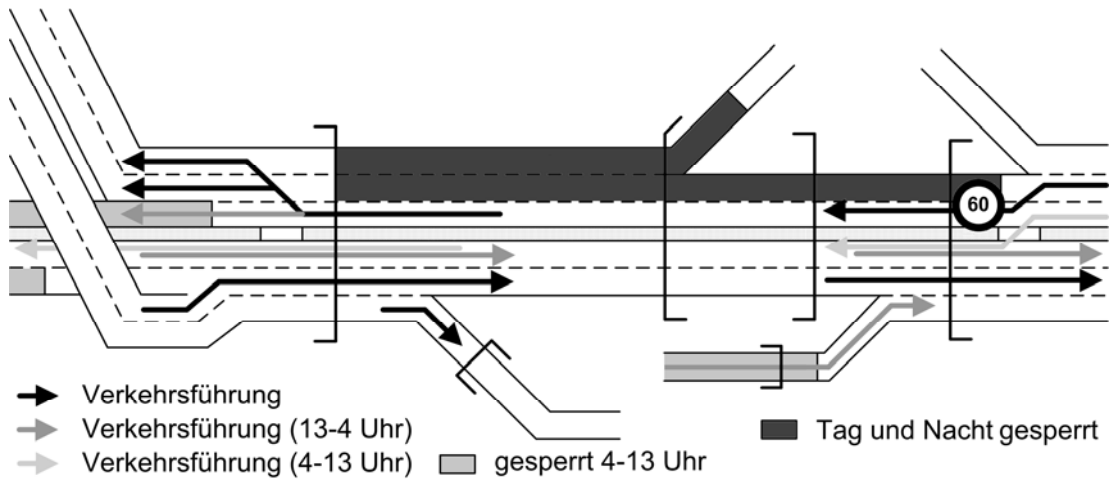


Bild 2-1: Bauphase 1

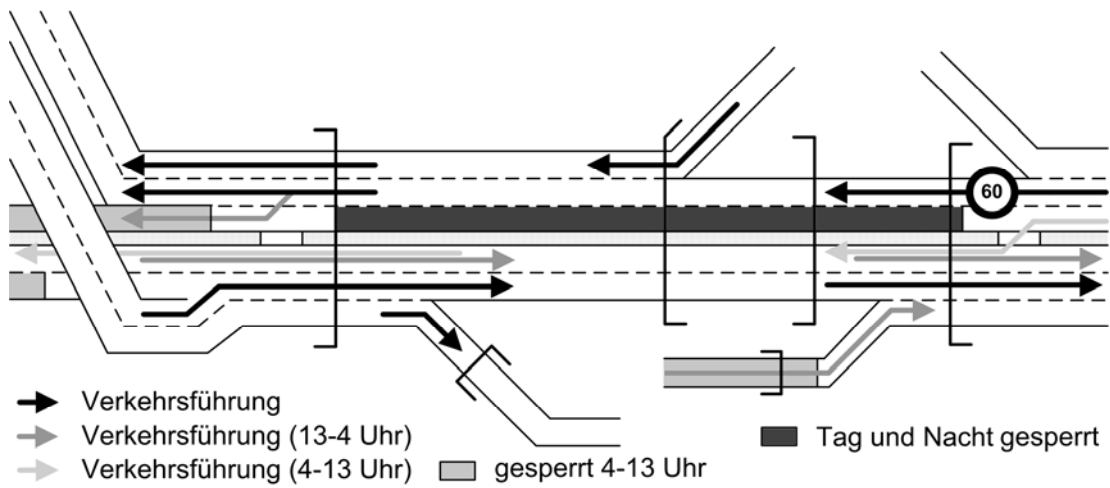


Bild 2-2: Bauphase 2

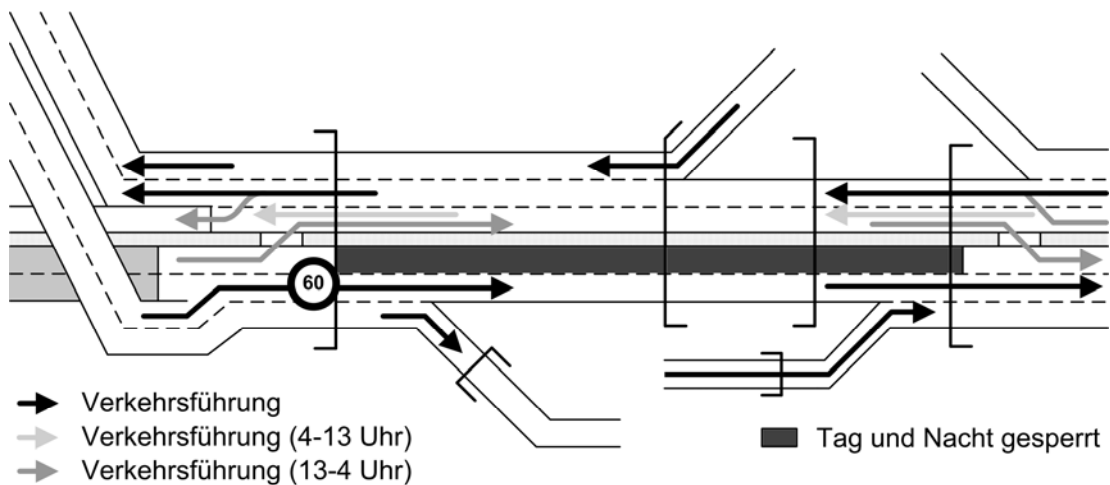


Bild 2-3: Bauphase 3

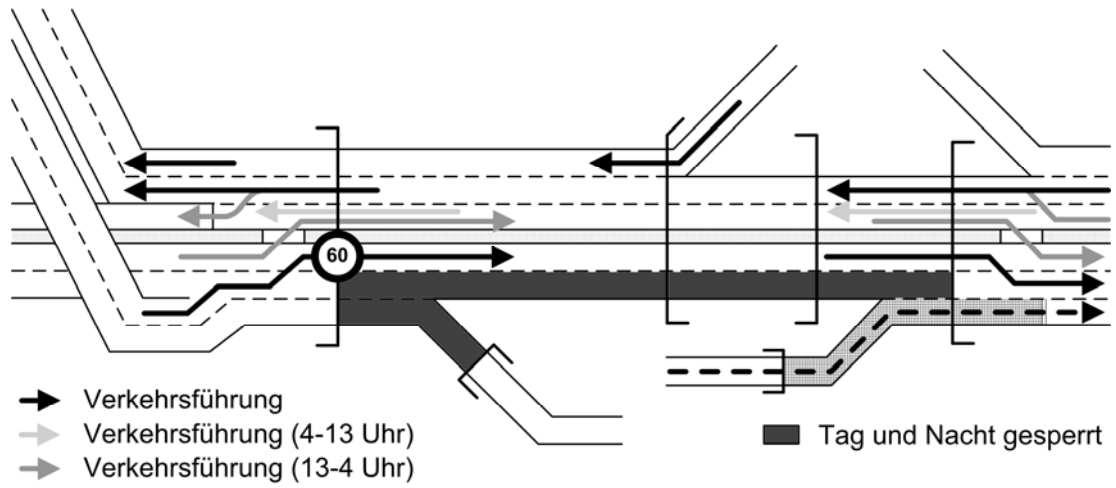


Bild 2-4: Bauphase 4

### 3 Verfahrensanordnung

Entsprechend den verkehrlichen Randbedingungen (s. Kap. 2) sind die einzelnen Instandsetzungsverfahren auszuwählen und im Tunnellängs- und Tunnelquerschnitt anzuordnen.

Für den Betonabtrag einer Tunneldecke mittels Hochdruckwasserstrahlen (HDWS) werden nachfolgend die Überlegungen zur Verfahrensanordnung in einem 3-spurigen Tunnelquerschnitt beispielhaft aufgezeigt.

Bevor eine Beschichtung auf die Decke aufgebracht werden kann, muss der Untergrund vorbehandelt werden. Dies erfolgt mittels Hochdruckwasserstrahlen. Bei der Instandsetzung vereinzelter Störzonen, Fugen und Abbruchstellen stellt die Anwendung von HDWS-Handlanzen dank der grossen Mobilität, Genauigkeit und Anpassung an die Untergrundverhältnisse eine wirtschaftliche Methode dar. Sind insbesondere dichte Zementsteinschichten zu entfernen, können auch maschinelle Abtragseinrichtungen auf Raupengeräten (Aqua-Cut) wirtschaftlich eingesetzt werden (Bild 3-1).

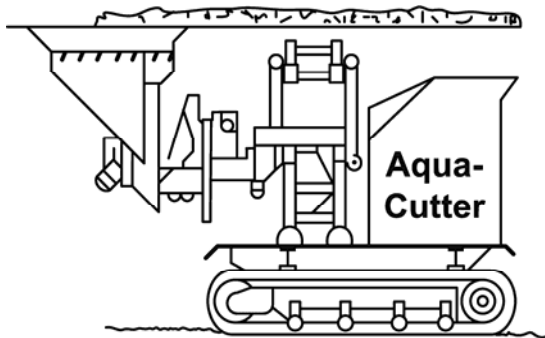


Bild 3-1: Aqua-Cut zum maschinellen Betonabtrag mit HDWS

Im folgenden werden verschiedene Varianten der Verfahrensanordnung dargestellt, verglichen und beurteilt.

#### Variante 1

Das HDWS wird mittels Handlanzen ausgeführt. Als Arbeitsbühne dienen auf Lastwagen montierte Hubbühnen. Druckerzeuger und Wassertank sind auf Lastwagen montiert und mittels Leitungsschläuche an die Arbeitswerkzeuge (Handlanzen) angeschlossen (Bild 3-2).

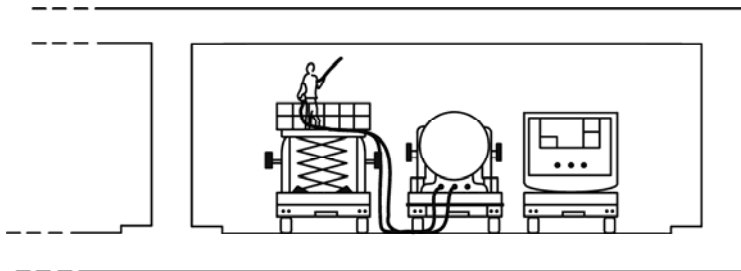


Bild 3-2: HDWS mittels Handlanzen unter Nutzung des gesamten Querschnittes



*Vorteile:*

- ganze Tunnelbreite verfügbar, gute Platzverhältnisse
- sehr hohe Mobilität und Flexibilität
- mehrere Baustellen gleichzeitig möglich
- kurze Ausführungszeiten durch grossen Personaleinsatz möglich
- keine aufwendige Schutzeinrichtung für Verkehr

*Nachteile:*

- nur Nachtarbeit, da gesamte Tunnelbreite benötigt
- tägliche Räumung der Baustelle
- Abfallen von Betonteilen auf Fahrbahn
- Abfliessen grosser Wassermengen auf Fahrbahn
- schwierige Arbeitsverhältnisse wegen “Überkopf Arbeiten”
- tägliche, gründliche Reinigung der Fahrbahn
- viel Handarbeit, dadurch kostenintensiv

**Variante 2**

Das HDWS wird maschinell ausgeführt. Es eignet sich z.B. das in Bild 3-1 dargestellte Gerät. Druckerzeuger und Wassertank liegen auf Lastwagen, die seitlich von der HDWS-Maschine geführt werden (Bild 3-3).

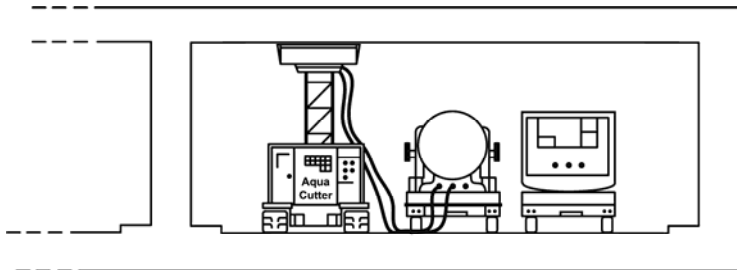


Bild 3-3: Maschinelles HDWS unter Nutzung des gesamten Querschnittes

*Vorteile:*

- ganze Tunnelbreite verfügbar, gute Platzverhältnisse
- wenig Handarbeit
- kein Herabfallen von Betonbruchstücken auf der Fahrbahn
- wenig Wasserabfluss auf Fahrbahn
- keine aufwendige Schutzeinrichtung für Verkehr
- Einsatz mehrerer Maschinen möglich, grosse Leistung

*Nachteile:*

- nur Nachtarbeit, da gesamte Tunnelbreite benötigt
- tägliche Räumung und Reinigung der Baustelle
- beschränkte Genauigkeit der Arbeiten, visuelle Kontrolle schwierig
- schwierige Anpassungsmöglichkeit an Untergrund

### Variante 3

Zur Ausführung der Arbeiten kommt eine fahrbare Brücke zum Einsatz. Die Bühne kann auf einem Fahrstreifen mittels Gleise und auf dem Bankette fahrbar gelagert werden. Das HDWS wird von Hand mittels Lanzen ausgeführt. Der Wassertank wird auf ein Lastwagen transportiert, der vor dem Gerüst positioniert wird. Für die Druckerzeugung besteht auch die Möglichkeit des Einsatzes kleineren Geräten, die auf die Bühne aufgestellt werden. Wegen der grossen Wassermengen und den sich ablösenden Bruchteilen beim HDWS sollten die Arbeiten nur während der Nacht ausgeführt werden. Eine Aufrechterhaltung des Verkehrs auf dem rechten Fahrstreifen ist mit einem verhältnismässig grossem Aufwand für Schutzmassnahmen verbunden (Bild 3-4).

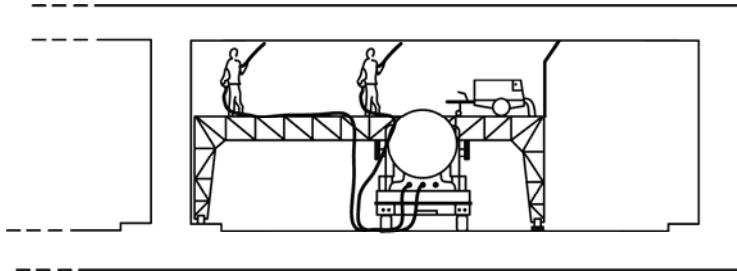


Bild 3-4: HDWS mittels Handlanzen und fahrbarer Bühne bei Verkehr auf einem Fahrstreifen

#### *Vorteile:*

- Arbeitsbrücke auch für Beschichtung nutzbar
- keine tägliche Räumung der Baustelle
- keine tägliche Reinigung der Fahrbahn
- gute Anpassungsfähigkeit an Untergrund
- genaue Ausführung der Arbeiten, visuelle Kontrolle
- kein Herabfallen von Betonbruchstücken auf die Fahrbahn
- Tagarbeit möglich

#### *Nachteile:*

- Brückenkonstruktion teuer
- beschränkte Anzahl Arbeiter einsetzbar, Leistung beschränkt
- Wasserabfluss auf Fahrbahn
- aufwendige Schutzeinrichtungen für Verkehr
- schwierige Arbeitsverhältnisse wegen "Überkopf Arbeiten"
- beschränkte Platzverhältnisse
- viel Handarbeit, daher kostenintensiv

### Variante 4

Im Gegensatz zu Variante 3 erfolgt das HDWS der Decke maschinell. Der grosse Vorteil dieser Variante liegt in der Möglichkeit der täglichen Ausführung der Arbeiten. Die sich ablösenden Betonteile und die grossen Wassermengen können durch die Maschine sofort aufgefangen werden, ohne dass eine Gefährdung des Verkehrs entsteht. Druckerzeuger und Wassertank befinden sich auf der Fahrbahn und sind mittels Leitungsschläuche mit der HDWS-Maschine verbunden. Wegen dem grossen Gewicht

der Maschine ist aber der Aufbau einer tragfähigen und demzufolge teureren Brücke notwendig (Bild 3-5).

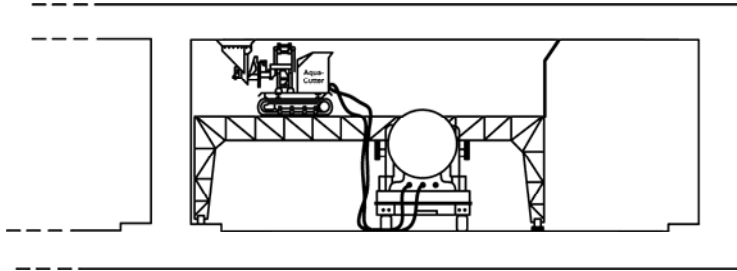


Bild 3-5: Maschinelles HDWS mit Arbeitsbühne bei Verkehr auf einem Fahrstreifen

*Vorteile:*

- wenig Handarbeit
- Tag- + Nachtarbeit
- keine tägliche Räumung der Baustelle
- keine tägliche Reinigung der Fahrbahn
- kein Herabfallen von Betonstücken auf Fahrbahn
- kein Abfließen von Wasser auf Fahrbahn
- visuelle Kontrolle möglich, relativ genaue Ausführung

*Nachteile:*

- Brückenkonstruktion teuer
- schwierige Anpassung an Untergrund
- nur eine Baustelle, Leistung beschränkt
- aufwendige Schutzeinrichtungen für Verkehr
- beschränkte Platzverhältnisse

Für die Bauteile Wand und Sohle bzw. Bodenplatte wird in ähnlicher Weise vorgegangen. Als Ergebnis steht auch hier die Auswahl von geeigneten Verfahren, die sowohl den Schäden als auch den verkehrlichen Randbedingungen gerecht werden. In den nachfolgenden Abbildungen wird die Verfahrensanordnung für den Abtrag und Auftrag von Wand und Bodenplatte eines Tagbautunnels beispielhaft dargestellt.

- **Abtrag Wand**

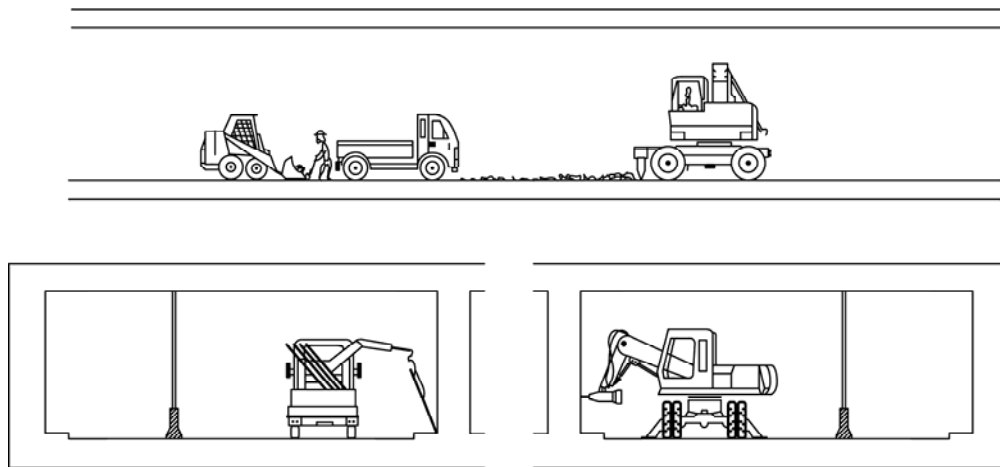


Bild 3-6: Entfernen der Wandverkleidung

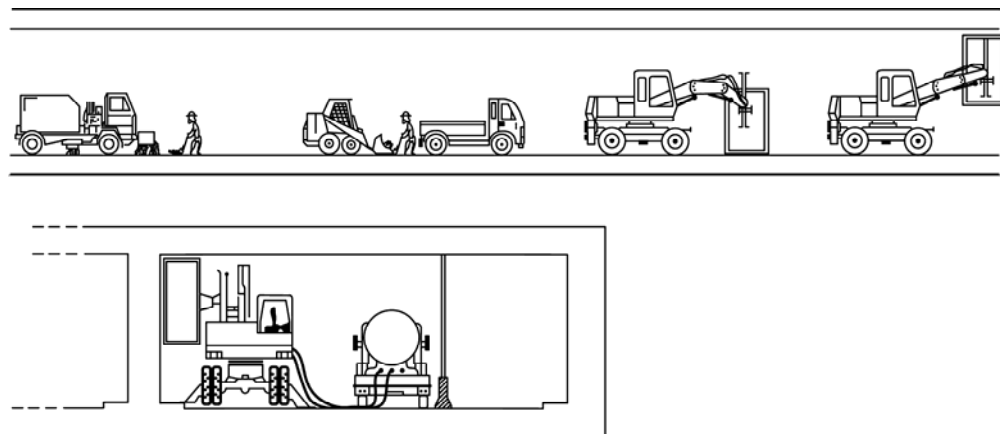


Bild 3-7: Betonabtrag mit HDWS

- **Auftrag Wand**

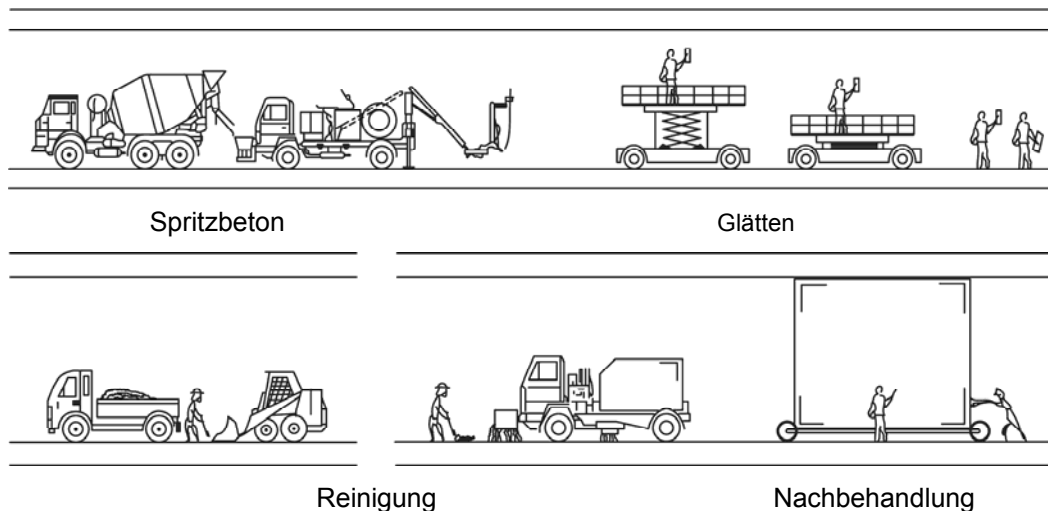


Bild 3-8: Betonprofilierung der Wand

- **Abtrag Belag**

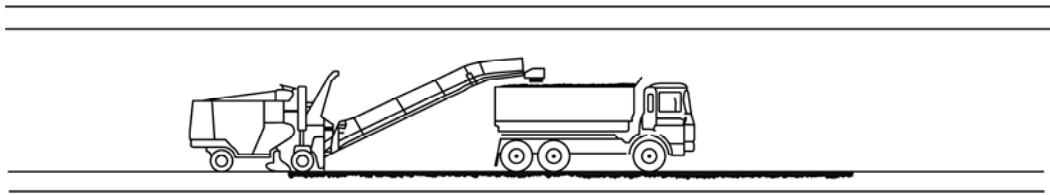


Bild 3-9: Asphaltabtrag mit Fräse

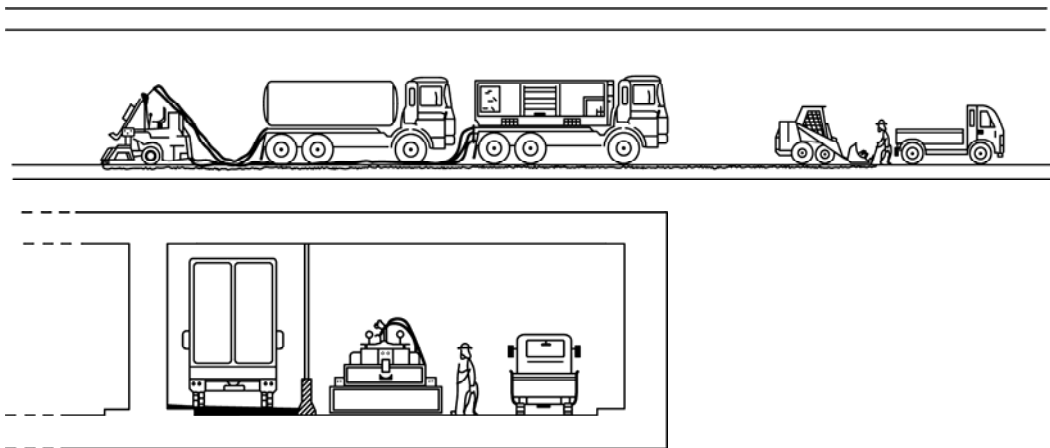


Bild 3-10: Betonabtrag mit HDWS

- **Auftrag Belag**

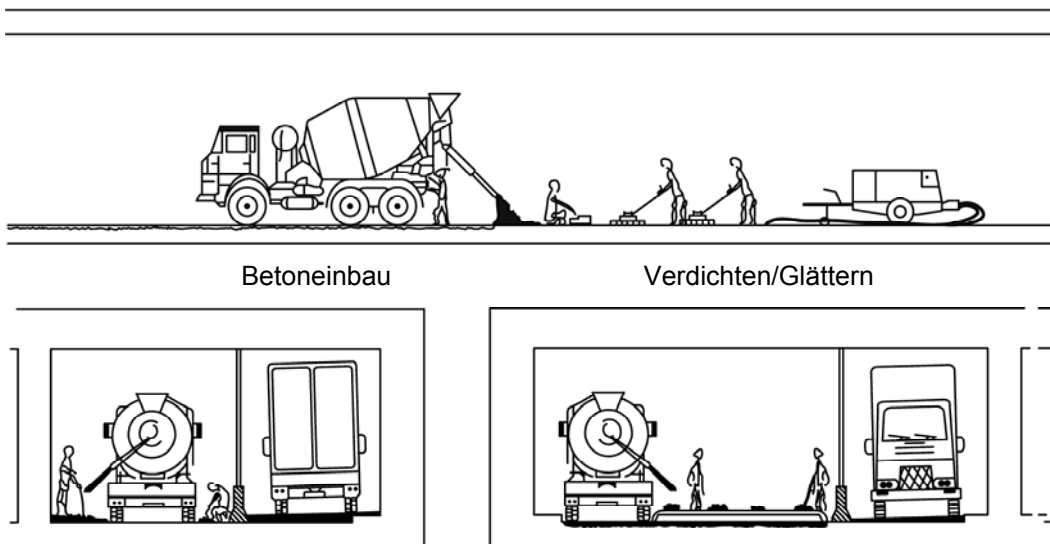
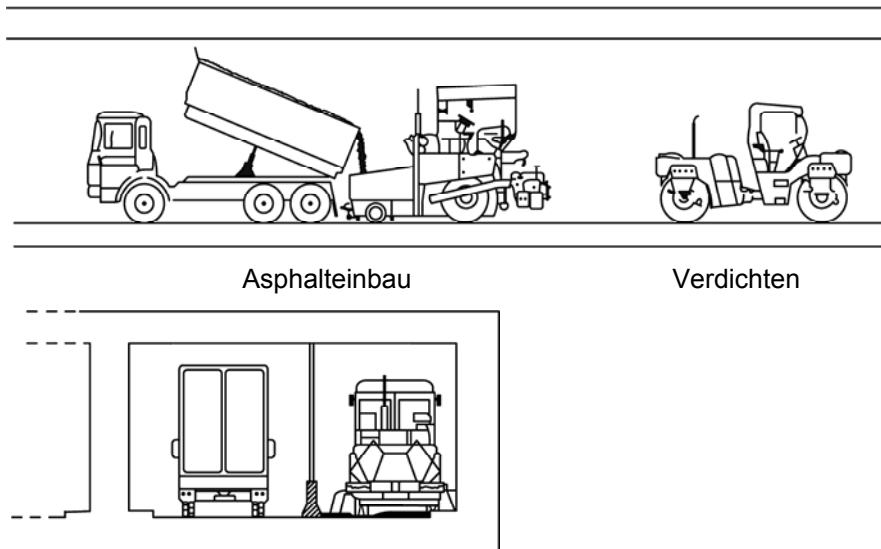


Bild 3-11: Betonieren der Bodenplatte



Asphalteinbau

Verdichten

Bild 3-12: Asphalttieren der Bodenplatte

## 4 Beispiele

### 4.1 Tunnel Steg [1]

#### 4.1.1 Ausgangslage

Der Tunnel Steg führt von der Walsersiedlung Triesenberg oberhalb einer Bergsturzmasse in den Weiler Steg. Er verbindet das bekannte Skigebiet Malbun mit dem Fürstentum Liechtenstein. Der Tunnel ist 743m lang und schnurgerade. Seine Fahrbahn steigt in östlicher Richtung mit 2%. Die Fahrbahnbreite beträgt 4.80m. Der Querschnitt bietet Platz für Fahrzeuge mit maximal 3.20m Höhe.

Die höchsten Frequenzen liegen deutlich unter 500 Fahrzeugen pro Stunde. Die hohen Verkehrsaufkommen weisen zudem immer eine starke Hauptverkehrsrichtung auf.

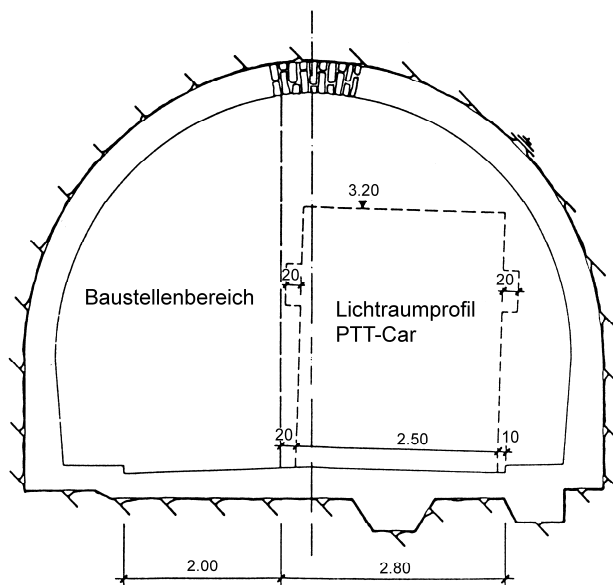


Bild 4-1: Querprofil Tunnel Steg

Der Tunnel wurde in den Jahren 1947/48 gebaut. Der Ausbruch ist mit einem etwa 40cm nicht armierten Betongewölbe statisch gesichert. Auf einem kurzen Stück von 20 Metern ist ein Sohlgewölbe eingebaut. Das ganze Gewölbe war bis zur Sanierung nicht verkleidet oder abgedichtet. So ist der Gewölbebeton in einem Zustand mit örtlichen Frostschäden, vielen Wassereindringstellen, Aussinterungsstellen und durch die Ablagerungen von Abgasen und anderen Verunreinigungen zu einem unansehnlichen, dunklen Loch verkommen. Der Beton weist aber trotz grosser Porosität durchaus eine sehr gute Qualität auf. In den 75cm breiten Banketten liegen Drainageleitungen und die Leitungen der Strom- und Telefonversorgung für das Alpengebiet. Unter der Fahrbahn liegt eine Abwasserleitung welche sich in einwandfreiem Zustand befindet. Die Fahrbahn wurde Ende der Sechzigerjahre als Betonfahrbahn neu eingebracht.

#### 4.1.2 Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen

Bedingt durch die kleinen Lichtraumverhältnisse, musste eine massgebliche Einengung des lichten Durchfahrtquerschnittes unbedingt vermieden werden. Ausserdem war bei allen Massnahmen auf möglichst geringe Schliesszeiten für den Strassenverkehr zu achten, weil diese Verkehrsverbindung praktisch die einzige für die Erschliessung des ganzen Alpengebietes ist. Um den Verkehrsfluss immer zu gewährleisten wurde eine Signalanlage mit Selektivdurchlass vorgeschlagen.

#### 4.1.3 Erhaltungskonzept

Das Sanierungskonzept hatte aus der Sanierung des Betongewölbes, der Entfernung der Leitungen aus den Banketten und der Sanierung der Drainage sowie der Fahrbahntwässerung zu bestehen. Hauptkriterium war natürlich die Sanierung des Betongewölbes. Unter verschiedenen Varianten der Gewölbesanierung hat man sich für folgendes entschieden:

##### **Kunststoffinnenauskleidung mit Sandwichelementen aus beidseitig mit glasfaserverstärktem Polyester beschichteten Schaumstoffplatten**

Die Gewölbeoberfläche wird mit selbsttragenden Kunststoffschalen derart ausgekleidet, dass zwei Schalen, die nur am Gewölbescheitel und an den Kämpfern befestigt werden, den ganzen Querschnitt überbrücken. Die Elemente erhalten aus der Geometrie des Gewölbes bedingt eine gekrümmte Länge von 5.80m und eine Breite von 1.10m.

- Die glasfaserverstärkte Polyesterbeschichtung ist weitgehend resistent gegen alle im Tunnel auftretenden Einflüsse (Abgase, Temperaturen, UV-Strahlen)
- Die temperaturdämmende Eigenschaft des Schaumstoffkerns bewirkt eine Dämpfung der Temperaturschwankungen und dadurch eine Verringerung der Frostwechsel am Betongewölbe.
- Eindringendes Wasser vom Gewölbe kann problemlos der Entwässerungsleitung im Bankett zugeführt werden.
- Allfällig auftretendem Eisdruck gibt das elastische Verhalten der Verkleidung und der Befestigung nach.
- Das System ist einfach, kontrollierbar und reparierbar.

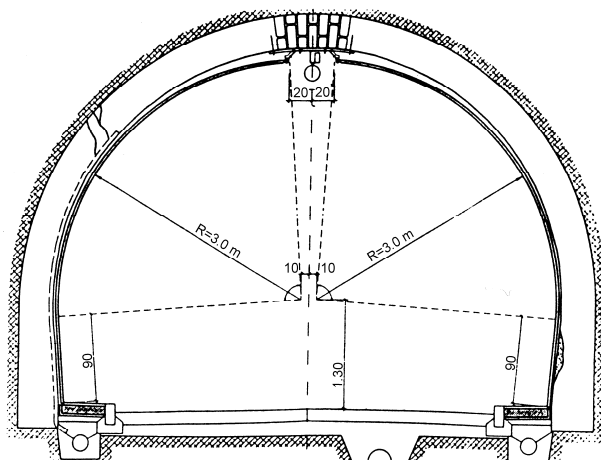


Bild 4-2: Tunnelquerschnitt mit neuer Auskleidung



#### 4.1.4 Ausführung

Die Herstellung der Elemente erfolgte halbautomatisch mit einer speziell dazu entwickelten Maschine. Die Form erhielten die Elemente durch Schalungen aus Aluminiumblech. Die Schalungsfläche wurde mit einem Trennwachs beschichtet und anschliessend wurde eine Gelcoatschicht aufgetragen. Das Gelcoat schützt die tieferliegenden Materialien vor UV-Bestrahlung und wirkt als Dampfsperre. Anschliessend wurde in einem einzigen Arbeitsgang das bereits mit Härter gemischte Polyesterharz in die Schalung eindosiert und die Glasmatte aufgelegt. Diese beiden Komponenten wurden mit Walzen zu einem einheitlich dicken und lunkerfrei dichten Laminat eigenarbeitet. Auf diese Laminatschicht wurden die PU-Schaumplatten mit pneumatisches Stempeln in das Laminat gedrückt. Anschliessend wurde die zweite Laminatschicht aufgebracht. Nach dem vollständigen Abbinden des Polyesterharzes wurden die Elemente aus der Schalung gehoben und an den Rändern massgenau geschnitten und entgratet.

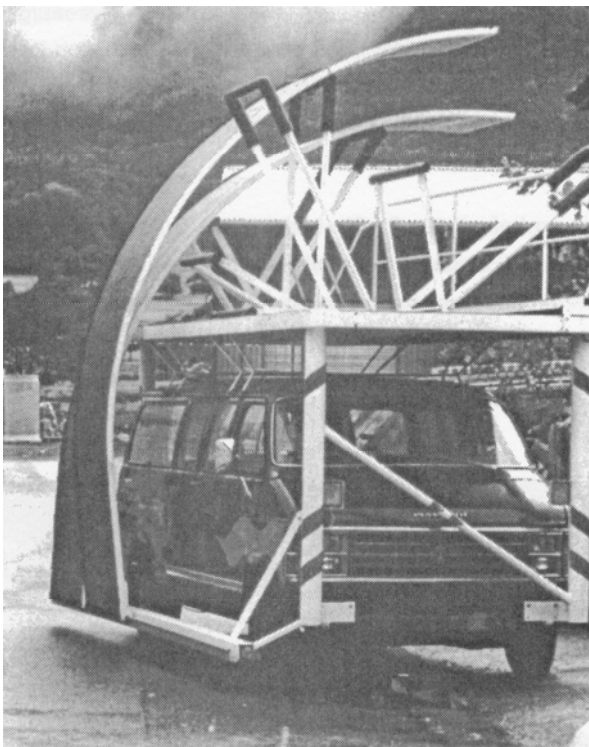


Bild 4-3: Elemente auf dem Montagewagen

Die Halterung der Elemente im Tunnel ist derart gestaltet, dass nirgends hohe Spannungen im Kunststoffmaterial auftreten können. Am Gewölbefuss rastet das Element auf seiner ganzen Breite mit einer Nut auf einem durchgehenden Rohr ein, das mit einem Gummiprofil aus EPDM ummantelt ist. Das durchgehende Rohr auf beiden Seiten am Gewölbefuss ist auf den Flansch eines Winkelprofils aufgeschweisst. Das Winkelprofil ist auf dem Beton des Banketts befestigt. Für die Montage hat der Elementhersteller eine spezielle Einrichtung auf einen Kleinbus aufgebaut. Der Elementhersteller hat vorwiegend während den Nachtstunden gearbeitet. Die so befestigten Profile bildeten die Schienen für eine fahrbare Bohrlehre zur Befestigung des Trägerbleches am First. Das Trägerblech dient sowohl als Halterung für die Kunststoffelemente wie auch für die Montage der Beleuchtung. Das Blech wurde bergseitig mit Schaumstoffmatten beschichtet. Die Trägerbleche wurden mit vorgespitzten Innen-

gewindeanker, in Verbundmörtel versetzt, an das Betongewölbe befestigt. Die Stossfugen zwischen den Elementen sind mit speziellen Gummiprofilen ausgefüllt. Aus optischen Gründen erhielt die sichtbare Seite der Elemente eine Abdeckung aus weissem Silikonmaterial.

## 4.2 Barregtunnel

### 4.2.1 Ausgangslage [2]

Der zweiröhrige Tunnel unterfährt den Baregg zwischen Reuss- und dem Limmattal. Die beiden Tunnelröhren wurden im Oktober 1970 in Betrieb genommen.

Charakteristische Daten:

- 2 Tunnelröhren, max. Abstand 45m (Axen)
- Länge Nordröhre (Zürich-Bern): 1141m
- Länge Südröhre (Bern-Zürich): 1120m
- Breite der Fahrstreifen: 2 x 3.875m
- Tunnellüftung: Halbquerlüftung (Zuluft, nicht reversierbar)
- Betriebsgebäude mit Lüftungszentrale beim Ortsportal (Neuenhof)
- Betriebsgebäude mit Trafostation beim Westportal (Dättwil)
- 3 Verbindungsstollen mit Hufeisenprofil : R=1.4m, H=2.8m

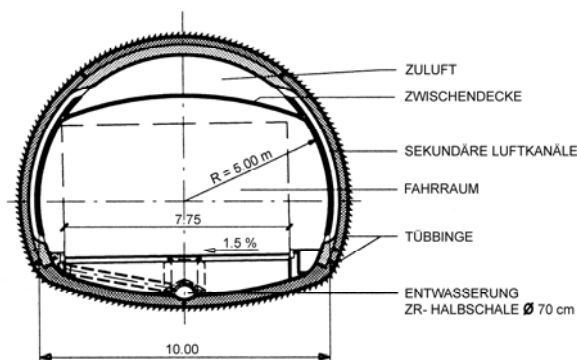


Bild 4-4: Normalprofil

Im westlichen Teil liegt der Tunnel direkt ein einer mit Lockergestein gefüllten Schotterrinne. Sie bildet ein lokales Grundwasservorkommen, das die Ursache für die Hauptmenge des anfallenden Bergwassers ist.

Die wesentlichen Mängel sind:

- Die Bewehrung der Tagbaustrecken ist infolge Tausalzeinwirkungen stellenweise stark korrodiert, die Betonüberdeckung platzt ab
- Es besteht kein Trennsystem zwischen Fahrbahnentwässerung und dem unverschmutzten Bergwasser
- An zahlreichen Stellen dringt Bergwasser durch den Innenring und die sekundären Luftkanäle ein.
- Die Vorkehrungen gegen eine Brandausbreitung sind ungenügend.

- Der Zuluftkanal ist gleichzeitig Werkleitungskanal. Alle Kabel liegen auf der Zwischendecke, ausgenommen das anlageninterne Hochspannungskabel. Das Ausallrisiko bei einem Grossbrand ist hoch.
- Die Beschichtung der Tunnelwände blättert ab.
- Die Lüftung genügt im Brandfall nicht. Sie soll durch eine Längslüftung ersetzt werden.
- Die SOS-Sprechstellen sind in Kästen an der Tunnelwand untergebracht. Die Verständigung mit der Verkehrsleitzentrale ist wegen des hohen Lärmpegels fast nicht möglich.
- Grundsätzlich gilt für alle sicherheits- und betriebstechnischen Einrichtungen dass sie technisch überholt sind, die Anlagen ausfallgefährdet sind und es keine Ersatzteile mehr gibt.

#### 4.2.2 Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen [2]

Im Zuge des Auflageverfahrens der dritten Röhre Ende 1998 zeigte sich, dass man die dritte Röhre demnächst bauen werde. Deshalb wurde das Konzept der Erneuerung auf das Projekt der dritten Röhre abgestimmt.

Aus verkehrslogistischen Gründen können voraussichtlich gewisse Erneuerungsarbeiten erst nach der provisorischen Eröffnung der dritten Röhre ausgeführt werden. Dies gilt für den Abbruch der Zwischendecke, die Montage des neuen Lüftungssystems und den Ersatz des Betonbelages.

Es gelten folgende Randbedingungen:

- Auf Grund des hohen Verkehrsaufkommens muss die Tunnelerneuerung ohne Verkehrseinschränkungen während des Tages durchgeführt werden. Das Lichtraumprofil der Tunnelröhren darf demzufolge nur in der Nacht für die Bauarbeiten beansprucht werden.
- Die Betriebseinrichtungen dürfen in ihrer Funktionsfähigkeit weder unterbrochen noch beeinträchtigt werden.

#### 4.2.3 Erhaltungskonzept [3]

Auf der gesamten Tunnellänge wird zwischen den beiden Tunnelröhren ein begehbare Werkleitungsstollen mit einer TBM erstellt.

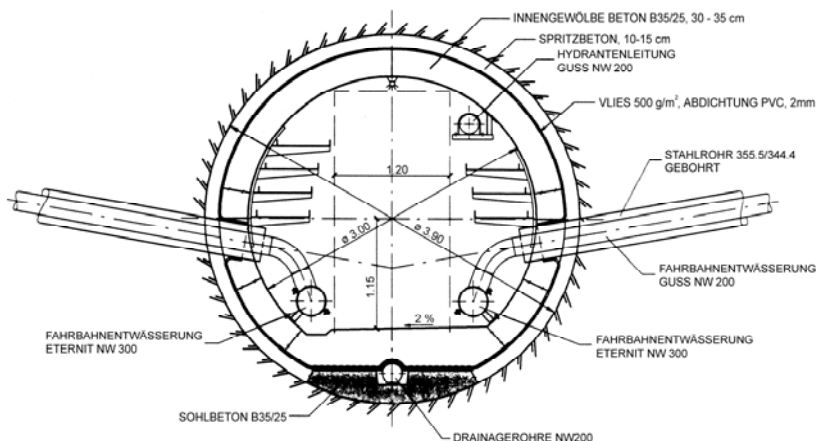


Bild 4-5: Normalprofil Werkleitungsstollen

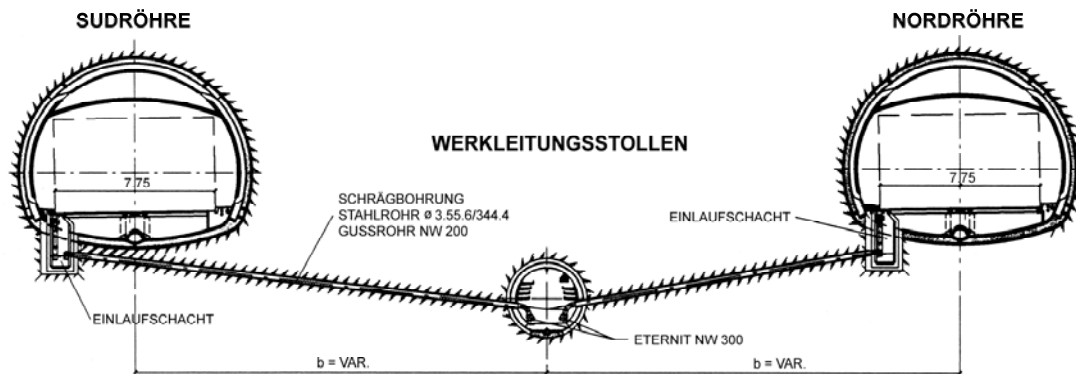


Bild 4-6: Schrägbohrungen vom Werkleitungsstollen zum Einlaufschacht

Der Werkleitungsstollen unterfährt die drei Verbindungsstollen der beiden Röhren. Mit Vertikalschächten wird ermöglicht, dass künftig vom Werkleitungsstollen direkt in die Verbindungsstollen und damit zu den Tunnelröhren aufgestiegen werden kann.

Aus folgenden Gründen wurde ein Werkleitungsstollen vorgeschlagen:

- Der Werkleitungsstollen erleichtert die Erneuerungsarbeiten in den Tunnelröhren. Es werden kürzere Perioden mit Nachtsperrung benötigt.
- Die Verkabelung und die Fahrbahn-Längsentwässerung können weitgehend unabhängig vom Verkehr in den Tunnelröhren erstellt, ergänzt und erneuert werden.
- Der neue Stollen wirkt als Drainage für die beiden bestehenden Tunnelröhren
- Der Werkleitungsstollen bietet Reserven für die Anordnung von Kabeln und Leitungen für künftige Erneuerungsarbeiten, Anlagenerweiterungen oder Durchleitungen
- Beim Brandfall im Tunnel bleiben alle Einrichtungen im Werkleitungsstollen unversehrt.
- Die Verbindungsstollen (Fluchträume, Fluchtwege) sind über den Werkleitungsstollen immer mit Frischluft versorgt.

In den beiden Tunnelröhren werden je 7 SOS-Nischen neu erstellt. Diese werden mit Querstollen vom Werkleitungsstollen her erschlossen. Die Querstollen sind begehbar!

In beiden Röhren werden am tieferliegenden Fahrbahnrand Schlitzrinnen eingebaut. Sie münden alle 50m in einen Einlaufschacht, welcher mit einer Stichleitung mit dem Werkleitungsstollen verbunden ist. In diesem liegt die Sammelleitung, welche das Fahrbahnwasser dem Stapelbecken beim tieferliegenden Ostportal zuleitet.

Am höherliegenden Fahrbahnrand muss der Randabschluss ersetzt werden. Zudem werden in den Fahrbahnbanketten die Bergwasserleitung und die Kabelschutzrohre für die Energie- und Steuerkabel-Feinverteilung untergebracht. Die Bankette werden neu erstellt.

In den Bereichen mit Wassereintritt in die Tunnelröhre werden Entlastungsbohrungen von 2 bis 5m Länge seitlich in den Tunnelwänden angebracht. Das Wasser wird durch eine im Fahrbahnbankett liegende Längsleitung, in die bestehende Entwässerungsleitung in der Fahrbahnmitte abgeleitet. Das Bergwasser wird auf der Tunnel-Ostseite in einen offenen Bach eingeleitet.

Auf der Ostseite endet der Werkleitungsstollen unter der Betriebszentrale und muss folglich für den Bau sowie den späteren Betrieb und Unterhalt mit einer Zufahrt er-

geschlossen werden. Der Zufahrtstunnel kann von Personenwagen und Kleintransportern ohne Einschränkung befahren werden. Lastwagen können den Tunnel ebenfalls befahren, sie können aber nicht wenden.

Um den Zufahrtstunnel zu erstellen war der Bau einer Hilfsbrücke notwendig.

In der Betriebszentrale Ost müssen zahlreiche Komponenten der Betriebseinrichtungen erneuert oder ergänzt werden.

Bei der Erneuerung der elektromechanischen Anlagen muss ein unterbrochsloser Übergang von bestehenden zu den neuen Systemen gewährleistet sein. Die neuen Anlagen müssen also funktionieren, bevor die alten demontiert werden. Aus diesem Grund musste das bestehende Betriebsgebäude beim Baregg-Westportal erweitert werden.

Die Erneuerungsarbeiten an den Tunnelröhren werden ausschliesslich in der Nacht ausgeführt. Für die Arbeiten in den Tunnelröhren wird die betroffene Röhre jeweils in der Nacht gesperrt und der Verkehr über die zweite Röhre geleitet. Gearbeitet wird in der Nacht ausschliesslich auf einer Seite der Tunnelröhre. Der Verkehr läuft am Tag ohne Einschränkungen, nur mit etwas reduzierten Fahrbahnbreiten.

#### **4.2.4 Ausführung [4]**

Der Zugang zum Installationsplatz zwischen den Fahrspuren der A1 wurde vorgängig durch eine Unterführung sichergestellt. Die Baugrube wurde gegenüber den Fahrbahnen mit Rühlwänden, Anker im Lockergestein und Spritzbeton gesichert. Die Fahrbahn Nord der A1 wurde unter dem Schwenkbereich des Kranes mit einem Schutzdach versehen.

Die TBM für den Werkleitungsstollen nahm Mitte April 1999 den Vortrieb auf. Die Vortriebszeit für die 1121m betrug 94 Arbeitstage. Die Strecken mit Stahleinbau waren erheblich länger als vorgesehen.

Nachträglich wurde die Ausführung eines Sondierstollens in der zukünftigen 3. Röhre des Bareggtunnels beschlossen. Der Vortrieb erfolgte von Westen her mit Hilfe einer Teilschnittmaschine in einem 12m<sup>2</sup> grossen Hufeisenquerschnitt. Die Ausbruchsisicherung erfolgte mit Ankern, Stahleinbau und Spritzbeton.

Die drei Vertikalschächte vom Werkleitungsstollen in die bestehenden Verbindungsstollen zwischen den Tunnelröhren sind ausgebrochen. Bei den 14 Querstollen ergaben sich spezielle Probleme in Bezug auf die Arbeitsabläufe und Zugänglichkeit, da sie rechtwinklig zum Werkleitungsstollen angeordnet sind. Die Kapazität der eingesetzten Abbaugeräte stösst dabei klar an ihre Grenzen.

### **4.3 Tunnel Nazzano [5]**

#### **4.3.1 Ausgangslage**

Der Tunnel Nazzano ist Bestandteil der Autobahn A1 Rom – Neapel. Er hat eine Länge von 337m und eine Überdeckung von max. 45m. Aus geologischer Sicht beinhaltet sein Verlauf sandige sowie lehm- und tonhaltige Erdschichten aus dem Plio-Pleistozän, auf denen die Gemeinde Nazzano angesiedelt ist. Das Projekt zur Bauwerkserhaltung sah vor, den Tunnelquerschnitt von 12.23m auf 19.74m zu erweitern, um den Tunnel den Anforderungen aus dem wachsenden Verkehr anpassen zu können.

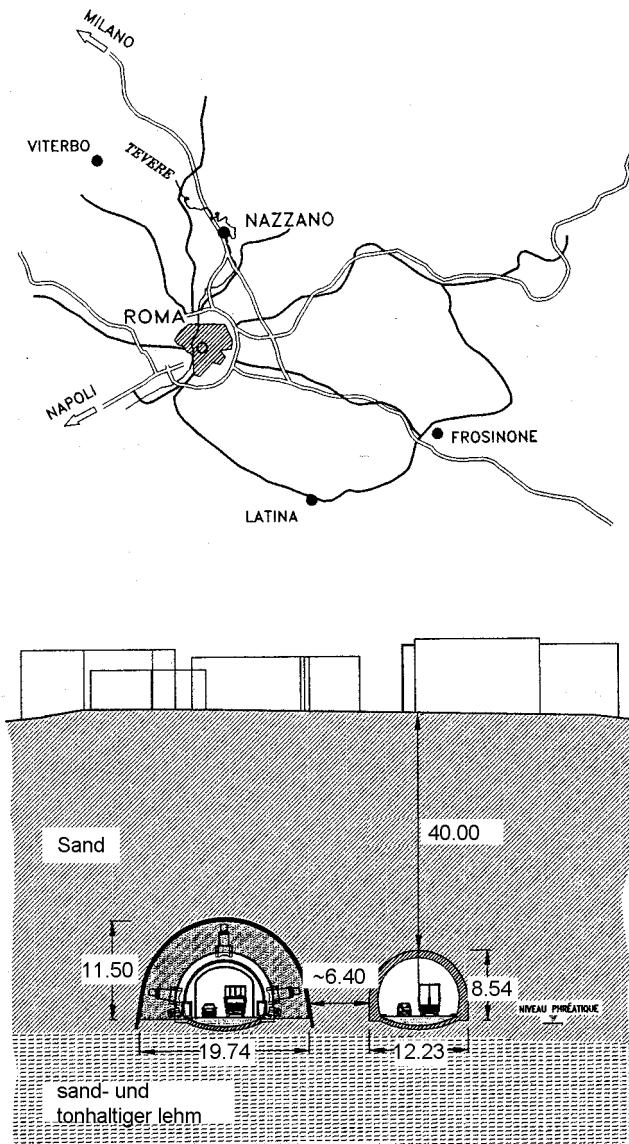
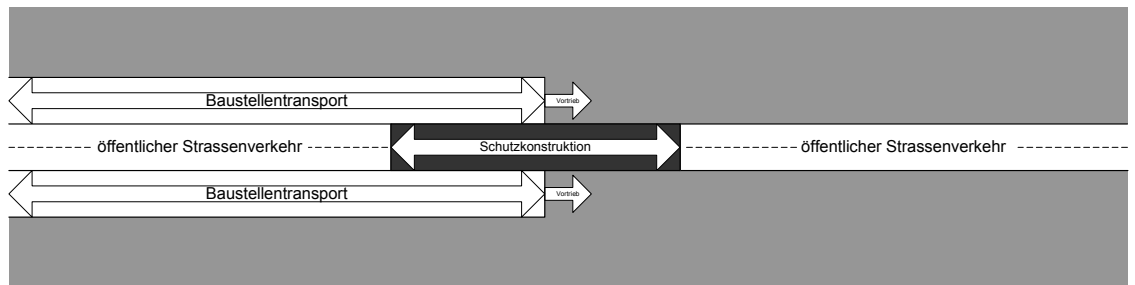
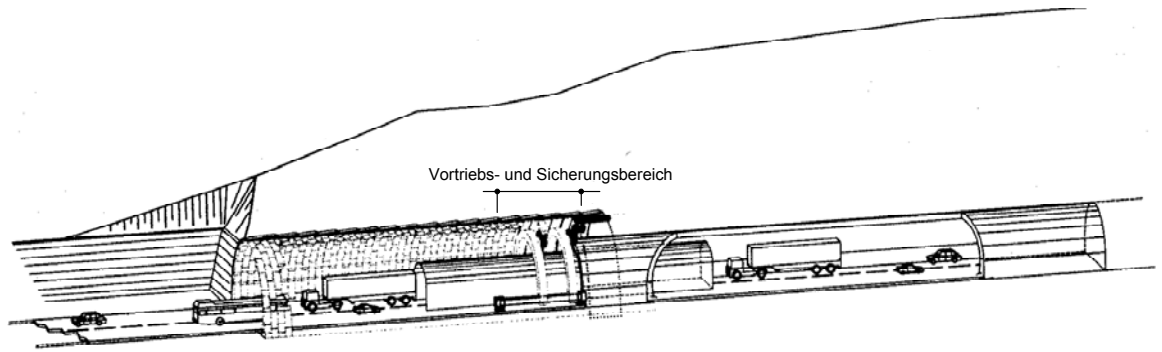


Bild 4-7: Ausgangslage Tunnel Nazzano

### 4.3.2 Ausführung

Die Erweiterung des Tunnels erfolgte in vier Hauptphasen (Bild 4-8):

1. Realisierung eines mechanischen Vortriebs für den Erweiterungsquerschnitts (19.74 m) und gegebenenfalls Einsatz von Massnahmen zur Ausbruchsicherung z.B. Verankerungselemente aus Glasfaser an der Ortsbrust
2. Sofortiger Einbau der endgültigen Gewölbeauskleidung aus vorgefertigten Betonsegmenten im Anschluss an die Ortsbrust (max. 4-5m)
3. Schrittweiser Abbau bzw. Abbruch des alten Tunnelgewölbes und des Bodens zwischen altem und neuem Tunnelgewölbe
4. Herstellen der Sohle



- Baustellentransport: Abtransport von Ausbruch  $\leftarrow$   
 Antransport von Sicherungsmittel  $\rightarrow$
- Schutzkonstruktion: Vorschubrichtung  $\rightarrow$

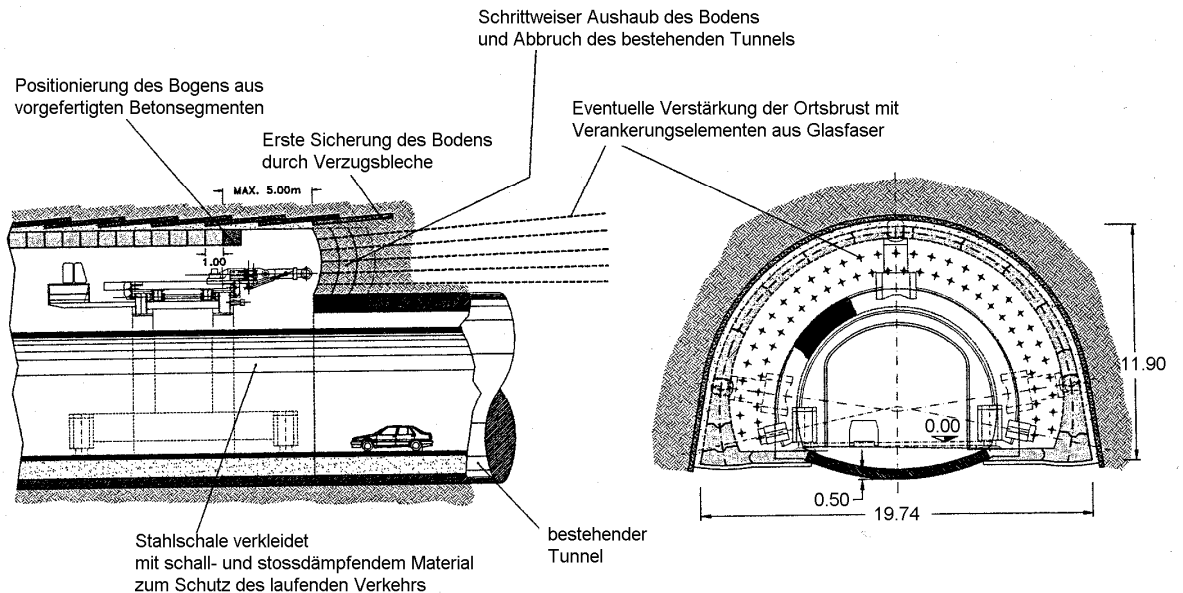


Bild 4-8: Ausführung der Erweiterung

Die Aufrechterhaltung des Verkehrsflusses und die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer konnte während der Ausführung in den drei ersten Phasen durch einen Schutzunnel aus Stahl mit Eigenantrieb gewährleistet werden. Der 60m lange Schutztunnel ragte ca. 40m über die Vortriebsfront hinaus. Er bestand aus einer Stahlkonstruktion, die aus

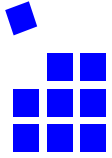
Modulen zusammengesetzt werden konnte. Er war ausgerüstet mit Führungsschienen, Verankerungsvorrichtungen, Hydraulikantrieb, schall- und stossdämpfenden Platten und ist in der Lage, den Fall von Gesteinsblöcken während des Vortriebes sowie ein eventuelles Nachgeben des alten Tunnels aufzufangen. Alle Maschinen wurden auf dem Schutztunnel bewegt. Wenn infolge Vortriebes der Abstand zwischen Ortsbrust und dem vorderen Ende des Schutztunnels einem für die Verkehrssicherheit minimalem Wert näherte, wurde der Schutztunnel nach vorne verschoben. Die Ausführungsphasen wiederholten sich zyklisch, bis der gesamte Tunnel aufgeweitet war.

Die Entwicklung der Vortriebsmaschine hat besondere Anstrengungen erfordert, denn auf sehr begrenztem Raum zwischen erweitertem Tunnel und Schutztunnel waren eine Reihe von betrieblichen Funktionen zu optimieren, wie z.B. die Sicherungsmassnahmen, der Einbau der Betonsegmente, die Herstellung der Hinterfüllungen und der Abbruch des bestehenden Tunnels. Die entwickelte Maschine ermöglichte es, Bewegungen und damit Arbeitsunterbrüche weit möglichst zu reduzieren. Die Maschine bestand aus einer Metallkonstruktion mit Doppelbögen, die mit Teleskopträgern verbunden waren, die eine schnelle und genaue Parallelverschiebung nach vorne und hinten erlaubte. Die transversale Zentrierung und die korrekte Höhenpositionierung liessen sich mit hydraulischen Antriebssystemen erreichen. Eine Laservorrichtung an der Maschine ermöglichte die optimale Ausrichtung. Auf dem vorderen Bogen war ein Wagen angeordnet, der den Vortriebsschild und die Aushubwerkzeuge wie Fräse oder Abbruchhammer trug. Dadurch, dass der Wagen auf dem Bogen verschoben werden konnte, waren alle notwendigen Arbeiten von dort ausführbar. Auf demselben Bogen waren Vorrichtungen zur Hinterfüllung und zum Aufbringen von Spritzbeton aufgebracht. Auf dem hinteren Bogen war ein Teleskopkran positioniert, der die verschiedenen Komponenten während der Arbeits- und Wartungsphase bewegte. Zusätzlich verlief auf diesem Bogen ein Wagen mit Hebevorrichtung, der die Betonsegmente in die gewünschte Lage bringen konnte. Die gesamte Konstruktion war mit Arbeitskorridoren ausgestattet, die dem Personal optimale Sichtverhältnisse ermöglichten. Die verschiedenen Werkzeuge wurden durch einen PLC (Programmable Logic Controller) gesteuert, der empfangene Befehle erkennen und Sicherheitsblockaden aktivieren konnte sowie die Informationen auf die Bildschirme verschiedener Schalt- und Überwachungstafeln übertragen konnte.



## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Ott Johann, Instandsetzung Tunnel Steg, in Instandsetzung von Tunneln, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0159, Zürich, 2000
- [2] Beusch Erwin, Sicherheitstechnische Erneuerung des Baregg隧nells, Randbedingungen für die Umgestaltung, in Instandsetzung von Tunneln, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0159, Zürich, 2000
- [3] Suter Franz, Sicherheitstechnische Erneuerung des Baregg隧nells, Projekt der baulichen Umgestaltung der bestehenden Anlage, in Instandsetzung von Tunneln, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0159, Zürich, 2000
- [4] Theiler Peter, Sicherheitstechnische Erneuerung des Baregg隧nells, Ausführung der Umgestaltung, in Instandsetzung von Tunneln, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0159, Zürich, 2000
- [5] Lunardi, Pietro, Une méthode de construction innovante pour élargie les tunnels routiers, autoroutiers et ferroviaires sans interrompre la circulation : son application au tunnel de Nazzana sur l'autoroute A1 Milan-Naples, in Instandsetzung von Tunneln, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0159, Zürich, 2000



Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Teil 6: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Brücken



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme.....</b>	<b>2</b>
2.1	Einleitung .....	2
2.2	Inspektion.....	2
2.2.1	Untersuchungsmethoden am Tragwerk.....	2
2.2.2	Brückenbauwerke in Entwicklungs- und Schwellenländern .....	4
<b>3</b>	<b>Schadensbilder .....</b>	<b>5</b>
3.1	Einleitung .....	5
3.2	Schadensbilder an sichtbaren Bauteilen .....	6
3.2.1	Korrosion an der Tragkonstruktion.....	6
3.2.2	Fahrbahn und Fahrbahnübergänge .....	8
3.2.3	Anprallfolgen .....	10
3.3	Gefährdungspotential .....	11
3.3.1	Beeinträchtigung des Bauwerkes .....	11
3.3.2	Abschätzung des Gefährdungspotentials .....	12
3.3.3	Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit nach SIA .....	13
<b>4</b>	<b>Beispiele .....</b>	<b>15</b>
4.1	Fürstenlandbrücke.....	15
4.1.1	Ausgangslage .....	15
4.1.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	16
4.1.3	Erhaltungskonzept .....	16
4.1.4	Ausführung .....	17
4.2	Sihlhochstrasse [36].....	21
4.2.1	Ausgangslage .....	21
4.2.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	22
4.2.3	Erhaltungskonzept .....	23
4.2.4	Ausführung .....	23
4.3	Schwarzwaldbrücke in Basel [35].....	25
4.3.1	Ausgangslage .....	25
4.3.2	Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmassnahmen .....	26
4.3.3	Erhaltungskonzept .....	26
4.3.4	Ausführung .....	27
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>30</b>



# 1 Einleitung

„Nicht ganz mit dem Gefühl der Sicherheit und Beruhigung steht man [ ... ] den Bauten aus armierten Beton gegenüber, da über das chemische Verhalten der Eisenlagen im Laufe der Jahre einige Bedenken nicht nur gestattet, sondern [ ... ] vollauf begründet sind.“ Dieser Satz stammt nicht etwa von einem Ingenieur aus der heutigen Zeit, nein, er wurde schon 1916 vom Bruno Zschokke niedergeschrieben [25]. Doch seither ist einige Zeit vergangen und während zwischenzeitlich lange mit der Meinung gebaut wurde, dass ein Stahlbetonbauwerk für die ‚Ewigkeit‘ sei, ist heute bekannt, dass gerade diese Bauten ohne Unterhalt und Instandsetzung nicht mal die vorgesehene Lebensdauer erreichen können. Viele Bauwerke in der Schweiz sind heute mehrere Jahrzehnte alt und es sind bauliche Erhaltungsmaßnahmen erforderlich.

Diese Notwendigkeit ist besonders ausgeprägt bei den Strassenbauwerken, im Speziellen bei den Brücken, weil diese durch zunehmenden Verkehr und aggressive Umwelteinflüsse (Temperatur, Frost-Tausalz, Wasser, Luftverschmutzung, usw.) beansprucht werden. Die Brücken gehören zudem zu den systemempfindlichsten Teilen des Strassennetzes, weil jeder Ausfall eines solchen Bauwerks einen volkswirtschaftlichen Schaden nach sich zieht.

Der weitaus grösste Teil der Brücken in der Schweiz besteht aus Stahl- und Spannbeton. Der daraus erforderliche Unterhaltsaufwand wird wesentlich von der Dauerhaftigkeit des Betons und der darinliegenden Bewehrung bestimmt. Es ist wichtig, dass die zugrundeliegenden Schadensmechanismen vollständig bekannt sind und die aufgetretenen Schadensfälle offen diskutiert werden. Nur so ist es möglich, in kurzer Zeit Erhaltungskonzepte zu erarbeiten, die auch den Erfolg herbeiführen können.

Die vielen Brückenbaustellen in der Schweiz beweisen, dass ein modernes Überwachungs- und Instandhaltungskonzept dringend notwendig ist, denn noch werden die Schwerpunkte in der Instandhaltung auf die Schadenbeseitigung gelegt, währenddessen es effizienter wäre mögliche Schadenszonen frühzeitig erkennen und entsprechende Massnahmen einleiten zu können.

Die Wichtigkeit einer gut funktionierenden Verkehrsinfrastruktur ist unbestritten. Die Erstellung und der Unterhalt wird durch die öffentliche Hand übernommen. Um die Finanzmittel aus Steuern rechtzeitig beschaffen und bereitstellen zu können, sind Schätzungen der Kosten unumgänglich. Während man heute sehr genau weiss, wie teuer ein Neubau ist, wurde noch nicht restlos geklärt, wie viel Geld für die Überwachung und die Instandsetzung aufgewendet werden soll und muss.

Das Gebiet der Brückenerhaltung ist noch sehr jung. Die Erkenntnisse über Schadensursachen sowie die Entwicklung von neuen Erhaltungskonzepten schreiten ständig weiter fort. Es liegt bereits eine Vielzahl von Veröffentlichungen über alle Bereiche der Brückenerhaltung vor. Doch viele Erkenntnisse basieren nur auf Laboruntersuchungen und sind in der Praxis noch nicht bestätigt worden. Dieser Teil soll einen Überblick über die Schäden an Brückenbauwerken geben und die Besonderheiten von Erhaltungsmaßnahmen an Brücken aufzeigen.

## 2 Bestandsaufnahme

### 2.1 Einleitung

Ein Brückenbauwerk kann heute so konstruiert werden, dass es seine Funktion über seine gesamte Lebensdauer erfüllen kann, ohne zuvor instand gesetzt zu werden. Voraussetzung dafür ist, dass das Bauwerk regelmässig überwacht und unterhalten wird. Dazu müssen aber folgende Grundsätze erfüllt sein:

- Keine konzeptionelle und konstruktive Mängel
- Werkstoffqualität entsprechend den Normen
- Saubere und zuverlässige Abdichtung

Doch trotz Qualitätssicherung geschehen unter Zeit- und Kostendruck immer wieder Fehler. So muss das Bauwerk nach Norm SIA 162/5 und SIA 169 periodisch einer Überprüfung unterzogen werden. Dabei werden allfällige Mängel oder Schäden festgestellt, beurteilt und ein Massnahmenkatalog zusammengestellt. Trotz den genauen Vorschriften werden aber heute noch die Unterhaltsarbeiten vernachlässigt. So ist in einzelnen Kantonen der Schweiz immer noch kein vollständiger Katalog aller Brückenbauwerke vorhanden.

Ziel der Überwachung soll ein möglichst frühes Erkennen von Schadstellen sein. Denn nur so kann ein Schadenfortschritt erkannt und Massnahmen ergriffen werden, um eine aufwändige Instandsetzung mit Betonabtrag und Reprofilierung verhindern zu können. „Ingenieure und Politiker handeln fahrlässig, wenn sie erst beim Auftreten von Schäden Massnahmen zur Erhaltung der Bausubstanz anordnen.“ Mit dieser Aussage ist R. Wolfseher nicht alleine. Auch C. Menn schreibt: „Ausserdem sollten bei Brückenuntersuchungen einigermaßen vernünftige Prioritäten gesetzt werden: [...] es wäre zweifellos viel sinnvoller, wenn zuerst einmal bei Brücken, die vor allem aus verkehrstechnischen Gründen nicht abgerissen werden können und die in Bezug auf schädliche Einwirkungen heikel sind, seriöse Zustandserfassungen durchgeführt würden.“

### 2.2 Inspektion

#### 2.2.1 Untersuchungsmethoden am Tragwerk

Nach SIA 162/5 ist eine visuelle Untersuchung unabdingbare Grundlage für jede Zustandserfassung. Damit sollen folgende Punkte untersucht werden:

- Funktionsfähigkeit von Lagern, Gelenken, Fugen, Abdichtungen, Beschichtungen und Entwässerungen
- Anzeichen von Korrosion, Aussinterungen und Verfärbungen
- Feuchtigkeitsverhältnisse und Stofftransporte, insbesondere Wasserfluss
- Abplatzungen, Hohlstellen und Stauchungen
- Rissbild und Rissweiten
- Verformungen und Verschiebungen

Mit einer Inspektion sollen Mängel und Schäden frühzeitig erkannt und entsprechende Gegenmassnahmen eingeleitet werden können. Doch viele der oben erwähnten Punkte sind nicht nur mit einer visuellen Inspektion zu erkennen. Dies soll an einem Beispiel erläutert werden: Risse an der Unterseite eines Hohlkastens können ohne Inspektionswagen nur mit dem Feldstecher erkannt werden. Doch als Ursache kämen verschiedene Schadensmechanismen in Frage. Möglich wäre eine Überbeanspruchung der Konstruktion und damit ein gerissener Querschnitt und Fließen der Bewehrung. Oder Korrosion der Bewehrung durch offene Wasserführung im Hohlkasten und mangelnde Betonüberdeckung. Eine Volumenvergrösserung und Risse über der Bewehrung wären die Folge. Während die Risse durch Überbeanspruchung grundsätzlich unproblematisch sind, kann dank des Korrosionsfortschrittes der durch Risse geschwächte Beton abplatzen. Eine genauere Inspektion mit einer Bühne, eine Untersuchung mit dem Magneten und ein Abklopfen mit dem Hammer würden Klarheit über den Schadensmechanismus geben.

Auch in Fachkreisen ist man sich über das Ausmass und die Intensität der Überwachung noch nicht einig. Sicher ist jedenfalls, dass die alleinige visuelle Untersuchung gemäss SIA nicht ausreichend ist, um ein Bauwerk beurteilen zu können. Zudem ist der Hinweis auf nicht einsehbare Bauteile nicht haltbar.

Für R. Wolfseher basiert eine Inspektion auf einer visuellen Kontrolle, auf der Erfahrung des Experten und auf folgende drei Massnahmen. Für jedes potentiell gefährdete Bauteil muss die Überdeckung mit einem Magneten bestimmt, Hohlstellen mit einem Hammer gesucht und die Wasseraufnahmefähigkeit mit der Sprühflasche gemessen werden. Mit einer solch ausführlichen Untersuchung können im Gegensatz zur reinen visuellen Inspektion auch gefährdete Stellen ausfindig gemacht werden, an denen die Schadensmechanismen noch nicht eingesetzt haben. Obwohl mit einem höheren zeitlichen und finanziellen Aufwand gerechnet werden muss, können doch schliesslich Kosten gespart werden, da Oberflächenbehandlungen zur Behebung von Mängeln wesentlich billiger sind als Untergrundinstandsetzungen mit Betonabtrag und Reprofilierung. Doch der Grundsatz „Schwachstellen erkennen und eliminieren, bevor Schäden auftreten“ lässt sich noch nicht durchsetzen. In dieser wirtschaftlich schwierigen Situation können Politiker noch kein Geld sprechen für eine Untersuchung, die zeigen könnte, dass ein Bauwerk auch ohne diese Untersuchung noch 50 Jahre ohne Erhaltung ihren Nutzen erfüllen könnte.



Bild 2–1: Beengte Verhältnisse



Die Bauherrenseite geht das Problem anders an. Priorität wird hier auf der periodischen Kontrolle aller heiklen Bauteile gelegt. Die Betonoberfläche wird nur stichprobenartig geprüft und anhand der Resultate wird auf das gesamte Bauwerk geschlossen. Nicht immer werden so die gefährdetsten Stellen, sondern die am einfachsten zugänglichen untersucht. Einer genauen Kontrolle hingegen sollten spezielle Zonen wie Fugen, Randträgerbrüstungen, Fahrbahnübergänge, usw. unterzogen werden und zwar unabhängig davon, wie gut diese Zonen zugänglich sind (Bild 2–1). Denn gerade hier kann sich Wasser und Verschmutzungen ungehindert sammeln und im Falle von Korrosion zum Versagen diese Bauteils führen.

### **2.2.2 Brückenbauwerke in Entwicklungs- und Schwellenländern**

In Entwicklungs- und Schwellenländern sind oft ausländische Geldgeber für die Finanzierung und damit für die Planung von Brücken verantwortlich. Während früher oft nach dem Motto „Bauen und Vergessen“ gehandelt wurde, spielt heute die Nachhaltigkeit mehr und mehr eine Rolle. Die Geldgeber wollen eine Investition tätigen, die auch nach einer gewissen Zeit ihren Nutzen erfüllen kann.

Als etwas spezielles Beispiel sei hier Südkorea aufgeführt. Es zeigt, dass das politische Umfeld grossen Einfluss auf den Unterhalt von Infrastrukturbauten haben kann. Durch den Krieg mit Nordkorea gelten die Brückenbauwerke als sensible Objekte, über die möglichst wenig Informationen gesammelt und gespeichert werden sollen, ein nationales Geheimnis. So sind die meisten Brücken noch nicht einmal erfasst. Lagepläne sind in der Regel unvollständig, falsch oder nur sehr lückenhaft. Inspektionen und Unterhalt werden nur bei den wichtigsten Objekten durchgeführt. Erst wenn ein Bauwerk seine Funktion nicht mehr erfüllt, wird gehandelt. Allfällige Erhaltungskonzepte werden aber ohne genauen Kenntnisse der Bauwerksdaten erstellt.

Dass das Wissen um die Wichtigkeit von Inspektionen und Unterhalt noch nicht im Bewusstsein vieler Entwicklungs- und Schwellenländer verankert ist, zeigt nochmals das Beispiel von Südkorea. So gab es 1993 eine grosse konstruktive Sicherheitsuntersuchung aller Brücken in Seoul. Ausgenommen von diesen Untersuchungen waren aber junge Brücken mit einem Alter von weniger als 20 Jahren, da diese nach Ansicht der koreanischen Fachleute gemäss den geltenden Normen erstellt worden waren und eine Untersuchung nicht von Nöten sei. Solch falsche Erhaltungsstrategien und Methoden verringern die Lebensdauer von Infrastrukturbauten unnötig und können sogar tragische Unglücke zur Folge haben. So forderte der Einsturz der Sung-Soo Brücke in Seoul im Oktober 1994 30 Menschenleben und viele Verletzte. Damals war die Brücke weniger als 15 Jahre alt. Als Schadensursachen wurden folgende Gründe aufgezählt: Mangelnde Instandhaltung, Erhöhung der zulässigen Belastung ohne konstruktive Verstärkungen und Fehler bei der Ausführung [2].

Das Beispiel zeigt, dass das Bewusstsein für Instandhaltungskonzepte noch nicht weltweit verbreitet ist. Auch auf diesem Gebiet sollte vermehrt Geld von den Industriestaaten in weniger entwickelte Länder fliessen, um neu aufgebaute Infrastrukturen nicht schon innert kürzester Zeit wieder unbrauchbar werden zu lassen.

## 3 Schadensbilder

### 3.1 Einleitung

Schwachstellen an Brückenbauwerken werden durch die Überwachung festgestellt. Die erkannten Schäden können sowohl die Tragsicherheit als auch die Gebrauchstauglichkeit und die ästhetischen Anforderungen beeinträchtigen. Häufig führen sie aber nicht zu einem Versagen des Bauwerkes. Dennoch müssen Erhaltungsmaßnahmen ergriffen werden, da sonst weitere Schäden auftreten können.

Bei Stahlbetonbrücken ist der häufigste und gefährlichste Schadensmechanismus die Korrosion. Solche Schäden sind an der Betonoberfläche meist erkennbar, da mit der Korrosion eine Volumenvergrößerung und damit Abplatzungen verbunden sind. Neben den rein werkstofflichen Schadensmechanismen gibt es aber auch andere Ursachen für Schäden, die hier nur im Überblick angesprochen werden sollen. Sie können in allen Lebensphasen eines Brückenbauwerkes auftreten (Tabelle 3–1).

Lebensphasen	Ursachen
Planungsphase	ungenügende Kenntnisse über Material und Technik falsche Last- oder Rechenannahmen Rechenfehler oder Rechenungenauigkeiten Informationsfehler, z.B. über Projektdaten Termin- und Kostendruck konzeptionelle Fehler, Konstruktionsfehler menschliche Fehler
Ausführungsphase	ungenügende Fachkenntnisse leichte oder grobe Fahrlässigkeit in der Ausführung Missachtung von Regeln und Technik Schnittstellenprobleme, z.B. Bauablauf Termin- und Kostendruck mangelnde Qualitätskontrolle improvisierte Ausführung bei Störungen Umwelteinflüsse, z.B. Witterung
Erhaltungsphase	Alterung Abnutzung fehlender Unterhalt Nutzungsänderung Dauerschwingungen Setzungen des Baugrundes ausserordentliches Ereignis, z.B. Anprall falsche Erhaltungskonzepte Umwelteinflüsse, z.B. Witterung, Naturkatastrophen

Tabelle 3–1: Schadensursachen nach Lebensphasen

Die Liste ist nicht vollständig und zeigt, wie fehleranfällig ein Brückenbauwerk ist. Dennoch verhält sich das Bauwerk gutmütig. Wichtig ist es, das Gefährdungspotential eines Schadensmechanismus zu kennen und entsprechende Massnahmen einleiten zu können.

## 3.2 Schadensbilder an sichtbaren Bauteilen

### 3.2.1 Korrosion an der Tragkonstruktion

Noch immer wird das Korrosionsprodukt Rost als unästhetisch, als störend an einem Bauwerk betrachtet. Schon ein dünner Bindedraht, der nicht vollständig einbetoniert wurde, kann an einer hellgrauen, senkrechten Betonwand eine hässliche Rostspur hinterlassen. Bild 3–1 zeigt eine typische Rostspur, doch hier ist der Durchmesser des Eisens mit 20 mm beträchtlich. Das Eisen in einem Widerlager einer Autobahnbrücke könnte aus verschiedenen Gründen so aus dem Beton ragen: Fehler beim Verlegen, abgeschnittenes Verankerungseisen für das Brückengerüst o.ä.



Bild 3–1: Vergessenes Eisen

Ist die korrodierende Bewehrung mit Beton umgeben, so kann durch die Volumenzunahme der darüberliegende Beton abplatzen. Häufig ist dieses Phänomen an Pfeilern und Stirnflächen von Konsolköpfen anzutreffen. Doch auch an scheinbar geschützten Stellen treten diese Schäden auf. An der Untersicht von Hohlkästen ist die Karbonatisierungsfront meist schon weit fortgeschritten. Dringt nun wegen eines falsch konzipiertes Entwässerungskonzeptes oder wegen Rissen in der Abdichtung Wasser in den Hohlkasten, wird der Hohlkastenboden an der tiefsten Stelle durchfeuchtet. Ideale Bedingungen für die Korrosion, von oben her Feuchtigkeit und von unten her tiefer pH-Wert wegen der Karbonatisierung. Die Folgen sind Abplatzungen (Bild 3–2). In einem anderen Beispiel sickert chloridverseuchtes Spritzwasser entlang der Lärmschutzwände an die Stirnflächen von Konsolköpfen. Durch das Tausalz wird die Passivierungsschicht der Bügelbewehrung zerstört und durch das periodische Feuchtwerden entstehen die Abplatzungen (Bild 3–3). Ursache dafür ist der falsche Anschluss der Lärmschutzwand an den Konsolkopf. Wegen des Spritzwassers musste deshalb eine Fuge angeordnet werden, die aber nicht genügend unterhalten und so undicht wurde.



Bild 3–2: Abplatzungen an Brückenuntersicht



Bild 3–3: Abplatzungen an geschützten Konsolköpfen

Häufig sind an Brückenbauwerken Risse zu erkennen. Es gibt verschieden Möglichkeiten der Entstehung: Schwinden, mechanische Überbeanspruchung, Volumenzunahme durch Korrosion o.ä. Risse sind immer auch Ein- und Austrittspforten für Wasser. So sind viel Risse wasserführend (Bild 3–4). Bei alten Brückenbauwerken sind bei Rissen Aussinterungen zu erkennen (Bild 3–5). Diese entstehen, wenn  $\text{CO}_2$ -haltiges Wasser durch den Beton sickert und Kalk auflöst. An der Brückenunterseite können sich ganze Ansammlungen von Stalaktiten bilden (Bild 3–6).



Bild 3–4: wasserführender Riss



Bild 3–5: Riss mit Aussinterungen an Konsolkopf



Bild 3–6: Aussinterungen an Brückenunterseite

### 3.2.2 Fahrbahn und Fahrbahnübergänge

Brücken älteren Datums sind häufig nur mit Gussasphaltschichten abgedichtet (Bild 3–7). Entstehen durch die Zunahme des Schwerverkehrs Risse in der Fahrbahn, kann Wasser bis zum Konstruktionsbeton gelangen. Meist sind solche Risse aber sichtbar und können mit einem minimalen Aufwand instand gesetzt werden. Vor allem bei Brücken an untergeordneten Strassen lässt man aber solche Schäden oft jahrelang unbehandelt. Die Folgen sind Schäden an der Konstruktion, die nunmehr mit einem grossen Aufwand instand gesetzt werden müssen. Bei verklebten Abdichtungen werden Risse in der Abdichtung meist durch Risse in der Fahrbahnplatte verursacht. Ähnlich verhält es sich bei Schäden an Fahrbahnübergängen. In den mechanischen Teilen sammelt sich schnell Schmutz an. Bei ungenügendem Unterhalt entwickelt sich Leben in den Vertiefungen der Fahrbahnübergänge. Pflanzen mit ihren Wurzeln greifen die Kunststoffteile an und lassen den Fahrbahnübergang wasserdurchlässig werden.



Bild 3-7: Risse und ungenügende Fugen in Fahrbahn



Bild 3-8: Fahrbahnrisse



Bild 3-10: Übergang bewachsen



Bild 3-9: Fugendetail bewachsen

### 3.2.3 Anprallfolgen

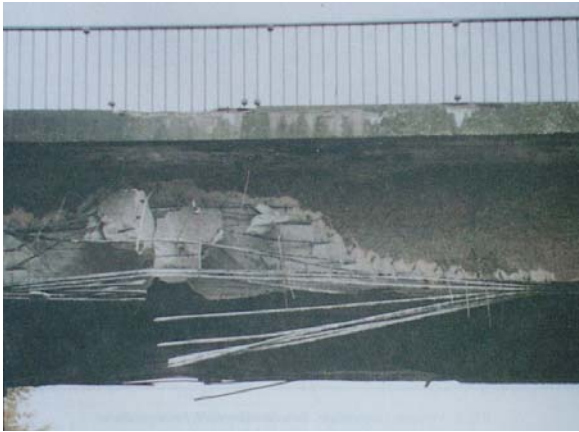


Bild 3-11: Ausgerissene Bewehrung [13]



Bild 3-12: Brückeneinsturz [13]

Nicht selten entstehen Schäden an Brückenbauwerken durch Unfälle. Typisch bei niederen Unterführungen ist der Anprall eines hohen Lastwagens an die Fahrbahnplatte. Trotz Warnschildern kann es vorkommen, dass überhohe Fahrzeuge das Engnis passieren und so Schäden an der Konstruktion hervorrufen. Die Folgen sind Betonabplatzungen oder bei stärkerem Anprall Ausreißen der Bewehrung (Bild 3-11). Bei einem solchen Ereignis muss die Brücke für den Verkehr sofort gesperrt werden und eine Untersuchung bezüglich der Tragsicherheit eingeleitet werden. Auch die darunter liegende Strasse muss für den Verkehr gesperrt werden. Erst nach einer Abfangung der Brücke, kann der unterführende Verkehr wieder eröffnet werden. Anprallfolgen können auch zum Zusammenfall einer Brücke führen. In Bild 3-12 wurde ein 5 m weit neben der Fahrbahn stehender Pfeiler einer Brücke von einem Schwertransporter gerammt. Der Pfeiler kippte und der Brückenüberbau brach daraufhin zusammen. Der Fahrer wurde verletzt. Sonst kamen keine Personen zu Schaden. Die Brücke musste vollständig abgebrochen und ersetzt werden.

Nicht immer verlaufen aber solche Unfälle so spektakulär. Schon ein Unfall mit Anprall und Durchschlagen der Brückenleitplanke kann zu Schäden an der Brücke führen. In Bild 3-13 sind die Folgen dargestellt. Das Fahrzeug durchbrach die Leit-schranken und verursachte dadurch Abplatzungen an den Konsolköpfen. Auch in den

Krafteinleitungsbereichen der Leitschranken brach der Beton spröd. Hier hat die Korrosion schon eingesetzt.



Bild 3-13: Abplatzungen durch Unfall

### 3.3 Gefährdungspotential

#### 3.3.1 Beeinträchtigung des Bauwerkes

Schäden und Schwachstellen an Brücken treten je nach Objekt an unterschiedlichen Stellen und mit unterschiedlicher Stärke auf. Bei jedem Schaden ist daher wieder speziell nach Bauwerk abzuschätzen, wie stark das Bauwerk dadurch beeinträchtigt wird. Die Schäden können in folgende drei Kategorien aufgeteilt werden:

- Schäden, welche die Tragsicherheit beeinträchtigen. In diese Kategorie fallen all jene Schäden, die zu einem katastrophalen Zusammenbruch der Brücke führen können. Gemeint ist damit ein spröder Bruch an einer Schwachstelle, die vorher nicht rechtzeitig erkannt und eliminiert wurde. Obwohl der Bruch plötzlich geschieht, gibt es an jedem Bauwerk zuerst Anzeichen für den Zusammenbruch. Risse vergrössern sich und die Deformationen nehmen überdurchschnittlich zu. Solche Schäden treten oft nach Umnutzungen, Umbauten oder Überbeanspruchungen aus Naturkatastrophen und Unfällen auf. So wurde z.B. im Herbst 1987 beim Hochwasser im Kanton Uri ein Pfeiler der Reussbrücke Wassen unterspült, der Pfeiler senkte sich ab und der Brückenträger verformte sich. Die Tragsicherheit war nicht mehr erfüllt. Mit den sofort eingeleiteten Sicherungsmassnahmen konnte jedoch ein Einsturz verhindert werden. Der heikelste Punkt dieser Erhaltung war die Abschätzung, ob das Bauwerk noch für einen Wiederaufbau verwendet werden konnte oder nicht. Der Beton war gebrochen und die Eisen waren am fließen. Eine Abschätzung des Risikos eines Zusammensturzes war unumgänglich [14].
- Schäden, welche die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen. Die Korrosion ist hauptverantwortlich für Schäden in dieser Kategorie. Die Schäden führen nicht direkt zu einem Zusammenbruch des Bauwerkes. Sie führen zu einer Zunahme von Rissen und vergrössern die Deformationen. Diese Mechanismen treten aber sehr langsam auf und können mit einer periodischen Inspektion erfasst werden. Durch das Auftreten von Schäden dieser Kategorie wird das Bauwerk allgemein geschwächt. Es ist nun anfälliger auf weitere Schadensmechanismen. So können z.B. durch Risse besser betonaggressive Substanzen in das Bauwerk gelangen oder



durch grössere Deformationen mechanische Bauteile in ihrer Dauerhaftigkeit eingeschränkt werden und so ihre Funktionstüchtigkeit verlieren.

Bei der Korrosion entstehen bekanntlich durch Volumenzunahme Betonabplatzungen. In Druckzonen wird so der Querschnitt geschwächt. Zudem geht die Schutzwirkung verloren. Bewehrung, die direkt der Witterung ausgesetzt ist, korrodiert sehr viel schneller. Das Ausmass des Schadens und damit das Schadenpotential nimmt überdurchschnittlich zu. Somit sind aus wirtschaftlichen Gründen auch bei Schäden, welche die Gebrauchstauglichkeit betreffen, Erhaltungsmaßnahmen anzunehmen. Der Zeitpunkt kann aber hinausgezögert werden und entsprechend dem Schadenfortschritt angepasst werden.

- Schäden, welche die Ästhetik beeinträchtigen. Die meisten Benutzer von Brücken sind Laien, die vor allem mit dem Auge das Bauwerk betrachten. Übermässiger Pflanzenbewuchs oder Farbveränderungen werden schon als gefährlich oder als Sicherheitsrisiko eingestuft. So sind z.B. Rostspuren von Bindedrähten störend für das Auge. Da sie jedoch weder die Gebrauchstauglichkeit noch die Tragsicherheit beeinflussen, ist davon abzusehen, mit hohem Aufwand solche Schwachstellen instand zu setzen. Zudem unterscheiden sich ausgebesserte Stellen farblich von den nicht behandelten. Junger Beton ist dunkler als alter und erst nach ein paar Jahren gleichen sich die Farben aus.

### 3.3.2 Abschätzung des Gefährdungspotentials

Das Denken in Gefährdungsbildern ist vom Tunnelbau übernommen. Doch es scheint immer mehr auch im Bereich des Hochbaus Einzug zu halten. Erhaltungsobjekte sind häufig im innerstädtischen Bereich anzutreffen und die Brücke muss wegen ihrer Funktion grosse Belastungen aushalten. Bei Schäden stellen sie ein Sicherheitsrisiko für sich darunter befindende Objekte jeglicher Art und Personen dar. In Tabelle 3–2 sind die einzelnen Gefährdungen zusammengestellt:

Gefährdungsbilder	Ursachen
Wassertropfen mit Rostspuren	keine oder durchlässige Brückenabdichtung Unterläufigkeit der Brückenabdichtung undichte Brückenentwässerung Korrosion an Stirnflächen undichte Fugen
Beeinträchtigung durch Pflanzen/Tiere	Laubfall im Herbst Nistplätze von Vögeln
Betonabplatzungen	Frost-Tausalz-Schäden Alterung Korrosionsabplatzungen
Niederbruch von Brückenbauteilen	Durchrostern der Bewehrung bei Konsolköpfen Durchrostern der Befestigungen von Leiteinrichtungen Unfallfolgen Versagen von mechanischen Brückenbauteilen

Tabelle 3–2: Gefährdungsbilder

Die beiden ersten Gefährdungsbilder ‚Wassertropfen mit Rostspuren‘ und ‚Beeinträchtigung durch Pflanzen/Tier‘ bedrohen nicht direkt das Leben von Menschen. Doch sie treten sehr häufig auf. Gerade bei alten Bauwerken sucht sich das Wasser einen verschlungenen Weg durch die Konstruktion und tropft an irgend einer vorspringen Stelle ab. Meist sind am Boden dann die Spuren sichtbar. Solche Fusswege büssen schnell an Attraktivität ein und die Fussgänger suchen sich einen anderen Weg. Tropfende Brü-

cken sind nur mit grossem Aufwand instand zu setzen. Anders ist es mit den Nistplätzen von Vögeln. Durch Anbringen von Netzen aus Kunststoffen oder Draht ist es einfach, die Vögel vom Bauwerk fern zu halten. Diese Massnahme wird häufig eingesetzt, da der Vogelkot nicht nur Objekte chemisch angreift (z.B. Autolack) und auf Kleidern scheussliche Flecken hinterlässt, sondern auch auf die Bausubstanz aggressiv wirkt.

Sobald sich von einem Bauwerk einzelne Betonteile lösen, stellen diese für die Menschen eine potentielle Gefahr dar, falls ein Fussgänger- oder Verkehrsweg unter der Brücke durchführt. Solche Bauwerke sollten schnellstmöglich instand gesetzt werden. Noch zu häufig aber werden kleine Betonabplatzungen in Kauf genommen, da es noch kein eigentliches Hilfsmittel zur Gefahrenabschätzung gibt. Nur in sehr seltenen Fällen und erst bei grossflächigen Betonabplatzungen wird ein Schutzgerüst aufgestellt, wenn nicht sofort mit der Instandsetzung begonnen werden kann.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Prognose nach der Zunahme der Gefährdung mit Schadenfortschritt. Da vor allem bei der Korrosion ein progressiver Schadenfortschritt zu beobachten ist, sind regelmässige Kontrollen unabdingbar, wenn keine Sofortmassnahmen eingeleitet worden sind. Bei Unfallfolgen ist die Brücke erst wieder für die Nutzung freizugeben, wenn sichergestellt ist, dass keinerlei Gefährdung für den Benutzer vorhanden ist.

### 3.3.3 Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit nach SIA

Auch in SIA 469 wird der Sicherheitsnachweis mit einer Überprüfung gefordert: „Sind die Anforderungen an die Sicherheit nicht mehr erfüllt, so sind Massnahmen zu ergreifen, um die erforderliche Sicherheit wiederherzustellen. Dazu gehören auch die Intensivierung der Überwachung, die Einschränkung der Nutzung oder die Begrenzung der Restnutzungsdauer.“ **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**] S.12. Die Sicherheit der SIA beinhaltet sowohl die Tragsicherheit als auch die Betriebssicherheit:

- Die Tragsicherheit wird anhand der SIA 162 rechnerisch überprüft und mit den im Sicherheitsplan festgelegten Anforderungen verglichen. Bei Brückenbauwerken darf die Ermüdungssicherheit aus der Verkehrsbelastung nicht vergessen werden.
- Die aktuelle Betriebssicherheit wird mit den Anforderungen an den Betrieb und den Betriebsvorschriften aus dem Sicherheitsplan verglichen und gegebenenfalls angepasst. Diese Beurteilung umfasst alle betriebsrelevanten Einrichtungen, wie Signalisation, Leitschranken, Belag. Mit einem Überwachungs- und Unterhaltsplan wird die Betriebssicherheit gewährleistet.
- Neben der Sicherheit wird auch die Gebrauchstauglichkeit anhand des Nutzungsplanes beurteilt. Bei unveränderter Nutzung kann die Gebrauchstauglichkeit direkt am Bauwerk ermittelt werden. Ist sie jedoch nicht mehr erfüllt, sind Unterhaltsarbeiten, Einschränkungen in der Nutzung oder eine Begrenzung der Restnutzungsdauer zu erwägen.
- Die Resultate der Überprüfung werden in einem Bericht zusammengefasst. Neben der Abschätzung der Sicherheit und der Gebrauchstauglichkeit und den daraus folgenden Sofortmassnahmen sind auch folgende Beurteilungen anzufügen:
- Benutzerbedürfnisse. Durch eine Nachfrageerhebung kann eine Nutzungsänderung herbeigeführt werden. Je nach Art der Änderung sind entsprechende Unterhalts- und Erhaltungskonzepte auszuarbeiten.

- **Erhaltungswürdigkeit.** Brücken sind dominierende Bauwerke sowohl im innerstädtischen Bereich als auch frei in der Landschaft. Viele Brücken sind schon denkmalgeschützt. Eine Erhaltung eines solchen Objektes verlangt von den Projektbeteiligten viel Einfühlungsvermögen. Das Aussehen und somit das konstruktive Konzept darf kaum verändert werden, obwohl sich die Nutzungsbedingungen geändert haben.
- **gesetzliche Auflagen.** Sie können die Erhaltung einer Brücke massiv beeinflussen. Falls z.B. durch Lärmvorschriften an den Konsolköpfen Lärmschutzwände angebracht werden müssen, muss meist die gesamte Konstruktion verstärkt werden, da die Konsolköpfe nicht auf solche Windlasten bemessen sind.

## 4 Beispiele

### 4.1 Fürstenlandbrücke

#### 4.1.1 Ausgangslage

Die Fürstenlandbrücke wurde zwischen 1937 und 1940 erbaut. Die schlaff armierte Ortsbetonkonstruktion gliedert sich in fünf Teile, die durch eingehängte Träger miteinander verbunden sind. Der Bogen hat eine Spannweite von 143,8 m. Gesamthaft ist sie 489 m lang.

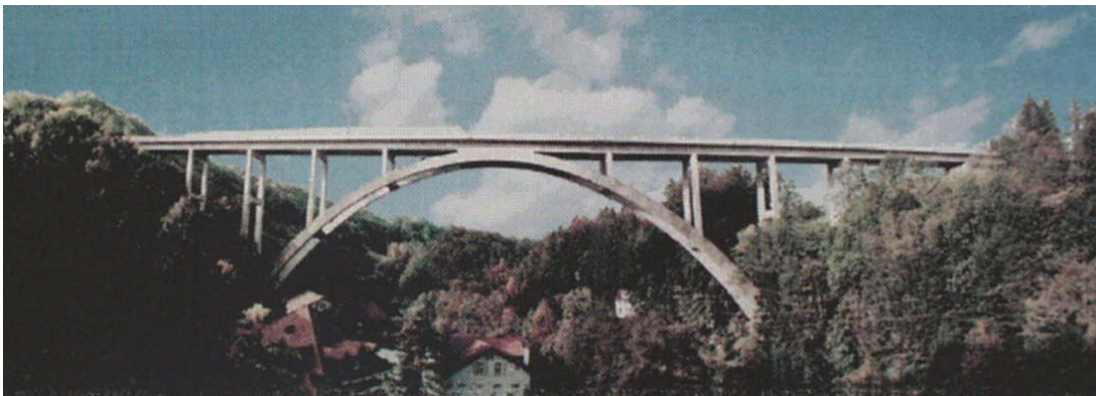


Bild 4–1: Ansicht Fürstenlandbrücke

Der allgemeine Zustand des Bauwerks wird vom Projektverfasser als zufriedenstellend bezeichnet. Am Fahrbahnkasten traten durch Wassereintritte, insbesondere durch eine mangelhaft ausgeführte Belagsentwässerung, zum Teil massive Schäden auf. Das Durchsickern des Wassers führte zu Aussinterungen, Betonabplatzungen und starker Korrosion an freiliegenden Eisen. An den Konsolköpfen traten durch Frost-Tausalz-Bbeanspruchung erhebliche Schäden auf. Die Tragsicherheit der Gesamtkonstruktion war aber nur unwesentlich abgemindert, einzig die Kragplatten genügten nicht mehr den neuen Vorschriften nach SIA 162. Hingegen war die Gebrauchstauglichkeit stark beeinträchtigt. Aus diesem Grund musste die unverzügliche Erhaltung des Überbaus angestrebt werden.

Folgende Mechanismen sind für die Schäden an der Fürstenlandbrücke verantwortlich:

- Die früher verwendeten Bitumenanstriche sind als Fahrbahnabdichtung ungenügend. Eine 1976 aufgebraute PCV-Folie war innerhalb kürzester Zeit wieder nutzlos geworden. Durch die Schwarzräumung konnte Tausalz durch die Fehlstellen in die Tragkonstruktion gelangen. Betroffen war vor allem der Hohlkasten. In diesem Zusammenhang stand auch die ungünstig angeordnete und ungenügende Entwässerung. Chloridverseuchte Sprühwasserfahnen aus Freifallentwässerungen griffen die eigentlich vor Witterung geschützte Fahrbahnunterseite, Pfeiler und Bögen an.
- Durch eine mangelhafte Ausführung der Arbeiten war die Betonüberdeckung vielerorts mangelhaft. Da noch keine Abstandhalter eingesetzt wurden, variierte die Überdeckung stark. Zudem war die Ausführung und die Nachbehandlung ungenügend. Kiesnester und wasserdurchlässige Arbeitsfugen sind oft anzutreffen.

- Die Nutzung der Brücke hatte sich verändert. Die mechanische Beanspruchung ist heute grösser und mit der Zulassung der Vierzigtonner wird die Tragkonstruktion noch zusätzlich belastet.

#### **4.1.2 Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen**

Als Kantonsstrasse mit einer Verkehrsbelastung von 20'000 Fahrzeugen pro Tag ist die Fürstenlandbrücke sehr stark befahren. Eine totale Sperrung der Brücke über eine längere Zeit mit entsprechenden Umleitungen ist ausgeschlossen.

In den Monaten Oktober – Februar, während denen witterungsbedingt keine Abdichtungs- und Belagsarbeiten gemacht werden können, stehen dem Verkehr zwei Fahrbahnen zur Verfügung. In den Monaten März – September ist es unumgänglich eine Fahrbahn zu sperren. Die Verkehrsregelung erfolgt mittels einer radargesteuerten Lichtsignalanlage.

Um ein übermässiges Anwachsen der Verkehrsstaulängen zu verhindern, muss der Baufortschritt in Längsrichtung etappiert werden. Unter Berücksichtigung aller massgebenden Einflüsse (Ausführungsqualität, beschränkte Bauzeit, zumutbare Wartezeit für Verkehrsteilnehmer usw.) wird die maximale Baustellenlänge auf 200 m festgelegt, was eine Lichtsignallänge von ca. 240 m ergibt.

#### **4.1.3 Erhaltungskonzept**

- Die Erhaltung dauert von 1992 – 2001, also 9 Jahre. Dies ist das Resultat der Etappierung. Als dringend wurde der Einbau einer Abdichtung erachtete, damit die auftretenden Frost-Tausalz-Schäden und die Korrosion gestoppt werden konnten. Mit den Erhaltungen an den Betonaussenflächen kann noch zugewartet werden. Zudem können diese Arbeiten dank einem Spezialgerüst ohne Beeinträchtigung des Verkehrs ausgeführt werden.
- Der Kanton St. Gallen verfolgt die Philosophie der Ursachenbekämpfung, nicht der Symptombekämpfung. So wird versucht, mit einer Erhaltung ein möglichst dauerhaftes Bauwerk zu bekommen, das mit dem erforderlichen Unterhalt während der Restlebensdauer seine Funktion erfüllen kann. So werden alle Brücken abgedichtet und bei mangelnder Überdeckung eine Oberflächenbehandlung angeordnet. Die Erhaltung der Fürstenlandbrücke setzt diese Philosophie konsequent um, doch mit Ansätzen, die nicht unumstritten sind:
- Als Abdichtung werden vollflächig verklebte Polymer-Bitumen-Bahnen (PBD) verwendet. Der Einbau erfolgte ohne Schutzzelt. Der Untergrundbeton wird aus Kostengründen nicht versiegelt. Der Dampfdruck wird aber schon bald zur Blasenbildung unter der Abdichtung führen, womit die Gefahr der Unterläufigkeit steigt. Besser wäre eine schwimmende Ausführung mit Verklebung nur im Übergangsbereich zu den Konsolköpfen oder bei Fahrbahnübergängen.
- Der Betonabtrag auf den Aussenflächen erfolgt mit Spitzhammer. Dieses Verfahren stört aber nachweislich den Betonuntergrund. Da sehr viele Ausbruchstellen vorhanden sind, wäre der Einsatz von Höchstdruckwasser weniger schädigend für den Beton. Problematisch sind vor allem die kleinen Stellen.
- Korrosion durch Bindedrähte ist in keinem Fall schädigend für das Bauwerk. Ein Ausspitzen und eine Reprofilierung der Stelle ist unnötig. Diese Kosten können eingespart werden.

- Zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit werden alle Betonoberflächen hydrophobiert. Das Eindringen der Hydrophobierung ist aber je nach Betonqualität sehr unterschiedlich. Es ist dem Projektverfasser bewusst, dass nach rund 15 Jahren die Hydrophobierung abgebaut sein wird und ohne Gerüst nicht erneuert werden kann. Doch schon zuvor besteht die Gefahr, dass lokal hohe Korrosion wegen ungenügender Hydrophobierung entsteht.
- Die Hydrophobierung beeinflusst zudem stark das Terminprogramm, da mit dem gewählten Gerüst ein Vorschub erst nach Abschluss aller Arbeiten möglich ist. Da die Hydrophobierung aber nur bei günstiger Witterung appliziert werden kann (eine Einhausung der Tragkonstruktion ist nicht möglich), muss der Betrieb auf der Baustelle öfters im Frühling oder im Herbst ruhen.
- Die Nachbehandlung der Reprofilierungen ist ungenügend. Vor allem die kleinen Stellen werden nicht. Solche Reprofilierungen werden sich schon in Kürze wieder vom alten Beton lösen.

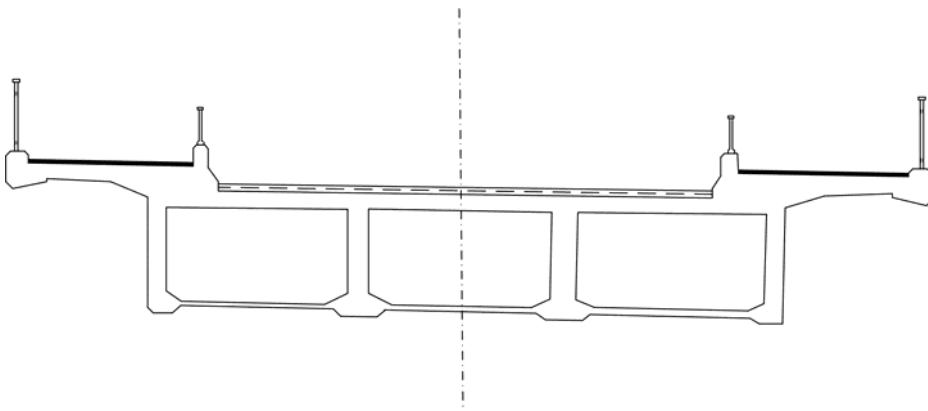


Bild 4–2: neuer Brückenquerschnitt



Bild 4–3: ungenügende Reprofilierung

#### 4.1.4 Ausführung

In den ersten beiden Etappen wurde der Oberbau und der Hohlkasten innen instand gesetzt. Der Fahrbelag wurde mittels einer Fräse, der Beton 1 – 2 cm tief mit Höchstdruckwasser abgetragen. Die Fahrbelagplatte musste aus statischen Gründen um 9 cm aufbetoniert werden. Um nicht die Kragplatten aufwändig zu verstärken, wurde der Gehweg mit einer New Jersey ähnlichen Brüstung von der Fahrbelagplatte getrennt. Die neue Abdichtung besteht aus vollflächig verklebten Polymer-Bitumen-

Dichtungsbahnen. Im Fahrbahnkasten entstand ein neues kontrollier- und auswechselbares Brückenentwässerungssystem.

In einer zweiten Etappe werden alle Betonoberflächen des Hohlkastens, der Pfeiler und des Bogens instand gesetzt. Danach wird das gesamte Bauwerk mit einer Hydrophobierung ausgestattet.

Für die 3. Etappe wurde ein spezielles Gerüst entworfen, das es erlaubt ohne jegliche Beeinträchtigung des Verkehrs, die Arbeiten an der Konstruktion auszuführen. Das Gerüst besteht aus einem festen Rahmen, in den einzelnen bewegliche Roste eingeschoben werden. Je nachdem, ob ein Pfeiler (Doppelpfeil A) oder ein Bogen (Doppelpfeil B) den Weg versperrt, wird der entsprechende Rost nach aussen geschoben. So kann dasselbe Gerüst für die gesamte Brücke verwendet werden.

Durch den Rahmen entsteht eine einzige durchgehende Arbeitsplattform. Die spezielle Konstruktionsart lässt einen grossen Arbeitsspielraum. Keine Querverstreibungen behindern die Arbeiten. Das Gerüst ist am Hohlkasten. Die Stützen an der Fahrbahnplatte sind einzig zur Stabilisation.

Durch diese Erhaltungsmassnahmen soll die Brücke in einen solchen Zustand versetzt werden, dass mit periodischer Überwachung und Unterhalt keine Instandsetzung über die Restnutzungsdauer mehr nötig ist.

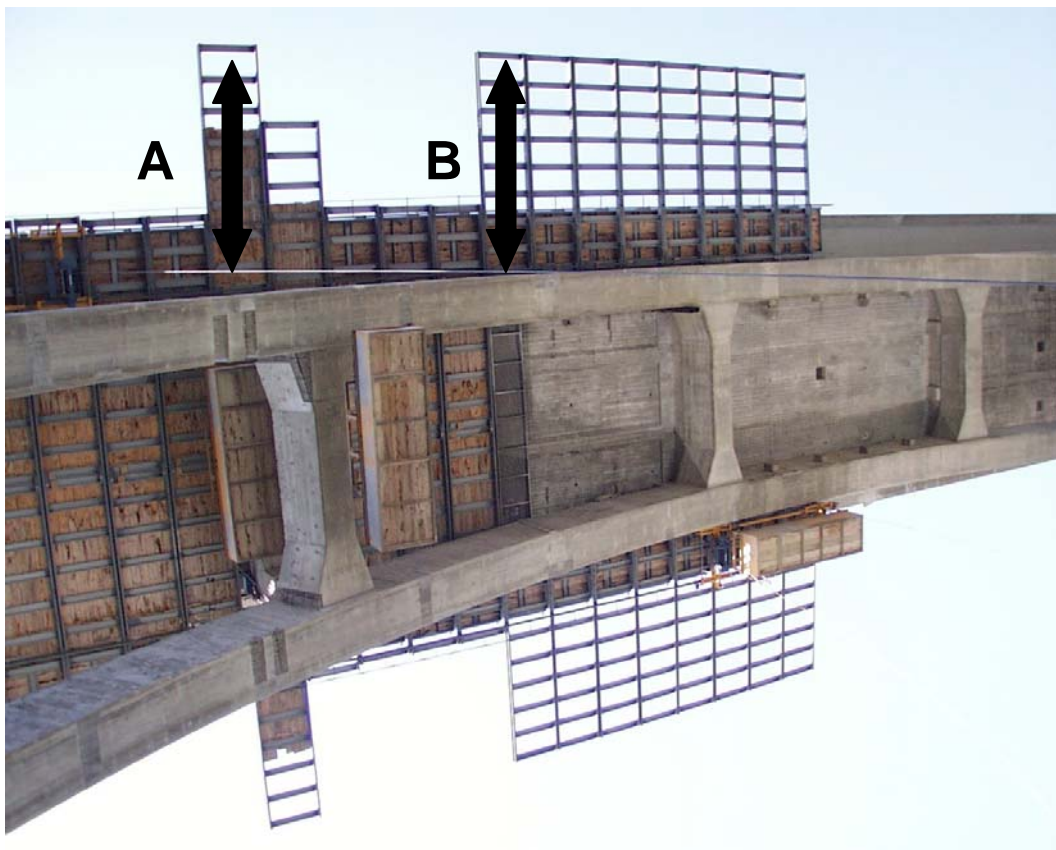


Bild 4–4: Untersicht Gerüst



Bild 4–5: Gerüstbefestigung



Bild 4–6: Arbeitsplattform

Die Form des Bogens und die vielen Pfeiler machten ein ausgeklügeltes System von Hebebühnen nötig. Unter dem Rahmen sind vier Hebebühnen angebracht, die jede Stelle der Brücke erreichen können. Auch die Erschliessung der Arbeitsplattform und der gesamte Materialtransport erfolgt mit den Bühnen. So ist der Verkehr auf der Brückenfahrbahn nie beeinträchtigt.





Bild 4–7: Hebebühnen



Bild 4–8: Befestigung der Hebebühne am Rahmen

## 4.2 Sihlhochstrasse [36]

### 4.2.1 Ausgangslage



Bild 4–9: Abfahrtsrampe im innerstädtischen Bereich

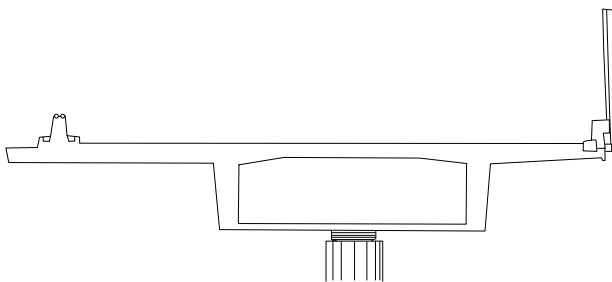


Bild 4–10: Brückenquerschnitt Abfahrtsrampe

Die Sihlhochstrasse ist eine vierspurige Hochstrasse, die den Verkehr aus Zürich hinaus Richtung Chur leitet. Das grösste Teilstück und der Auf- und Abfahrtsbereich ‚Sihlhölzi‘ befindet sich im sensiblen innerstädtischen Bereich. Das Bauwerk ist mehr als 2.5 km lang und besteht aus zwei miteinander verbundenen Hohlkästen. Die Fahrbahn ist je 12.5 m breit.

Auf der Brücke Sihlhochstrasse sind alle typischen Schäden eines Erhaltungsprojektes aufgetreten. Durch undichte Fugen konnte das Wasser in den Belag und weiter bis auf den Konstruktionsbeton gelangen. Die Bewehrung der Fahrbahnplatte wies aber kaum Korrosion auf. Das Problem war mehr das Wasser, das durch Kiesnester in den Hohlkästen gelangte und sich dort an Tiefpunkten sammelte. Auch durch geborstene Entwässerungsröhre (Kunststoff oder Eternit) drang Wasser in den Hohlkästen, aber jetzt angereichert mit Tausalzen. Dies führte vor allem an der Innenseite des Hohlkastens zu Betonabplatzungen. Im Bereich der Randborde war die Überdeckung ungenügend. Dadurch entstanden durch Chloridverseuchung und Frost-Tausalz-Beanspruchung Schäden in Form von Betonabplatzungen auf. Ein weiteres Problem bestand bei der undichten Arbeitsfuge zwischen Fahrbahnplatte und Konsolkopf. Hier gelangte chloridverseuchtes Wasser an die Verankerungsbewehrung der Konsolen. Es trat teils erhebliche Lochfrasskorrosion auf. Ein Abstürzen der Lärmschutzwand und der Konsole konnte nicht mehr ausgeschlossen werden.

#### 4.2.2 Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen

Die Brücke wird vom Projektverfasser in verschiedene Abschnitte aufgeteilt und so auch ausgeschrieben. Folgende Gründe sprechen für eine solche Ausschreibung:

- Der Projektverfasser will den freien Wettbewerb spielen lassen. Wenn die gesamte Brücke als ein Los ausgeschrieben wird, können nur zwei bis drei ARGE's den Auftrag überhaupt übernehmen.
- Durch die Etappierung wird das Projekt zeitliche aufgeteilt. Eine Staffelung der Arbeiten findet statt. Damit stehen auf der Brücke immer genügend Deponie- und Lagerplätze zur Verfügung.
- Der Projektverfasser ist nicht in der Lage, alle Pläne auf Baubeginn zu liefern. Eine Etappierung würde hier den Kapazitätsengpass des Projektverfassers umgehen.

Da die Sihlhochstrasse eine Hochstrasse mit Auffahrtsrampen ist, muss für die Erschliessung der Baustelle eine Hilfsauffahrt gebaut werden. Je nach Bauphase wird diese Auffahrt als Träger für den Strassenverkehr oder als Baustellenzufahrt genutzt.

Durch diese Verkehrsführung müssen auch verschiedene Anschlussknoten je nach Bauphase angepasst werden. Alle Verkehrsumstellungen müssen in der Nacht oder während Wochenenden geschehen.

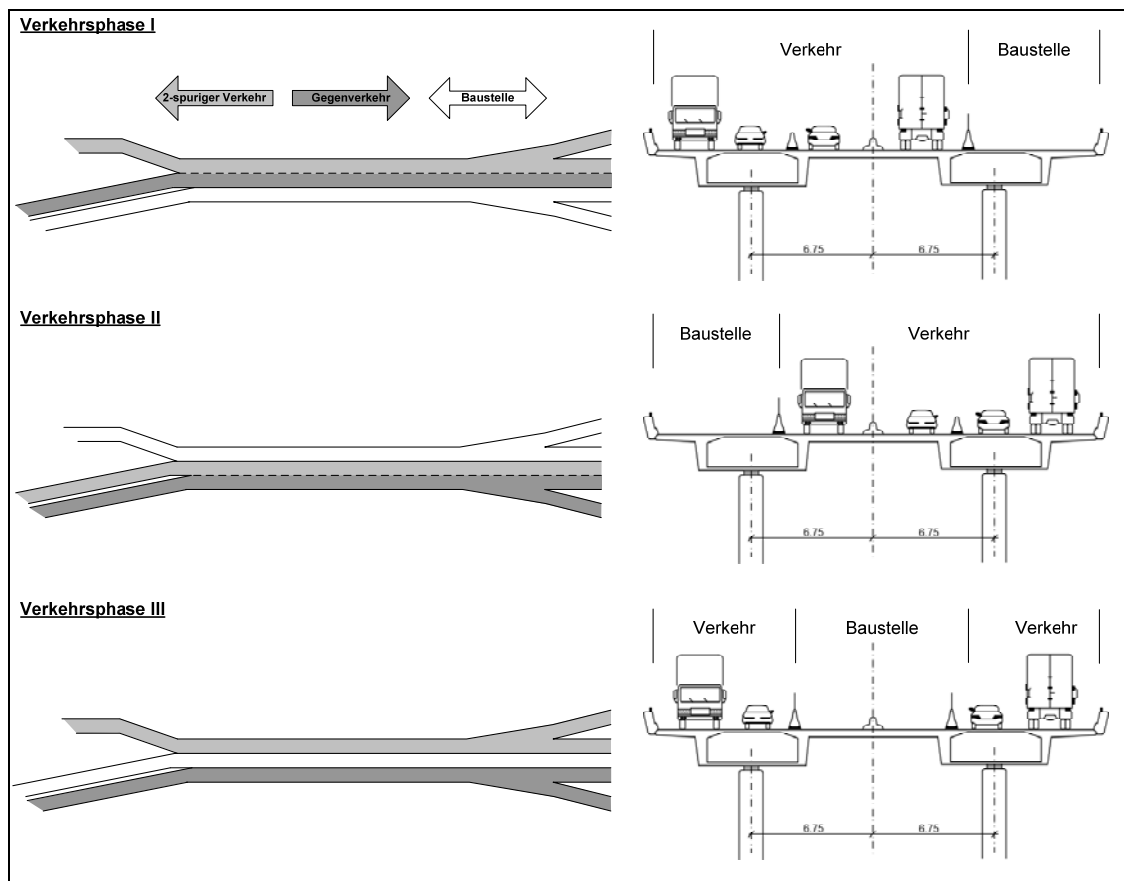


Bild 4–11: Verkehrsphasen

### 4.2.3 Erhaltungskonzept

- Auf der Baustelle werden die Grundsätze bezüglich Dauerhaftigkeit konsequent angewendet: Der Beton wird möglichst schonend abgebaut. Der Spitzhammer wird nur zum Öffnen der Fahrbahnplatte, als Einstieg in den Hohlkasten, verwendet.
- Problematisch ist, dass für das Aufbringen der Versiegelung und der Kunststofffolien im Übergangsbereich zum Konsolkopf kein Schutzzelt verwendet wird.
- Der kritische Arbeitsvorgang für die Einhaltung des Terminprogramms ist das Betonieren der Konsolköpfe. Dadurch, dass eine Spezialschalung verwendet wird und der Beton mindestens 72 h in der Schalung bleiben muss, ist eine Arbeitsbeschleunigung mit mehr Personal nicht möglich. Bei Ausfall einer dieser Schalungen ist der Arbeitsfortschritt auf der gesamten Baustelle in Gefahr.
- Der Projektverfasser verlangt eine Überdeckung im Spritzwasserbereich von 6 cm. Diese Überdeckung ist anfällig auf Schwindrisse. Dadurch würde aber wieder mehr Tausalz in den Beton gelangen.
- Auf den Schutz der Anwohner wird nicht genügend Wert gelegt. Der Projektverfasser verlangt für die Ausführung der zweiten Brückenseite das Anbringen von Gerüstverkleidungen, die neben dem Staub auch den Lärm eindämmen können.

### 4.2.4 Ausführung

Mit folgenden Arbeitsschritten wurde die Brücke instand gesetzt:

- Zuerst wurden die Lärmschutzwände abgebrochen und die Konsolköpfe entfernt. Danach wurde der Belag und der Gussasphalt abgetragen, der zum Ausgleich der Niveauunterschiede eingebracht wurde. Die Brücke wurde mit einem Vorschubgerüst gebaut, das zu weich ausgebildet war. Durch diese Biegeempfindlichkeit entstanden Mulden in Feldmitte bis zu einigen Zentimetern. Mit Höchstdruckwasserverfahren wurde die Fahrbahnplatte um 3 – 10 cm abgetragen. Eingesetzt wurde ein Roboter mit Drücken bis 1500 bar und 120 l/min Wasserverbrauch.



Bild 4–12: freigelegte Anschlussbewehrung

- Für die Anschlussbewehrung der neuen Konsolköpfe musste die Randbewehrung mit Höchstdruckwasser freigelegt werden (bis 20 cm). Diese Arbeit wurde mit Handlansen mit Drücken bis 2500 bar und 16 l/min Wasserverbrauch ausgeführt.
- Betonieren der Fahrbahn in einer Etappe zu je zwei Hälften (eine Seite musste immer mit Baustellenfahrzeugen befahrbar sein). Zuerst wurde die Schubverdübelung (3.7 Dübel pro m<sup>2</sup>) gesetzt. Zwei Punkte sind dabei zu beachten: Beim Boh-

ren der Löcher durfte kein Spannkabel durchtrennt werden. Die Lage der Spannkabel musste im Voraus bekannt sein und die Höhe der Dübel konnte nicht von der Betonoberfläche aus gemessen werden, da diese nach dem HDW-Abtrag sehr uneben war. Als Hilfsmassnahme wurde eine Schiene entlang der Strasse angebracht, auf der auch der Fertiger sich fortbewegen konnte.

- Gewisse Verstärkungsmassnahmen an den Auffahrten waren noch nötig. Die als New Jersey ausgebildeten Konsolköpfe haben im Spritzwasserbereich eine Überdeckung von 6 cm, auf der Oberfläche 5 cm und an der Aussenseite 4 cm.
- Vor dem Aufbringen der Versiegelung aus Epoxidharz musste die Betonoberfläche mit Kugelstrahlen (trocken) behandelt werden. Die Abdichtung besteht aus einschichtigen Polymerbitumenbahnen.



Bild 4–13: Fertiger zum Betonieren der Fahrbahnplatte



Bild 4–14: Einstieg in Hohlkasten

### 4.3 Schwarzwaldbrücke in Basel [35]

#### 4.3.1 Ausgangslage

Die Schwarzwaldbrücke über den Rhein ist Bestandteil des schweizerischen Nationalstrassennetzes sowie des lokalen städtischen Strassennetzes und wurde in den Jahren 1970 bis 1973 erbaut (Bild 4–15). Die im Freivorbau erstellte Brücke besteht in ihrem Querschnitt aus vier je 6.70m breiten, nebeneinander liegenden Hohlkästen mit unterschiedlich breiten Kragplatten; je zwei Hohlkästen sind über die Fahrbahnplatte miteinander verbunden. Als statisches System wurde eine Rahmenkonstruktion mit Scheitelgelenk gewählt.



Bild 4–15: Schwarzwaldbrücke Basel

### 4.3.2 Rahmenbedingungen für die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen

Die Problematik der stetig zunehmenden Scheiteleinsenkung (Bild 4–16) führte zur Entscheidung, das Verformungsverhalten der Brücke durch eine zusätzliche externe Vorspannung zu verbessern. Dabei ist insbesondere zu bemerken, dass infolge örtlicher Verhältnisse keine Möglichkeit besteht, hinter den Brückenenden Massnahmen wie Kabelverankerungen usw. zu treffen. Der ausserordentlich dichte Verkehr auf der Brücke lässt eine längerdauernde Sperrung nicht zu.

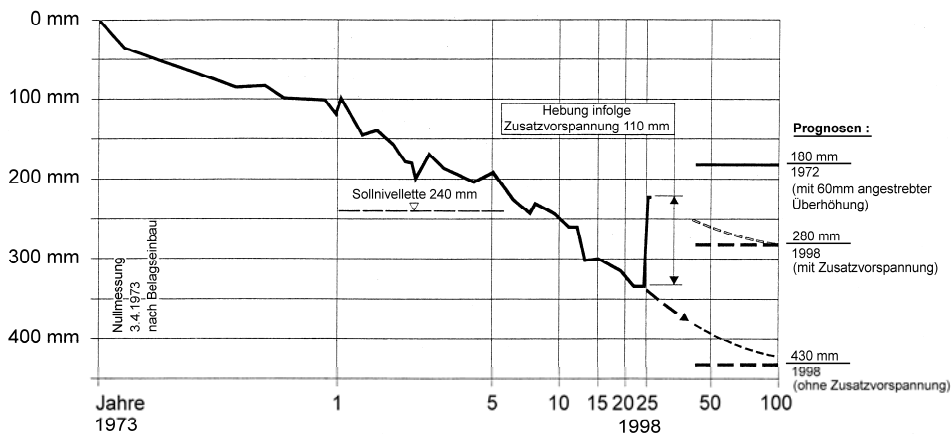


Bild 4–16: Durchbiegung des Scheitelgelenks

### 4.3.3 Erhaltungskonzept

#### Externe Zusatzvorspannung

Die statischen Verhältnisse der Brücke ergaben infolge Eigenlasten nahezu auf der ganzen Brückenlänge negative Biegemomente. Um den übermässigen Verformungen wirksam entgegenzutreten, sind deshalb mit einer zusätzlichen externen Vorspannung in möglichst weiten Bereichen des Brückenträgers positive Biegemomente zu erzeugen. Damit wird gleichzeitig der Spannungszustand derart verändert, dass auch weitere zu Verformungen führende Kriecheffekte unterbunden oder zumindest stark reduziert werden.

Die externe Zusatzvorspannung liegt innerhalb der Brückenkästen jeweils direkt neben den Stegen (Bild 4–17). Pro Kasten sind beidseits je drei grosse Vorspannkabel angeordnet. Verankert nahe den Brückenenden, laufen die Kabel geradlinig bis in den Stützenbereich, wo sie möglichst hochliegend vertikal umgelenkt werden und wiederum in gestreckter Linie ohne weitere Umlenkungen bis zum Scheitelgelenk verlaufen. Hier liegen die Kabel direkt über dem Kastenboden und werden mittels einer Stützkonstruktion umgelenkt, aber trotz des Scheitelgelenkes jedoch nicht abgespannt, sondern in analoger Weise zum andern Brückenende weitergeführt und verankert.

Die Endverankerungen der Kabelkräfte und deren Einleitung in den Brückenträger erfolgt über 54cm dicke Stegvorbetonierungen. Zwecks optimaler Kraftübertragung wurden die Stege aufgeraut und mit Injektionsankern zur Kraftübertragung versehen. Die Vorbetonierung erfolgte über die volle Höhe der Stege, wobei die obere Anschlussfuge zur Fahrbahnplatte mittels Injektionen ausgepresst wurde. Wegen den unzähligen auf der unteren Bewehrung der Fahrbahnplatte liegenden Vorspannkabel konnten hier keine Injektionsanker gesetzt werden.



Bild 4-17: Endverankerung mit Stegvorbetonierung

Die Kabel werden direkt unterhalb der Fahrbahnplatte in kurzen, gekrümmten Stahlrohren umgelenkt; diese geben die Umlenkkräfte über vertikale Stahlstützen der Profiltyps HEB 300 auf die nur im unteren Kastenbereich vorhandenen, dreieckförmigen Querscheiben ab (Bild 4-18).

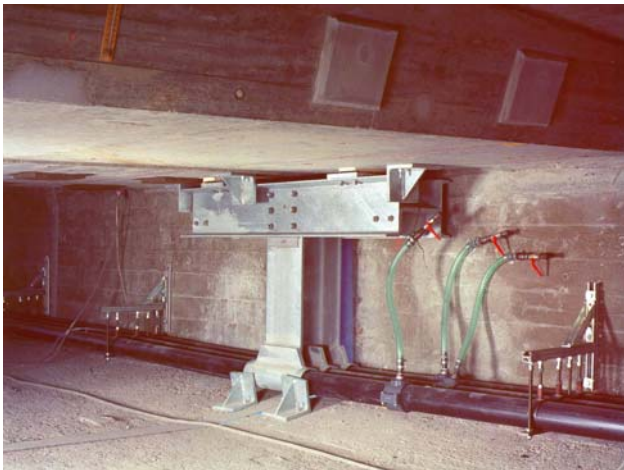


Bild 4-18: Scheitelgelenk mit Umlenkkonstruktion

Ein T-Profil als Stützbock gibt die Umlenkkräfte über Verformungslager beidseits des Gelenks auf die Verdickung der Fahrbahnplatte ab und bleibt bei sich ändernder Durchbiegung des Brückenträgers bezüglich der Spannkabel in unveränderter Lage. Diese selbst können die Längenänderung problemlos aufnehmen, da sie frei gespannt sind. Das vorhandene Scheitelgelenk in Brückenmitte ist als Betongelenk über die ganze Fahrbahnbreite ausgebildet; dieses weist allerdings lediglich eine einseitige Einschnürung auf der Untersicht auf.

### 4.3.4 Ausführung

Zu den Brückenkästen waren vorerst zusätzliche Zugänge von den vorhandenen Uferstrassen mittels Durchbrüchen in den unteren Kastenplatten zu erstellen. Alsdann sind diverse Werkleitungen umgelegt worden, um an den Stegen knappen Platz für die Zu-



satzvorspannung zu schaffen. Sämtliche Arbeiten wurden ohne jede Behinderung des Verkehrs auf der Brücke ausschliesslich vom Kasteninnern aus ausgeführt; auf Durchbrüche in der Fahrbahnplatte konnte verzichtet werden (Bild 4–19).



Bild 4–19: Beengte Platzverhältnisse

Die Erstellung der Endverankerungen erfolgte nacheinander gemäss folgendem Ablauf, der auf Grund von zwei Vorversuchen im Hohlkasten K1 festgelegt wurde:

- Anzeichnen der bestehenden Bewehrung im Steg.
- Bohren und Versetzen der rund 200 Injektionsanker zwischen den vorhandenen Bewehrungen in regelmässigem, auf die zu übertragenden Kräfte abgestimmtem Raster.
- Höchstdruckwasserstrahlen der Betonoberfläche zum Aufrauhnen der Verbundfuge
- Verlängern der Injektionsanker mit Muffen und Hakeneisen.
- Montage von Injektionsschläuchen unter der Fahrbahnplatte für späteres Verpressen dieser horizontalen Arbeitsfuge.
- Verlegen der Bewehrung, der Kunststoffhüllrohre und der Ankerkörper. Sichern der Ankerverlängerungen durch Verschweissen mit Längseisen
- Zuschalen bis unter die Fahrbahnplatte mit verschliessbaren Anschlussstutzen für die Schläuche der Betonpumpe, sowie mit einzelnen, ebenfalls verschliessbaren Beobachtungsfenstern. Zusätzlich wurden direkt unter der Fahrbahnplatte kleine Stützen zum Verpressen der obersten Zone mit Mörtel eingebaut.
- Betonieren mit Pumpbeton, Verdichtung ausschliesslich mit fest an der Schalung montierten Aussenvibratoren. Unmittelbar nach Verfüllung wurde der durch Nachsacken des Betons sich unvermeidlich bildende dünne Spalt zwischen neu eingebrachtem Beton und Fahrbahnplattenunterseite mit Mörtel ausgepresst.
- Nach Erhärten des Betons, kurz vor dem Spannen der Kabel: zusätzliches Verpressen der Verbundfuge über die eingelegten Injektionsschläuche.

Nach der Montage der Umlenkkonstruktionen erfolgte die Verlegung der Hüllrohre aus PEHD-Material. Im Abstand von rund 1.80m wurden an den Stegen provisorische

Kabelhalter montiert, auf welchen die leeren Hüllrohre verlegt und verschweisst wurden. Danach wurden je 19 Litzen pro Kabel durch die Endverankerung und einbetonierten Anker hindurch in bekannter Weise eingestossen. Nach Montage der Ankerbüchsen wurden die vier korrespondierenden Kabel zweier durch die Fahrbahnplatte miteinander verbundener Kastenträger jeweils gleichzeitig an einem Ende auf volle Kraft gespannt. Die geringen Umlenkungen erübrigten ein Nachspannen der langen Kabel am andern Ende; durch Überspannen konnten die Reibungsverluste vollständig eliminiert werden. Die anschliessende Injektion der Hüllrohre erfolgte ein einem kombinierten Verfahren mittels Teilvakuum und Verpressen auf Grund vorgängig im Werk durchgeführter Versuche.

### **Erfolgskontrolle**

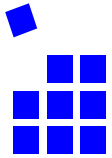
Die Hebung des Brückenscheitels wurde während dem Spannen der Kabel mittels dem vor Beginn der Bauarbeiten eingerichteten hydrostatischen Nivellement laufend kontrolliert. Es zeigte sich, dass der erwartete bzw. berechnete Wert von 110mm einige Stunden nach dem Spannen praktisch genau erreicht wurde. Zusätzlich zur Kontrolle der Scheitelhebungen wurde die Veränderung des Knickwinkels im Scheitel durch Messung des Fugenspaltens mittels Präzisionsmessuhren ermittelt. Auch diese Werte entsprachen den Erwartungen und bestätigten damit auch das einwandfreie elastische Funktionieren des Betongelenks. Seit dem Vorspannen im Frühjahr 1999 blieb die Höhenlage stabil; die in Zukunft regelmässig weiterzuführenden Nivellements werden die weitere Entwicklung der Scheiteldurchbiegung aufzeigen.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Wolfseher R., Die Sanierung von Stahlbetonbauten, Baufachverlag, Dietikon, 1994
- [2] Lee Y.-S., Verbesserung des Instandhaltungsmanagements im Massivbrückenbau durch bauwerksteil- und ursachenbezogene Prognose in der Vorbereitungs- und Planungsphase, Dissertation, Cottbus, 1997
- [3] Menn C., Stahlbetonbrücken, 2. Auflage, Springer-Verlag Wien New York, 1989
- [4] Kern R., Der Einfluss der Austrocknung auf die Wasserbindung und Eigenschaften des Betons, Dissertation, Darmstadt, 1998
- [5] Harnik A., Rösli A., Temperaturschock und Eigenspannungen in Beton unter Frost/Tausalz-Einwirkung, Forschungsauftrag Nr. 29/73 (Strassenbauforschungskommission des Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau, Bern), ETHZ, 1974
- [6] Kingsch W., Zum Einfluss der Nachbehandlung und der Lagerung auf die Betonqualität unter besonderer Berücksichtigung des Frost-Tausalz-Widerstandes, Dissertation, Wuppertal, 1987
- [7] Marchand J., Pigeon M., Bager D., Talbot C., Influence of Chloride Solution Concentration on Deicer Salt Scaling Deterioration of Concrete, ACI Materials Journal, V. 96, No. 4, July-August 1999
- [8] Vollrath F., Tathoff H., Handbuch der Brückeninstandhaltung, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1990
- [9] Wruck R., Günther G., Untersuchungen von Fahrbahnabdichtungen auf Betonbrücken, Forschung Strassenbau und Verkehrstechnik, Heft 510, Bundesminister für Verkehr, Bonn - Bad Godesberg, 1987
- [10] Ruffert G., Unterhaltung von Massivbrücken, Grundlagen – Verfahren – Beispiel, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1983
- [11] Wolfseher R., Kostenstufen der Betonsanierung, oder warum es nicht immer besser ist, sofort zu sanieren, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzung und Baudenkmalpflege, Aedificatio Publishers, Heft 4, 1999
- [12] Instandsetzung der Nationalstrasse A2, Abschnitt Meitschlingen – Wassen 1995 – 1998, Sonderdruck aus Schweizer Ingenieur + Architekt, Nr. 16/17, April 1998
- [13] Schäden an Brücken und anderen Ingenieurbauwerken, Bundesministerium für Verkehr – Abteilung Strassenbau -, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 1994
- [14] Reussbrücke Wasser, Rekonstruktion 1987/88, Separatdruck aus Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 25, Juni 1989
- [15] Menn C., Zustandserfassung und Instandsetzung von Betonbrücken, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 23, Juni 2000

- [16] Martinola G., Wittmann F., Sadouki H., Gerdes A., Schutzmassnahmen für Stahlbeton, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 24, Juni 2000
- [17] Hunkeler F., Grundlagen der elektrochemischen Realkalisierung, Schweizer Baublatt, Nr. 47, Juni 1999
- [18] Hunkeler F., Grundlagen der Korrosion, Schweizer Baublat, Nr. 38, Mai 1999
- [19] Rechsteiner A., Hess B., Wolfseher R., Betonabtrag mittels der Höchstdruckwasserstrahl-Technik, Schweizer Ingenieur und Architekt, Separatdruck aus Heft Nr. 4, 1996
- [20] Removing concrete from bridges, National cooperative highway research program, synthesis of highway practice 169, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., June 1991
- [21] Erhaltung von Brücken, Aktuelle Forschungsergebnisse, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 099, Zürich, 1993
- [22] Erhaltung von Brücken, Aktuelle Forschungsergebnisse, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0129, Zürich, 1996
- [23] Bauwerkserhaltung und Wirtschaftlichkeit – Perspektiven einer modernen Aufgabe, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Dokumentation D 0141, Zürich, 1997
- [24] Wolfseher R., Kostenstufen der Betonsanierung, oder warum es nicht immer besser ist, sofort zu sanieren, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzung und Baudenkmalpflege, Aedificatio Publishers, Heft 4, 1999
- [25] Zschokke B., Über das Rosten der Eisenlagen im Eisenbeton, Schweizerische Bauzeitung, Nr. 24, Juni 1916
- [26] Schalcher H.R., Erhaltung von Bauwerken, Vorlesungsunterlagen SS1997, IBB, ETHZ, März 1997
- [27] Rafi A., Management der Strassenerhaltung, Verlag Industrielle Organisation Zürich, Zürich, 1985
- [28] Kägi J., Instandsetzung in kurzer Bauzeit und unter Verkehr, Schweizer Ingenieur und Architekt, Sonderdruck aus Nr. 26, Zürich, 1999
- [29] SIA 162 – Betonbauten, Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1989
- [30] SIA 162/5 – Erhaltung von Betontragwerken, Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1997
- [31] SIA 469 – Erhaltung von Bauwerken, Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1997
- [32] DIN 1076 – Ingenieurbauwerke im Zuge von Strassen und Wegen, Überwachung und Prüfung, Normenausschuss Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung, März 1983
- [33] DIN 4030 - Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im Deutschen Normenausschuss, Nov. 1969
- [34] DIN 31051 – Instandhaltung, Begriffe und Massnahmen, Normenausschuss Instandhaltung im DIN Deutsches Institut für Normung, Jan. 1985

- [35] Rodolfo Lardi, Lukas Abt, Schwarzwaldbrücke in Basel, in tec21, Nr. 5, Zürich, 2. Februar 2001
- [36] Bähler, Massnahmen Instandsetzung, Diplomarbeit IBB, Sommersemester 2000



Skript zur Vorlesung:

# **PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN**

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## **Teil 7: Baubetriebliche Aspekte der Erhaltung von Kanalleitungen**



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bestandsaufnahme.....</b>	<b>2</b>
2.1	Modell der Zustandsbewertung .....	2
2.2	Randbedingungen für die Gesamtbeurteilung.....	2
2.3	Kanaluntersuchung mit Kanalinspektionskamera.....	3
2.3.1	Kamerasysteme .....	4
2.3.2	Messsysteme .....	4
2.3.3	Kostenvergleich .....	4
<b>3</b>	<b>Schadensbilder .....</b>	<b>6</b>
3.1	Längsrisse .....	6
3.2	Risse in der Rohrverbindung.....	7
3.3	Querrisse.....	7
3.4	Punktuelle Rissbildungen.....	7
3.5	Schadensfolgen .....	8
<b>4</b>	<b>Lokale Verfahren.....</b>	<b>9</b>
4.1	Roboter-Verfahren .....	9
4.1.1	Materialien .....	9
4.1.2	Einsatzmöglichkeiten von Kanalrobotern.....	9
4.2	Injektions-Verfahren .....	11
4.3	Partliner-Verfahren .....	12
4.4	Verfahren zur Erhaltung von Hausanschlüssen .....	13
4.4.1	Ferngesteuerte Insitu-Hausanschlusserhaltung.....	13
4.4.2	Hausanschlusserhaltung mittel Kanalroboter nach erfolgttem Relining.....	13
<b>5</b>	<b>Erhaltung ganzer Rohrleitungshaltungen .....</b>	<b>15</b>
5.1	Langrohr-Relining.....	15
5.1.1	Klassisches Langrohr-Relining .....	15
5.1.2	Langrohr-Relining mit flexiblen Produktrohren.....	16
5.2	Insitu Rohr-Relining.....	17
5.2.1	Materialien .....	17
5.2.2	Arbeitsablauf.....	17
5.3	Softlining .....	19
5.4	Anmerkungen zu Reliningsystemen mit Inlinerverfahren .....	20
<b>6</b>	<b>Erneuerung ganzer Rohrleitungshaltungen.....</b>	<b>21</b>
6.1	Gegenüberstellung offener und geschlossener Erneuerungsverfahren.....	21
6.2	Dynamische Berstling-Verfahren.....	21



---

6.2.1	Rohrmaterialien des Berstlinings .....	23
6.2.2	Vorteile des Berstlining in der Zusammenfassung.....	23
6.3	Systeme des Berstlinings .....	24
6.3.1	Druckrohr-Berstlining .....	24
6.3.2	Berstlining mit hinterer Aufweitung .....	25
6.3.3	Berstlining mit vorderer Aufweitung .....	25
6.3.4	Berstlining mit hinterer Aufweitung und .....	
	Ringraum-Vermörtelung.....	25
6.3.5	Berstlining im Kaliber-Verfahren .....	26
6.4	Bauablauf des dynamischen Berstlining-Verfahrens .....	26
6.5	Geräte des Berstlinings .....	27
6.5.1	Grundwinch.....	28
<b>7</b>	<b>Arbeits- und Unfallschutz .....</b>	<b>29</b>
7.1	Relevante Vorschriften .....	29
7.1.1	Mindestabmessungen für Arbeitsplätze im Kanalbau .....	29
7.1.2	Mindestanforderungen an die Atemluft .....	29
7.2	Tests zur Erfassung von Gefährdungen bei Kanalerhaltungen .....	29
7.3	Gefahren bei der Erhaltung von Kanälen .....	30
7.4	Massnahmen zur Gefahrenabwehr .....	31
7.4.1	Vorwegmassnahmen .....	31
7.4.2	Massnahmen gegen Gefährdungen .....	31
7.4.3	Zugang zur Arbeitsstelle .....	31
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>32</b>

# 1 Einleitung

Häufig treten in alten Leitungsnetzen Undichtigkeiten mit der Gefahr für Boden und Grundwasser auf, deren Ursachen in schadhafte Rohrverbindungen, Korrosionsschäden, Verwurzelungen und Rissbildungen liegen. Andererseits kann in beschädigte Kanalrohre bei hohem Grundwasserstand Wasser eindringen, wodurch unnötigerweise sauberes Grundwasser den Klärbetrieben zugeführt wird.

## Beispiel Deutschland

Eine Erhebung der Abwassertechnischen Vereinigung beziffert den Anteil schadhafter Kanäle an der Gesamtlänge öffentlicher Kanäle - ca. 285.000 km - in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) mit ca. 22 %, wobei 23 % auf den Nennweitenbereich < DN 800 und 18 % > DN 800 entfallen. Noch mehr muss auf privatem Grund erneuert und saniert werden, wo von rd. 600.000 Rohr-km (Hausanschlüsse) vermutlich 40-60 % defekt sind. Schlimmer noch sieht es in den neuen Bundesländern aus. Dort schätzt man den Erhaltungsaufwand auf 200 Mrd. DM - ganz zu schweigen von der Erneuerung bzw. Instandsetzung alter Trinkwasser- und Gasdruckleitungen.

Insgesamt kann man festhalten, dass in Europa der Neubau von Gas- und Wasserleitungsnetzen insgesamt zurückgehen wird, die Erhaltung und Erneuerung bestehender Netze dagegen immer grössere Bedeutung gewinnt. Die Erhaltung von Abwasserkanälen wird sich dabei infolge der gesetzlich festgeschriebenen Anforderungen an den Umweltschutz in der Zukunft zu einem neuen Zweig der Bauwirtschaft entwickeln. Die Entstehung dieses interessanten Marktsegmentes hat bereits eine grosse Anzahl neuer Erhaltungsverfahren hervorgebracht und zu einem Innovationsschub geführt.

Die Vorteile moderner Erhaltungsverfahren sind dabei heute:

- kurze Bauzeiten
- weniger Grabarbeiten / geringere Anwohner-Belästigungen
- geringere Beeinträchtigung der Verkehrswege (Strasse/Schiene)
- geringere Wiederherstellungskosten für Strassen

## 2 Bestandsaufnahme

Ziel der Inspektion ist die Erfassung und Bewertung des Ist-Zustandes sowie die Erstellung von Schadenskatastern und Prioritätslisten für eventuell anstehende Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmassnahmen.

Vor jeder Inspektion müssen die Kanäle gereinigt werden. Hierzu bieten sich neben verschiedenen Spülverfahren auch mechanische Verfahren an. Als Vorarbeit zur optischen Inspektion wird dabei in der Regel das Hochdruckspülverfahren eingesetzt.

Ausreichend grosse Kanäle werden direkt durch Begehung inspiziert, während zur indirekten Inspektion von Profilen < DN 800 ferngesteuerte Maschinenteknik eingesetzt wird.

### 2.1 Modell der Zustandsbewertung

Ziele der Zustandsbewertung, die sich auf die Ergebnisse von Kanalinspektionen und vorhandene Stammdaten stützt, ist Feststellung von Einzelschäden sowie der Summe aller Schäden pro Kanalhaltung. Im Rahmen einer Prioritätenliste wird in Abhängigkeit der schwere der Schäden und der mit ihnen verbundenen Gefährdung der Umwelt eine Prioritätenliste für die Instandsetzung und Erneuerung erstellt.

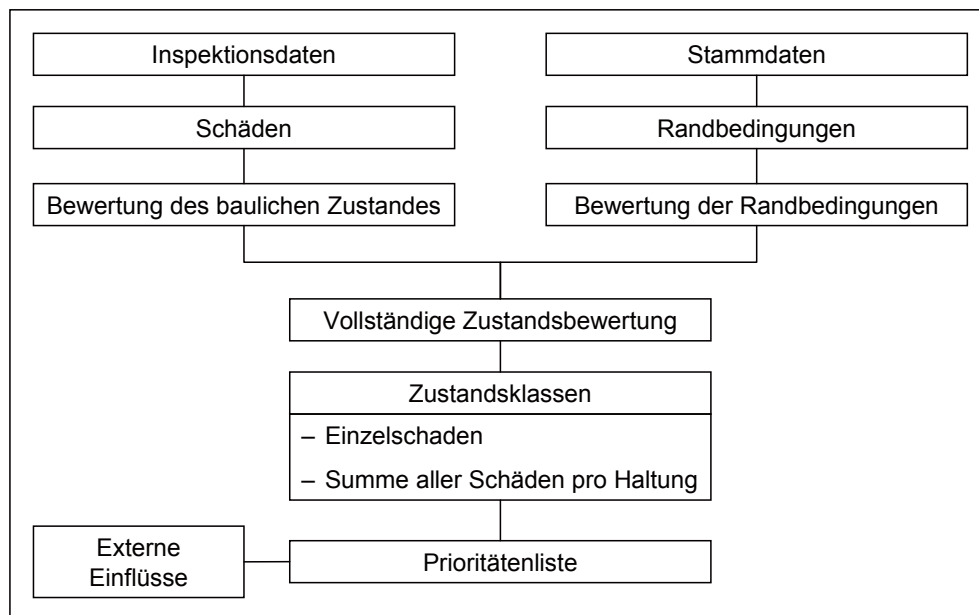


Bild 2–1: Zustandsbewertungsmodell für Kanalleitungen

### 2.2 Randbedingungen für die Gesamtbeurteilung

Wichtige Randbedingungen für die Gesamtbeurteilung des Zustandes von Kanalleitungen sind dabei:

- Lage in Bezug auf Grundwasser
- Lage in Bezug auf Untergrund

- Lage in Bezug auf Überbauung
- Technische Abmessungen
- Art der Materialien

### 2.3 Kanaluntersuchung mit Kanalinspektionskamera

Stand der Technik im Bereich der Kanaluntersuchung ist heute das Kanalfernsehen, bei dem hochauflösende Kanalinspektionskameras eingesetzt werden.

Die Kamerasysteme werden im Kanal auf elektrisch angetriebenen Fahrwagen bewegt. Damit die Kameraachse zentrisch im Kanal liegt, sind die Fahrwagen für den Einsatz in verschiedenen Rohrdurchmessern mit Einrichtungen zur Höhenverstellung ausgerüstet. Das Kamerakabel muss für die Versorgung des Systems und die Informationsweiterleitung oft über Distanzen von 50 bis 70 m und mehr gezogen werden, so dass die Fahrwagen über ausreichende Zugkraft, Traktion und Eigengewicht verfügen müssen.

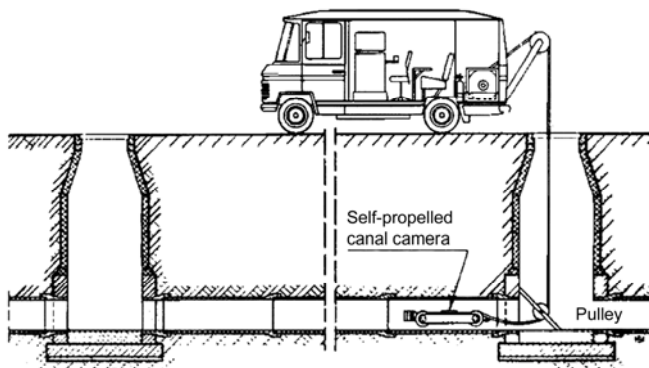


Bild 2–2: Kanaluntersuchung mit Kanalkamera

Für den Transport und Betrieb des Kamerasystems wird ein Inspektionsfahrzeug (in der Regel ein Kleinbus) benötigt, in dem neben dem Arbeitsraum auch ein Geräte- und Werkstatttraum untergebracht ist. Im Geräteraum befinden sich die Versorgungsgeräte für die Inspektionskamera, wie Kabelwinden oder Generator. Im Arbeitsraum hält sich der Geräteführer während der Kanaluntersuchung auf.



Bild 2–3: Inspektionsfahrzeug [12]

### 2.3.1 Kamerasysteme

Derzeit sind fast ausnahmslos Farbfernsehsysteme im Einsatz. Sie bieten gegenüber Schwarzweisskameras den Vorteil, dass Objekte unterschiedlicher Farben auch bei gleichem Grauwert unterschieden werden können. Dem Betrachter wird so eine subjektiv bessere Detailauflösung vermittelt. Die Möglichkeit der radialen Sicht wird dabei durch verschwenkbare Systeme erreicht.

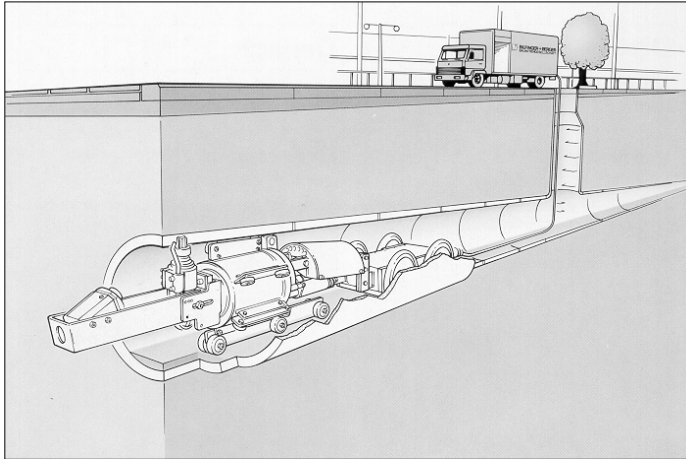


Bild 2–4: Kamera-Arbeitseinheit (Fahrgewagen) beim Arbeiten im Rohr [13]

### 2.3.2 Messsysteme

Um neben der subjektiven visuellen Erfassung auch eine objektive Vermessung von Schäden zu ermöglichen, werden von einigen Herstellern Kameraköpfe mit integrierten Messsystemen angeboten. Neuere Entwicklungen im Bereich der Inspektionskameras ermöglichen beispielsweise die Vermessung von Rissbreiten und Risstiefen im Kanal. Dies soll die subjektive Erfassung durch den Betrachter unterstützen, die in der Regel dadurch beeinträchtigt wird, dass keine exakte Aussage über den Abstand der Kamera zur Rohrwand vorliegt und bei einer nichtradialen Stellung des Kamerakopfes das Videobild meist verzerrt ist. Verschiedene neuentwickelte Systeme bieten die Möglichkeit einer millimetergenauen, digitalen Vermessung von Rissbreiten und -tiefen.

### 2.3.3 Kostenvergleich

Die Entscheidung zwischen einer Behebung lokaler Schäden, einer umfassenden Instandsetzung oder einer vollständigen Erneuerung orientiert sich neben technischen insbesondere an wirtschaftlichen Kriterien und hängt immer von den Randbedingungen der einzelnen Massnahme ab.

Vergleiche mit anderen Verfahren zeigen, dass für die Wirtschaftlichkeit beim Einsatz von Kanalrobotern die Schadensdichte (Anzahl der Schäden pro km) entscheidend ist. Mit zunehmender Schadenshäufigkeit schwindet der Vorteil der Roboterverfahren gegenüber einer Instandsetzung ganzer Rohrhaltungen oder deren Erneuerung.

Die Wirtschaftlichkeit von Roboterverfahren muss bei jeder Massnahme separat und anhand der jeweils anzutreffenden Randbedingungen beurteilt werden.

Die folgende Abbildung enthält eine qualitative Aufstellung der Kostenbereiche verschiedener Instandsetzungs- und Erneuerungsverfahren.

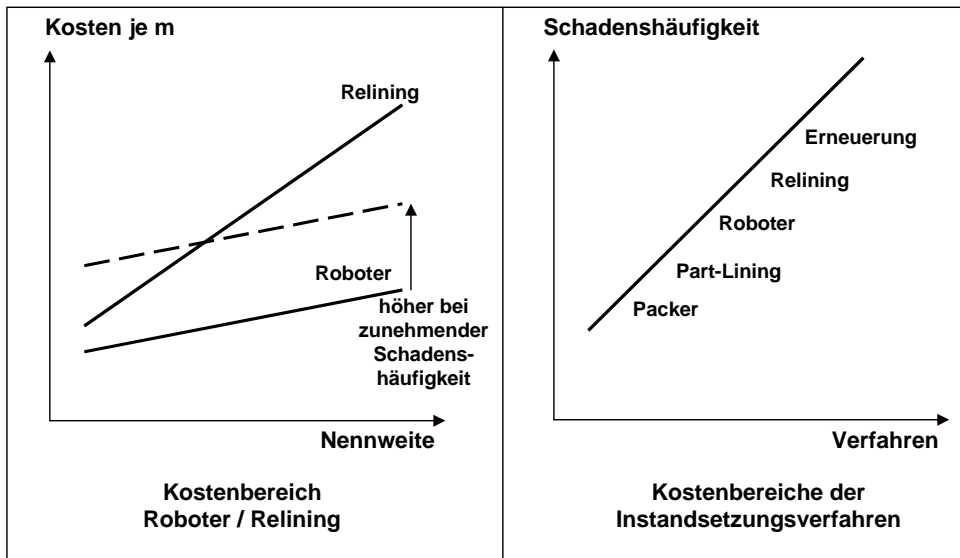


Bild 2–5: Kostenbereiche von Verfahren [2]

### 3 Schadensbilder

Die bei der Untersuchung von Kanalleitungen anzutreffenden Schadensbilder können sein:

- Undichtigkeiten in Rohrverbindungen, Rohrwandungen und Anschlüssen
- Abflusshindernisse, z.B. Wurzeleinwuchs, Inkrustierungen, verfestigte Ablagerungen
- Lageabweichungen in vertikaler, horizontaler oder Längsrichtung
- mechanischer Verschleiss, d.h. Abnutzung im Bereich der benetzten Rohrinnefläche
- Korrosion
- Verformung
- Risse, Rohrbruch, Einsturz
- Längs- oder Querrisse, die zum Bruch des Rohres und zum Einsturz führen

Im Folgenden werden die verschiedenen Risschadensformen näher untersucht werden.

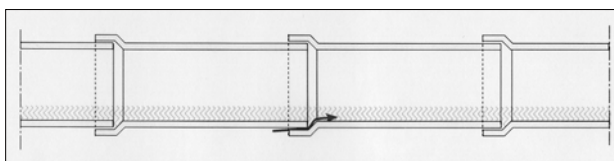
#### 3.1 Längsrisse

##### Längsrisse bei biegesteifen Rohren

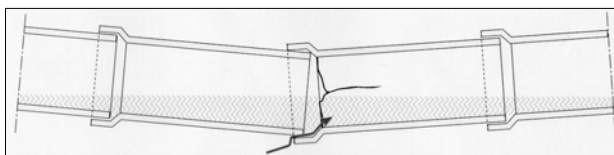


Längsrisse an den Viertelpunkten treten bei biegesteifen Rohren am häufigsten auf. Die Scheitel- und Sohlenrisse öffnen sich an der Rohrinneenseite, die Kämpferrisse auf der Aussenseite.

##### Längsrisse infolge undichter Rohrverbindungen

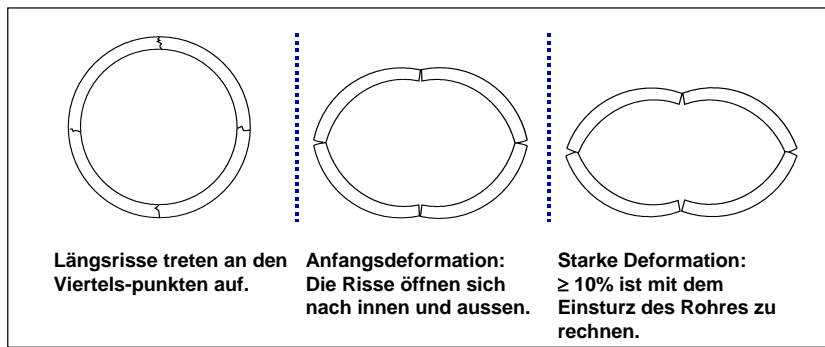


Durch die undichte Verbindung tritt Grundwasser ein,...



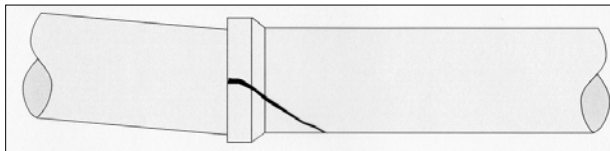
...an der undichten Stelle „knickt“ die Rohrleitung ein und ein Längsrisse entsteht.

### Deformationsablauf längsgerissener Rohre

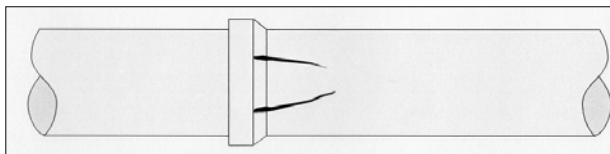


## 3.2 Risse in der Rohrverbindung

Längsriss infolge von Lageabweichungen, z.B. durch Bodenbewegungen

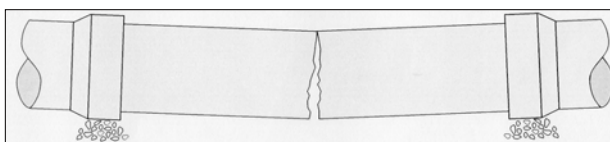
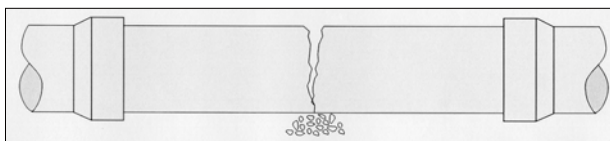


Längsriss infolge zu hoher Radialkräfte, z.B. durch fehlerhaft ausgeführte Rohrverbindungen



## 3.3 Querrisse

Querrisse entstehen durch unzulässige Lasteinwirkung, Temperatureinwirkung oder infolge von Undichtigkeiten, Verformungen etc.. Sie verlaufen meist über den gesamten Rohrumfang und treten hauptsächlich in der Rohrmitte oder -verbindung auf:

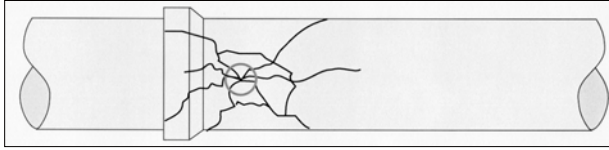


## 3.4 Punktuelle Rissbildungen

Risse, die von einem Punkt ausgehen, entstehen z.B. durch unzulässige Einzellasten wie Steine oder extremen Wurzeleinwuchs.



Bei dieser Rissart kommt es fast immer zu Scherbenbildung, bei der einzelne Stücke der Rohrwandung komplett von Rissen umgeben sind.



### 3.5 Schadensfolgen

Folgen von Schäden an einer Kanalleitung können sein:

- Abwasser tritt aus: Boden und Grundwasser werden kontaminiert.
- Grundwasser dringt ein: Wertvolles Grundwasser geht verloren. Kanäle und Kläranlagen werden unnötig belastet. Grundwasserabsenkungen drohen.

## 4 Lokale Verfahren

Lokale Verfahren zur Kanalerhaltung dienen der Behebung lokal begrenzter Schäden. Sie kommen in solchen Fällen zur Anwendung, bei denen eine Instandsetzung- bzw. Erneuerung ganzer Haltungen noch nicht wirtschaftlich ist.

### 4.1 Roboter-Verfahren

Das Roboter-Verfahren eignet sich für Kanalerhaltungsarbeiten in Brauch- und Abwasserleitungen wie auch in Lüftungs- und Sanitärrohren im öffentlichen, privaten und im industriellen Bereich. Es kann in allen Rohrmaterialien (mit gewissen Einschränkungen bei Kunststoffen) angewendet werden. Das System kann im Nennweitenbereich von 100 bis 800 mm für Fräsarbeiten und ab 200 mm für Verklebungsarbeiten (verspachteln) eingesetzt werden. Die normale Arbeitsdistanz der Roboter beträgt ca. 65 Metern, diese kann mit Verlängerungen bis gegen 120 m erweitert werden. Die Geräte werden von einem Einsatzpunkt aus autonom betrieben. Sämtliche Arbeitsgänge im Kanal werden mit einer Kanalinpektionskamera überwacht.

#### 4.1.1 Materialien

Die beiden zur Anwendung gelangenden Zweikomponenten-Epoxydharzkleber weisen günstige Eigenschaften auf und haben sich nach Herstellerangaben seit Jahrzehnten bei der Kanalerhaltung bewährt. Vor allem die hohe Haftzugfestigkeit auf nassem Untergrund erlaubt es, diese Produkte erfolgreich in der Robotertechnik einzusetzen. Zur vorgängigen Abdichtung von starken Wasserinfiltrationen kann ein schnell reagierendes Zweikomponenten-Hydrogel eingesetzt werden.

#### 4.1.2 Einsatzmöglichkeiten von Kanalrobotern

- **Fräsarbeiten**

Bei Fräsarbeiten erfolgt der Einsatz verschiedener, mit Diamant- oder ähnlichen Fräsworkzeugen bestückten, hydraulisch angetriebener Fräroboter zum Entfernen von Ablagerungen wie Kalk, Mörtel usw. oder Wurzeleinwüchsen. Weiter Möglichkeit ist das Abfräsen vorstehender Anschlüsse und von weiteren, ins Profil ragenden Fremdkörper, wie z.B. Anker, sowie Ausführen von Kernbohrungen.

Bei Radial-, Axial- oder netzartigen Rissen sowie defekten Muffen wird eine mind. 25 mm breite und tiefe Fräsnut für nachfolgende Verklebungsarbeiten ausgebildet und vorhandene Muffenversätze angeglichen.

Mit speziellen Fräsworkzeugen werden nach einer erfolgten Rohrauskleidung (z.B. Relining) die Öffnungen der Anschlüsse aufgeschnitten und bearbeitet.

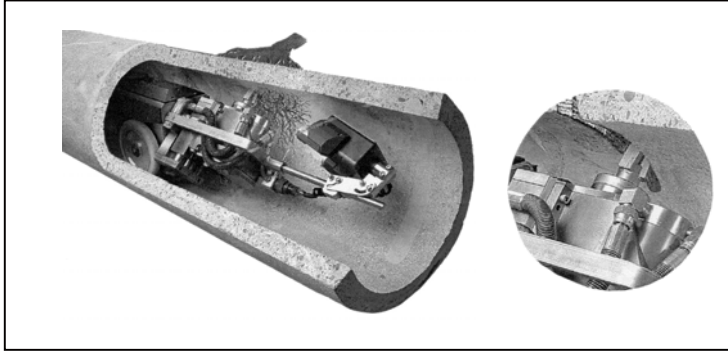


Bild 4-1: Fräsarbeiten mit Kanalroboter [6]

- **Spachtelarbeiten**

Zur Vorbereitung von Spachtelarbeiten werden die einzelnen Komponenten der zum Einsatz gelangenden Epoxydharzkleber auf der Baustelle im vorgegebenen Verhältnis gemischt und in das am Roboter zu befestigende, zylindrische Magazin abgefüllt. An den vorgefrästen und gereinigten Schadstellen wird der Kleber darauf mit Druckluft durch die am Magazin befestigte Spachteldüse in die Fräsnute gepresst und anschliessend glattgestrichen.

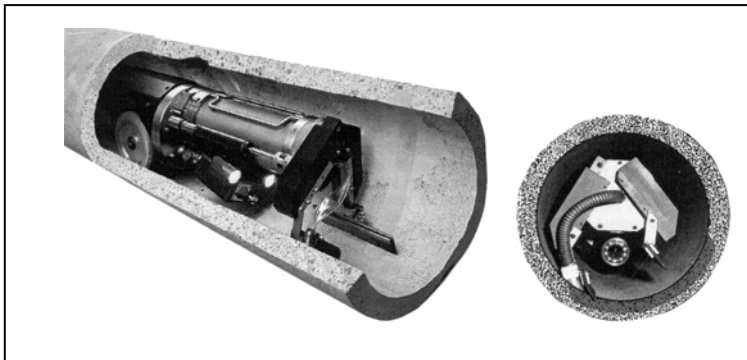


Bild 4-2: Spachtelarbeiten mit Kanalroboter [6]

- **Abdichtungsinjektionen**

Für vorgängige Abdichtungsarbeiten wird am Fräsroboter ein diamantbestückter Injektionshohlbohrer sowie ein Mischkopf montiert. Bei der Wassereintrittsstelle wird die Rohrwand durchbohrt. Anschliessend können die beiden Komponenten des Abdichtungsgels im Mischverhältnis 1:1 mit einer hydraulisch angetriebenen Doppelkolbenpumpe ins rohrumgebende Erdreich injiziert werden. Der ausserhalb der Rohrwand entstehende Dichtungsschirm stoppt die Wasserinfiltration und erlaubt nachfolgende Erhaltungsarbeiten auch bei schwierigsten Verhältnissen (z. B. bei undichten Anschlussbereichen).

- **Anschlüsse**

Nicht verputzte und vorstehende Anschlüsse werden abgefräst und bündig mit der Rohrwand verputzt. Nicht eingeführte (zurückstehende) Anschlussrohre werden mit Hilfe der Schalungsmanschette vollständig und dicht in die Hauptleitung eingebunden.

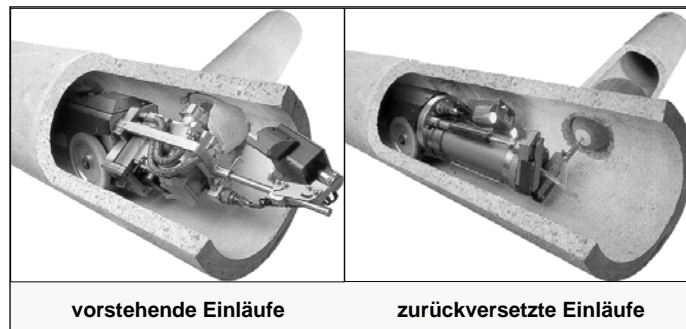


Bild 4–3: Korrektur vorstehender und zurückversetzter Einläufe mittels Kanalroboter [6]

Die mit einer für den Anschluss notwendigen Öffnung versehene Manschette wird ebenfalls zum dichten Einbinden der Anschlüsse beim Rohrrelining angewendet. Bei stillgelegten Anschlüssen wird im alten Rohr eine verlorene Schalung und davor eine Manschette eingesetzt. Nach der Aushärtung des eingepressten Klebers kann der Zapfen zum Verfüllen der alten Leitung durchbohrt und die Leitung dahinter mit Acrylgel verfüllt werden. Nach dem Ausbau der Manschette und Verschliessen der Injektionsöffnung ist der stillgelegte Anschluss verschlossen.

## 4.2 Injektions-Verfahren

Bei dem Injektionsverfahren, das für alle nichtbegehbaren Kreisprofile von DN 100 bis DN 600 entwickelt wurde, wird mit Hilfe von 2 Kanalkameras eine Packervorrichtung an der Schadenstelle positioniert. Danach erfolgen das Beaufschlagen mit 2 bar Druckluft und die Injizierung eines 2-Komponenten-Harzes, das vom Packer unter Hochdruck in die Störungsstelle eingebracht wird. Bei diesem Überdruck sucht sich das Harz automatisch jede Undichtigkeit auf diesem Durchmesser.

Innerhalb von etwa 15 min ist das Harz erhärtet und der Problembereich instandgesetzt. Bei diesem Erhaltungssystemen entsteht keine Rohrquerschnittsverengung, da die eigentliche Abdichtung aussen erfolgt. Das Kanalrohr erhält im Bereich der behandelten Risse aussen die doppelte bis dreifache Wandstärke.

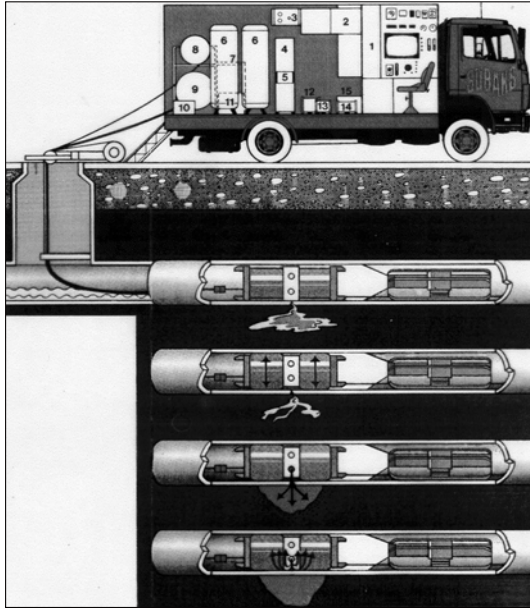


Bild 4-4: Bauablauf des Injektionsverfahrens

### 4.3 Partliner-Verfahren

Das Partliner-Verfahren dient der punktuellen Erhaltung lokaler Schäden mittels eines harzimpregnierten Glasfilzes. Es ähnelt damit den Relining-Verfahren mit dem Unterschied, dass nur eine lokale Erhaltung erfolgt.

Der imprägnierte Glasfilz wird mit Hilfe eines aufblasbaren Packers, einer Kanalkamera sowie eines biegsamen Luftschlauches an die schadhafte Stelle im Rohr gebracht.

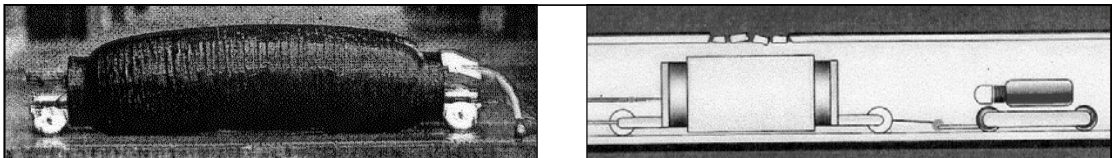


Bild 4-5: Transport des Packers (li.) an die Schadensstelle mittels Kanalkamera

Nachdem der Packer die Schadensstelle erreicht hat, wird der imprägnierte Glasfilz mittels Luftdruck vom Packer gegen die Rohrwand gepresst.

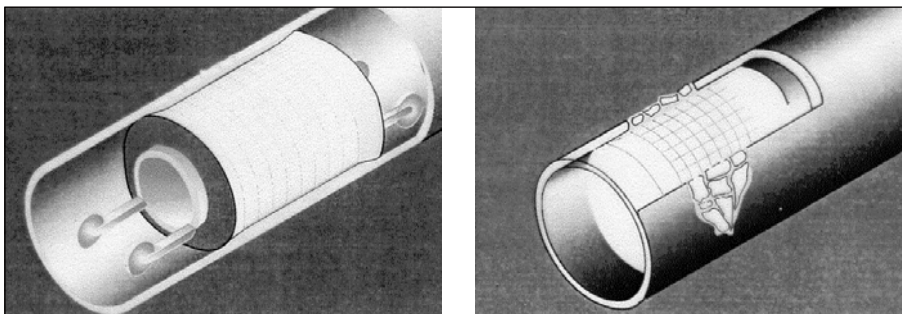


Bild 4-6: Anpressen imprägnierter Glasfilzes gegen die Rohrinneiseite

## 4.4 Verfahren zur Erhaltung von Hausanschlüssen

### 4.4.1 Ferngesteuerte Insitu-Hausanschlusserhaltung

Für Anschlusskanäle und Grundleitungen wurde auf der Basis der Insitu-Hutprofil-Technik eine ferngesteuerte Anschluss-Erhaltung entwickelt, die den Einbau eines Schlauchlining-Rohres vom Sammler aus in einen Anschlusskanal ermöglicht, der einen nicht-zugänglichen Anschluss, wie z.B. einen Bodeneinlauf oder einen eingemauerten Übergang zu einem Fallrohr besitzt.

Die Einbautiefe kann über zehn Meter betragen. Den Übergang im Anschlussbereich des Sammlers bildet eine Manschette. Das alte Rohr wird so abgedichtet und statisch gestützt.

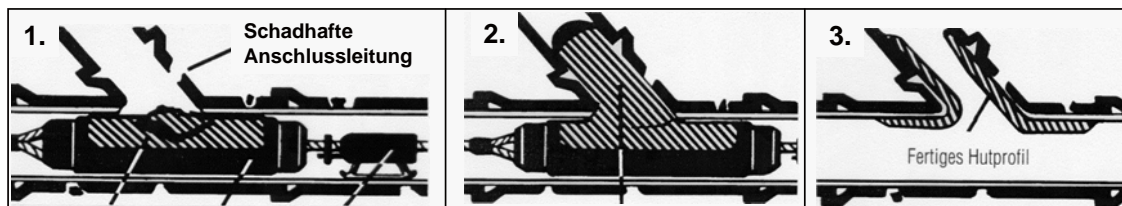


Bild 4-7: Ferngesteuerte Insitu-Hausanschlusserhaltung

Auch zum hinterwanderungsfreien Einbinden aufgefräster Anschlussleitungen nach einem erfolgten Relining kann das Hausanschluss-Hutprofil verwendet werden. Das Hutprofil besteht dann aus einem ca. 35 - 45 cm langen, zylinderförmigen Nadelfilz mit Kragen.

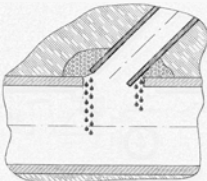
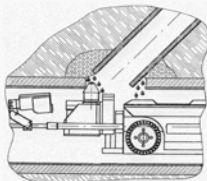
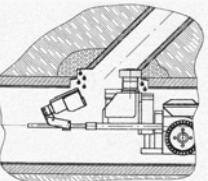
Nach dem Tränken des Filzes mit einem Epoxid-Harz wird das Profil mittels des Packers unterirdisch an den zu sanierenden Anschluss gefahren und dort positioniert.

### 4.4.2 Hausanschlusserhaltung mittel Kanalroboter nach erfolgtem Relining

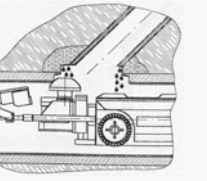
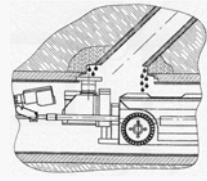
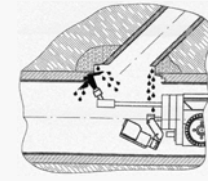
Nachdem ein Relining durchgeführt wurde, ist es erforderlich, die saubere Einbindung des Hausanschlusses in den instandgesetzten Kanal sicherzustellen. Vielfach weisen Hausanschlüsse auch im Laufe der Zeit korrodierte Anschlussstellen auf, die eine Erhaltung der Einlaufstelle auch ohne ein vorangegangenes Relining erforderlich machen.

Im Folgenden wird die Hausanschlusserhaltung mittel Kanalroboter nach erfolgtem Relining erläutert.

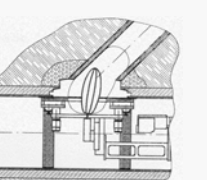
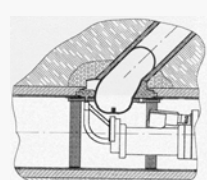
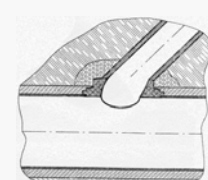
**1. Schritt:**

<p>Vor dem Einbringen des Inliners:</p>	<p>Nach dem Einbringen des Inliners:</p>	<p>Grossflächiges Auffräsen des Einlaufbereichs mit Einlauffräser:</p>
		
<p>Schlecht eingeführter, undichter Hausanschluss!</p>	<p>Der Hausanschluss wird aufgefräst. Die nun folgenden Vorarbeiten zum Setzen der Schalungsmanschette erfolgt in vier Schritten.</p>	<p>Zuleitung und Hauptkanal werden für eine gute Verbindung mit dem Epoxikleber vorbereitet</p>

**2. Schritt:**

<p>Schleifen der Insituform Inlinerante mit Schleifstein:</p>	<p>Hinterfräsen des Insituform Inliners mit Scheibenfräse:</p>	<p>Hochdruckreinigung:</p>
		
<p>Die Kante des Insituform Inliners wird zur Vergrößerung der Haftfläche schräg angeschliffen.</p>	<p>Um eine optimale Verbindung des Epoxiklebers mit dem Insituform Inliner zu gewährleisten, wird dieser rund um die Öffnung hinterfräst.</p>	<p>Reinigen des Einlaufbereichs mit Hochdruck zur Entfernung des Schleifstaubes.</p>

**3. Schritt:**

<p>Setzen der Schalungsmanschette mit integrierter Blase:</p>	<p>Verpressen des Epoxiklebers:</p>	<p>Entfernen der Schalungsmanschette:</p>
		
<p>Die Kunststoff-Manschette wird mit dem Roboter ausgefahren, arretiert und ausgeklinkt. Durch die Öffnung in der Manschette wird die patentierte Blase gesetzt.</p>	<p>Durch die Einspritzlöcher in der Schalungsmanschette wird ein Concrete Epoxikleber in den Hohlraum gepresst und die Einspritzlöcher mit Schiebern dicht verschlossen.</p>	<p>Nach dem Aushärten des Epoxiklebers wird die Blase und die Schalungsmanschette durch Einklinken und Einfahren mit dem Roboter entfernt.</p>

## 5 Erhaltung ganzer Rohrleitungshaltungen

Die Erhaltung ganzer Rohrleitungshaltungen bietet sich in solchen Fällen an, in denen aufgrund der hohen Schadensdichte die lokale Erhaltung vieler Einzelschäden unwirtschaftlich wird. Die folgende Abbildung enthält eine Übersicht der verschiedenen Verfahren, die für eine Erhaltung ganzer Rohrleitungshaltungen in Frage kommen.

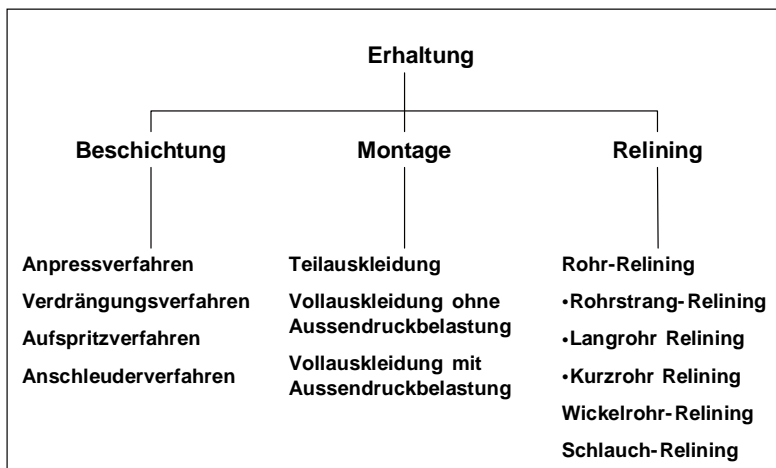


Bild 5–1: Verfahren der Erhaltung ganzer Rohrleitungshaltungen

### 5.1 Langrohr-Relining

#### 5.1.1 Klassisches Langrohr-Relining

Das klassische Langrohr-Reliningverfahren kommt bei Kanaldurchmessern bis DN 800 (800 mm) zum Einsatz. Es kann sowohl zur Erhaltung von Druck- wie auch von Freispiegelleitungen eingesetzt werden. Das Verfahren eignet sich aufgrund der hohen Steifigkeit der Produktrohre für Einzugsängen von bis zu 400 m.

Diese Steifigkeit der Produktrohre ist zugleich auch der Hauptnachteil des klassischen Langrohr-Relinings. Die vglw. geringe axiale Flexibilität der einzuziehenden Produktrohre und die sich hieraus ergebende geringe Biegsamkeit der Rohre macht die Einrichtung grosser Startbaugruben erforderlich, deren Länge in Richtung der Kanalachse in erster Linie durch die Verlegetiefe, d.h. die Tiefe der bestehenden Kanalleitung, sowie die Steifigkeit der Produktrohre ergibt.

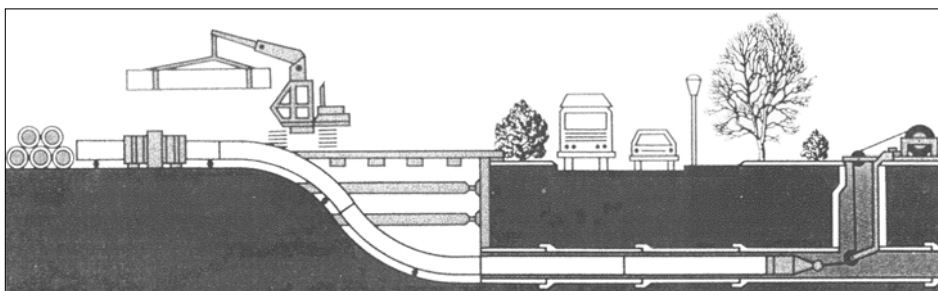


Bild 5–2: Verfahrensschema des klassischen Langrohr-Relinings [10]



### 5.1.2 Langrohr-Relining mit flexiblen Produktrohren

Das Langrohr-Relining-System mit flexiblen Produktrohren ist eine Weiterentwicklung des klassischen Langrohrrelinings. Entgegen dem herkömmlichen Langrohrrelining ist aufgrund der hohen Verformungsfähigkeit der flexiblen Rohre die Einrichtung von grossen Einzugsbaugruben nicht mehr erforderlich. Aus diesem Grund ist seine Einsatzflexibilität gegenüber dem klassischen Verfahren erheblich grösser, z.B. in Innenstadtbereichen mit eingeschränkten Möglichkeiten zur Beanspruchung von Verkehrsflächen.

Das Langrohr-Relining mit flexiblen Produktrohren ist für die Erhaltung von Abwasserkanälen in den Nennweitenbereichen von DN 125-300 entwickelt worden. Die flexiblen Produktrohre werden durch ein Elektroschweissverfahren miteinander verbunden. Die Verschweissung der Einzelrohre erfolgt dabei automatisiert. Hierdurch wird eine optimale Dichtheit des Leitungsstranges gewährleistet und bauseitige Bedienungsfehler können weitgehend ausgeschlossen werden. Neben dem Einbau automatisch verschweisster Einzelrohre besteht die Möglichkeit, flexible Endlosrohrstränge, die auf einer grossen Trommel geliefert werden, als Produktrohre einzubauen. Vorteil der Endlosstränge ist der Wegfall des Verfahrensschrittes der Rohrverschweissung.

Die folgende Bild 5–3 zeigt das Verfahrensschema des Langrohrrelinings mit flexiblen Endlossträngen.

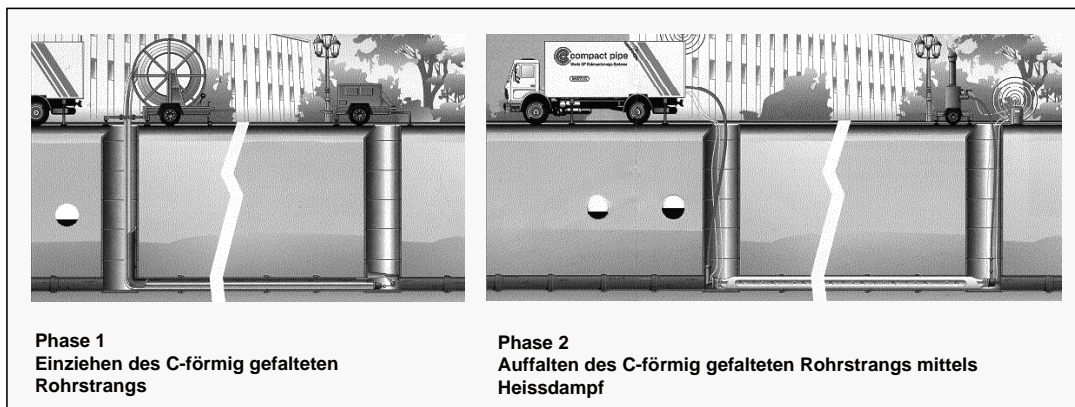


Bild 5–3: Bauablauf des Langrohr-Relinings [1]

Um eine bessere Einzugsfähigkeit der Rohre zu gewährleisten, wird der neue Leitungsstrang in gefaltetem Zustand in die instandzusetzende Kanalleitung eingebracht und anschliessend mit heissem Dampf aufgeweitet (Bild 5–4).

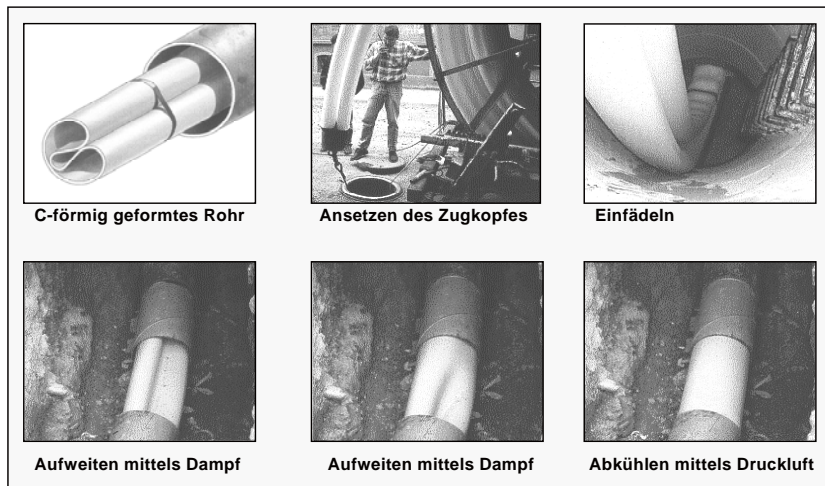


Bild 5-4: Detailansichten des des Langrohr-Relinings [1,8]

## 5.2 Insitu Rohr-Relining

Das Insitu Rohr-Relining eignet sich für die Auskleidung von Brauch- und Abwasserleitungen wie auch für Lüftungs- und Sanitärrohre im öffentlichen, privaten und im industriellen Bereich. Es kann in jeder Lage (bis zur Senkrechten) und in allen Rohrmaterialien angewendet werden. Es ist ein formschlüssiges Verfahren und wird in Kreis-, Ei-, Rechteck- und Sonderprofilen mit Nennweiten ab 100 Millimetern bis in den begehbaren Nennweitenbereich eingesetzt. Zwischenschächte und Richtungsänderungen wie auch Kaliberwechsel können durchfahren werden. Es lassen sich somit grosse Leitungsdistanzen (bis zu 400 m) instandsetzen.

### 5.2.1 Materialien

Beim Insitu Rohr-Relining kommt ein mit einer Folie beschichteter Nadelfilzschlauch zum Einsatz, welcher mit einem Harz (Polyester, Epoxyd o.ä.) getränkt wird. Wandstärke des Nadelfilzschlauchs und Zusammensetzung des Harzes lassen sich dabei den jeweiligen Randbedingungen einer Erhaltungsaufgabe anpassen.

### 5.2.2 Arbeitsablauf

#### 1. Vorarbeiten im alten Kanalrohr und Einrichten der Gerätschaften.

- Ausfräsen von Ablagerungen wie Kalk, Mörtel usw. oder Wurzeleinwüchsen, Abfräsen vorstehender Anschlüsse und weiterer ins Profil ragender Teile, Angleichen starker Muffenversätze, eventuell lokale Erhaltung von starken Rissen, Löchern und Rohrbrüchen sowie Ausgleichen von Senkungen mit dem Roboter
- Kalibrierung der zu sanierenden Leitung, Ausmessen der genauen Längen und Nennweiten
- Wasserhaltung (Umpumpen) in der Hauptleitung wie auch in den seitlichen Anschlussleitungen
- Kanalreinigung mit Wasserhochdruck unmittelbar vor dem Einbau des Inliners
- Kanalfemsehen zur Kontrolle der Leitung und Überwachung der Relining-Arbeiten

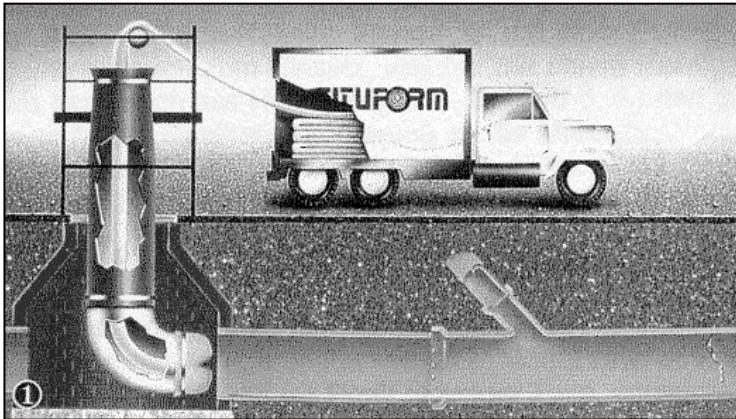


Bild 5–5: Einrichten der Gerätschaften [6]

## 2. Einbau des Inliners

Um das Austreten des Harzes aus dem defekten Rohr ins umliegende Erdreich zu verhindern, wird als Schutz zuerst eine PU/PE-Folie in der Form eines Schlauches (Preliner) eingeblasen. Nachfolgend wird der getränkte Filzschlauch mit Hilfe eines im Einbauschacht montierten Standrohres in der Umstülp-Technik in die defekte Leitung eingeschwenmt oder bei kleinen Leitungen eingeblasen. Diese Inversion mit dem entsprechenden Luft- oder Wasserdruck bewirkt, dass die harzgetränkte Schlauchseite fest an die defekte Rohrwand gepresst wird und so allfällig eintretendes Grundwasser verdrängt.

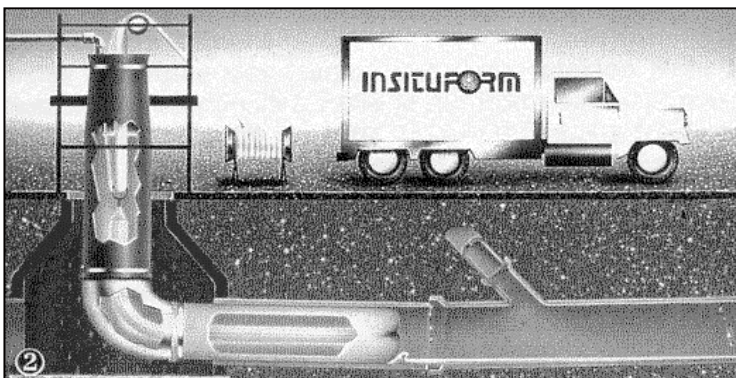


Bild 5–6: Rohreinbau durch Einschwenmen bzw. Einblasen (Inversion) [6]

Sobald der Schlauch das Ende der Erhaltungsstrecke erreicht hat, wird das eingefüllte Wasser solange erwärmt, bis die Wärmehärtung abgeschlossen ist.

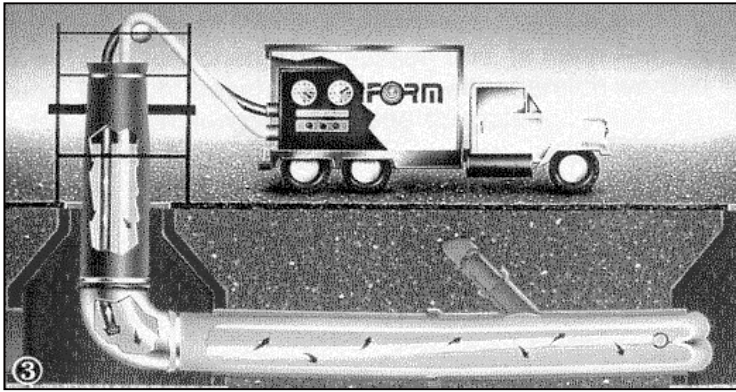


Bild 5–7: Aushärten durch Erwärmen [6]

Bei der in kleinen Längen und Dimensionen anwendbaren Kalthärtung wird der Schlauch auf der Baustelle eingeharzt; die Harzmischung wird dabei so eingestellt, dass die Aushärtung nach einer vorberechneten Zeit alleine durch die Umgebungstemperatur erfolgt. Der Einbau der Kaltliner kann auch durch Einziehen erfolgen. Dazu wird der geharte Schlauch vorerst in einen Preliner eingeblasen, damit beim Einziehen über versetzte Muffen kein Harz abgestreift werden kann.

### 3. Nacharbeiten

- Abschneiden der beiden Rohrenden und dichtes Anschliessen oder Einbinden in die Schachtbauwerke resp. an die bestehende Rohrleitung, in nicht begehbaren Leitungen erfolgt dies mit dem Roboter
- Heraustrennen des Inliners in den durchfahrenen Kontrollschächten; weitergehende Schachterhaltungen sind nachträglich bauseits vorzunehmen
- Auffräsen des ausgehärteten Rohres bei den seitlichen Anschlüssen und, je nach Anforderung, dichtes Einbinden an die Hauptleitung; im nicht begehbaren Nennweitenbereich werden diese Arbeiten mit dem Roboter und einer speziellen Schaummanschette ausgeführt

## 5.3 Softlining

Das Softlining kommt bei Kanaldurchmessern zwischen DN 100 und DN 1000 zum Einsatz. Es ist für Einzugsängen bis zu 100 m anwendbar.

Ähnlich wie beim Insitu Rohr-Relining wird beim Softlining auf der Baustelle ein Faserfilz in ein Harzgemisch getränkt. Im Unterschied zum Insitu Rohr-Relining besitzen die eingebauten Faserfilze beim Softlining (7-15 mm) eine in Abhängigkeit des Leitungsdurchmessers geringere Einbaustärke als beim Insitu Rohr-Relining (6-27 mm).

Als weiterer Unterschied erfolgt die Aushärtung des Faserfilzes beim Softlining in der Rohrleitung nicht durch heissen Dampf. Als Aushärtungsverfahren ist aufgrund der geringeren Einbaustärke des Faserfilzes ein UV-Verfahren anwendbar, bei dem der Faserfilz innerhalb der Rohrleitung durch die Applikation von UV-Licht ausgehärtet wird.

Die folgende Abbildung enthält eine Übersicht zum Verfahrensablauf des Softlinings.

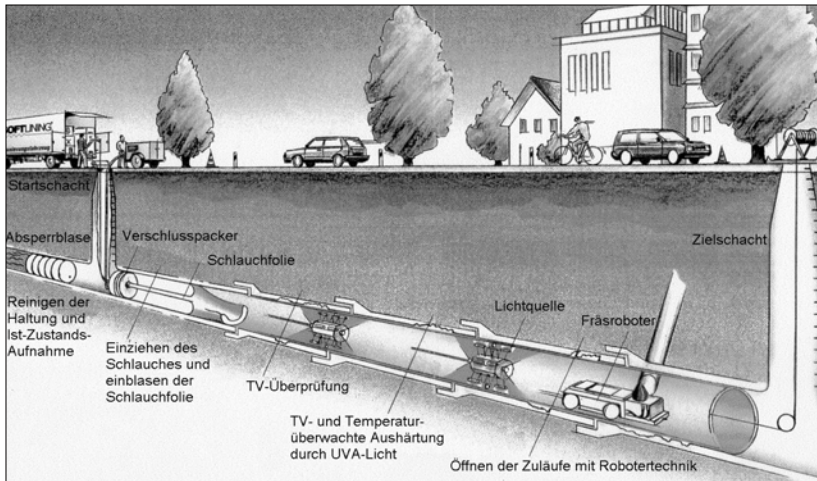


Bild 5–8: Verfahrensablauf des Softlinings [10]

## 5.4 Anmerkungen zu Reliningsystemen mit Inlinerverfahren

Die Investitionskosten für Inliner sind im Allgemeinen recht gross, da eine Vielzahl von Zusatzkosten für vorbereitende Arbeiten anfallen, z.B. mehrmalige Inspektionen mit Kanalkameras, Beseitigung von Ablagerungen, Wurzeln, Stopfen, Anschlüssen etc. durch Abfräsen.

Bei Reliningsystemen mit Inlinerverfahren wird die statische Tragfähigkeit einer Leitung insgesamt erhöht, wenn entsprechende Wanddicken des Inlinerrohres eingehalten werden; nachteilig ist jedoch die hierbei in Kauf zu nehmende erhebliche Verringerung des Querschnittes.

Nicht einsetzbar sind Reliningsysteme mit Inlinerverfahren in kollabierten Röhren oder wenn Muffenversatz, Lageabweichung oder Verformung vorliegt.

Beim Einsatz dieser Verfahren ist zudem häufig eine Startgrube notwendig, deren Grösse u.a. abhängig ist von Tiefe und zulässigem Biegeradius des PE-Rohres.

Die Reliningsysteme mit Inlinerverfahren sind zudem von einem hohen Maschinen- und Personaleinsatz sowie einem vglw. grossen Kapital- und Platzbedarf gekennzeichnet.

## 6 Erneuerung ganzer Rohrleitungshaltungen

Bei der Bestandsaufnahme mittels Kanalkamera wird nicht selten festgestellt, dass eine Erhaltung eines Kanals nicht mehr lohnt. Zudem ist bei Erhaltungsmaßnahmen die oft erforderliche oder gewünschte Rohrquerschnittsvergrößerung nicht möglich. Im Gegenteil: Mit dem Einziehen von Inlinerrohren in vorhandene Kanäle wird der nutzbare Abflussquerschnitt sogar eingeschränkt. Auch wenn die in ihrer Wandrauigkeit wesentlich glatteren Kunststoffinliner durch das günstige hydraulische Verhalten einen Teil des Querschnittverlustes ausgleichen können, ist die verbleibende Abflussminderung häufig nicht zu tolerieren.

Sind die zu sanierenden Rohre statisch instabil, so ist in der Regel auch das Einbringen von Inlinerschläuchen nicht ausreichend, da sie als formschlüssiges System den Zustand des alten Kanals mit den möglichen Deformationen kopieren. So bleibt oftmals nichts anderes übrig, als den Kanal zu erneuern.

### 6.1 Gegenüberstellung offener und geschlossener Erneuerungsverfahren

Die Vorteile der geschlossenen Leitungserneuerung mittels Berstlining-Verfahren sind in der folgenden Tabelle der offenen Erneuerung gegenübergestellt. Die Vorteile der geschlossenen Bauweisen werden darüber hinaus vertieft im Rahmen der Vorlesung "Rohrvortrieb" behandelt.

Offene Bauweise	Berstlining-Verfahren
enorme Aushubmengen	geringer Aushub für Start- und Zielgrube
Zerstörung befestigter Oberflächen	geringe Oberflächenschäden
Materialtransporte auf Deponien	kaum Abtransporte
Umfangreiche Verbaumaßnahmen	nur Start- und Zielgruben
erhebl. Mengen für Verbaumaterial	Einsparung von Verbaumaterial
hohe Lärmbelastigung	kaum Lärm - unterirdisches Arbeiten
lange Bauzeiten	Tagesleistung > 100 m möglich
Belastung von Flora und Fauna	geringe, punktuelle Beeinträchtigung
Grundwasserabsenkungen	nur in den Gruben notwendig
Leitungsumlegungen	werden reduziert
Schäden an nahen Baulichkeiten	werden vermieden (Sicherheitsabstand)

Tabelle 6-1: Gegenüberstellung offene und geschlossene Erneuerungsverfahren

### 6.2 Dynamische Berstling-Verfahren

Wenn der Trassenverlauf bei einer notwendigen Leitungserneuerung für die zukünftige Nutzung erhalten werden kann, bietet sich alternativ zur offenen Bauweise das dynamische Berstlining-Verfahren an. Hierbei wird mittels eines Schlaggerätes die zu erneuernde Altleitung (aus Faserzement, Steinzeug, unbewehrter Beton) in kleine Einzelstücke zerschlagen und in das Erdreich verdrängt. Der Leitungshohlraum wird dabei mittels Aufweitung so erweitert, dass ein Rohr aus PVC oder PE-HD oder einem anderen Material als Kurzrohr mit glatter Aussenkontur oder als Rohrstrang gleichen

oder grösseren Durchmessers eingezogen werden kann. Das bedeutet der Rohrquerschnitt wird erhalten oder sogar vergrössert.

Das Berstlining-Verfahren wird in der Regel im Rohrennenweitenbereich bis DN 400 bei Haltungslängen bis 100 m eingesetzt. Selbstverständlich können auch grössere Nennweiten z.Zt. bis DN 600 eingezogen werden. Die Vortriebsgeschwindigkeit liegt je nach den örtlichen Verhältnissen zwischen 1 bis 2 m/min.

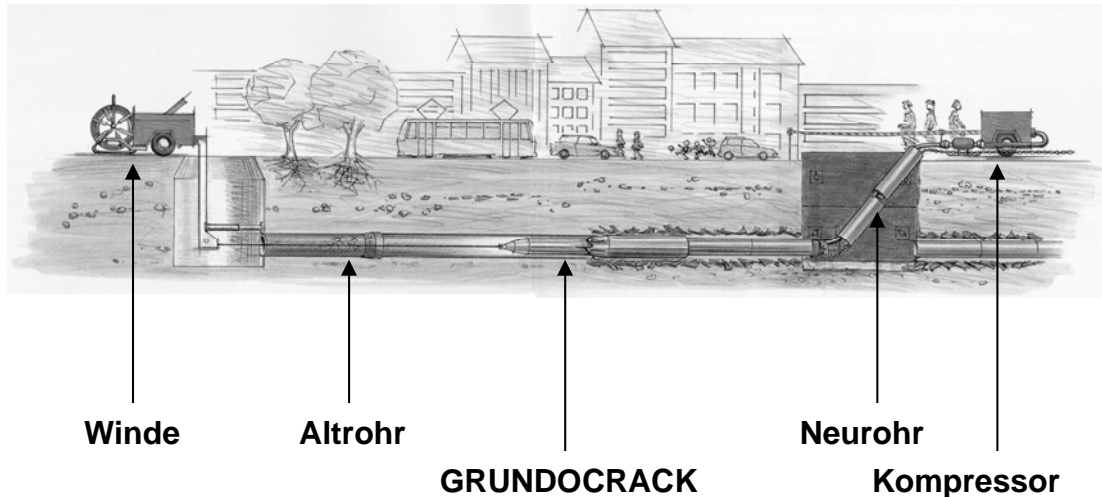


Bild 6-1: Ablaufschema Berstlining [10]

Als Berstmaschinen kommen beim dynamischen Berstlining-Verfahren druckluftbetriebene Schlaghämmer mit Bersthülsen oder Aufweitungen zum Einsatz. Die Bersthülsen eignen sich zum Bersten von Guss- und Stahlrohren, während die Aufweitungen bei der Erneuerung von Abwasserkanälen eingesetzt werden. Darüber hinaus stehen Mini-Cracker zur Verfügung, die mit ihren besonders kurzen Abmessungen auch aus bestehenden Kanalschächten gestartet werden können. Dabei ziehen sie Kunststoff-Kurzrohre mit glatter Aussenhaut ohne überstehende Muffen aus PVC-U oder PE-HD ein. Die Rohre sind über eine im Rohrinne liegende Zugkette so durch Vorspannung mit der Maschine verbunden, dass die Muffen zusammengehalten werden.

Mit steigender Tendenz werden alte Leitungen nach dem Berstlining-Verfahren erneuert. Ein wesentlicher Grund ist, dass die Belastung unserer Städte durch den ruhenden und fliessenden Verkehr häufig ein Aufgraben der Strassen über längere Strecken nicht mehr zulassen. Diese Einschränkungen führen auch zu Verteuerungen und hohem Aufwand an Arbeitsvorbereitung und Disposition.

Durch geschlossene Bauverfahren, wie dem Berstlining-Verfahren, werden grössere Behinderungen vermieden. Aufwendige lang andauernde Bauarbeiten entfallen, da nur eine Start- und Zielgrube, bei Hausanschlüssen und starken Bögen auch Zwischenruben erforderlich sind. Das oft problematische Anlegen einer Paralleltrasse entfällt, da beim Berstlining die neue Rohrleitung in die bereits vorhandene Trasse eingebracht wird. Mit zunehmender Verlegetiefe wird die geschlossene Bauweise interessanter; denn umfangreiche Erdarbeiten und aufwendige Verbaumassnahmen entfallen.

Beim dynamischen Berstliningverfahren werden in geschlossener Bauweise alte Leitungen aus Steinzeug, Faserzement, Grauguss, Kunststoff oder Beton zertrümmert und zeitgleich neue Rohre aus PEHD (Lang- oder Kurzrohre) oder PVC-U eingezogen.

Starke Bögen, Abzweige erfordern Zwischengruben. Start und Ziel können auch Revisionsschächte sein.

Ein Einsatz des Berstlining-Verfahrens kommt in der Regel immer dann in Frage, wenn:

- die Statik des Altrohres beeinträchtigt ist,
- eine Insatandsetzung nicht mehr möglich ist z. B. bei Versatz, Rissen, fehlender Sohle oder teilweisem Einsturz,
- die hydraulische Kapazität verbessert werden muss,
- ein Neurohr mit neuem Abnutzungsvorrat gewünscht wird.

Die Berstmaschine zertrümmert die defekte Altleitung und verdrängt die Scherben radial in das umgebende Erdreich. Dabei wird das Bohrprofil für das neue Rohr aufgeweitet. Die Zugkraft der Winde unterstützt die Berstmaschine und garantiert eine sichere Führung in der vorgegebenen Trasse. Der um das Altrohr anstehende Boden lässt sich in der Regel gut verdrängen. Eine gute Verdrängbarkeit des Bodens um das Altrohr erlaubt es bei Bedarf, das neue Rohr um eine oder evtl. zwei Nennstufen grösser zu dimensionieren.

Bei Grundwasser ist eine Wasserhaltung nur in den Start- und Zielschächten notwendig.

### **6.2.1 Rohrmaterialien des Berstlinings**

Generell entziehen sich Kunststoffrohre den Bodenbelastungen; sie weichen diesen durch Verformung aus und liegen nach Abschluss der Bodensetzungen sozusagen lastfrei im Boden. Rohre aus PE-HD sind schlagfest und in gewisser Masse biegsam. Ausserdem können sich PE-HD-Rohre dem alten Trassenverlauf gut anpassen und bieten folgende Eigenschaften:

- Dichtheit
- geringes Gewicht
- geringe Wandreibungsverluste, d.h. gute hydraulische Leistung hohe Abriebfestigkeit
- beständig gegen aggressive Durchflussmedien und mit Schadstoffen belastete Böden
- keine Ablagerungen und Verkrustungen
- langlebig
- güteüberwacht

### **6.2.2 Vorteile des Berstlinings in der Zusammenfassung**

Die Vorteile des Berstlinings sind zusammengefasst:

- Berstlining ist Neuverlegung
- Vorreinigung und Wurzelabfräsung meist nicht erforderlich
- nur einmalige Kamerabefahrung
- Nutzung der alten Trasse
- einsetzbar auch bei Muffenversatz, kollabierten Rohren, Lageabweichungen, Verformungen
- Ringraumvermörtelung möglich, keine Punktbelastung des Neurohrs



- Versiegelung der Altrohrscherben
- gute Bettungsbedingungen durch Auffüllen von Hohlräumen
- relativ geringer Maschinen- und Materialeinsatz
- relativ geringer Platzbedarf
- benötigte statische Tragfähigkeit wird wieder hergestellt (Neurohr)
- kostengünstige Maschinenteknik

## 6.3 Systeme des Berstlinings

Zur Anwendung des dynamischen Berstlinings kommen verschiedene Verfahren in Frage, die im Folgenden kurz erläutert werden:

- Erneuerung im Druckrohr-Berstlining
- Erneuerung endloser Rohre mit hinterer Aufweitung
- Erneuerung endloser Rohre mit vorderer Aufweitung
- Erneuerung mit Ringraum-Vermörtelung
- Erneuerung im Kaliber-Verfahren

### 6.3.1 Druckrohr-Berstlining

Auch Druckrohre aus Grauguss, Duktulguss im Rohrnennweitenbereich von DN 60 bis DN 250 für Gas- und Trinkwasser- und Fernwärmeleitungen lassen sich mit dem Berstlining-Verfahren durch verschweisste PE-HD Langrohre erneuern.

Für die Erneuerung von Druckrohren wird zunächst ein Schutzrohr eingezogen, in das in einem zweiten Arbeitsgang das neue Leitungsrohr eingeschoben wird. Nach der Verlegung und den entsprechenden Druckprüfungen werden die zuvor umgelegten Hauptleitungen wieder in Betrieb genommen und die endgültigen Hausanschlüsse erstellt.

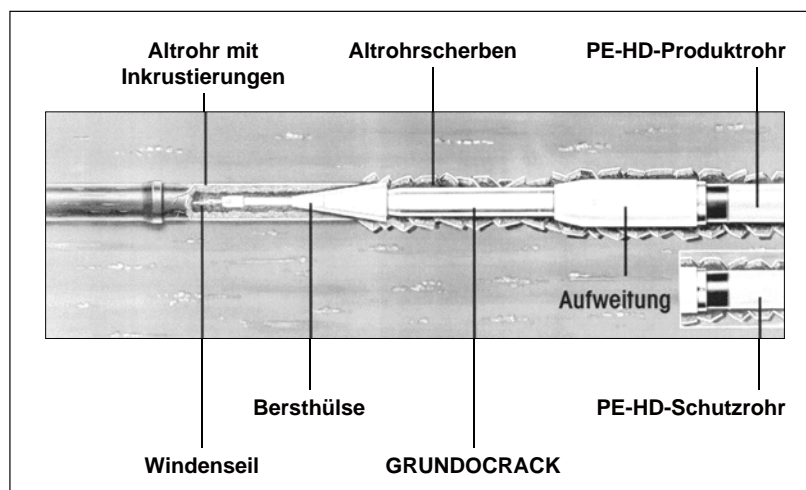


Bild 6–2: Druckrohr-Berstlining [10]

### 6.3.2 Berstlining mit hinterer Aufweitung

Beim Einsatz einer hinteren Aufweitung kann die Berstmaschine als Führungskaliber im Altrohr genutzt werden, wodurch die Führungsstabilität des Aufweitungskörpers erhöht wird.

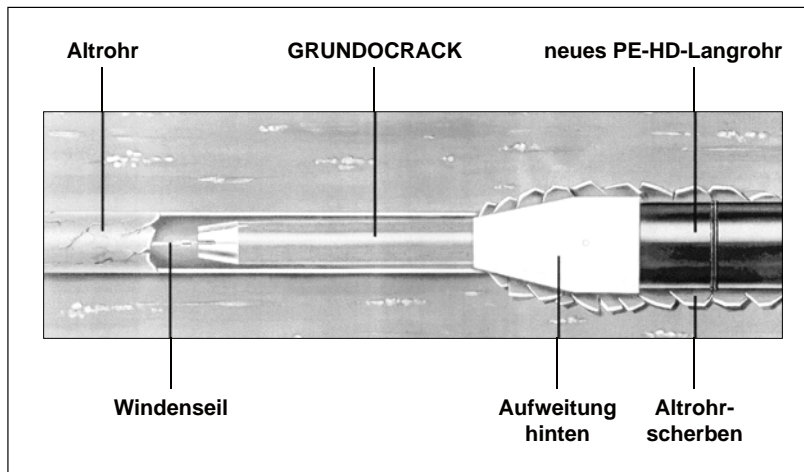


Bild 6–3: Berstlining mit hinterer Aufweitung [10]

### 6.3.3 Berstlining mit vorderer Aufweitung

Die vordere Aufweitung wird in erster Linie eingesetzt, wenn das Ziel ein enger Revisionsschacht ist, aus dem die Berstmaschine nicht geborgen werden kann.

Die vordere Aufweitung kann im Revisionsschacht von der Maschine gelöst und geborgen werden. Die längere Berstmaschine wird anschliessend im neu verlegten Rohr zur Startgrube zurückgezogen und dort entnommen.

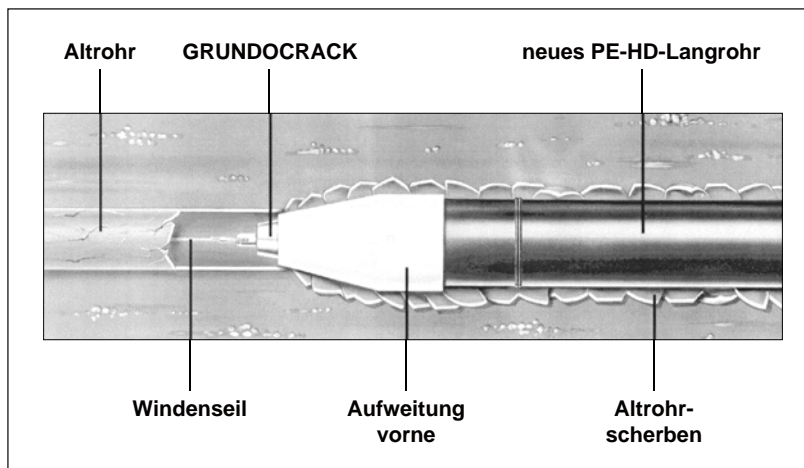


Bild 6–4: Berstlining mit vorderer Aufweitung [10]

### 6.3.4 Berstlining mit hinterer Aufweitung und Ringraum-Vermörtelung

Durch den Einsatz eines Bentonit-Zement-Gemisches wird der Ringraum zwischen dem neu eingezogenen Rohr und dem gebersteten Altrohr verfüllt. Vorteile einer Ringraumvermörtelung sind die homogenere und fixierte Lagerung des Neurohrs im gebersteten Altrohr. Hierdurch wird eine günstigere Statik des Gesamtsystems er-

reicht, indem Spannungsspitzen, die aus einer ungleichförmigen Rohrauf Lagerung resultieren können, vermieden werden.

Der Ringraum um das neue Rohr wird dabei sukzessive dem Vortrieb folgend verpresst.

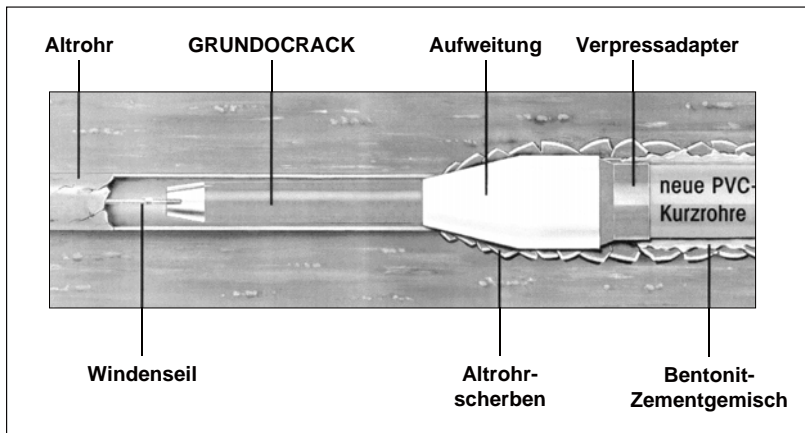


Bild 6-5: Berstlining mit hinterer Aufweitung und Ringraum-Vermörtelung [10]

### 6.3.5 Berstlining im Kaliber-Verfahren

Das Kaliber-Berstverfahren ist eine grabenlose Neuverlegung in gleicher Trasse mit Querschnittsverengung um eine Nennweite. Das Verfahren ist einsetzbar bei Kreisprofilen ab DN 150 bis < DN 1000 und allen Schadensbildern. Die Berstmaschine kalibriert den Altkanal und dient als Führungskaliber beim statischen Einzug des neuen Rohres. Dynamische Rammenergie wird zugeschaltet, wenn Verengungen, Versatz, Wurzeleinwuchs etc. das erfordern. Die gleichzeitige Ringraumverfüllung garantiert eine optimale Rohrbettung.

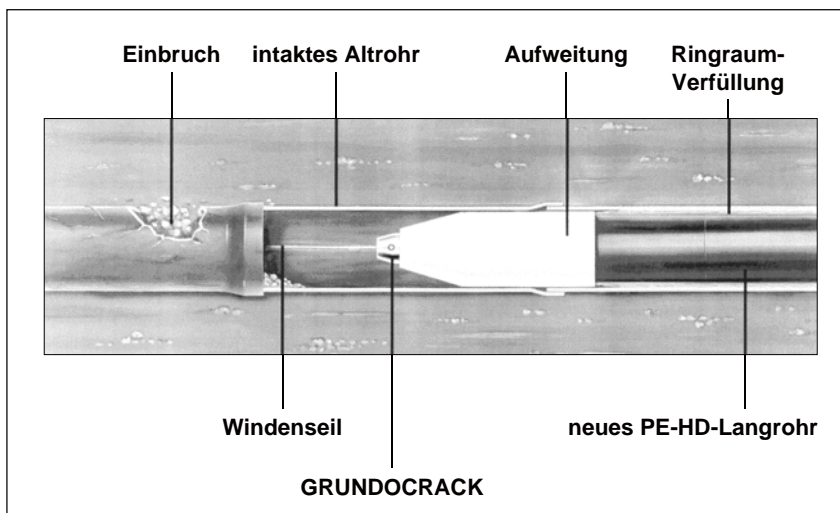


Bild 6-6: Erneuerung im Kaliber-Verfahren [10]

## 6.4 Bauablauf des dynamischen Berstlining-Verfahrens

Wie bei allen Rohrverlegemaßnahmen ist auch beim Berstlining-Verfahren eine sorgfältige Planung unabdingbar. Grundsätzlich ist vor einer Massnahme eine Kanalin-

spektion notwendig, bei der die Schäden dokumentiert werden, die über eine Instandsetzung oder Erneuerung entscheiden. Ebenso muss geklärt werden, ob das Niveau der alten Trasse noch stimmt, wo sich die Hausanschlüsse befinden und wo starke Bögen Zwischengruben erfordern.

Unter Beachtung dieser Einflussgrößen werden die Start- und Zielgruben festgelegt, ausgehoben und verbaut. Dabei wird grundsätzlich angestrebt, die Zielgruben im Kreuzungsbereich der zu wechselnden Leitungen anzulegen. Die Startgrube ist so zu wählen, dass der Berstlining-Vorgang in 2 Richtungen vorgenommen werden kann. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Zielgrube auch ein Zielschacht sein kann. Das Berstlining-Verfahren lässt sich auch von Schacht zu Schacht einsetzen.

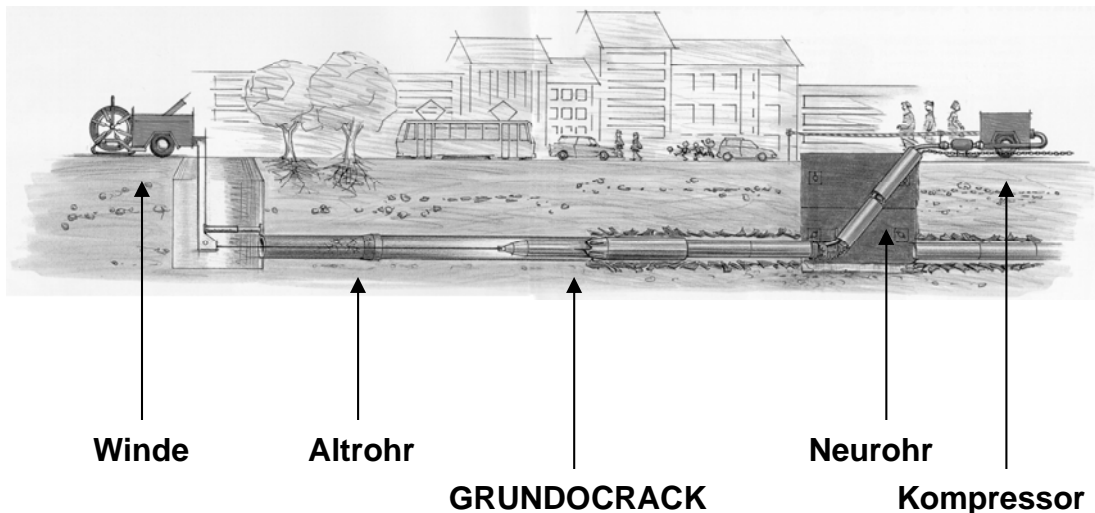


Bild 6–7: Bauablauf des dynamischen Berstlining-Verfahrens [10]

Die einzelnen Arbeitsschritte beim Berstlining-Verfahren lauten:

- 1) Aufstellung der Winde am Zielschacht (-grube)
- 2) Einzug des Windenzugseiles in das Altrohr
- 3) Einzug der Spannkette und des Druckluftschlauches in die Produktrohre
- 4) Anschluss der Maschine an den Kompressor
- 5) Befestigung der Maschine am Windenseil
- 6) Kraftschlüssige Verbindung der Rohre mit Spannzug
- 7) Beginn des Berstvorgangs: Winde zieht, Cracker schlägt und zertrümmert und zieht gleichzeitig die Neurohre ein.
- 8) Bergung der Maschine.

## 6.5 Geräte des Berstlinings

Die Ausrüstung für die Durchführung der grabenlosen Leitungserneuerung besteht neben dem Grundocrack mit der entsprechenden Aufweitung aus folgenden Geräten:

- 1) Kompressor für den Antrieb des Crackers
- 2) hydraulische Winde
- 3) Druckluftschlauch
- 4) Zugkette mit Spannzug zum Nachziehen bei Kunststoff-Kurzrohren

## 5) Cobra-Glasfaserstange zum Einziehen des Windenzugseiles

**6.5.1 Grundwinch**

Die Grundwinch-Spezialwinde unterstützt den Berstvorgang durch statischen Zug und hält die Richtungsstabilität. Sie ist mit einer hydraulischen Zugkraftvorwahl mit Vorspannautomatik ausgerüstet, die die Vorspannung auch bei erhöhtem Widerstand, z.B. bei Rohrmuffen konstant hält. Ist die Muffe gebrochen, regelt sich die Zuggeschwindigkeit sofort zur Vorspannung hoch. Die Winde gibt es mit 20 bis 400 kN Zugkraft. Das Windenzugseil wird mit Hilfe eines Glasfiderstabes in das Atrohr eingezogen und mit Spannstiften am Berstkopf des Crackers mit Spannstiften fixiert.



Bild 6–8: Grundwinch-Spezialwinde

Mit Hilfe eines hydraulischen Kettenspanners wird dabei während des gesamten Einzugvorganges das einzuziehende Rohr unter Spannung gehalten.

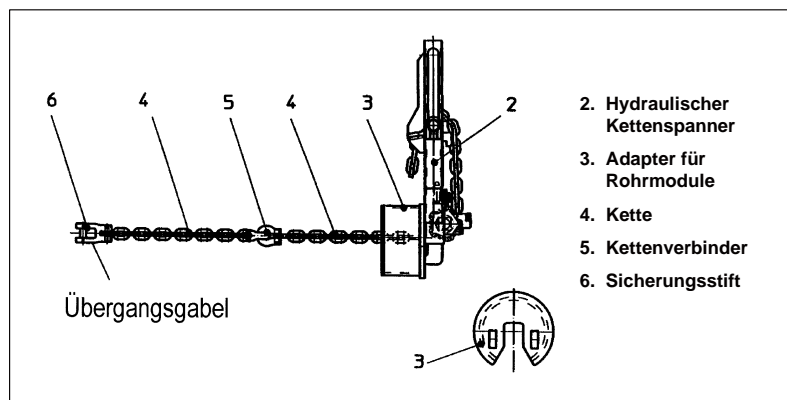


Bild 6–9: Hydraulischer Kettenspanner

## 7 Arbeits- und Unfallschutz

### 7.1 Relevante Vorschriften

Die für den Arbeitsschutz und die Unfallverhütung relevanten Vorschriften sind:

- SUVA Forum 1675: Verordnung über Unfallverhütung bei Graben- und Schachtbau sowie ähnlichen Arbeiten (13. April 1963)
- SBA 78 / 79: Vergiftungen und Erstickungen bei unterirdischen Arbeiten im Tiefbau
- SBA 84: Grubengas und andere explosive Gase bei unterirdischen Arbeiten im Tiefbau

#### 7.1.1 Mindestabmessungen für Arbeitsplätze im Kanalbau

Je nach Haltungslänge gelten für den Minstdurchmesser begehbare Leitungsquerschnitte die in der folgenden Abbildung dargestellten Mindestwerte:

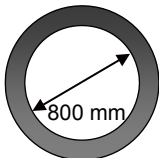
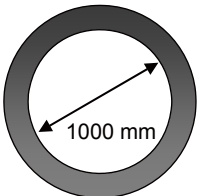
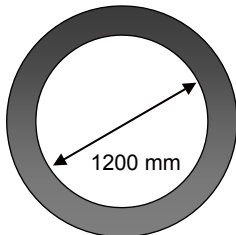
Haltungslänge	bis 50 m	50 - 100 m	mehr als 100 m
Leitungsdurchmesser			

Bild 7-1: Mindestabmessungen für Arbeitsplätze im Kanalbau

Leitungen, die einen geringeren Querschnitt aufweisen, gelten aus der Sicht der Arbeitssicherheit als nicht begehrbar.

#### 7.1.2 Mindestanforderungen an die Atemluft

Gemäss der UVV „Bauarbeiten“ (VBG 37) , § 64 "Mindestanforderungen an die Atemluft bei Arbeiten in Schächten und Rohrleitungen" gelten für die Atemluft bei begehrbarer Leitungen die folgenden Mindestanforderungen:

- Sauerstoff > 19 Vol.-%
- zulässige Gefahrstoffkonzentration nicht überschritten (MAK- Wert)
- keine explosionsfähige Atmosphäre

### 7.2 Tests zur Erfassung von Gefährdungen bei Kanalerhaltungen

Zur Erfassung von bestehenden Gefährdungen bei Kanalerhaltungen sind eine Reihe von Tests erforderlich, mit deren Hilfe man sich einen Gesamteindruck von der Situa-

tion einer Kanalleitung unter Gesichtspunkten des Arbeits- und Unfallschutzes verschaffen kann.

Die erforderlichen Tests werden in der nachfolgenden Aufstellung zusammengefasst:

- **Stofffassung.**
  - Analytische und mengenmässige Erfassung der Ausgangsstoffe.
  - Analytische und mengenmässige Erfassung der Reaktionsprodukte sowie der Nebenprodukte.
  - Summenparameter TOC (gesamter organisch gebundener Kohlenstoff).
- **Wirkung und Abbau.**
  - Mikrobiologische- bzw. Toxizitätstest.
  - Biologischer Abbau.
  - Mutagenitätstest (Ames-Test).
- **Physikalisch-Chemisch**
  - pH-Wert, Temperatur
  - Redoxpotential, elektrische Leitfähigkeit (nur bei Gelbildung)

### 7.3 Gefahren bei der Erhaltung von Kanälen

Bei der Erhaltung von Kanälen ist im Allgemeinen mit den folgenden Gefahrenbildern zu rechnen:

- Gefährdung durch Strassenverkehr
- Sturzgefahr durch Stolpern oder Ausrutschen
- Gefahren durch Sauerstoffmangel oder Gase
- Gefahren durch starke Wasserführung
- Gefahr durch bewegliche Teile
- Infektionsgefahren
- Explosionsgefahr
- Gefahren durch die verwendeten Erhaltungsmaterialien und -stoffe

Insbesondere aus dem *Betrieb einer Kanalleitung* können dabei die folgenden Gefährdungen für Personen auftreten, die im Bedarfsfall durch eine künstliche Belüftung zu minimieren sind.

- Methangas
- Kohlendioxid
- Schwefelwasserstoff
- Stickstoffe
- Sauerstoffmangel

Gesundheitsgefährdende Stoffe, die aufgrund der verwendeten *Erhaltungsmaterialien* auftreten können, sind:

- Kunsharze
- Kleber
- Gift und Giftgase
- etc.

## 7.4 Massnahmen zur Gefahrenabwehr

Zur Eliminierung oder zumindest weitgehenden Reduzierung der angesprochenen Gefährdungen werden bei der Durchführung von geschlossenen Leitungserhaltungen verschiedene Sicherheitsmassnahmen ergriffen. Diese Massnahmen zur Gefahrenabwehr werden im folgenden näher beschrieben.

### 7.4.1 Vorwegmassnahmen

Als generelle Vorwegmassnahmen bei der Planung von Leitungserhaltungen sind i.d.R. die folgenden Massnahmen zu ergreifen:

- Gefährdung der Beschäftigten und Verkehrsteilnehmer reduzieren durch Absperrmassnahmen und Beschilderung
- Entfernung von Ablagerungen und Ausgasung der Kanäle sowie temporäres Verschiessen der anderen Kanäle im Schacht
- kreuzende oder parallele Leitungen, EW, Gas, sorgsam beachten, um Beschädigungen zu verhindern

### 7.4.2 Massnahmen gegen Gefährdungen

In Abhängigkeit der vorherrschenden Randbedingungen bei der Erhaltung von Leitungen sind im Einzelfall folgende Massnahmen zweckmässig:

- Stilllegung von Leitungen
- Provisorisches Einrichten von Ver- und Entsorgungsleitungen
- Reinigung der Leitung vor Erhaltung
- ausreichende Lüftung sicherstellen
- Ausführung bei geringer Belastung
- Schutzkleider / Atemschutz anlegen
- Arbeitsanweisungen im Hinblick auf Arbeitssicherheitsgesichtspunkte ausrichten
- Sicherheitsregeln für Arbeiten in umschlossenen Räumen beachten

### 7.4.3 Zugang zur Arbeitsstelle

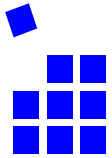
Um den Zugang zur Arbeitsstelle, insbesondere im Bereich von Verkehrsflächen, vorschriftsmässig zu sichern, sind die bestehenden Richtlinien für Sicherung von Arbeitsstellen an Strassen zu beachten. Zum Schutz beim Begehen der Schächte ist zudem auf die vorschriftsgemässe Einstiegssicherung durch Geländer und Leitern zu achten.

Weiterhin zu beachten ist die Verordnung über die Unfallverhütung bei Graben- und Schachtbau (SUVA) bei Instandhaltung und Instandsetzung in offenen und geschlossenen Bauwerken.



## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Compact Pipe - Close-fit-Lining, Wavin GmbH, Twist (D), Produktpräsentation
- [2] El Khafif, M.: Kanalroboter für Inspektion und Instandsetzung
- [3] Forever Pipe, S3 Soncini, Poviglio (I), Produktpräsentation
- [4] GSTT - German Society for Trenchless Technology e.V, Hamburg, Verbandspublikationen
- [5] Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH, Röthenbach (D), Produktpräsentation
- [6] KA-TE - Kanalsanierungen, Produktpräsentation KA-TE System AG, Zürich
- [7] MC-Bauchemie, Bottrop (D), Produktpräsentation
- [8] Subterra, Pipe Renovation & Rehabilitation, Lancashire (UK), Produktpräsentation
- [9] SUVA
- [10] TRACTO-TECHNIK, Paul Schmidt Spezialmaschinen, Lennestad (D), Produktpräsentation
- [11] Trolining - Rohrsanierung mit System, Troisdorf (D), Produktpräsentation
- [12] Kanalinspektion, Prospekt Züblin Umwelttechnik, Züblin Umwelttechnik GmbH, D-70567 Stuttgart
- [13] Kanalinstandsetzung, Prospekt Maagh Leitungsbau, D-53119 Bonn



Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Teil 8: Erhaltungsmanagement im Hochbau



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Immobilien als Anlageklasse (Asset class).....	1
1.2	Erhaltungsmanagement im Kontext der Immobilienanlage .....	1
<b>2</b>	<b>Strategische Überlegungen im Vorfeld einer Instandsetzung .....</b>	<b>3</b>
2.1	Hierarchie der Strategien eines Immobilieneigentümers .....	3
2.2	Planungs- und Entscheidungsprozess des Immobilieneigentümers ..	4
<b>3</b>	<b>Bestimmung der Bauelemente, Zeitpunkt und Kosten .....</b>	<b>5</b>
3.1	Welche Bauelemente müssen instandgesetzt bzw. erneuert werden?5	
3.2	Bestimmung der Instandsetzungs- bzw. Erneuerungszeitpunkte und Arbeitspakete .....	5
3.3	Abschätzung der Instandsetzungskosten.....	6
3.3.1	Einsatz von Softwareprogrammen.....	6
3.3.2	Kostenschätzung anhand von Erfahrungswerten .....	7
<b>4</b>	<b>Grundlagen des Mietrechts für werterhaltende und wertvermehrnde Investitionen.....</b>	<b>8</b>
4.1	Grundbegriffe .....	8
4.2	Bestimmung des Anteils der wertvermehrenden Investition .....	8
4.3	Berechnung der Mietzinserhöhung .....	9
<b>5</b>	<b>Entscheid über Realisation der Investitionen – Chancen und Risiken .....</b>	<b>10</b>
5.1	Grundüberlegung des Eigentümers .....	10
5.2	Positionierung der Liegenschaft .....	10
5.3	Betrachtung des Mietertrags .....	11
5.4	Renditebetrachtung.....	13
<b>6</b>	<b>Ablauf von Investitionsprojekten .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick: Spannungsfeld Immobilienmanagement.....</b>	<b>16</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Immobilien als Anlageklasse (Asset class)

Rund 22% aller Mietwohnungen in der Schweiz sind im Besitz von institutionellen Anlegern; rund 57% befinden sich im Besitz von Privatpersonen. Das Ziel der Vorlesung besteht darin, die Planungs- und Entscheidungsprozesse eines Eigentümers in Bezug auf Erhaltungsmassnahmen von Immobilien aufzuzeigen. Da institutionelle Investoren in der Regel eine Vielzahl von Immobilien betreuen und in den letzten Jahren diese eine starke Professionalisierung vollzogen haben, wird in dieser Vorlesung auf diese Art der Immobilienbesitzer fokussiert.

Institutionelle Anleger wie Pensionskassen, Anlagestiftungen und Versicherungen legen ihr Vermögen aus Gründen der Risikodiversifikation in verschiedenen Anlageklassen an: Aktien, Obligationen, Hypotheken und Immobilien. Die Anlageklasse Immobilien umfasst in der Regel eine taktische Bandbreite von 12% - 18% des Gesamtvermögens. Es gibt auch Pensionskassen, die bis zu 25% des Vermögens in Immobilien investieren. Die Anlageklasse Immobilien wird unterschieden nach „Direkten Immobilienanlagen“, d.h. reale Liegenschaften im Besitz des Investors und „Indirekte Immobilienanlagen“, welches Anteile an Immobiliengesellschaften (Allreal, Züblin etc.) oder an Immobilienfonds (UBS, CS etc.) sind.

Für die Anlageklasse Direkte Immobilienanlagen existiert in der Regel eine Immobilienstrategie des Eigentümers. Diese hat einen wesentlichen Einfluss darauf, ob einzelne Liegenschaften überhaupt saniert oder aber verkauft werden.

Der Vorteil der Direkten Immobilienanlagen liegt darin, dass mit den Mieterträgen mehr oder weniger konstante Cash-flows (Geldflüsse) generiert werden gegenüber den volatilen Wertänderungen in den Aktienmärkten. Die jährlichen Mieterträge sind im Fokus der Eigentümer: Analog zu einer Geldeinlage auf einem Bankkonto entsprechen sie dem jährlichen Zins der Anlage. Die Nettorendite von Immobilien entspricht somit:

$$\text{Nettorendite} = \frac{(\text{Jährliche Mieteinnahmen ohne Nebenkosten} - \text{Aufwand für Unterhalt, Betriebskosten und Instandsetzungen})}{(\text{Wert der Immobilienanlagen})}$$

Die Nettorendite wird im englischsprachigen Raum als „Cap Rate“ bezeichnet.

## 1.2 Erhaltungsmanagement im Kontext der Immobilienanlage

Aus Sicht eines Eigentümers gestaltet sich der Lebenszyklus einer Immobilie wie folgt:

Grundstückwerb – Planung – Erstellung – Inbetriebnahme und Erstvermietung – Alterungszyklen (25-30 Jahre) – Instandsetzungen und ggf. Neupositionierungen (Erneuerungen) – Abbruch/Neubau oder Verkauf

Während der Betriebsphase der Immobilie erfolgt einerseits der laufende (periodische) Unterhalt durch die Immobilienbewirtschaftung (z.B. Wartungen, Reparaturen, Unterhalt bei Mieterwechseln, Unterhalt Garten). Andererseits müssen die Bauelemente einer Liegenschaft wie Dach, Fassade, Fenster, Leitungen etc. in bestimmten Zyklen erneuert werden. Solche Instandsetzungen sind im Fokus dieser Vorlesung.

Investitionen in eine Instandsetzung (z.B. Erneuerung der Küchen, Bäder und Leitungen) sind ebenfalls als Investition eines Anlegers resp. Eigentümers zu betrachten. Aus diesem Grund sind Überlegungen anzustellen, ob die Investition für den Anleger überhaupt sinnvoll ist (Immobilienstrategie), ob sie sich überhaupt lohnt (Rendite) und welche Risiken damit verbunden sind (z.B. Entwicklungen im Umfeld, Leerstand, Überwälzung auf Miete).

Erhaltungsmanagement ist eine strategische (Kapitel 2), bauplanerische (Kapitel 3), juristische (Kapitel 4) und ökonomische (Kapitel 5) Disziplin. Aber auch eine Disziplin, die sich im Spannungsfeld verschiedener Interessengruppen bewegt (Kapitel 7).

## 2 Strategische Überlegungen im Vorfeld einer Instandsetzung

### 2.1 Hierarchie der Strategien eines Immobilieneigentümers

Aus Sicht eines Anlegers ist es nicht in jedem Fall sinnvoll, die anstehende Instandsetzung bzw. Erneuerung einer Liegenschaft vorzunehmen (Best owner). Die Instandsetzung bzw. Erneuerung einer Liegenschaft stellt ein Investment in eine Liegenschaft dar, was innerhalb des gesamten Portfolios zu beurteilen ist. Um die Entscheidungsprozesse eines Immobilieneigentümers zu verstehen, werden im Folgenden die Hierarchien der Strategien eines Anlegers aufgezeigt:

- **Taktische Asset Allocation:** Diese gibt vor, in welchen „Anlagegefäßen“ der Anleger investieren soll (z.B. 40% Aktien, 20% Obligationen, 15% Immobilien...). Je nach Zuwachs oder Abfluss des gesamten Anlagevermögens kann dies Auswirkungen auf das absolute Volumen der Immobilienanlagen des Anlegers haben: Bei Zuwachs des Anlagevolumens (z.B. durch Ausfinanzierung einer Pensionskasse) werden in allen Anlageklassen mehr Investitionen getätigt; bei Abfluss (z.B. durch demographische Verschiebungen) werden Investitionen nur zurückhaltend getätigt, resp. mehr Verkäufe getätigt.
- **Für Anlageklasse Immobilien -> Immobilienstrategie des Eigentümers:** Diese gibt ausgehend vom IST-Stand in der Regel Ziele betreffend Risiko und Rendite vor. Die Immobilienstrategie umfasst Aussagen zur geographischen Diversifikation (Abbau in bestimmten Regionen, Zukauf in anderen Regionen), zur Nutzungsart (Wohnen, Büro etc.), zu den Eigentumsverhältnissen (Alleineigentum, Miteigentum wie oft bei Shoppingcenters), zur Objektqualität usw.
- **Zur Umsetzung der Immobilienstrategie -> Objektstrategien:** Diese werden auf Ebene einer einzelnen Liegenschaft formuliert und berücksichtigen einerseits die Risiken und Chancen, die aus dem Umfeld auf die Liegenschaft wirken und andererseits die Risiken und Chancen der Liegenschaft selber (Objektqualität, Lagequalität, Rendite, rechtlichen Risiken, Investitionen etc.). In ihrer Gesamtheit sollen die Objektstrategien eine optimale Erfüllung der Immobilienstrategie erreichen. Objektstrategien können beispielsweise lauten: Halten, Halten/Investieren, Halten/Entwickeln, Halten/Verbessern, Halten/Beobachten, Verkaufen.
- **Objektstrategie Halten/Investieren oder Halten/Entwickeln:** Im Rahmen dieser Objektstrategien müssen Überlegungen zur Positionierung der Liegenschaft angestellt werden. Mit der Instandsetzung bzw. Erneuerung der Liegenschaft wird die Liegenschaft für die nächsten 25-30 Jahre neu am Markt positioniert. Aus diesem Grund sind im Vorfeld Überlegungen zur Lage, den Entwicklungen im Umfeld (z.B. geplante S-Bahn-Station), den Zielgruppen (Familien, Singles, Alterswohnungen, double income no kids, Pendler oder Expats etc.), dem Preissegment und der Ausstattung IST und SOLL anzustellen. Aus diesen Überlegungen resultiert der mit der Instandsetzung bzw. Erneuerung angestrebte Standard (siehe Kapitel 5).



## 2.2 Planungs- und Entscheidungsprozess des Immobilieneigentümers

Als Grundlage für die zeitliche Planung von Instandsetzungen wird für jede Liegenschaft eine Investitionsplanung über die wesentlichen Bauelemente (z.B. Dach, Fassade, Küche, Heizung etc.) erstellt. Neben der zeitlichen Planung werden ebenfalls die Kosten als Budget abgeschätzt (Details hierzu folgen im Kapitel 3).

Für alle Immobilien werden auf der Zeitachse in einem 10-Jahres-Investitionsplan die notwendigen Instandsetzungen eingetragen (Bild 1). Dieser 10-Jahres-Investitionsplan dient als Grundlage für die Budgetierung.

			Beträge in kFr.										
Liegenschaft	Baujahr	Anzahl Whg.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Beschreibung
Musterstr. 1, 8050 Zürich	1975	32					450						Fassade, Fenster (2012)
Liegenschaft 2, 8048 Zürich	1981	8									640		Küche, Bad, Leitungen (2016)
Liegenschaft 3, 4001 Basel	1969	45	3'465										Küche, Bad, Leitungen (2008)
Liegenschaft 4, 4058 Basel	1972	70		270									Lift, Heizung (2009)
Liegenschaft 5, 3000 Bern	1976	80			3'600	3'600							Küche, Bad, Leitung, Fassade, Fenster (2010,11)
<b>Total Investitionen</b>			3465	270	3600	3600	450	0	0	0	640	0	

Bild 1: Beispiel einer 10-Jahres-Investitionsplanung für Instandsetzungen bzw. Erneuerungen

Da in der Regel institutionelle Investoren an einem geglätteten Investitionsplan interessiert sind, erfolgt in der Budgetplanung in Absprache mit der Liegenschaftsbewirtschaftung eine zeitliche Justierung der Investitionszeitpunkte. Auf Basis des 10-Jahres-Investitionsplans wird jährlich bei der Eigentümerschaft die Budgetfreigabe für das kommende Jahr (resp. für ein mehrjähriges Projekt) beantragt. Für die Investitionen muss in diesem Rahmen ebenfalls die Wirtschaftlichkeit aufgezeigt werden (Kapitel 5). Nach Freigabe des Budgets erfolgen die konkrete Umsetzungsschritte (Kapitel 6).

## 3 Bestimmung der Bauelemente, Zeitpunkt und Kosten

### 3.1 Welche Bauelemente müssen instandgesetzt bzw. erneuert werden?

Die Unterteilung der Bauelemente kann in unterschiedlichen Detaillierungsgraden erfolgen. Für die Investitionsplanung ist es sinnvoll, die Unterteilung so zu wählen, wie in der Praxis effektiv Aufträge ausgegeben werden (z.B. Dachinstandsetzung). Es wird folgende Unterteilung empfohlen:

- Dach (Flachdach oder Schrägdach)
- Fassade und Balkone
- Fenster und Storen
- Küche, Bad und Leitungen (Steigleitung, Kalt- und Warmwasserleitungen, Elektrisch)
- Wohnungen Oberflächen und Böden
- Treppenhaus und Eingangszone
- Heizungsanlage
- Lift
- Autoeinstellhalle

### 3.2 Bestimmung der Instandsetzungs- bzw. Erneuerungszeitpunkte und Arbeitspakete

In der Literatur werden für diese Bauelemente in der Regel unterschiedliche Lebensdauern angegeben. Für die Schweiz massgebend ist die Lebensdauertabelle des Schweizerischen Mieterverbands (diese kann bei [www.mieterverband.ch](http://www.mieterverband.ch) bezogen werden). So wird beispielsweise in der Lebensdauertabelle des Mieterverbands angegeben, dass Flachdächer eine Lebensdauer von 30 Jahren haben, Schrägdach 50 Jahre, Kompaktisolationen 30 Jahre, Holz-Metall-Fenster 25 Jahre, Küche mit hoher Qualität 25 Jahre, Badezimmer 30 Jahre, Kaltwasserleitungen 30-50 Jahre, Heizung 20 Jahre, Liftanlage 30 Jahre etc.

In der Regel werden die einzelnen Bauelemente aber nicht getrennt voneinander erneuert, sondern in Paketen gebündelt. Sinnvolle Pakete sind (SIA D0199):

- **Gebäudehülle:** Fassade, Balkone, Fenster und Storen, ggf. Flachdach (falls nicht bereits früher notwendig). Diese Elemente werden üblicherweise in einem Zyklus von rund **25-30 Jahren** erneuert.
- **Innenbereich / Ausstattung:** Küche, Bad, Leitungen, Elektrische Anlage, Oberflächen Wohnungen, Treppenhaus und Eingangszone (Briefkasten, Gegensprechanlage) und ggf. Lift. Diese Elemente werden üblicherweise in einem Zyklus von rund **30 Jahren** erneuert. Der Auslöser für diese Erneuerungen ist in der Regel der

Zustand der Kalt- und Warmwasserleitungen. Eine Küchen- und Badezimmererneuerung (neue Küchenkombination, neue Sanitärapparate) macht nur Sinn, wenn die Leitungen, die sich dahinter befinden, ebenfalls erneuert werden. Von einzelnen Küchenerneuerungen in einem Mehrfamilienhaus wird dringend abgeraten, da oft 5 Jahre später eine Gesamterneuerung der Leitungen erfolgen wird.

- **Heizung:** Die Heizungsanlage hat in der Regel eine kürzere Lebensdauer und wird oft unabhängig von den anderen Instandsetzungen erneuert. Die Lebensdauer in der Praxis liegt bei ca. 15 Jahren (mit Ausnahme von Fernwärmeumtauscher mit ca. 20-25 Jahre).
- **Autoeinstellhalle:** Die Autoeinstellhalle hat in der Regel ebenfalls andere Instandsetzungszeitpunkte (Tor, Lüftung, Böden) und wird oft unabhängig von den anderen Instandsetzungen erneuert.

Wenn die Investitionszyklen in dieser Form eingehalten werden, so wird in der Regel alle 25-30 Jahre sowohl die Gebäudehülle, als auch der Innenbereich mit Küche und Bad erneuert. Um eine Investitionsplanung von Liegenschaften in einem Portfolio vorzunehmen, muss aber in einem ersten Schritt für die einzelnen Elemente gemäss Kapitel 3.1 der Zustand resp. der Zeitpunkt der letzten Instandsetzung ermittelt werden. Oft stellt sich die Situation in der Praxis aber so dar, dass die letzte Instandsetzung der Gebäudehülle nicht zum selben Zeitpunkt erfolgte wie die Innenbereich-Instandsetzung. Es kann in der Praxis also nicht automatisch davon ausgegangen werden, dass die Investitionszyklen in der Vergangenheit aufeinander abgestimmt wurden. Der erste Schritt eines Portfoliomanagers besteht somit immer in der Untersuchung des IST-Zustands der Gebäude resp. der Recherche über die Instandsetzungs-Historie. Dies ermöglicht anschliessend eine Investitionsplanung für jede Immobilie.

### 3.3 Abschätzung der Instandsetzungskosten

Nach der Bestimmung der Investitionszeitpunkte je Liegenschaft müssen für die Investitionsplanung und Budgetierung die Investitionskosten abgeschätzt werden. Dabei können zwei Instrumente eingesetzt werden:

- Einsatz von Softwareprogrammen
- Kostenschätzung anhand von Erfahrungswerten aus bereits ausgeführten Projekten, wobei der unterschiedliche Standard zu berücksichtigen ist

#### 3.3.1 Einsatz von Softwareprogrammen

Als derzeit bekannteste Softwareprogramme für die Abschätzung von Instandsetzungskosten und -zeitpunkten können genannt werden:

- STRATUS von Basler & Hofmann AG, Zürich ([www.stratusinfra.ch](http://www.stratusinfra.ch))
- Baukosten-Kennzahlensystem von Prof. Paul Meyer-Meierling, ETHZ ([www.bkks.ch](http://www.bkks.ch))

Die Instandsetzungskosten und -zeitpunkte werden aufgrund von Alterungsalgorithmen und Referenzobjekten ermittelt.

Aufnahmedatum Aufnahme durch		Kein Eintrag =normal			Bewertungsjahr (Bauteil)	Wertung							Anteil		
		Nutzwert	Belastung	Widerstand		intakt			schadhaft				im Auswertungsjahr	Vorgabe	effektiv
						neu	gebraucht	leicht	mittel	stark	irreparabel				
Bauteile	Beschreibung				1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.2	0				
Rohbau					1998		×						0.90	35	35
Steldach					1998		×						0.78	4	4
Flachdach					0								***	4	0
Fassade					1998		×						0.78	8	6
Fenster	DV				1998				×				0.53	8	8
Wärmeerzeugung	Kessel 1987, Tankvolumen 2x Jahresverbrauch				1998		×						0.72	1	4
Wärmeverteilung					1998			×					0.70	2	3
Sanitär					1998				×				0.37	6	6
Elektro	ev. z.T. smart				1998				×				0.47	6	4
übrige Technik					1998				×				0.52	3	3
Innenausbau 1	Substanz				1998				×				0.53	27	15
Innenausbau 2	Oberflächen				1998				×				0.53	0	12
Disponibel					0								***	0	0

Bild 2: Datenerfassung für STRATUS (Quelle: www.stratusinfra.ch)

### 3.3.2 Kostenschätzung anhand von Erfahrungswerten

Mittels Nachkalkulation aus eigenen ausgeführten Projekten können ebenfalls Werte für die Kostenschätzung von Instandsetzungen ermittelt werden.

Für das Paket „Gebäudehülle“ werden dabei die Erfahrungswerte am sinnvollsten in % des Versicherungswerts dargestellt. 6% - 9% des Versicherungswerts sind je nach Umfang für die Instandsetzung der Fassade, Fenster und Dach möglich. Im Einzelfall ist aber der konkrete Umfang und Standard (z.B. hinterlüftete Fassade) zu betrachten.

Für das Paket „Innenbereich / Ausstattung“ werden die Erfahrungswerte sinnvollerweise in Anzahl Wohnungen berechnet. Je nach Standard und Umfang der Erneuerungen können die Kosten für die Erneuerung der Küche (Küchenkombination, neuer Plattenboden, Wände), Badezimmer, Leitungen, elektrische Installationen, neue Wohnungseingangstüren, Treppenhaus zwischen CHF 50'000 bis CHF 90'000 pro Wohnung betragen (inkl. Honorare). Für eine zukünftige Verwendung dieser Werte ist die Baukostenteuerung zu berücksichtigen.

Der Einsatz der Softwareprogramme liefert in relativ kurzer Zeit übersichtliche Ergebnisse. Für den konkreten Einsatz wird aber empfohlen, die von den Programmen ausgegebenen Kosten anhand von Erfahrungswerten zu plausibilisieren (z.B. Kosten pro Wohnung) und diese nicht ohne genaue Prüfung in die Budgetplanung zu übernehmen.

## 4 Grundlagen des Mietrechts für werterhaltende und wertvermehrnde Investitionen

### 4.1 Grundbegriffe

Je nach Art der Investition (Instandsetzungen) kann gemäss Mietrecht ein bestimmter Anteil der Investition auf die Mieten überwält werden (Mietzinserhöhungen). Da beispielsweise in einem Gebäude mit einem Alter von 30 Jahren in der Regel durch die alte und oft einfachere Ausstattung tiefere Mieten, als im Vergleich zu Neubauten erzielt werden, würde ein Ersatz durch moderne Küchenkombinationen keinen Sinn ergeben, wenn dadurch nicht ebenfalls eine Kapitalisierung durch höhere Mietzinse erfolgen könnte.

Bei Erneuerungen werden die Mietverträge in der Regel gekündigt und es findet eine neue Mietzinsfestlegung statt. Für diesen Fall sind die nachfolgenden Ausführungen nicht massgebend.

Das Mietrecht ist im Obligationenrecht (OR) Art. 253 – 274 und in der Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen (VMWG) enthalten. Diese Dokumente können als pdf-Dokument auf der Webseite [www.mietrecht.ch](http://www.mietrecht.ch) eingesehen werden.

Für Investitionen im Rahmen von Instandsetzungen bzw. Erneuerungen muss zwischen **werterhaltenden** und **wertvermehrenden** Investitionen unterschieden werden. Die wertvermehrenden Investitionen sind diejenigen, die auf die Mieten überwält werden können. In der VMWG wird definiert: „Als Mehrleistungen im Sinne von Artikel 269a Buchstabe b des Obligationenrechts gelten Investitionen für wertvermehrnde Verbesserungen, die Vergrösserung der Mietsache sowie zusätzliche Nebenleistungen. Die Kosten **umfassender Überholungen** gelten in der Regel zu **50-70 Prozent** als wertvermehrnde Investitionen.“

Wererhaltende Investitionen können nicht auf die Mieten überwält werden und sind durch den Eigentümer zu tragen. Sie dienen dem eigentlichen Werterhalt der Liegenschaft.

### 4.2 Bestimmung des Anteils der wertvermehrenden Investition

Wie aus der VMWG erkennbar ist, dürfen bei umfassenden Instandsetzungen bzw. Erneuerungen zwischen 50%-70% der Investitionen als wertvermehrnd geltend gemacht werden. Ob 50% oder 70% als wertvermehrnd bestimmt werden, hängt vom IST-Zustand und den getätigten Verbesserungen ab. Dies unterliegt der Einschätzung des Investors. Werden allerdings ungerechtfertigt 70% der Investition geltend gemacht, so können die Mieter bei der Schlichtungsstelle für Mietstreitigkeiten (gibt es in jedem Kanton) die Mietzinserhöhung anfechten.

Die in Kapitel 3.2 erwähnte Lebensdauertabelle des Mieterverbands umfasst ebenfalls für die häufigsten Ersatzinvestitionen eine Tabelle als Hilfestellung für die Ermittlung

des wertvermehrenden Anteils von Investitionen. Beispiel: Ersatz einer alten Heizungsanlage: Wertvermehrung = 10%.

### 4.3 Berechnung der Mietzinserhöhung

Das Obligationenrecht (OR) und die Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen (VMWG) geben keine konkrete Anleitung über die Berechnung der Mietzinserhöhung resp. des Überwälzungssatzes. Dies führte zu einem Bundesgerichtsfall. In der Bundesgerichtsentscheid BGE 118 II 415 von 1992 wurde die konkrete Berechnungsweise geregelt.

Für die Berechnung der Mietzinserhöhung sind folgende vier Grundlagen notwendig:

- Gesamtinvestition: z.B. CHF 2'000'000
- Anteil Wertvermehrend: z.B. 60% = CHF 1'200'000
- Voraussichtliche Lebensdauer der Neuinvestition: z.B. 25 Jahre
- Aktueller Hypothekarzins im Kanton (Basis: Kantonalbanken): z.B. 3%

Anhand dieser Daten kann der Überwälzungssatz wie folgt berechnet werden:

$$\text{Überwälzungssatz} = \left( \frac{100}{\text{Lebensdauer}} + \frac{\text{Hypothekarzins} + 0.5}{2} \right) * 1.1$$

Anhand obigen Beispiel ergibt sich für die Lebensdauer von 25 Jahren und einem Hypothekarzins von 3%:

$$\text{Überwälzungssatz} = \left( \frac{100}{25} + \frac{3 + 0.5}{2} \right) * 1.1 = 6.325\%$$

Bei wertvermehrenden Investitionen von CHF 1'200'000 (entspricht 60% von CHF 2 Mio.) können die Mietzinse somit um CHF 75'900 pro Jahr angehoben werden. Geht man von 25 gleich grossen Wohnungen aus, so würde die Mietzinserhöhung pro Wohnung und Jahr CHF 3'036 betragen resp. CHF 253 pro Monat. Bei unterschiedlichen Wohnungsgrössen werden die Mietzinserhöhungen über die Flächen der Wohnungen aufgeschlüsselt.

## 5 Entscheid über Realisation der Investitionen – Chancen und Risiken

### 5.1 Grundüberlegung des Eigentümers

Bevor eine Investition zwecks Instandsetzung einer Immobilie überhaupt getätigt wird, muss im Rahmen der Objektstrategie betrachtet werden, welches die Chancen und Risiken der Investition sind und wie sich dadurch die Rendite der Investition und der Immobilie gestalten.

Zum einen muss die **Positionierung der Liegenschaft** betrachtet werden: Welches Angebot ist für diese Lage geeignet (heute und zukünftig)? Wie entwickeln sich die Angebote in der Umgebung (Konkurrenz)? Wie entwickelt sich die Nachfragerseite (z.B. demographische Veränderungen)?

Zum anderen muss hierzu die aktuelle **Mietertragssituation** berücksichtigt werden: Wie ist die Tragbarkeit der Mieterhöhung (Risiko Leerstand)? Resp. Wie verhält sich die Miete nach Erhöhung im Vergleich zur Marktmiete?

In einem letzten Schritt muss die **Rendite der Investition** und der Immobilie betrachtet werden.

### 5.2 Positionierung der Liegenschaft

Eine der grundlegenden Betrachtungen in der Ökonomie ist die Frage nach Angebot und Nachfrage. Diese Betrachtung ist auch für das „Produkt“ Wohnungen resp. Immobilien anwendbar.

Für die instand zu setzende Liegenschaft müssen folgende Fragestellungen betrachtet werden:

- Wie ist die Lagequalität der Immobilie? Welche Infrastruktur befindet sich in der Nähe (Schule, Einkaufsmöglichkeiten,...)? Wie ist die Verkehrsanbindung (ÖV, Auto)?
- Welche Veränderungen bezüglich der Lagequalität der Immobilie sind erkennbar (z.B. Bau eines neuen Schulhauses, neue S-Bahn-Station, Autobahnanschluss, Änderung der Anflugroute...)?
- Welches ist heute die Zielgruppe für die Immobilie (Familien, Singles, Alterswohnungen, Expats ...)? Aufgrund der Veränderungen im Umfeld: Welches ist wahrscheinlich zukünftig die Zielgruppe für die Immobilie? Wie charakterisiert sich die heutige Mieterschaft?
- Stimmt die heutige Zielgruppe mit der zukünftigen überein? Welche Anforderungen hat diese Zielgruppe an den Wohnkomfort? Welches ist das Preisniveau, das diese Zielgruppe zu zahlen bereit ist (tief, mittel, hoch)?

- Wie wird sich aus demographischer Sicht diese Zielgruppe in Zukunft verändern (Abnahme, konstant, Zunahme)? Welche „Wanderungsströme“ sind für diese Zielgruppe erkennbar (vom Land in die Stadt; von der Stadt aufs Land)?
- Welche Konkurrenzangebote gibt es in der Umgebung? Gibt es Angebote resp. sind Angebote in der Entwicklung, die für die Zielgruppe einen optimaleren Mix zwischen Komfort und Preis anbieten werden?

Die Instandsetzung bzw. Erneuerung einer Liegenschaft erfordert eine genaue Betrachtung der IST-Situation, der Entwicklungen im Umfeld und der gewünschten zukünftigen Ausrichtung der Liegenschaft. Mit den Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmassnahmen wird die Liegenschaft für die nächsten 25-30 Jahre neu positioniert. Fehlerhafte Einschätzungen über die Ausrichtung können zukünftig nur noch mit hohem Aufwand korrigiert werden (Leerstände, Mietzinssenkungen).

Aus der Beantwortung der obigen Fragen können folgende Elemente definiert werden:

- Notwendige Ausstattung der Wohnungen (Standard); ggf. Einbau weiterer Nasszellen (z.B. zwei Badezimmer anstatt nur eines); Möglichkeit resp. Notwendigkeit von Grundrissveränderungen (innerhalb einer bestehenden Wohnung oder Zusammenlegen von Wohnungen)
- Einbau eines Lifts? Veränderung der Parkplatzsituation?
- Erreichbares Preisniveau der Mietzinse

Je nach IST-Situation des Gebäudes kann die Instandsetzung im bewohnten Zustand erfolgen; bei grossen Eingriffen (Erneuerungen wie z.B. Totalumbau mit Grundrissveränderung, Zusammenlegen von Wohnungen, Lifteinbau) müssen allenfalls die Mieter gekündigt werden, da ein solcher Eingriff im bewohnten Zustand sowohl für die Mieter, als auch für die Ausführung nicht zumutbar ist.

Aus der Betrachtung der Fragen, die oben zwecks Positionierung der Liegenschaft aufgeführt sind, kann aber auch resultieren, dass nur eine „sanfte“ Instandsetzung sinnvoll ist. Wenn die Lage beispielsweise für günstige Wohnungen geeignet ist, ist es nicht sinnvoll, eine Instandsetzung mit einem höheren Standard vorzunehmen. In diesem Fall werden die Investitionskosten möglichst minimiert, da dadurch die Mietzinserhöhungen geringer ausfallen.

Ebenfalls kann man nach Beantwortung der Fragen zur Positionierung zum Schluss kommen, dass die Risiken aufgrund der Konkurrenz im Umfeld, der beschränkten Anpassungsmöglichkeit der Liegenschaft, der spezifischen Lagequalität oder der Entwicklung der Zielgruppe (Abwanderung, z.B. vom Land zum Zentrum) zu hoch sind. In diesem Fall müssen Alternativen geprüft werden wie Umnutzung, Verkauf, Abbruch/Neubau oder Fokus und Ausrichtung auf andere Zielgruppen.

### 5.3 Betrachtung des Mietertrags

Aufgrund der Positionierung der Liegenschaft ergeben sich der Umfang der vorzunehmenden Instandsetzung bzw. Erneuerung und die dadurch resultierenden Investitionskosten sowie das erzielbare Mietzinsniveau. Bei diesem Schritt geht es darum zu überprüfen, wie sich nach Instandsetzung die heutigen Mietzinse im Vergleich zu den Marktmieten verhalten werden.



Ausgangslage für die Beurteilung, inwiefern die Mietzinserhöhungen im Vergleich zu den Marktmieten tragbar sind, ist der so genannte Mieterspiegel (Bild 3): In einem Mieterspiegel werden die aktuellen Mietverhältnisse einer Liegenschaft aufgezeigt.

Stichdatum: 1.4.2007

Adresse	Stockwerk	Zimmer	Status	Name	Mietbeginn	Mietende	Nettomiete	HBK	Bruttomiete	Fläche	Fr. netto / m2
Musterstr. 1, 8050 Zürich	EG	2.5	Vermietet	Mieter 1	01.04.1987		619	100	719	45	165
Musterstr. 1, 8050 Zürich	EG	3.5	Vermietet	Mieter 2	01.10.1977	30.06.2007	938	140	1'078	75	150
Musterstr. 1, 8050 Zürich	1. OG	4.5	Vermietet	Mieter 3	01.04.2004		1'357	170	1'527	92	177
Musterstr. 1, 8050 Zürich	1. OG	2.5	Vermietet	Mieter 4	01.10.2006		783	100	883	47	200
Musterstr. 1, 8050 Zürich	2. OG	3.5	Vermietet	Mieter 5	01.04.1997		1'185	140	1'325	79	180
Musterstr. 1, 8050 Zürich	2. OG	3.5	Leerstand				1'238	140	1'378	79	188
Musterstr. 1, 8050 Zürich	3. OG	5.5	Vermietet	Mieter 6	01.07.2001		1'544	200	1'744	109	170
Musterstr. 1, 8050 Zürich	3. OG	2.5	Vermietet	Mieter 7	01.10.2002		803	100	903	47	205
<b>Total</b>							<b>8'466</b>	<b>1'090</b>	<b>9'556</b>	<b>573</b>	<b>177</b>

Bild 3: Beispiel eines Mieterspiegels

Massgebend für den Eigentümer sind bei einer bestehenden Liegenschaft in der Regel nur die Nettomieten; die Heiz- und Betriebskosten (HBK) stellen einen reinen Cash-in / Cash-out dar. Eine wichtige Grösse zur Beurteilung der Mieten ist das Verhältnis vom Nettomietenertrag pro Jahr zur Fläche der Wohnung (letzte Spalte). Diese Grösse dient auch dem Vergleich mit Marktmieten.

Die Mieter wiederum betrachten beim Vergleichen von Angeboten in der Regel die insgesamt zu bezahlenden Bruttomiete, d.h. inklusive der Nebenkosten. Durch energiesparende Massnahmen können die Nebenkosten einer Liegenschaft (z.B. Heizkosten) reduziert werden. Dadurch ergibt sich für den Eigentümer z.B. im Falle eines Neubaus oder einer Erneuerung die Option, dass die Nettomieten im Vergleich zu umliegenden und vergleichbaren Konkurrenzliegenschaften auf gleichem Niveau gestaltet werden, infolge der tieferen Nebenkosten aber die Bruttomieten tiefer sind, als bei den vergleichbaren Konkurrenzliegenschaften (Wettbewerbsvorteil). Eine weitere Option für den Eigentümer ist in einem solchen Fall ebenfalls die Erhöhung der Nettomieten, so dass die Bruttomieten auf gleichem Niveau wie bei vergleichbaren Konkurrenzliegenschaften liegen (höhere Rendite). Im Falle von Instandsetzungen ist dieser Spielraum allerdings wesentlich kleiner, da die Mietzinserhöhungen (Nettomiete) wie in Kapitel 4 dargestellt, durch das Mietrecht beschränkt werden.

Wie im Mieterspiegel (Bild 3) erkennbar ist, sind die Mieter in der Liegenschaft zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingezogen. In der Regel werden die heute erzielten Mieten, z.B. bei den verschiedenen 3.5-Zimmer-Wohnungen, auf einem unterschiedlichen Niveau sein.

Im Kapitel 4.3 wurde aufgezeigt, wie sich die Mietzinserhöhungen berechnen lassen. Gehen wir bei dem obigen Beispiel (8 Wohnungen) von einer Instandsetzung der Küchen, Bäder, Leitungen und elektrischen Anlagen aus. Wir schätzen die Investitionskosten auf CHF 80'000 pro Wohnung; d.h. total CHF 640'000. Davon können in diesem Fall 60% als wertvermehrende Investition auf die Mieten überwältzt werden; d.h. CHF 384'000. Der aktuelle Hypothekarzins beträgt 3%, die Lebensdauer wird auf 25 Jahre angesetzt. Damit ergibt sich ein Überwälzungssatz von 6.325%. Somit kann die Miete pro Jahr um CHF 24'288 erhöht werden. Die Gesamtfläche der Wohnungen in der Liegenschaft beträgt gemäss Mieterspiegel 573 m<sup>2</sup>. Die Mietzinserhöhung entspricht somit einem Betrag von CHF 42.4 pro m<sup>2</sup>.

Diese Mietzinserhöhung kann nun für jede Wohnung betrachtet werden: Welcher Mietzins ist für die einzelnen Wohnungen nach Durchführung der Erhöhung zu bezah-

len? In Bild 4 ist diese Berechnung gemäss unserem Beispiel dargestellt. Um beurteilen zu können, ob diese Mietzinse im Markt vertretbar sind, müssen Vergleichsmieten (Marktmieten) verwendet werden.

Stichdatum: 1.4.2007								Erhöhung: CHF 42.4/m <sup>2</sup>			
Adresse	Stockwerk	Zimmer	Name	Mietbeginn	Nettomiete	Fläche	Fr. netto / m <sup>2</sup>	Fr. netto / m <sup>2</sup> nach San.	Erhöhung in CHF/Mt.	Marktmiete in CHF/m <sup>2</sup>	Delta
Musterstr. 1, 8050 Zürich	EG	2.5	Mieter 1	01.04.1987	619	45	165	207	159	250	43
Musterstr. 1, 8050 Zürich	EG	3.5	Mieter 2	01.10.1977	938	75	150	192	265	230	38
Musterstr. 1, 8050 Zürich	1. OG	4.5	Mieter 3	01.04.2004	1'357	92	177	219	325	220	1
Musterstr. 1, 8050 Zürich	1. OG	2.5	Mieter 4	01.10.2006	783	47	200	242	166	250	8
Musterstr. 1, 8050 Zürich	2. OG	3.5	Mieter 5	01.04.1997	1'185	79	180	222	279	230	8
Musterstr. 1, 8050 Zürich	2. OG	3.5			1'238	79	188	230	279	230	0
Musterstr. 1, 8050 Zürich	3. OG	5.5	Mieter 6	01.07.2001	1'544	109	170	212	385	210	-2
Musterstr. 1, 8050 Zürich	3. OG	2.5	Mieter 7	01.10.2002	803	47	205	247	166	250	3
<b>Total</b>					<b>8'466</b>	<b>573</b>	<b>177</b>	<b>220</b>	<b>2'025</b>	<b>229</b>	<b>10</b>

Bild 4: Mieterspiegel, erweitert um die Betrachtung der Mietzinserhöhung

Die Vergleichs- resp. Marktmieten können von entsprechend spezialisierten Firmen, wie z.B. Wüest & Partner, beschafft werden. Bei Betrachtung des obigen Beispiels (Bild 4) wird ersichtlich, dass die Mietzinserhöhungen bis auf die 5.5-Zimmer-Wohnung unterhalb der Marktmieten liegen werden. Somit kann bei diesem Beispiel davon ausgegangen werden, dass die Mietzinserhöhung vollständig durchgeführt werden kann und die Mieten nach Instandsetzung mehrheitlich den Marktmieten entsprechen.

Um das Risiko von Leerständen nach Instandsetzungen bzw. Erneuerungen beurteilen zu können, muss das Umfeld der Liegenschaft betrachtet werden (siehe Kapitel 5.2). Hierzu ist es notwendig, dass das Angebot nach Instandsetzung (Standard der Wohnungen im sanierten Zustand) mit den Angeboten in der Umgebung verglichen wird. Wenn beispielsweise im direkten Umfeld eine neues Mehrfamilienhaus erstellt wird, deren Wohnungen optimalere Grundrisse aufweisen und die Mietzinse den Marktmieten entsprechen, so kann davon ausgegangen werden, dass Kunden bei einem direkten Vergleich eher den Neubau bevorzugen werden und dadurch unter Umständen das Leerstandsrisiko in der neu sanierten Liegenschaft steigt. In diesem Fall können allenfalls die Mieten weniger stark angehoben werden, als dies aus Sicht der Vergleichsmieten möglich wäre. Dadurch sinkt die Rendite der Investition.

## 5.4 Renditebetrachtung

Die Renditeberechnung von Investitionen (Instandsetzungen) ist relativ trivial. In Kapitel 4 wurde definiert, dass die Investition in der Regel aus einem werterhaltenden (nicht überwälzbar) und einem wertvermehrenden Anteil (überwälzbar) besteht.

Wenn die Unterhalts- und Betriebskosten nach der Instandsetzung gleich hoch bleiben, so entspricht die **Rendite der wertvermehrenden Investition** dem Überwälzungssatz aus Kapitel 4.3 (z.B. 6.325%). Die Rendite berechnet sich wie folgt:

$$\text{Rendite} = \frac{(\text{Nettoertrag nach Instandsetzung} - \text{Nettoertrag vor Instandsetzung})}{\text{Investitionskosten}}$$

In der Regel wird die Rendite nur auf den wertvermehrenden Anteil der Investition ausgewiesen, da der werterhaltende Anteil der Investition zur Sicherung der Mieterträge in jedem Fall investiert werden müsste. Nach Instandsetzungen kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die Unterhaltskosten für die Liegenschaft sinken

(z.B. weniger Reparaturen, weniger Aufwand bei Mieterwechsel). Wird dies ebenfalls berücksichtigt, so fällt die Rendite bezüglich dem wertvermehrenden Anteil der Investition höher als der Überwälzungssatz aus, da sich der Nettoertrag nach Instandsetzung nicht nur durch die Mietzinserhöhung steigert, sondern ebenfalls durch die Einsparungen beim Unterhalt.

Der **werterhaltende Anteil** wird aber bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht vernachlässigt. Hier spielt der Payback die entscheidende Rolle. Liegt der Payback der werterhaltenden Investition höher als die Lebensdauer der sanierten Elemente (z.B. Heizung), so würde die Investition insgesamt zu einem Verlust führen und wäre nicht sinnvoll. Der Payback bestimmt sich wie folgt:

*Payback = Werterhaltender Anteil der Investition / Nettoertrag vor Instandsetzung*

Der Grund, wieso der Nettoertrag vor Instandsetzung zur Berechnung des Paybacks verwendet wird ist, dass die Mietzinserhöhung durch die wertvermehrenden Investitionen die Verzinsung der wertvermehrenden Investition darstellt und somit nicht auch für den Payback berücksichtigt werden kann.

Für das Beispiel aus Kapitel 5.3 ergibt sich als Payback: CHF 256'000 / CHF 101'592 = 2.5 Jahre. Es wird immer mit Jahresmieterträgen gerechnet. Mit dem bisherigen Mietzins muss somit bei diesem Beispiel der Mietzins von 2.5 Jahren für die „Rückzahlung“ der werterhaltenden Investition verwendet werden. Bei einer Lebensdauer der Investition von 25 Jahren ist dies für den Investor vorteilhaft. Zusätzlich erhält der Investor auf die wertvermehrnde Investition eine Rendite von > 6.325%, was ebenfalls vorteilhaft ist. Die durchschnittliche Performance von Liegenschaften liegt bei rund 5.2%. Somit kann diese Investition als wirtschaftlich für einen Investor bezeichnet werden.

In der Regel würden Eigentümer in einem weiteren Schritt die Veränderung der Performance der Liegenschaft über einen längeren Zeitraum untersuchen. Diese ist wie im Kapitel 1 schon angedeutet vom Wert der Liegenschaft abhängig. Institutionelle Investoren verwenden heutzutage in der Regel die so genannte Discounted-Cash-Flow-Methode (DCF-Methode) zur Bestimmung des Marktwerts der Liegenschaft. Die DCF-Methode betrachtet ab dem jeweiligen Stichtag für die zukünftigen Jahre die zukünftigen Geldflüsse (Einnahmen, Ausgaben), d.h. die Nettoerträge. Diese Geldflüsse werden auf den jeweiligen Stichtag abdiskontiert, da 1 Franken im Jahr 2014 heute bei einem Zinssatz von 5% nur ca. 72 Rappen entspricht. Die Summe der abdiskontierten Geldflüsse bis zur Lebensdauer der Immobilien ergibt den Marktwert, d.h. der Cash-Betrag, der aus heutiger Sicht mit der Immobilie erwirtschaftet werden kann.

## 6 Ablauf von Investitionsprojekten

Der zeitliche Ablauf für eine Instandsetzung bzw. Erneuerung gestaltet sich in der Regel wie folgt (Beispiel für eine Küchen-/Bad-Instandsetzung eines Mehrfamilienhauses mit 30 Wohnungen; Realisation im Jahr 2008):

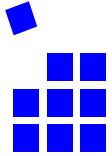
Monat	Tätigkeit
Juli – August 2007	Strategische Planung: Überprüfung, ob und in welchem Umfang instandgesetzt bzw. erneuert werden soll (gemäss Kapitel 5) Auftragsdefinition und Wirtschaftlichkeitsrechnung
September 2007	Vorlage des Budgets zur Genehmigung durch den Auftraggeber
Oktober 2007	Erstellen der Unterlagen für die Architekturausschreibung Ausschreibung der Planungsarbeiten an mehrere Architekturbüros
Dezember 2007	Wahl des Architekten / Kick-off Sitzung mit Architekt, Bewirtschafter, Vermietung
Januar 2008	Aufnahme und Ausmass der Wohnungen / Erstellen der Pläne Ersten schriftliche Mieterorientierung
Januar – April 2008	Projektierungsarbeit durch den Architekten
März 2008	Materialisierung (Wahl der Materialien zusammen mit dem Architekten)
April 2008	Prüfen eines ersten Kostenvoranschlags (KV)
Mai/Juni 2008	Durchführen einer Mieterversammlung zur Orientierung der Mieter Mieterbroschüren
Mai/Juni 2008	Ausschreibung der Arbeiten (Unternehmer)
Mitte August 2008	Start der Instandsetzungsarbeiten
Ende Nov. 2008	Abschluss der Instandsetzungsarbeiten
Dezember 2008	Prüfen Abrechnungsstand und transitorische Buchungen
Ca. März 2009	Bauabrechnung prüfen / Mietzinserhöhungen berechnen und durchführen

Für eine durchschnittliche Wohnung kann von einer Dauer von ca. 4 Wochen für den Umbau ausgegangen werden (Beginn Demontage/Abbruch bis Fertigstellung Wohnung und Übergabe). In der Regel werden die Wohnungen, die an einer Steigleitung angeschlossen sind (mehrere Geschosse), gleichzeitig umgebaut. Die Demontage der Bäder, Küchen und Wände ergibt grosse Staub- und Lärmbelastungen, die nicht zu un-

terschätzen sind. Für Instandsetzungen im bewohnten Zustand sollten die Mieter vor­gängig darauf aufmerksam gemacht werden, was auf sie zukommt (Photos).

## **7 Ausblick: Spannungsfeld Immobilienmanage­ment**

Investitionsentscheide von Immobilieneigentümern liegen oft im Spannungsfeld ver­schiedener Interessengruppen und bewegen sich zwischen den Polen „Ertragsoptimie­rung für Eigentümer“ und „soziale Verantwortung gegenüber Mieter und Politik“. Die reine Ausrichtung auf einen, als auch auf den anderen Pol ist nicht zu empfehlen. In der Regel bewegen sich Investoren zwischen diesen zwei Polen. Daraus ist aber auch ersichtlich, dass es immer Anspruchsgruppen gibt, die Entscheidungen von Immobilieneigentümern entweder gutheissen oder kritisieren. Immobilienmanagement erfordert somit auch eine entsprechende Kommunikation mit den Interessengruppen (z.B. Mieterverband, Politik, Mieterschaft).



Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Teil 9: Entsorgung von Bauabfällen



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Definition der Materialgruppen und -fraktionen: .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Anfallende Menge der Bauabfälle .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Die Eigenschaften der Bauabfälle .....</b>	<b>6</b>
4.1	Aushub .....	6
4.2	Bauschutt .....	7
4.3	Bausperrgut.....	8
4.4	Sonderabfälle .....	8
<b>5</b>	<b>Baustellenentsorgung .....</b>	<b>9</b>
5.1	Erarbeitung eines Entsorgungskonzeptes.....	9
5.2	Das Mehr-Mulden-Konzept des SBV.....	9
<b>6</b>	<b>Handlungsbedarf .....</b>	<b>11</b>
6.1	Das neue Umweltschutzgesetz .....	11
6.2	Die Anwendung der Empfehlung SIA 430 .....	12
<b>7</b>	<b>Deponierung von Bauabfällen .....</b>	<b>14</b>
7.1	Deponien.....	14
7.2	Aufbereitung der Inertstoffmaterialien .....	15
7.3	Die Behandlung der Abfälle für die Reaktordeponien .....	15
7.4	Aufbereitung der Reststoffdeponie-Materialien: .....	16
7.5	Baukosten der Deponien.....	17
7.6	Die Verdichtungsgeräte für die Einbau der Deponiematerialien .....	17
7.7	Kosten in der öffentlichen Entsorgung.....	18
7.7.1	Kosten und Preisstruktur bei den Deponien.....	18
7.7.2	Deponiekosten-Entwicklung.....	18
7.7.3	Kostenstrukturen von KVA.....	19
7.7.4	Zukünftige Verbrennungspreise .....	19
7.7.5	Kostenstruktur der Neuanlagen von KVA .....	19
7.8	Die Nachbehandlung der Deponien, resp die Deponienachsorge....	20
7.9	Haftung und Versicherung bei Deponien (privaten) .....	20
7.10	Kontaminiertes Bodenmaterial / Bodenwaschanlage .....	22
<b>8</b>	<b>Geordneter Rückbau und Recycling von Bauabfällen .....</b>	<b>23</b>
8.1	Ziel des Recyclings .....	23
8.2	Ausgangsmaterialien für das Recycling .....	24
8.3	Qualität und Umweltverträglichkeit von Recycling-Baustoffen .....	25
8.4	Wie können diese erstrebenswerten Ziele erreicht werden?.....	25



---

8.5	Verantwortung des Abbruchs, resp. des "geordneten Rückbaus" ....	26
8.5.1	Verantwortung des Bauherrn .....	26
8.5.2	Verantwortung der Planer (Architekt und/oder Ingenieur).....	26
8.5.3	Verantwortung der Unternehmer .....	26
8.6	Die Empfehlung SIA 430 und Ausschreibung nach NPK 117 .....	27
8.6.1	Die Empfehlung SIA 430 "Entsorgung von Bauabfällen" Abbruch/Rückbau Neubau und Umbau .....	27
8.6.2	Die Neuerungen durch die Ausschreibungsunterlagen gemäss NPK 117 .....	27
8.6.3	Vorteile der detaillierten Ausschreibung:.....	29
8.6.4	Die Sonderstellung der Abbruchunternehmer.....	30
8.7	Organisatorische Kriterien kontrollierter Abbruchverfahren.....	30
8.8	Wirtschaftliche Kriterien für den Rückbau (kontrollierte Abbruchverfahren) .....	32
8.9	Kosten für Geräte und Personaleinsatz.....	32
8.10	Recycling von Betonbaustoffen.....	32
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>34</b>

# 1 Einleitung

Wie Sie aus den vorangehenden Kapiteln erfahren haben ergibt sich für die Schweizer Bauwirtschaft die Notwendigkeit für eine Neuorientierung in der Abfallwirtschaft aus zwei Gründen:

- Endlichkeit der Rohstoffe
- Deponieprobleme

Wesentlich dabei ist auch ein generelles Umdenken der Bevölkerung im Bereich des Umweltschutzes. Der Mangel an realisierbarem Deponieraum und das rasche Schwinden der verfügbaren und abbaubaren Kiesreserven zwingen die Verwendung von Kiesersatzmaterialien zu fördern und die brauchbaren und wertvollen Abfälle beim Bau dem Recycling und der Wiederverwendung zuzuführen.

Sprachen wir früher allgemein von Bauabfällen, so verstanden wir in erster Linie Schutt und Abfälle, die beim Bauen, resp. beim Abbruch oder Neubau entstanden und die in einer Deponie verschwanden. Heute wird jedoch dieser Begriff "Bauabfälle" als Oberbegriff in der Technische Verordnung über Abfälle (TVA) im umfassenden Sinne für alle beim Neu-, Um- und Rückbau anfallenden Materialien verstanden.

## 2 Definition der Materialgruppen und -fraktionen:

Um Missverständnisse zu vermeiden, ist es wichtig, dass die Begriffe für alle am Bau Beteiligten gleich formuliert sind, Geltung haben und auch von allen im richtigen Sinne verwendet werden.

In der Technischen Verordnung über Abfälle werden nun alle Abfallmaterialien, Aushub, Materialreste und Abschnitte, Abbruchmaterialien und Sonderabfälle die beim Neu-, Um- und Rückbau entstehen im Oberbegriff als **Bauabfälle** bezeichnet, sie werden wie folgt unterschieden:

### **Aushub**

Material aus Aushub-, Ausbruch- und Abraumarbeiten, das ohne Einschränkungen einer Verwertung zugeführt werden darf. Aushubmaterial, das diesen Anforderungen nicht entspricht, wird als *Verschmutzter Aushub* bezeichnet und ist gemäss TVA zu behandeln oder abzulagern

### **Bauschutt**

Bauabfälle, die zu mindestens 90 Massenprozent aus Steinen oder gesteinsähnlichen Bestandteilen, wie Beton, Ziegel, Faserzement, Glas, Mauerabbruch, Strassenaufbruch etc. bestehen und nicht mit Sonderabfällen vermischt sind. Für die Verwertung wird Bauschutt in folgende Fraktionen unterteilt:

- **Ausbauasphalt**  
Oberbegriff für den durch schichtweises Kaltfräsen eines Asphaltbelages gewonnenen kleinstückigen Fräsasphalt und den beim Aufbrechen in Schollen anfallenden Aufbruchasphalt.
- **Strassenaufbruch**  
Durch Ausheben, Aufbrechen oder Fräsen von nicht gebundenen Fundamentalschichten und von hydraulisch stabilisierten Fundamentalschichten und Tragschichten gewonnenes Material.
- **Betonabbruch**  
Durch Abbrechen oder Fräsen von bewehrten und unbewehrten Betonbauten und -belägen gewonnenes Material.
- **Mischabbruch**  
Gemisch mineralischer Fraktionen von Massivbauteilen wie Beton, Backstein-, Kalksandstein- und Natursteinmauerwerk.
- **Bausperrgut**  
Andere Bauabfälle, die keiner der übrigen drei Gruppen zugeordnet werden können. Sie enthalten verschiedene Materialien, wie z.B. Holz, Metalle, Kunststoffe und müssen heute in verwertbare und nicht verwertbare Abfälle aufgeteilt werden.
- **Sonderabfälle**  
Abfälle, die aufgrund ihrer Eigenschaften bei unsachgemäßem Umgang gefährlich sein können und/oder einer besonderen Behandlung bedürfen. Ihre Entsorgung richtet sich nach den Bestimmungen der Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS).

Diese Definitionen über Bauabfälle sind nun für alle anzuwenden und sind identisch mit den Definitionen in den neuen Normen des VSS und des SIA, welche die Begriffe mit der TVA abgestimmt haben.

### 3 Anfallende Menge der Bauabfälle

Seit einiger Zeit findet in Europa und auch in der Schweiz der eingangs erwähnte generelle Umdenkprozess statt. Die schweizerische Abfallwirtschaft befindet sich in einer Phase der Umorientierung. Mit zunehmender Bauerneuerungstätigkeit, welche in der zweiten Hälfte der 80-er Jahre einsetzte, begann man sich **systematisch** mit der immer grösser werdenden Menge von **Bauschutt und den schwindenden Deponieräumen** zu befassen. Die Lösung heisst heute:

**Bauabfälle trennen - verwerten - und nur einen kleinen Rest deponieren.**

Und diese Trennung soll, wenn möglich, wie bei anderen Abfällen auch **an der Quelle** durchgeführt werden. Die Lösungsansätze sind aber, je nach Platzverhältnissen, Art des Baues und Grösse des Objektes verschieden. Die Abbruchunternehmer haben in den letzten Jahren wirtschaftliche Abbruchmethoden entwickelt, welche den neuesten verschärften gesetzlichen Vorschriften entsprechen. Durch die Zusammenarbeit von Bauherren, der Fachverbände VSS und SIA und dem Abbruch-, Aushub- & Recycling-Verband (ARV) ist es gelungen Lösungen im Bauabfallbereich zu finden:

- welche unsere beschränkten Ressourcen berücksichtigen,
- den Bauschutt durch sinnvolle und wirtschaftlichen Wiederverwertung wesentlich reduzieren
- dadurch auch weniger Deponieraum benötigen, welcher immer schwieriger zu finden ist,
- und das Wichtigste, unsere bedrohte Umwelt schonen.

Unser Institut hat zu Beginn der 90-er Jahre die anfallenden Bauschuttmassen, resp. die Baurestmassen, welche beim Abbruch von Bauten entstehen, analysiert und ist zu folgenden Mengenschätzungen gekommen.

Mischabbruch im Jahre 1988 für den Kanton Zürich: (14.44%)	<b>260'000 m<sup>3</sup></b>
Mischabbruch für 1988 für die Schweiz:	<b>1'800'000 m<sup>3</sup></b>

Er setzt sich aus rund

56 % Betonabbruch:	ca. 1.7 Mio Tonnen,
44 % Backsteine etc. zusammen:	ca. 1.0 Mio Tonnen
total Mischabbruch:	Total 2.7 bis 3 Mio Tonnen.

Nach Schätzungen der Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau fallen von den übrigen Bauabfällen jährlich (1988) im Kt. Zürich folgende Kubaturen an:

Aushub	ca. <b>3'000'000 m<sup>3</sup></b> Strassen-
aufbruchmaterial	ca. <b>120'000 m<sup>3</sup></b> Asphaltbe-
lagsaufbruch ebenfalls	ca. <b>120'000 m<sup>3</sup></b> Baumisch-
abbruch	ca. <b>175'000 m<sup>3</sup></b> Bausperr-
gut	ca. <b>600'000 m<sup>3</sup></b>

Das **Impulsprogramm Bau** rechnet mit **7 Millionen Tonnen** Bauabfällen in der Schweiz: 1 Tonne pro Einwohner (ohne Aushub) (1993).

Die heutigen Bauschuttkubaturen dürften ca. 20 % kleiner sein. Wir rechnen mit einer wesentlichen Volumenreduktion von ca. 30 % durch die Trennung der Fraktionen an

der Quelle, andererseits haben wir eine Zunahme der Umbautätigkeit von ca. 10 % gegenüber 1988.

Die Untersuchungen wurden sowohl über die Abbruchstatistik, wie auch über die in der EU angewandten Input-Analyse des Zementverbrauchs, gekoppelt mit dem mittleren Lebensalter von Bauwerken, durchgeführt.

Zum Vergleich gebe ich Ihnen den Abbau von Kies jeder Art im Kt. Zürich an: Er betrug im Jahre 1988 **4'871'500 m<sup>3</sup>**, davon wurde **ca. 900'000 m<sup>3</sup>** als Wandkies I und II im Strassenbau verwendet. Als reales Ziel sollten in Zukunft **50 %** dieses Wandkies durch **Recyclingmaterial** ersetzt werden.

Im Jahre 1989 wurden im Kt. Zürich ca. **150'000 m<sup>3</sup> Recyclingmaterial** hergestellt.

## 4 Die Eigenschaften der Bauabfälle

### 4.1 Aushub

Der Aushub bei Neu-, Um und Rückarbeiten ist je nach ursprünglicher Belastung durch den Menschen differenziert zu behandeln:

- **Unverschmutztes Aushubmaterial**

(Erdmaterial, Felsausbruch, etc.) untersteht nicht den Technischen Verordnungen über Abfälle, d.h. der Aushub stellt ein Baumaterial dar, wie wir es vom Erdbau her kennen, das nach den baubetrieblichen Grundsätzen zu bearbeiten ist und als sehr wertvolles Material für den Bau unserer Infrastrukturbauten gilt. (Siehe 4. Semester, Baubetrieb I, Kapitel 6, Erdbau, 6.7 Schütten und Verdichten, Empfehlungen für Schütt- resp. Dammbauarbeiten sowie Bodenverbesserungsmassnahmen etc.)

Als Richtwerte für **unverschmutzten Aushub** gelten folgende Gehaltsanteile in ppm (parts per million, d. h. 1 g/t):

As	Arsen	10	Mineralöl	50
Cd	Cadmium	1	Kohlenwasserstoff (ohne Benzin)	20
Co	Cobalt	20	Benzin	10
Cr	Chrom	75	einfache Aromate	0.05
Cu	Kupfer	50	polyaromatische Kohlenwasserstoffe	0.1
Hg	Quecksilber	0.5	Chlorierte Kohlenwasserstoffe	0.1
Ni	Nickel	25	CKW schwer (Cl-Phenol-PHC)	0.01
Pb	Blei	50	Organochlorpestizide	0.1
Sn	Zinn	50		
Zn	Zink	150		

Genügt der Aushub diesen Grenzwerten nicht, so muss er entsprechend vorbehandelt und gereinigt werden und in entsprechende Deponieen abgelagert werden. Die Firma Hochuli AG in Kölliken hat 1993 ein neues Betonwerk in Betrieb genommen, wo sie ebenfalls aus minderwertigen Aushubmaterialien Sand und Kies gewinnen: Der Lehmanteil in diesem "nassen" Verfahren, in dem spezielle Waschmaschinen, Brecher, Vibrationssiebe, etc. eingesetzt werden, kann bis zu 50 % betragen. Pro Stunde werden 15 bis 30 m<sup>3</sup> wiederverwendbares Material gewonnen. Pro Minute werden dazu 3000 Liter Wasser "verbraucht" - und in einem geschlossenen Kreislauf zur weiteren Verwendung rezykliert. Mittels einer Kammerfilterpresse wird der Lehm bis auf einen Restfeuchtigkeit von 25 % entwässert. Zu Platten gepresst, kann er deponiert werden. Das Know-how für die Kies-Sand-Materialgewinnung aus Minderwertigem Aushub ist wesentlich von den Gebrüdern Müller in Stetten AG übernommen worden, welche dieses Verfahren entwickelt haben und mit nur 30 % der Energie der üblichen Verfahren auskommen. Ca. 25 % des Baustoffbedarfes dieses Betonwerkes können so über Sekundärbaustoffe abgedeckt werden. Tragisch ist, dass viele Produzenten dieser Sekundärbaustoffe heute auf ihren Produkten sitzen bleiben, da die Kieswerke unter dem wirtschaftlichen Druck die Primärbaustoffe zu Dumpingpreisen verkaufen.

## 4.2 Bauschutt

Bauabfälle, die zu 90 Massenprozent aus Steinen, oder gesteinsähnliche Bestandteile, wie Beton, Ziegel, Strassenaufbruch bestehen und nicht mit Sonderabfällen vermischt sind:

- **Ausbauasphalt.**

Wie wir aus der Definition gesehen haben, fällt der Ausbauasphalt in Form von Aufbruch- und Fräsasphalt aus rückgebauten bituminösen Deckbelägen, Asphaltabschlüssen, Heissmischtragschichten, Heissmischfundationsschichten und Schottertränkungen an. Die Aufbereitung und Verwertung von Ausbauasphalt ist in der VSS Norm **SN 640 741** behandelt.

- **Asphaltgranulat.**

ist der aufbereitete und zur weiteren Verwendung bereitgestellte Ausbauasphalt. Die Wiederverwendung im Strassenbau ist schon seit Jahren gebräuchlich und erreicht heute einen sehr hohen %-Anteil. Trotzdem gibt es Berge von Asphaltgranulat, die auf ihre Abnehmer warten. Bisherige Erfahrung zeigen, dass der Strassenbau sich grundsätzlich gut eignet seinen eigenen Abfall wieder zu verwerten. Der Einsatz der Sekundärbaustoffe wird nun durch die neuen Normen des VSS der Reihe 640 noch vermehrt gefördert.

- **Strassenaufbruch.**

Durch Ausheben, Ausbrechen oder Fräsen von nicht gebundenen Fundationsschichten und von hydraulisch stabilisierten Fundations- und Tragschichten gewonnenes Material. Strassenaufbruchmaterial fällt auch beim Rückbau von unstabilierten Kiessandfundationen von Wegen- und Plätzen an. Auch die Verwertung des Strassenaufbruchmaterials ist in einer speziellen Norm des VSS **SN 640 742** abgehandelt.

Aus Gründen der Umweltverträglichkeit sind beim Strassenaufbruch und den daraus hergestellten Recycling Kiessanden verschiedene Untergruppen zu unterscheiden:

- Asphaltgranulat
- Recycling-Kiessand A
- Recycling-Kiessand B
- Betongranulat

- **Betonabbruch.**

Durch Abbrechen, Fräsen oder Trennen von bewehrten und unbewehrten Betonbauten und -belägen gewonnenes Material. Es handelt sich hier um den besten und reinsten Bauabfall, der auch für die Herstellung von **klassiertem Recyclingbeton** z.B. B 35/25 PC 330 kg/m<sup>3</sup> verwendet werden kann.

Die Qualität der Recycling-Materialien aus reinen Betonbauwerken ist in den Normen des VSS und des SIA definiert. In der Norm VSS **SN 640.743** wird die Verwertung von Betonabbruch und in **SN 640.744**, die Verwertung von Mischabbruch behandelt, resp. deren Recycling. In der Norm **SIA 162.4** sind die Anforderungen für den Recyclingbeton festgelegt.



- **Mischabbruch.**

Auch der Mischabbruch, der ein Gemisch mineralischer Fraktionen von Massivbauteilen wie Beton, Backstein-, Kalksandstein- und Natursteinmauerwerk enthält, kann für die Herstellung von **nicht klassiertem** Recyclingbeton verwendet werden. Die häufig sehr stark verunreinigten Feianteile des Mischabbruchs müssen vor dem Brechen abgesiebt und umweltgerecht entsorgt werden. (Siehe auch Aufbereitung von minderwertigem Aushubmaterial). Das Mischabbruchgranulat kann hydraulisch gebunden auch für die Foundationsschicht in der Gewässerschutzzone B und C verwendet werden.

### 4.3 Bausperrgut

Die verschiedenen Materialien, z.B. Holz, Metalle, Kunststoffe etc. müssen in verwertbare und nicht verwertbare Abfälle getrennt werden. Metalle werden seit Jahren der Wiederverwendung zugeführt, Bauholzabfälle werden seit einigen Jahren in der Zementherstellung als Kohleersatz verwendet. Aus Kunststoff werden auch Rohmaterialien für den Strassenbau hergestellt. Der Recyplast ist ein Produkt, das als flexible Strassenarmierung die Belagsqualität und Lebensdauer wesentlich erhöht.

### 4.4 Sonderabfälle

Die Sonderabfälle, Farben, Lacke, Öle etc. sind in 14 Kategorien in der Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen festgehalten. (Siehe beigelegte Liste der Sonderabfälle im Anhang) Sie dürfen mit den anderen Bauabfällen nicht vermischt werden, sondern müssen von den einzelnen Unternehmern und Handwerker zurückgenommen und einer geeigneten Entsorgungsfirma oder offiziellen Annahmestellen übergeben werden. Eine Wegleitung zum VVS geben in sieben Schritten an, was wir mit den Sonderabfällen zu tun haben. In diesem Zusammenhang verweise ich auch auf den Vortrag im Baumaschinenpraktikum über Einsatz von Baumaschinen und Umwelt.

## 5 Baustellenentsorgung

### 5.1 Erarbeitung eines Entsorgungskonzeptes

Die sach- und gesetzeskonforme Entsorgung der auf den Baustellen anfallenden Abfälle ist in den letzten Jahren zu einem zentralen Problem der Bauwirtschaft geworden. Die Probleme wurden in einer gemischten Projektgruppe im Rahmen der kantonalen Bauwirtschaftskonferenzen unter Beteiligung

- der Bauherren,
- der Planer,
- des Bauhaupt- und Baunebengewerbes,
- der Muldentransporteure,
- der Aushub-/Abbruchunternehmer,
- der Betreiber von Deponie- und Sortieranlagen (v. a. Kieswerke),
- der Kantonalen Behörden und weiteren Organisationen und Spezialisten sowie deren Verbände durch ein praktisch und einfaches Konzept gelöst.

Ziel des Konzeptes war generell die Minimierung der gesamten Umweltbelastung durch den umweltbewussten Umgang mit Bauabfällen.

Die gesamtschweizerische Normierung bildete dabei eine entscheidende Voraussetzung für die Förderung der Trennung von Bauabfällen. SIA und VSS schufen in kurzer Zeit die notwendigen Änderungen und Ergänzungen in ihren Normenwerken. Auch die kantonalen Trägerschaften beteiligten sich an der Erarbeitung geeigneter kantonalen und regionaler Konzepte.

Im wesentlichen wurden die Grundlagen, das Vorgehen und die Verantwortlichkeiten bei der Entsorgung der Bauabfälle in der Empfehlung SIA 430 festgehalten.

### 5.2 Das Mehr-Mulden-Konzept des SBV

Das Prinzip des Mehr-Mulden-Konzeptes ist denkbar einfach: Die verschiedenen auf der Baustelle anfallenden Materialien werden in mit Tafeln gekennzeichneten Mulden separat gesammelt.

In **grünen Einstoffmulden mit der Nummer 1** werden die Stoffe Metall, Holz, Aushub, Belag, Beton und Ziegel/Backsteine getrennt gesammelt (jedoch kein Gips).

In die **graue Mulde mit der Nummer 2** kommt Bauschutt, also ein Gemisch von inerten Bauabfällen wie Zementwaren, Ziegel, Kies usw. (mineralische Stoffe/Inertstoffe jedoch kein Gips).

In die **rote Mulde mit der Nummer 3** (KVA-Mulde) kommt brennbares Material wie Papier/Karton, Kunststoffe (Achtung PVC nicht verbrennen), Kleinholz u. ä.

In der **gelben Mulde mit der Nummer 4** kommt Bausperrgut, d. h. nicht sortierte Bauabfälle jeglicher Art. Diese Mulde wird einer Sortieranlage zugeführt. Die Sortier-

anlage, ihre Aufgabe, ihr Aufbau und Funktion werden in der folgenden Übungsstunde von Herrn Dr. Lichtensteiner am Beispiel der **DEBAG** behandelt.

Die **Sonderabfälle** müssen von allen Handwerkern und Unternehmer zurückgenommen werden und einer geeigneten Entsorgungsfirma zugeführt werden.

Mit dem Mehr-Mulden-Konzept wird schon in vielen Kantonen, z.B. Aargau, Solothurn, Graubünden, Zürich, Zug erfolgreich gearbeitet. Wesentlich für das gute Gelingen ist die zielgerichtete Zusammenarbeit von Behörden, Bauherren, Planern, Materiallieferanten und Unternehmern. Das Verwerten von Abfallstoffen aber ist nur interessant, wenn die gewonnenen Produkte auch tatsächlich gekauft und genutzt werden und wenn diese auch von den Normen her zugelassen und empfohlen werden. Für das Funktionieren dieses ressourcen- und deponiersparenden Kreislaufes braucht es die Bereitschaft aller am Bau Beteiligten.

## 6 Handlungsbedarf

### 6.1 Das neue Umweltschutzgesetz

Im Sommer 93 verabschiedete der Bundesrat eine Botschaft und einen Entwurf zur Revision des Umweltschutzgesetzes (ERUSG). Dieser wurde nach der Vernehmlassung am 21. Dez. 1995 von den eidg. Räten gutgeheissen und trat am **1. Juli 1997 in Kraft**. Damit wurde das Gesetz von 1983 nach relativ kurzer Zeit bereits wieder umfassend geändert:

Die Revision ist eine Mischung von völlig Neuem sowie mehr oder weniger weit gehenden Änderungen von Bisherigem. Der geltende Standard ist - trotz entsprechenden Anträgen - nicht abgebaut worden. Der **Immissionsschutz** (Luft und Lärm) ist praktisch nicht verändert worden.

Völlig neu und als Ausbau des Gesetzes müssen **die umweltgefährdenden Organismen** (Art. 29 a - h, z. B. gentech. Veränderte Organismen) und **die Lenkungsabgaben** (Art. 35a-c, die VOC's und Heizöl extra leicht) angesehen werden.

Umfassende Änderungen erfuhren:

Kapitel **Abfälle und Bodenbelastung** (Art. 30 - 32e), eigentlicher Kernpunkt der Revision, wurde von 3 auf 19 Artikel erweitert. Das ist ein klarer Fall von Gesetzesanpassung, da das Gesetz der Praxis angepasst werden muss. Die Philosophie aus den „Augen aus dem Sinn“ wurde der neuen z. T. in der TVA festgehaltenen Abfallbewirtschaftung angepasst. Die vier Grundsätze dieser Praxis: **Vermeiden, Trennen, Verwerten und umweltgerecht Entsorgen** sind jetzt auch im Gesetz klar enthalten.

Besonders zu betonen ist der Abschnitt über die Altlasten. (Art. 32 c - e). Er umschreibt unter welchen Umständen eine Altlast zu sanieren ist und wer die Kosten der Sanierung zu bezahlen hat. - Gemäss heutiger Gerichtspraxis ist dies der Verursacher, der dafür verantwortlich ist, dass die Altlast entstanden ist (der sog. Verhältnisstörer); daneben aber auch der Eigentümer des betroffenen Grundstücks (der sog. Zustandsstörer). Der letztere wird jedoch nach dem Gesetz verschont, wenn er keine Kenntnisse von der Belastung haben konnte und wenn er weder von der Belastung noch von der Sanierung einen Vorteil hat. Es muss ein öffentlich zugänglicher Kataster der belasteten Standorte erstellt werden. Deponiehalter müssen dem Bund eine **Abgabe entrichten**, aus welcher Abgeltungen an die Sanierung von gewissen Altlasten geleistet werden.

Die **übrigen Änderungen** sind:

- Bund und Kantone werden zur Zusammenarbeit mit der Wirtschaft aufgerufen (Art. 43 a).
- Der Bundesrat hat die Kompetenz Regeln für die Einführung eines Ökolabels und eine Regelung für Umweltmanagement-Systeme zu erlassen.
- Der Bund kann neben Forschungsförderung auch die Entwicklung von Anlagen und Verfahren fördern, die Umweltbelastungen reduzieren.

- Es wird eine Gefährdungshaftung eingeführt. Ein Betrieb, der mit einer besonderen Gefahr für die Umwelt verbunden ist, haftet für jeden Schaden, der aus der Verwirklichung dieser Gefahr entstanden ist.

Aus dem neuen USG ergeben sich für die Bauwirtschaft folgende Konsequenzen:

- Die Vermeidung von Abfällen gilt als erster Grundsatz
- Die Umweltverträglichkeit der Entsorgung von Abfällen wird ausdrücklich als verpflichtendes Gebot formuliert.
- Die Verwertung der Abfälle steht vor einer Ablagerung: Abfälle dürfen nur noch behandelt und abgelagert werden, wenn es nicht möglich ist, sie zu verwerten. Die wirtschaftliche Tragbarkeit und die geringe Belastbarkeit des Umfeldes sind für die Verwertungspflicht kein Kriterium mehr.
- Abfälle dürfen nicht mehr exportiert werden, wenn sie im Inland entsorgt werden können.
- Dem Bundesrat werden neu die Kompetenzen zur Regelung der Vermeidung, Sammlung, Behandlung und Verwertung der Abfälle eingeräumt.
- Der Bundesrat wird ermächtigt, eine vorgezogene Entsorgungsgebühr einzuführen, die von Herstellern und Importeuren zu leisten ist. Die Erlöse sollen dabei nicht nur den öffentlichrechtlichen Körperschaften, sondern auch privaten Betreibern von Entsorgungsanlagen zugute kommen.

Das neue USG bringt eine Verschärfung der Vorschriften der TVA und VVS. Wir stark damit die Anforderungen an die Entsorger von Bauabfällen gegenüber dem heutigen Stand erhöht werden, hängt davon ab, wie weit die Vollzugsbehörden in den Kantonen ihren früheren Spielraum zur Erhöhung der Anforderungen gegenüber dem Mindeststandard der TVA bereits ausgenützt haben.

## 6.2 Die Anwendung der Empfehlung SIA 430

Der Handlungsbedarf liegt eigentlich in der Anwendung und Einhaltung der SIA Empfehlung 430 zur Entsorgung von Bauabfällen als allgemeine Vertragsbedingung in den Bauverträgen.

### Ziele der Entsorgung von Bauabfällen

- absolut (rechtlich): Umweltverträglichkeit
- Relativ (ökonomisch): Kostenminimierung

### Verwirklichung der Ziele

- |                |                          |
|----------------|--------------------------|
| 1) Planung:    | Entsorgungskonzept       |
| 2) Anweisung:  | Vertragliche Regelung    |
| 3) Ausführung: | Leistungen und Kontrolle |

### Vertragliche Regelung

- Entsorgungsleistung
- Aufsicht- und Kontrollpflichten
- Schutzmassnahmen gegen Störungen der Entsorgung
- Vergütung/ Kostenübernahme
- Eigentum an den Abfällen

- Störungen der Entsorgung:
  - Massnahmen,
  - Zuständigkeiten, (Rückgaberecht)
  - Entschädigungen

## 7 Deponierung von Bauabfällen

Wir haben gesehen, welche kleine Reste der Bauabfälle bei konsequenter Trennung und Aufbereitung am Ende der verschiedenen Kreisläufe in die Deponien kommen sollten.

Die Situation der Schweizerischen Abfallwirtschaft im Jahre 1991 war freilich noch eine andere. Von den geschätzten 3 Millionen Tonnen Bauabfällen gingen damals praktisch immer noch 92 % in die Deponien. Das Modell des MMK zeigt jedoch ein anderes Bild, eigentlich sollten 90 % in den Wiederverwertungskreislauf und nur 10 % auf die Reststoff-Deponien gehen. Heute sind die Kantone wesentlich weiter und die Umweltschutzämter sind besser ausgebaut.

Der Deponiebau entwickelte sich seit den siebziger Jahren zu einer immer komplexeren Bautechnik, die hohe Anforderungen stellt und teilweise spezialisierte Unternehmer voraussetzt. Bis vor wenigen Jahren lag die Errichtung von Deponien meist in der Hand von Gemeinden oder Unternehmern. Häufig wurde als Ablagerungsort die nächste Kiesgrube oder eine nahegelegene Geländemulde gewählt. Im Rahmen des Vollzugs des Umweltschutzgesetzes trat im Februar 1991 die TVA in Kraft. Auch für die Deponien enthält die TVA Auflagen für die von den Kantonen zu erbringenden Abfallplanungen und reguliert die normalen Arten der Entsorgung. Bis zum Febr. 1996 mussten die Kantone ihre Abfallplanung abgeschlossen haben, seit dem 1. Juli 1997 ist das neue USG in Kraft.

Bei dieser Planung wurden folgende Ziele angestrebt:

- 1) Massnahmen zur Verringerung und Vermeidung von Abfällen
- 2) Verwertung der Abfälle
- 3) Behandlung der Abfälle
- 4) Verbrennung nicht verwertbarer Siedlungsabfälle sowie von Klärschlamm
- 5) Deponierung von Abfällen.

Aus dieser Prioritätenfolge ist ersichtlich, dass die Abfallplanung die **Deponierung als letzte Möglichkeit der Abfallentsorgung** einstuft.

### 7.1 Deponien

Das künftige jährliche schweizerische Bauvolumen im Deponiebau bewegt sich in der Grössenordnung zwischen 70 und 170 Millionen Franken.

Die TVA unterscheidet und beschreibt ausführlich drei Arten von Deponien, nämlich die **Inertstoff-, die Reaktor- sowie die Reststoffdeponien**. Alle drei haben bestimmte Aufgaben, welche Sie im Detail aus den vorangehenden Kapiteln entnehmen können, kurz zusammengefasst bestehen.

- **Inertstoff-Deponien.**

Aus 95 Gew.% von gesteinsähnlichen Bestandteilen. Diese Kategorie gibt es im Kt. Zürich nicht mehr, Inertstoffe müssen recycelt werden und die Abfälle davon gehen in eine Reststoffdeponie.

- **Reaktor-Deponien.**

Aus Schlacken der KVA, nicht verwertbarem Klärschlamm, nicht weiterbehandelten und sortierbaren Bauabfällen, nicht verbrennbaren Siedlungsabfällen infolge Kapazitätsmangel! (befristet, erst bis Febr. 96, wurde bis 31. Dez. 99 verlängert).

- **Reststoff-Deponien.**

Zu 95 Gew.% aus bekannten chemischen und industriellen Reststoffen aus KVA, RGRR, etc. Reststoffe aus Bodenwaschanlagen.

Die erforderlichen Bauteile der verschiedenen Deponie-Typen lassen sich in folgenden Hauptgruppen zusammenfassen:

- Basisabdichtungssysteme,
- Sammelsysteme für Schmutzwasser, Sauberwasser und Gas,
- Oberflächenabdeckungs- und abdichtungssysteme,
- Ableitungssysteme für Schmutz- und Sauberwasser, evtl. Behandlung vor Ort,
- Infrastruktureinrichtungen (z.B. Zufahrtsstrassen)

In der TVA ist vorgeschrieben, welche Einrichtungen zwingend bei welcher Deponie vorgesehen werden müssen. Für die Anforderungen an den Bau der Deponien verweisen wir auf die Vorlesung von Frau Prof. Dr. R. Hermanns Stengele: **Umweltgeotechnik/Deponiebau und Altlastensanierung**. Als Beispiele sind im Anhang die Beschreibungen zweier neueren Deponien (Deponie Türliacher in Jaberg BE und Reaktordeponie Eielen Kt. Uri) beigefügt, welche die Probleme politischer, wirtschaftlicher und baulicher Art demonstrieren. Je nach Deponietyp ist nun auch die Vorbehandlung und Aufbereitung des abzulagernden Materials eine andere.

## 7.2 Aufbereitung der Inertstoffmaterialien

Die baulichen Voraussetzungen für die Herstellung einer Inertstoffdeponie sind ähnlich dem Dammbau, sowohl in der Vorbereitung des Untergrundes, der Entwässerungs- und Abdichtungssysteme, dem Einbau des Materials wie auch in der Oberflächenabdeckung mit nachfolgender Rekultivierung. Je nach Verwendungszweck des Dammes oder der Deponie müssen auch die Verdichtungs- und Entwässerungssysteme dimensioniert und gebaut werden. Die Verdichtungsgeräte sind mit Schneidfüßen und Messer versehen um eine gewisse Zerkleinerung und Zermahlung des heterogenen Materials zu erreichen.

## 7.3 Die Behandlung der Abfälle für die Reaktordeponien

Aus einer Tonne Abfall (Hauskehricht) entstehen bei der Verbrennung in einer KVA ca.

- 750 kg Reingas im Wesentlichen Wasser und Kohlendioxid
- 220 kg Schlacken
- 25 kg Aschen, mehrheitlich Elektrofilterasche (EFA)
- 5 kg WRR (Waschreinigungsrückstände).

Die grossen Rückstände aus der Kehrichtverbrennung in der KVA sind also die anfallenden Schlacken, sie machen ca. 85 % der festen Rückstände aus. Im 1991 wurden in der Schweiz ca. 600'000 t Schlacken aus KVA in Deponien eingebaut, im Jahre 2000



sollen es nach der Schätzung BUWAL 850'000 t sein. Sie gehören in Zukunft in eine TVA-konforme Reaktordeponie und müssen aber auch vermehrt behandelt und verwertet werden. Dies kann durch Waschung, Verglasung, Mineralisierung, Versinterung und Verwertung als Baumaterial im Strassenbau geschehen. Neben den Schlacken aus Kehrichtverbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle gehören auch die nicht verwertbaren Klärschlämme und Bauabfälle, die nicht auf Inertstoffdeponien abgelagert werden dürfen und auch nicht weiter sortierbar und behandelbar sind, auf Reaktordeponien. (Siehe Kapitel 3.3 Aufbereitung von Baumaterialien in der DEBAG.)

Nach der Reinigung von Abgas und Abwasser befinden sich schlussendlich **praktisch sämtliche Schadstoffe** in den festen Rückständen. Die Schlackendeponien und das im **Strassenbau verwendete Schlackengranulat** bilden heute noch eine Gefahr durch den Gehalt an Schwermetallen, diese könnten sich noch in 100 oder mehr Jahren auf die Böden und das Grundwasser auswirken. Um diese Auswirkungen abzuschätzen läuft unter der Führung des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau des Kts. Zürich ein Forschungsprojekt "**EKESA**" Emissionsabschätzung für Kehrichtschlacke. Bei der Gegenüberstellung der Schlackendeponierung und dem Schlackeneinsatz im Strassenbau, ist die Umweltverträglichkeit beim Einsatz im Strassenbau eher fraglich. Die Bauwirtschaft ist jedoch auf dieses Schlackenmaterial gar nicht angewiesen, da es viel **bessere Sekundärbaustoffe** aus dem Baustoff-Recycling gibt, die wesentlich weniger Schadstoffe enthalten. Die Zusammensetzung der Schlacken ist erstaunlich einheitlich. Sie bestehen zu rund 95 Gewichts-% aus Kalzium, Silizium, Eisen, Aluminium, Kalium und Magnesium. Es ist zu rechnen, dass Salze und vor allem Schwermetalle noch nach Jahrhunderten aus der Schlacke ausgewaschen werden, wenn auch nur in geringen Mengen (Dr. Annette Johnson).

Auf die zukünftige Behandlungsmöglichkeiten der KVA-Schlacken möchte ich hier nicht weiter eingehen, das Projekt wird von Herrn Dr. Th. Lichtensteiger vorgestellt. Die Rückstandsbehandlung muss in den nächsten Jahren wesentlich verbessert werden. Dazu hat die Firma Holderbank Management und Beratung AG das Holderbank-Schmelz-Redox, HSR-Verfahren entwickelt, bei welchem der Schadstoffgehalt von Zink, Blei und Cadmium auf den Wert der natürlichen Erdkruste reduziert wird. Das Verfahren, das momentan nur für Schlacken erprobt wird, soll auch für EFA anwendbar sein.

## 7.4 Aufbereitung der Reststoffdeponie-Materialien:

Bei den Reststoffdeponien handelt es sich vor allem um die Ablagerung von behandelten Rauchgasreinigungsrückständen aus Kehrichtverbrennungs- und thermischen Kraftwerksanlagen sowie behandelten **Sonderabfällen** aus industriellen Prozessen **und von Baustellen**. Bei den Reststoffen muss von einem Anteil von **95 % die chemische Zusammensetzung** bekannt sein. Die Grenzwerte, wie sie aus dem Anhang der VVS ersichtlich sind, bezüglich organischer Kohlenwasserstoffe, Chlorverbindungen und Schwermetallen etc. dürfen nicht überschritten werden und die Löslichkeit im Wasser muss begrenzt bleiben. Die Abfälle dürfen aber weder mit Wasser oder Luft noch miteinander reagieren.

Die Aufbereitung dieser Reststoffmaterialien wird von den Kehrichtverbrennungsanlagen resp. von den Kraftwerken, ev. auch von der Zementindustrie vorgenommen. Bis 1990 wurden diese Abfälle zum grössten Teil noch ins Ausland exportiert. Die Rauchgasreinigungsrückstände, sehr feiner Staub aus den Elektrofiltern und Nasswäsche-Rückstände, müssen vor der Endlagerung verfestigt und neutralisiert werden. Die

**Kosten für den Bau** solcher Deponien sind nur schwer quantifizierbar. Man rechnet grob mit Kosten von **100.-- bis 200.-- Fr. pro Tonne Reststoff**. Es besteht die Absicht diese Deponien in alten Bergwerken und unterirdischen Anlagen zu realisieren. Der jährliche Bedarf in der Schweiz beläuft sich Ende der 90er Jahre auf schätzungsweise 50'000 m<sup>3</sup> (1 m<sup>3</sup> = ca. 1.6 t), die Kosten für die Herstellung der Reststoff-Deponien belaufen sich somit **jährlich auf 5 bis 16 Millionen** Franken.

Gegenüber den Schlacken fallen die Rauchgasreinigungsrückstände nur mit einem **Zehntel der Menge** an, weisen aber ein noch höheres Schadstoffpotential auf. Heute werden die EFA-Rückstände nach der Auswaschung der Salze mit den entwässerten WRR-Rückständen und mit hydraulischem Bindemittel verfestigt und in Reststoffdeponien gelagert. Bezüglich des Langzeitverhaltens dieses Deponiegutes führt das Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kt. Zürich in Zusammenarbeit mit anderen Kantonen ebenfalls ein Forschungsprojekt durch: "**IMRA**", Immobilisierung von Rauchgasreinigungsrückständen. Die Frage der Abgasbehandlung wurde noch nicht vertieft angegangen. Diese sollte dem Verwertungsprinzip des HSR-Verfahrens gemäss möglichst nicht nur in einer Abgasreinigung, sondern primär in einer Rückgewinnung der im Abgas enthaltenen Stoffe bestehen.

## 7.5 Baukosten der Deponien

Ein Vergleich der vorgeschriebenen Dichtungsarten und Entwässerungssysteme nach Deponietyp lässt ebenfalls auf die unterschiedlichen Kosten des Deponiebaus schliessen und wir sehen, welche enorme Kosten die umweltgerechte Lagerung der Abfälle verursacht:

**Inertstoffdeponie: 6 bis 29 Millionen / 500'000 m<sup>3</sup> = Fr. 12.-- bis 58.--/m<sup>3</sup>**

**Reaktordeponie: 20 bis 40 Millionen / 500'000 m<sup>3</sup> = Fr. 40.-- bis 80.--/m<sup>3</sup>**

**Reststoffdeponie: (1 m<sup>3</sup> = ca. 1.6 t) Fr. 160.-- bis 320.--/m<sup>3</sup>**

## 7.6 Die Verdichtungsgeräte für die Einbau der Deponiematerialien

Die Verdichtungsgeräte für Mülldeponien wurden besonders in Deutschland entwickelt, wo heute noch gegenüber der Schweiz viel weniger Abfall verbrannt, sondern direkt in Deponien eingebracht wird. Viele Abfälle werden mit örtlichen Müllpressen vorverdichtet und damit in stark komprimiertem Zustand transportiert (Gesamtgewicht 40 t pro LKW). Diese gepressten Müllpakete zerfallen z. T. bei der Schüttung wieder und werden dann mit unverdichtetem Müll zusammen in Reaktordeponien durch grosse Pneu- und Raupenlader, oder durch Planierdraupen verteilt und mit schweren Verdichtungsgeräte zu einem kompakten Deponiekörper eingestampft.

Besonders beliebt sind die Kompaktoren der Firma Hanomag, welche eine Kombination von Bulldozer und Verdichtungswalze (CD 280) resp. von Pneu- und Verdichtungswalze darstellen. Die Walzen sind mit Stampffüssen und Winkelmesserfüssen und auswechselbaren Verschleisskappen aus Manganstahl ausgerüstet und übernehmen als Universalgeräte sowohl die Verteilung wie auch die Verdichtung.

## 7.7 Kosten in der öffentlichen Entsorgung

In der Schweiz bestehen bei den verschiedenen Entsorgungsgebühren von Kanton zu Kanton grosse Unterschiede. Eine vor 20 Jahren erstellte Rohkehricht-Deponie arbeitet nur viel billiger als eine moderne Reaktordeponie, weil sie ökologisch bedenklich und nicht umweltverträglich ist.

Die Faktoren, die den **Annahmepreis** beeinflussen sind:

- Verarbeitungsmenge pro Jahr (Durchlauf)
- neue und ältere Anlagen (Kapitalkosten)
- Reststoffnachbehandlung (Betriebskosten)
- Nachsorge und Rückstellungen (Abgabe)
- Verhältnis zu Gewerbe und Industrie (Politik)

Kostenunterschiede bei Deponien für Schlacke oder Rohkehricht (Erhebung aus dem Jahre 93 von 14 Reaktordeponien in Relation zu ihrer Grösse (Siehe Folie).

### 7.7.1 Kosten und Preisstruktur bei den Deponien

Zwei extreme Beispiele der Preisanteile pro Tonne Ablagerung (Folie):

#### Deponie 1

- Betriebsdauer 20 Jahre
- Erstellungskosten weitgehend subventioniert, Rest grösstenteils amortisiert
- Nachsorgegarantie bei Gemeinden und Kanton
- Keine Rückstellungen
- Geringe Inkonvenienzen: Durchfahrtsrechte und Strassenunterhalt
- Sickerwasser unentgeltlich an Kläranlage
- Ausbau nicht vorgesehen

#### Deponie 2

- Privatbetrieben seit längerer Zeit
- Modernste Neukompartimente nach TVA
- Hoher Mittelbedarf für Kapitalverzinsung und -amortisation
- Auszahlung der Subventionen im Rückstand
- Rückstellungen für Nachsorgekosten und Abschlussarbeiten des Ausbaus
- Hohe Inkonvenienzen (Abgaben an Grundeigentümer, Realersatz, Ertragsausfall, Abgaben an Standortgemeinde)

### 7.7.2 Deponiekosten-Entwicklung

Die Rückstellungen für die Nachsorgekosten steigen enorm an. Es sind auch neue kantonale Abgaben für die Finanzierung künftiger Aufgaben im Bereich der Entsorgung zu erwarten. Eine eidg. Abgabe für den **Altlastenfond** im Rahmen der Revision des Umweltschutzgesetzes steht zur Diskussion.

Die Modellkosten für moderne Reaktordeponien nach TVA-Vorschriften erstellt (Folie).

Der Preis ist auch hier von der **Anlagegrösse** abhängig und es machen sich besonders die Kapitaldienstkosten, resp. **die Baukosten** für die Deponie stark bemerkbar. Da in Zukunft die Durchsatzmenge pro Deponie sich eher wieder verringern wird, wird sich unter Annahme einer eidg. Abgabe für Altlasten der mittlere Deponiepreis für Schlacken bei ca. **Fr. 150.-- bis 200.--/t** einpendeln. Geschickte Planung, gut ausgebildetes Personal und neuzeitliche Betriebsführung können die Betriebskosten wesentlich beeinflussen, auch die Finanzmittelbeschaffung und ein geschickter Ausbau in Etappen beeinflussen den Endpreis. Rückstellungen und ev. Eidg. Abgaben sind eher als Fixkosten zu betrachten.

### 7.7.3 Kostenstrukturen von KVA

Der aktuelle Preis schwankt zwischen **Fr. 100.-- bis 370.-- pro Tonne**. Je grösser die Anlage, desto wirtschaftlicher der KVA-Betrieb. Die Analyse der Kostenstruktur zweier praktisch gleich grosser Anlagen zeigt die grossen Preisunterschiede klar auf:

#### Merkmale Anlage 1

- teilweise modernisiert mit zwei Feuerlinien
- hohe Betriebskosten und hoher Aufwand für Reststoffbeseitigung
- neue Schlackendeponie nach TVA
- Verfestigung der Elektrofilterstäube und Ablagerung in Reststoffdeponie
- hohe Kapitaldienstkosten infolge Anlageerneuerung, Rauchgaswäsche und Ausbau der zweiten Linie
- Rückstellungen für Reststoffdeponie und DENOX-Katalysatoren

#### Merkmale der Anlage 2

- ältere und nur 1 Linie mit modernem Wäscher
- noch keine Rückstellungen für Ergänzungen durch weitere Linie

### 7.7.4 Zukünftige Verbrennungspreise

Bei den KVA stehen in nächster Zukunft grosse Investitionen an:

- Kapazitätsausbau
- Ersatz ganzer Ofen- und Kessellinien
- Modernisierung der Rauchgasreinigungsanlagen
- Entstickungsanlagen, Dioxinminderungssysteme
- Abwasserreinigung,
- Verbesserung der Energieauskoppelung
- Sicherung der Endlagerstätten

### 7.7.5 Kostenstruktur der Neuanlagen von KVA

**22 - 25 %** Betriebs- und Unterhalt

**57 - 63 %** Kapitaldienstkosten

**12 - 20 %** Reststoffentsorgung

Soll Kehrichtverbrennung in Zukunft nicht privat konkurrenziert werden, muss das Preis-Leistungsverhältnis den privatwirtschaftlichen Grundsätzen angepasst werden, kantonale und eidg. Abgaben verfälschen z. T. die Konkurrenzfähigkeit stark. Für TVA-konforme Anlagen muss mit Deponiepreisen von **Fr. 150.-- bis 200.-- / t** und

mit Verbrennungspreisen von **Fr. 200.-- bis Fr. 400.--/ t** gerechnet werden. Im Moment befassen wir uns mit einer neuen Kehrichtverbrennungsanlage im Kt. Tessin für 150'000 Tonnen Kehricht pro Jahr für einen Investitionswert von Fr. 196 Millionen (inkl. Finanzierung) und jährlichen Betriebskosten von Fr. 25.8 Millionen = **Fr. 172.--/t**. Dieses Projekt wurde zurückgestellt, da der Kanton der Betreibergesellschaft eine feste Menge an Müll garantieren musste. Heute ist wieder ein neues Projekt in Diskussion.

Im Aargau betragen heute die Verbrennungstarife für Gemeinden die nicht zu Verbandsgemeinden der KVA gehören Fr. 230.-- /t. Heute können die Gemeinden ohne Beitragspflicht den Verbänden beitreten und bezahlen dann nur noch Fr. 180.--/t. Im Kanton Zürich herrscht ein richtiger Kampf um Müllanteile: Preise von Fr. 160.—bis 180.-- / t sind aushandelbar (Dietikon, Horgen, etc.).

## 7.8 Die Nachbehandlung der Deponien, resp die Deponienachsorge

Die Deponienachsorge ist in den verschiedenen Gesetzen sowie den dazugehörigen Verordnung verankert, mit dem Ziel, die Umweltverträglichkeit einer abgeschlossenen Deponie auch langfristig sicherzustellen. Es soll der Lebensraum gegen schädliche Einwirkungen einer abgeschlossenen Deponie geschützt werden.

Die Umweltverträglichkeit einer abgeschlossenen Deponie kann nur aufrechterhalten werden, wenn die technischen Einrichtungen wie Entwässerungssysteme für Deponie-, Sicker- und Sauberwasser, Entgasungseinrichtungen usw. parallel zu den Emissionsüberwachungen periodisch kontrolliert, unterhalten und nötigenfalls ergänzt bzw. ersetzt werden. Diese Arbeiten umfassen beispielsweise Reinigungsarbeiten, Kanalfernscharaufnahmen der Rohrleitungssysteme bis hin zu Sanierungsmassnahmen ganzer tech. Einrichtungen, welche den definierten Qualitätsanforderungen nicht mehr genügen. Der Emissionsgrad, der Zustand der technischen Einrichtungen und die durchgeführten Wartungsarbeiten müssen laufend dokumentiert werden, um das Langzeitverhalten einer abgeschlossenen Deponie zu beurteilen und ev. Massnahmen einzuleiten.

Während des Deponiebetriebes sind **nun Rückstellungen** zu tätigen, um die Nachsorge der Deponie nach Abschluss zu finanzieren. Die **Höhe der Nachsorgekosten** ist von vielen orts- und deponiespezifischen Parametern abhängig und kann daher nicht allgemein angegeben werden. In den letzten Jahren hat sich die Altlastenproblematik zugespitzt. Der Kanton Aargau und die beteiligten Gemeinden müssen für die Sanierung der Sondermülldeponie Kölliken bis 1997 voraussichtlich **131 Millionen** Fr. aufwenden und für die Sanierung der Deponie Bärengraben bei Würenlingen stehen vorläufig **31 Millionen** an. Diese Beispiele zeigen auf, welche Folgen in technischer, rechtlicher und finanzieller Hinsicht Bund, Kantone und Gemeinden bei einer notwendigen Deponiesanierung zu verantworten haben.

## 7.9 Haftung und Versicherung bei Deponien (privaten)

Die Umweltbelastung hervorgerufen durch Entsorgungsbetriebe wie Deponien basierend auf sog. Altlasten werden zum Problem für unsere Gesellschaft. Folge davon sind **wachsende Widerstände der Bevölkerung gegen Deponien**, die gesteigerten Ansprüche an Entsorgungsunternehmer lassen die Aufgaben und Bedingungen immer kostspieliger werden.

Obwohl die Gesellschaft auf weiteren Deponieraum dringend angewiesen ist, stösst deren Realisierung auf immer grösseren Widerstand. Eine Ursache liegt darin, dass oft unklar ist, wer letztlich für die durch Deponien verursachten Schäden, Unterhalts- und Sanierungsmassnahmen aufzukommen hat und wie die dafür notwendige Kostendeckung sichergestellt werden kann. Verursacher sind z. T. nur schwer zu eruieren und es fehlt ihnen dann an der finanziellen Kraft, die Kosten zu tragen.

Eine umfassende zivilrechtliche Haftung für Umweltschäden besteht nicht, auch nicht im schweiz. Umweltschutzgesetz. Vorschriften über Kostentragung für Schäden und die notwendigen, durch die öffentliche Hand vorzunehmenden Sanierungs- und Unterhaltmassnahmen sind zum Teil zivilrechtliche Haftungsnormen, z. T. öffentlich-rechtliche Vorschriften über Kostentragung. Als bundesrechtliche Haftungsregeln kommen in Betracht:

- die allgemeine Verschuldungshaftung nach OR 41
- die verschiedenen Kausalhaftungen nach:
  - OR 58 (Werkeigentümerhaftung)
  - ZGB 679 (Überschreiten des Eigentumsrechts durch den Grundeigentümer)
  - OR 55 (Geschäftsherrenhaftung)
  - GSchG 36 (Verunreinigung eines Gewässers)

Die Versicherbarkeit von Deponierisiken bietet zur Zeit nur einen mangelhaften Schutz. Bei der Deckung von allmählich eintretenden Schäden, wird grösste Zurückhaltung geübt. Das ist nicht eine Brandkatastrophe wie Schweizerhalle, sondern diese Art der Umweltschäden, sind weder unvorhersehbar noch zufällig, und werden somit wichtigen Voraussetzungen bezüglich der Versicherungswürdigkeit nicht gerecht. Schadenverhütungskosten, Schadenverminderungskosten und eigentliche Sanierungskosten können nicht versichert werden. Aufwendungen zur Finanzierung von Anlageinvestitionen werden dem eigentlichen Unternehmerrisiko zugeordnet, sie kann der Deponiebetreiber nicht auf Dritte abwälzen.

### **Neues Versicherungs- oder Fondskonzept**

Das geltende Recht genügt nicht, um die Regelung der finanziellen Ansprüche zu lösen. Die Voraussetzung, dass eine subsidiäre Staatshaftung eintritt, ist die Zahlungsunfähigkeit des Deponiebetreibers. Auch die angebotenen Haftpflichtversicherungen können den ausgewiesenen Bedarf der Deponiebetreiber an Versicherungsschutz nicht bieten. Eine Lösung für die Haftung bei Umweltschäden im Sinne einer Gefährdungshaftung stellt folgendes Modell der IGEZ dar. (Interessensgemeinschaft für die Entsorgung, eines Verbandes privat betriebener Deponien im Raume Zürich, Zug, Aargau und Bern.)

- **Eigenbehalt des Risikos** (mit oder ohne Rückstellungen) bis zu einem bestimmten Betrag.
- **Versicherungsdeckung** durch private Versicherungswirtschaft für Schäden, die den Eigenbehalt des Unternehmers übersteigen, wiederum mit einer betraglichen Limitierung (Unter Umständen statt der Versicherung ein Fonds)
- **Subsidiäre staatliche Deckung** für Schäden, die den Eigenbehalt und die Versicherungsdeckung übersteigen. Es zeichnet sich allerdings eine Tendenz ab, wonach, wenn überhaupt eine subsidiäre staatliche Deckung erwogen wird, sie nur als Langzeithaftung konzipiert werden soll, sie also erst etwa nach 10 Jahren nach

Abschluss der Deponie einsetzen soll und nicht schon in der Betriebsphase und den ersten Jahren der Nachsorge.

Wie immer die Lösung aussehen kann, es braucht das Zusammengehen aller involvieren Kreise: Der Behörden, der Versicherungswirtschaft und der Unternehmer, welche auch hier die Initiative ergriffen haben.

## 7.10 Kontaminiertes Bodenmaterial / Bodenwaschanlage

Bei der Sanierung und Umgestaltung von alten Industrie- und Gewerbeanlagen (Sulzer, Escher-Wyss, BBC, Giessereien, Gerbereien, viele Mittel- und Kleinbetriebe) fallen beim Aushub immer mehr kontaminierte Böden an, die nach TVA nicht in Inertstoffdeponien abgelagert werden dürfen, sondern zuerst aufbereitet werden müssen.

Bodenwaschverfahren sind die einzigen Verfahren, welche sich in grossem Stil für die Sanierung von kontaminierten Böden eignen. Sie unterscheiden sich grundsätzlich von biologisch und thermischen Bodensanierungsverfahren. Diese Verfahren eignen sich vorwiegend für die Reinigung von durch Mineralölkohlenwasserstoff verschmutzte Böden, da sich die verschiedenen organischen Kohlenstoffverbindungen leicht oxydieren lassen. Mitte 93 hat die Eberhard Recycling AG eine Bodenwaschanlage in Betrieb genommen, mit der sich die unterschiedlichst kontaminierten Erd- und Schottermaterialien behandeln lassen. Mit physikalisch-chemischen Verfahren werden Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle, Cyanide und Pestizide ausgeschieden. Die Bodenwaschanlage funktioniert nach dem Prinzip der Nassextraktion mit Wasser als Extraktionsmittel. Wir hoffen, dass wir diese Anlage anfangs Februar besichtigen können, ich verzichte daher auf eine genauere Beschreibung.

Bei der Reinigung der Industriehalle der ABB 1996 in Baden wurde zum ersten Mal eine **mobile Reinigungsanlage** verwendet. Die gesamte Anlage braucht eine Fläche von 30 x 30 m, besteht aus transportierbaren Einzelkomponenten und kann auf acht Lastwagen innerhalb einer Woche von einem Ort zum andern verlegt werden. Die Zusammensetzung der Komponenten kann somit leicht der Boden- und Schadstoffzusammensetzung angepasst werden. Das für die Reinigung benötigte Prozesswasser fliesst in einem geschlossenen Kreislauf. (Siehe Projektbeschreibung im Anhang.)

## 8 Geordneter Rückbau und Recycling von Bauabfällen

Die Wirtschaft in den industrialisierten Ländern erfährt seit 10 Jahren im Teilbereich Material- und Abfallwirtschaft einen Prozess der Neuorientierung mit Recycling in intelligenten Stoffkreisläufen.

In Deutschland ist seit Ende 1986 ein Abfallgesetz in Kraft, welches eine klare Priorität der Abfallverminderung und der Abfallverwertung gegenüber der Abfallbeseitigung vorschreibt.

In einem Idealkreislauf des Recyclings könnte ein grosser Teil der abgebrochenen Baustoffe wieder in den Materialfluss integriert werden, während nur noch ein geringer nicht verwertbarer oder kontaminierter Teil der Reststoffe auf entsprechenden Deponien entsorgt werden müsste.

Auch in der Schweiz ist seit 1983 das Bundesgesetz über den Umweltschutz in Kraft und seit 1. 2. 1991 die Technische Verordnung über Abfälle (TVA). Es existiert ebenfalls seit 1986 ein Leitbild für die schweizerische Abfallwirtschaft und seit 1989 ein Abfallkonzept für den Kt. Zürich.

Der Mangel an realisierbarem Deponieraum und das rasche Schwinden der verfügbaren und abbaubaren Kiesreserven zwingen auch den Kt. Zürich die Verwertung von Kiesersatzmaterialien zu fördern. Es ist das erklärte Ziel der zuständigen kantonalen Behörden

### - bautechnisch geeignete und umweltverträgliche Sekundärbaustoffe

über **passende Aufbereitungsverfahren** wieder in den Güterkreislauf einfliessen zu lassen.

### 8.1 Ziel des Recyclings

Für die Einsatzmöglichkeiten von Aufbereitungsverfahren für Bauabfälle und die Anwendungschancen aufbereiteter Bauabfälle sind die Ausgangsmaterialien wesentlich. Die Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien ist durch die Bauweise und die Nutzung der Bauwerke gegeben. Änderungen sind daher nur sehr langfristig möglich und werden in ihrer Auswirkung auf Recycling-Verfahren und aufbereitete Bauabfälle erst nach vielen Jahren wirksam. Dazu gehört z.B. die Verantwortung der Planer durch recyclinggerechtes Konstruieren und die Verantwortung des Nutzers durch Vermeidung von Kontaminierung der Baumassen.

Damit bleiben für kurz- und mittelfristige Verbesserungen der Ausgangsmaterialien nur die **Abbruchverfahren** als Einflussmöglichkeit auf die Heterogenität und die **Stofftrennung** vor einer ev. Aufbereitung und Wiederverwendung.

Eine bessere Übersicht der Stoffkreisläufe dient einerseits den an Abbruch und Aufbereitung beteiligten Unternehmern, andererseits aber auch den beteiligten Baufachleuten, den Bauherren und den Behörden. Sie alle sollten damit **ihre eigenen Einflussmöglichkeiten** auf eine weitere Steigerung der Aufbereitung von Bauabfällen ausnutzen.



## 8.2 Ausgangsmaterialien für das Recycling

Im November 1991 fand in der Schweiz ein Seminar der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik zum Thema Geotechnik bei Recycling und Deponien statt. Dr. Markus Caprez referierte über die Anforderungen an Recyclingbaustoffe und die Revision der entspr. Normen: Die SIA-Norm 162/4, "Recyclingbeton" (Siehe Beilage 1) ist am 1.12.94 erschienen, und die VSS-Normen: SN 640.743 "Verwertung von Betonabbruch" (Siehe Beilage 2) und SN 640.744 "Verwertung von Mischabbruch" (Siehe Beilage 3) sind ebenfalls bereits publiziert. Hier finden Sie die Qualitätsvorschriften für die Anwendung von Recycling-Material.

Vor allem die Materialien Asphalt, Mauerwerk und Beton sind für eine Wiederaufbereitung von Altbaustoffen geeignet. Das Recycling von Altasphalt hat im Strassenbau bereits heute einen hohen Stellenwert, ist für viele Unternehmen weitgehend Stand der Technik und wird auch für die ausschreibenden Stellen nach und nach immer selbstverständlicher.

Mauerwerksabbruch steht immer seltener als reines unvermischtes Material für Recyclingverfahren zur Verfügung. Es wird häufig mit Betonabbruchmaterial zusammen wiederaufbereitet.

Altbeton als Ausgangsmaterial für eine Wiederaufbereitung steht jedoch immer häufiger zur Verfügung und wird mit Sicherheit in näherer Zukunft noch erheblich zunehmen. Die Gründe dafür liegen in den permanent erforderlichen Erneuerungsmassnahmen bei Betonfahrbahnen, Flugpisten und im wahrscheinlichen Abbruch diverser Grossprojekte der 60-er und 70-er Jahre, welche von der Konstruktionsart her einer späteren Demontage und der erforderlichen Materialtrennung entgegenkommen.

Allein das Anwachsen des Materialaufkommens aus Betonabbruch bis zum Jahre 2020 prognostiziert der Europäische Abbruchverband EDA mit der 10- bis 15-fachen Menge des Jahres 1970.

Eine möglichst geringe Heterogenität des Ausgangsmaterial stellt immer die optimale Bedingung für die Aufbereitung und eine hohe Qualität der gewonnenen Recycling-Baustoffe dar.

Bei **reinen Betonerzeugnissen**, Rohren, Platten, etc. ist die Anforderung der Materialreinheit am ehesten erfüllt. Schwierigkeiten entstehen beim Abbruch von Hochbauten. Hier werden häufig in einem Abbruchvorgang wertvolle mineralisch Grundstoffe **mit technisch problematischen Stoffen** (z.B. Holz, NE-Metalle, Gips etc.) und **umweltbelastenden Stoffen** (z.B. Kunststoffe, Lacke, Folien, Schaumdämmstoffe) vermischt. So können bereits durch relative geringe Mengen von solchen störenden Bestandteilen grosse Mengen wertvoller, an sich recyclingfähiger Rohstoffe für eine Aufbereitung unbrauchbar gemacht werden. Daher die Forderung nach einem **sinnvoll gegliederten Abbruchvorgang** in Demontagestufen. Am Ende dieses Demontageprozesses bleibt eine grosse Menge reinen mineralischen Materials der Rohbau- und Tragkonstruktion für eine Aufbereitung übrig. Diesem Abbruchverfahren sind zur Zeit noch enge wirtschaftliche Grenzen gesetzt. Mit den ständig steigenden Annahmegebühren für Bauschutt wird es jedoch für den einzelnen Abbruchunternehmer zunehmend interessanter, aufbereitungsfähiges mineralisches Material nicht mehr mit anderen Stoffen zu vermischen. Ein gutes Beispiel dafür ist das Autobahnlos Winterthur - Henggart der Winterthurer Abbruchunternehmer.

### 8.3 Qualität und Umweltverträglichkeit von Recycling-Baustoffen

Zur Umweltverträglichkeit von Recycling-Baustoffen existieren noch keine vereinheitlichten, allgemein verbindliche Prüfverfahren. Doch sind sowohl in Deutschland wie in der Schweiz einschlägige Normen, Richtlinien, Empfehlungen und Verordnungen in Kraft oder in Vorbereitung. Der Kanton Zürich hat Richtlinien für die umweltkonforme Verwertung von aufbereiteten Bauschuttfraktionen als Kiesersatzmaterial für Strassen, Wege und Plätze aufgestellt. (Siehe Beilage 4). Sie unterscheidet nach zwei **Recycling-Kiessand-Qualitäten**, bei beiden darf der Gesamtanteil an Fremdstoffen < 0.5 Massen-% und davon der Anteil Holz, Papier, Kunststoff 60.0 Massen-% nicht überschreiten.

Bezeichnung	Korngrösse	Materialbeschr.	Max. Anteil Gew. %
Recycling-Kiessand A: 0 - 63 mm		Kies/Steine	100
		Ausbauasphalt	30
		Beton und farb. Mineralanteile	7
Recycling-Kiessand B: 0 - 63 mm		Kies/Steine	100
		Beton/hydr.Stabi und farb. Mineralanteile	20
		Ausbauasphalt	7
Betongranulat 0 - 63 mm		Kies/Steine	100
		Ausbauasphalt	5
		Beton	100
		Farb. Mineralanteile	3
Asphaltgranulat 0 - 30 mm		Kies/Steine	20
		Ausbauasphalt	100

Auch der ARV (Abbruch-, Aushub- & Recycling-Verband) hat entsprechende Richtlinien für die Gütesicherung für Sekundärbaustoffe als Kiesersatz aufgestellt. Diese Richtlinien ergänzen zum Teil die bereits publizierten Normen über Recycling von Bauschutt des VSS (Siehe Kapitel 3).

### 8.4 Wie können diese erstrebenswerten Ziele erreicht werden?

Beim Abbruch soll eine konsequente Trennung der Materialien an der Quelle erreicht und eine Vermischung so weitgehend vermieden werden!

Diese Trennung der Materialien an der Quelle wird durch Förderung und Planung eines **geordneten Rückbaus** bzw. durch fachgerechtes Demontieren erreicht. Erfahrene Spezialunternehmungen, welche den Rückbau manuell und maschinell beherrschen, planen und organisieren diesen Rückbau genau so minutiös wie die Erstellung eines Neubaus. Dazu gehört als analoge Voraussetzung auch eine **genaue Devisierung**, die der Bauherr dem Planer sowohl für den Abbruch des alten Objektes, wie auch für den Neubau in Auftrag gibt.

Die für das Bauwerk Verantwortlichen dürfen nicht erst bei Baubeginn an den Abbruch, resp. den Rückbau denken. Es erweist sich als eine Pflicht aller am Bau Beteiligten das abzubrechende Objekt zum frühestmöglichen Zeitpunkt zu beurteilen und im Detail aufzunehmen, damit die Materialkomponenten bekannt sind. Herr P. Staub, **Präsident des Abbruch- Aushub- und Recyclingverbandes**, sagt es klar und deutlich: "Der Bauherr als zahlender Besitzer und der Unternehmer in seiner Eigenschaft als Ausführender haben für klare vertraglich abgesicherte Verhältnisse zu sorgen. Abbruchobjekte sind keine **Spekulationsobjekte**! Ein geordneter Rückbau fordert vom Bauunternehmer den Einsatz geeigneter Geräte und Einrichtungen, die von gut ausgebildeten Fachkräften eingesetzt und bedient werden."

## 8.5 Verantwortung des Abbruchs, resp. des "geordneten Rückbaus"

### 8.5.1 Verantwortung des Bauherrn

Der Bauherr hat ein Baubedürfnis und auch die Bauidee, er ist Besitzer und der Bezahrende! Seine Wünsche an die am Bau beteiligten und sein Interesse sind klar: Er wünscht sich einen qualitativ guten, termingerechten und kostengünstigen Bau. Grundsätzlich ist der Bauherr Verursacher der Abfälle, die beim Abbruch und beim Neubau entstehen, und er hat daher die gesamten Kosten für deren Entsorgung zu tragen. Steht ein Altbau dem neuen Bauvorhaben im Wege, so ist der Bauherr in erster Linie verantwortlich für den geordneten Rückbau, oder Teilrückbau seines Abbruchobjektes.

### 8.5.2 Verantwortung der Planer (Architekt und/oder Ingenieur)

Der Bauherr beauftragt einen Planer mit der Aufgabe der Verwirklichung seiner Bauidee. Er delegiert daher seine Verantwortung einem Spezialisten. Die Planer haben in ihrem Zuständigkeitsbereich Kenntnis von den entstehenden Abfällen und den notwendigen Abbrüchen und sie legen diese durch die Ausschreibungsunterlagen im DAVIS und in den Plänen für die Ausführenden verbindlich fest. Sie bestimmen den notwendigen Umfang und schlüsseln die zu ersetzenden, resp. abzubrechenden Bauten in ihre Komponenten auf: Sie definieren genau, was alles abgebrochen werden muss und welche Qualität die Materialien haben.

Die Planer, resp. die Bauleiter, sind dabei als Vertreter des Bauherrn verantwortlich, dass die Werkverträge nicht gegen die gesetzlichen Bestimmungen verstossen, und dass sich die Unternehmer an ihre offerierten Rückbaukonzepte halten. In den Verträgen müssen die Bestimmungen über die **Rücknahme der Abfälle** und deren Qualitäten durch die jeweiligen Auftragnehmer verbindlich festgelegt werden.

### 8.5.3 Verantwortung der Unternehmer

Wie der Unternehmer als Spezialist ans Werk geht, ist seine Sache. Er offeriert den ausgeschriebenen Rückbau nach den **genau erarbeiteten** Angebotsunterlagen (DAVIS!) Er kennt den Abbruch nach der Besichtigung und erarbeitet ein geeignetes Abbruchkonzept nach seiner Erfahrung. Er verfügt und bestimmt die notwendigen Geräte und Spezialisten in seiner Mannschaft, er bildet die Leute aus und beachtet die Sicherheitsbestimmungen der SUVA, er führt die getrennten Materialgruppen und -fraktionen einer entsprechenden Wiederverwertung, resp. der gesetzlich und vertraglich bestimmten Entsorgung zu.

Als ein Pilotbeispiel eines klassischen Umbaus, das durch die genaue Devisierung eine wesentliche Trennung an der Quelle erreicht hat, darf der Umbau **des alten Residenztheaters in München** 1988 bis 1990 gelten. Bei einem Umbauvolumen von 88'000 m<sup>3</sup>, fielen folgende nach Komponenten getrennte Mengen von Bauschutt an:

- Reiner Bauschutt, Ziegel und Beton 2'650 m<sup>3</sup>
- Bauschutt mit Holz 350 m<sup>3</sup>
- Holz 650 m<sup>3</sup>
- Eisen und Metall 140 t
- Abfall, Papier (brennbar) 450 m<sup>3</sup>

ein ungeordneter Umbau hätte wohl über **6000 m<sup>3</sup> Mischabbruch** gebracht!

## 8.6 Die Empfehlung SIA 430 und Ausschreibung nach NPK 117

Die Arbeitsgruppe "Baustellenentsorgung" des SIA hat einen Vorschlag für die Ausschreibungsunterlagen aufgrund der Empfehlung SIA 430 "Entsorgung von Bauabfällen" erarbeitet (Siehe Beilage 5). Diese Unterlagen wurden durch verschiedene Ausschreibungen getestet. Im Sommer 1993 wurde gleichzeitig mit der Vernehmlassung der Empfehlung SIA 430 durch den SIA auch die Vernehmlassung des **NPK 117, Abbruch und Rückbau**, durch den CRB durchgeführt.

### 8.6.1 Die Empfehlung SIA 430 "Entsorgung von Bauabfällen" Abbruch/Rückbau Neubau und Umbau

Die Empfehlung beschreibt die bei Planung und Ausführung notwendigen Massnahmen für einen umweltgerechten Umgang mit den Bauabfällen und legt die Grundsätze für die Trennung der einzelnen Materialgruppen und -fraktionen im Hinblick auf die Verwertung, Behandlung oder Ablagerung der Bauabfälle fest. Hingegen befasst sich diese Empfehlung ausdrücklich nicht mit der Aufbereitung oder Ablagerung der Abfälle sowie Fragen der Entwässerung von Baustellen.

### 8.6.2 Die Neuerungen durch die Ausschreibungsunterlagen gemäss NPK 117

Die wichtigsten Neuerungen in diesen Ausschreibungsunterlagen sollen dazu führen, dass eine **umweltgerechter Rückbau** erzwungen wird. Diese Neuerungen betreffen sowohl die Planer des Abbruchs wie auch die Abbruch-Unternehmer:

- Es wird ein detaillierter Objektbeschreibung verlangt:  
"024.110: Abbrucharbeiten sind so zu planen und zu beschreiben, dass sie im Sinn eines geordneten Rückbaus ablaufen und Materialgruppen und -fraktionen möglichst sortenrein getrennt werden können. Daher soll eine globale Beschreibung des Abbruchobjektes nicht möglich sein."
- Der offerierende Unternehmer hat **die Pflicht das Objekt zu begehnen**:  
"031.100: Unternehmer, die ein Angebot einreichen, haben an der Begehung teilzunehmen."
- Die Bauabfälle müssen **in Materialgruppen getrennt** werden:  
"036.100: Die Bauabfälle müssen auf der Bau- und Abbruchstellen folgende Materialgruppen getrennt werden:

- Aushub
- Bauschutt
- Bausperrgut
- Sonderabfälle

und

036.200: Nach Massgabe der örtlichen Verhältnisse und der Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten sind die Materialgruppen Bauschutt und Bausperrgut nach Fraktionen getrennt zu erfassen.

036.210: Bauschutt:

- Ausbauasphalt
- Strassenaufbruch
- Betonabbruch
- Mischabbruch

036.220: Bausperrgut:

- Brennbares für KVA
- Holz
- Metalle
- Kunststoffe
- Mineralische Fraktion
- Kompostierbare Abfälle
- Gemischte Materialien

036.300: Die Aufzählung der Fraktionen ist nicht abschliessend. Je nach Verwertungsmöglichkeiten ist es zweckmässig, weitere Fraktionen separat zu erfassen. Ziel der Auftrennung sind möglichst **sortenreine** Fraktionen, welche bessere Voraussetzungen für die Wiederverwertung bieten.

036.400: Die getrennt erfassten Materialgruppen und Fraktionen sind der Verwertung, der Verbrennung oder der dafür vorgesehenen Deponie zuzuführen.

036.500: Sonderabfälle sind separat zu entsorgen. Sie unterstehen der Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS).

036.600: Sonderabfälle (z.B. Asbest) sind vor der Übergabe des Abbruchobjektes an den Unternehmer zu entfernen und zu entsorgen. Massnahmen zur Untersuchung und Beseitigung von kontaminierten Bauteilen oder Sonderabfällen werden separat vergütet."

- Die **detaillierten Ausmasse der Ausschreibung** der Demontearbeiten sind vom Planer zu ermitteln:

**Hochbauobjekte:**

- Haustechnische Anlagen (Kap. 300)
- Ausbau: Holz, Fenster, Türen etc. (Kap. 400)
- Rohbau: Dächer, Decken, Wände etc. (Kap. 500)

**Tiefbauobjekte:** (Kap. 600)

- Brücken
- Mauern
- Kammern – Kanäle
- Industrielle Anlagen
- Tankanlagen
- Gleisanlagen

**Strassen und Umgebung:**

- Bituminöse Beläge
- Betonbeläge
- etc.
- Die Erfassung des Transportaufwandes entsprechend dem Entsorgungskonzeptes des Unternehmers (gemäss Kap. 800).
- Die separate Erfassung und Verrechnung der Entsorgungsgebühren und allfällige Vergütung:

**"850 Gebühren:**

851.110 **Unverschmutztes Material**

- Kulturerde (Humus)
- Aushubmaterial
- Fels

851.120 **Inerte Bauabfälle**

- Ausbauasphalt
- Strassenaufbruch
- Betonabbruch
- Mischabbruch

851.130 **Sonderabfälle**

- z.B. Aspest, Radioaktives Material, Schwermetall"
- Die **Entsorgungswege werden bei der Offertstellung sichergestellt**. Es können keine Abfälle, resp. Bauschutt in irgendwelchen **"wilden" Deponien** verschwinden.

**8.6.3 Vorteile der detaillierten Ausschreibung:**

Mit Hilfe der Ausschreibungstexte gemäss dem neuen NPK 117 Abbruch/Rückbau kann der öffentlichen Entsorgungssituation Rechnung getragen werden. D.h. an die Stelle einer möglichst billigen **"How Ruck"-Abbruchmethode mit Entsorgung direkt in die geheime Grube** tritt der ordentliche Rückbau!

Die Angebote der Abbruchunternehmer beruhen nun auf den gleichen Voraussetzungen und können daher auch korrekt miteinander verglichen werden. Es bleibt aber dem guten Unternehmer immer noch ein grosser Freiraum für ihre qualifizierten Abbruchideen für den Rückbau im gesetzlichen Rahmen der TVA.

Es ist leicht nachzurechnen und zu überprüfen, dass sich der "geordnete" Rückbau auch **finanziell** lohnt. Die verantwortlichen Behörden, Bauherren und Planer werden

die für den Rückbau erforderliche Infrastruktur, Installationsplätze, Zufahrten und ev. Wasserhaltungen, sowie die Zeit zur Verfügung stellen müssen:

Mit den eingesparten Entsorgungskosten kann der Demontage- und Sortieraufwand beim Rückbau kompensiert werden.

Die Transportkosten lassen sich durch die Wahl der geeigneten Transporteinheiten reduzieren, optimieren. (Mulden, Container mit Verdichtungsgeräten/Pressen, etc.)

Schon heute ist der Rückbau je nach Entsorgungsinfrastruktur und Gebührenordnung wesentlich wirtschaftlicher als die wilde Zerstörung des Bauwerkes.

#### 8.6.4 Die Sonderstellung der Abbruchunternehmer

Durch den Abschluss der Werkverträge, aufgrund der bereinigten Ausschreibungsunterlagen werden die Einheitspreise und die Leistungen verbindlich festgelegt. Die ausführenden Firmen sind grundsätzlich Besitzerin und Verursacherin der Überreste ihrer Materialien, Verpackungen, Teppichreste, etc. Die Abbruchunternehmer haben hier **eine Sonderstellung**, sie übernehmen als einen wesentlichen Teil ihres Auftrages die dem Bauherrn gehörenden Abfälle und führen sie einer gesetzes- und vertragskonformen Entsorgung zu.

### 8.7 Organisatorische Kriterien kontrollierter Abbruchverfahren

Aus der Erfahrung der Beispiele für einen geordneten Rückbau und der Abbruchunternehmer ergeben sich folgende Organisationsbedingungen:

- Die organisatorischen Möglichkeiten für einen geordneten Rückbau mit teilweiser Demontage und Stoffsortierung sind überwiegend von den **örtlichen und zeitlichen Randbedingungen** des Abbruchs abhängig.
- Vor allem innerstädtische Abbruchmassnahmen ganzer Gebäude (Totalabbruch) stehen oft - neben beengten Raumverhältnissen - unter erheblichem Zeitdruck, da der Abbruch selbst den Strassenverkehr und die Funktion von Nachbargebäuden nicht oder nur so kurz wie möglich beeinträchtigen dürfen (Zentralbibliothek). Dieser **Zeitdruck** verhindert unter anderem oft eine sorgfältige Zerlegung und Sortierung auf der Baustelle.
- Die **beengten Raumverhältnisse** bei Abbrüchen in der Stadt machen eine Materialsortierung auf der Abbruchstelle oft unmöglich. Bei entsprechend hohen Gebühren für unsortierten Bauschutt behelfen sich die Unternehmer mit einer groben Vorsortierung auf eigenem Gelände.
- Bei Unternehmer mit entsprechender **maschinellem Ausrüstung**, Brechzangen, Brechbügel, Hydraulikscheren, etc. wird das Bauwerk in kleinere Teile für rationelleren Transport und Übergabe an Brecheranlagen zerlegt, z.T. auch durch Nachzerkleinerung auf der Baustelle.
- Spezielle Problemfälle erfordern **qualifizierte Ingenieurleistungen** (z.B. Abbruchstatik bei Brückenabbrüchen, Kaminrückbau ohne Sprengung).

Insgesamt ist feststellbar, dass für die Durchführung eines geordneten Rückbaus mit Demontagestufen und Stoffsortierung bei Gewährleistung einer hohen Arbeitssicherheit **qualifiziertes Personal- und Geräteausstattung** nötig sind. Beim Abbruchverfahren liegt die wesentliche Voraussetzung für ein kontrolliertes Vorgehen auf der Baustelle **im Platzbedarf und einem nicht zu grossen Zeitdruck**. Hilfestellung zur

Wahl des Abbruchverfahrens kann ein Entscheidungsablaufdiagramm bieten (Bild 8-1).

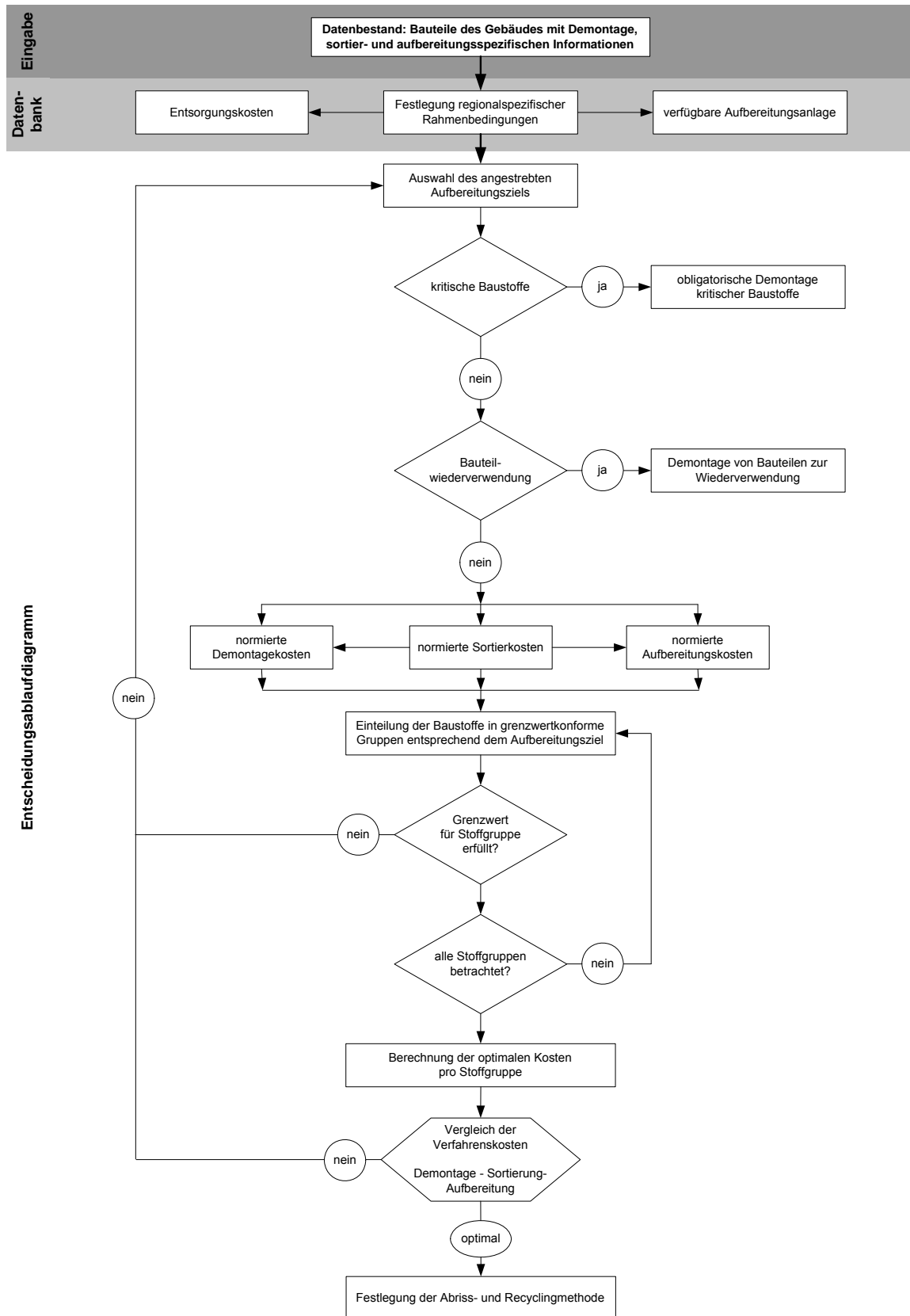


Bild 8-1: Entscheidungsablaufschema Entsorgung



## 8.8 Wirtschaftliche Kriterien für den Rückbau (kontrollierte Abbruchverfahren)

Der volkswirtschaftliche Nutzen des Rückbaus, der eine verbesserte Ausgangslage für die Wiederverwertung schafft, ist wegen der steigenden Deponieprobleme und -preise sowie wegen der langfristige endlichen Rohstoffreserven unumstritten.

Bedeutend schwieriger nachweisbar als der volkswirtschaftliche Nutzen ist in vielen Fällen der betriebswirtschaftliche Nutzen, vor allem dann, wenn das Abbruchunternehmen an der Aufbereitung und am Verkauf des Recycling-Materials nicht beteiligt ist. - Daher haben Unternehmen, die Abbrechen und Aufbereiten, in der Regel eine bessere Chance zur Wirtschaftlichkeit. Es besteht aber auch eine grosse Verantwortung bei den Behörden und öffentlichen Bauherren für entsprechende Rahmenbedingungen zu sorgen, die ein Wirtschaftlichkeit erst ermöglichen (Beispiel Kanton Zürich).

Sowohl durch geschickte Politik der Deponiegebühren, wie auch durch Berücksichtigung von Recycling-Varianten gegenüber der Ausbeutung von Kiesreserven bei der Auftragvergebung (Autobahn Winterthur) können die Baubehörden wesentlich zur Wiederverwertung beitragen. Den Schwierigkeiten oder der Furcht vor Qualitätseinbussen wird durch eine genaue Qualitätsprüfung der Sekundärbaustoffe in Deutschland mit Gütezeichen RAL 501/1 oder bei uns analog mit ARV-Gütesiegel entgegen gewirkt.

Ein weiterer von den Behörden beeinflussbarer Faktor ist die Möglichkeit zur Zwischenlagerung von verwertbarem Material. Dies ist notwendig, um eine marktgerechte Reserve anzulegen, da Materialanfall und -nachfrage in der Regel zeitlich nicht übereinstimmen.

## 8.9 Kosten für Geräte und Personaleinsatz

Eine Übersicht der prozentualen anteiligen Kosten für Lohn, Geräte und Betriebsstoffe bei unterschiedlichen Verfahren des Totalabbruchs gibt Kuhne (Verfahrenswahl beim Abbruch von Massivbauwerken). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei fast allen Verfahren die Lohnkosten zwischen 35 und 50 % und die Gerätekosten zwischen 25 und 45 % liegen. Lediglich der Abbau mit handgeführten Werkzeugen hat Lohnkostenanteile von 60 - 70 % und Gerätekosten von nur 20 - 30 %. Durchschnittliche Kosten für Betriebsstoffe und Verschleiss liegen zwischen 15 und 20 % der Gesamtkosten. Zusätzlich entstehen neben den eigentlichen Verfahrenskosten Transport- und Deponiekosten, die für die Wirtschaftlichkeit der kontrollierten Abbruchverfahren von ausschlaggebender Bedeutung sind.

## 8.10 Recycling von Betonbaustoffen

Heute werden schon weitgehend Betonabbruchreste durch mobile Brecher- und Siebanlagen weitgehend zu Betonzuschlagstoffen aufbereitet.

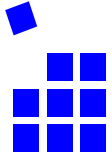


Bild 8-2: Mobile Brecheranlagen

Bei der Wiederverwendung des Materials muss die Qualität ausreichend sein und das Material frei von toxischen oder strahlenden Bestandteilen sein. Weitere Hinweise finden Sie in der Vorlesung: Nachhaltige Baustoffbewirtschaftung. Beim Einsatz solcher Brecheranlagen ist zu berücksichtigen, dass diese Anlagen oft erheblichen Lärm und Staub verursachen. Daher müssen sie meist ausserhalb bewohnter Gebiete eingesetzt werden.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Luley H., Kampen R., u.a.: Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen. Ein Leitfaden für den Auftraggeber. Herausgeber Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln (1994)
- [2] ZTV-SIB 87 Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für den Schutz und Instandsetzung von Bauteilen. Bundesministerium für Verkehr Abt. Strassenbau, Bonn (1987)
- [3] ZTV-RISS 88 Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für das Füllen von Rissen in Betonbauteilen. Bundesministerium für Verkehr Abt. Strassenbau, Bonn (1987)
- [4] Wolfseher R.: Die Sanierung von Stahlbetonbauteilen. Baufachverlag, Dietikon (1994)
- [5] Linder :Schälen, Trennen und Abbrechen von Betonbauteilen. Verlag Ernst & Sohn, Berlin (1982)
- [6] Momber A.: Handbuch Druckwasserstrahltechnik. Beton-Verlag, Düsseldorf (1993)
- [7] Der Betontrennfachmann. Herausgeber SVBS Schweizer Verband der Betonbohr- und Betonschneidunternehmungen. (1993) Das Buch enthält keine weiteren bibliographischen Angaben.



Skript zur Vorlesung:

# PROZESS DER ERHALTUNG BAULICHER INFRASTRUKTUREN

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

## Teil 10: Entscheidungsmodelle zur optimalen Gestaltung von Instandsetzungsmassnahmen



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Strategiebildung .....</b>	<b>2</b>
2.1	Einleitung .....	2
2.2	Stand der Forschung – Gesamtmodellansatz .....	3
2.3	Forschungsmethodik .....	5
2.4	Teil-Modellansatz – LC-Strategiebildung und LC-Unterhaltsvarianten	8
2.4.1	Räumliche Dimension .....	8
2.4.2	Technische und zeitliche Dimension .....	9
2.5	LC-Strategieplanung .....	13
2.6	LC-Unterhaltsvariantenbildung .....	17
2.7	Fazit .....	20
2.8	Formelzeichen .....	20
2.9	Literatur .....	23
<b>3</b>	<b>Qualitative Entscheidungsfindung - Analytic Hierarchy Process (AHP) .....</b>	<b>26</b>
3.1	Einleitung .....	26
3.2	Analytic Hierarchy Process (AHP) – Grundlagen .....	26
3.2.1	Definition des Entscheidungsproblems .....	27
3.2.2	Bewertung und Entscheidungsfindung .....	32
3.3	Beispiel – Auswahl Erhaltungsmassnahme .....	34
3.3.1	Definition des Entscheidungsproblems .....	35
3.3.2	Bewertung der alternativen Handlungsoptionen / Massnahmen nach Kriterien .....	38
3.3.3	Entscheidungsfindung .....	42
3.4	Literaturverzeichnis .....	44
<b>4</b>	<b>Quantitative Entscheidungsfindung - Wirtschaftlichkeitsanalyse .....</b>	<b>45</b>
4.1	Einleitung .....	45
4.2	Stand der Forschung .....	45
4.3	Forschungsmethodik und Teilmodellansatz .....	47
4.4	Systemabgrenzung des LC-KBW-Entscheidungsmodells .....	47
4.4.1	Räumliche Dimension .....	48
4.4.2	Inhaltliche Dimension .....	48
4.4.3	Zeitliche Dimension .....	51
4.4.4	Budgetbeschränkung .....	53
4.5	Systemkonfiguration des deterministischen LC-KBW-Entscheidungsmodells .....	53
4.6	Kostenansätze im LC-KBW-Entscheidungsmodell .....	54

4.7	Zusatzkosten bei Verschiebung von Massnahmen $\xi$ oder Erneuerungen $\nu$ bei einer Referenzstrategie $\chi_0$ .....	59
4.8	Diskontierung und Teuerungsindex.....	62
4.9	Probabilistisches LC-KBW-Entscheidungsmodell .....	62
4.10	Fazit / Ausblick .....	66
4.11	Formelzeichen.....	67
4.12	Literatur .....	70

# 1 Einleitung

Im Erhaltungsmanagement von Infrastrukturanlagen steht der Betreiber der Anlagen meist vor einem Entscheidungsproblem bezüglich der Art, des Zeitpunkts und der Häufigkeit von Erhaltungsmaßnahmen zur Aufrechterhaltung der Funktionalität und des Substanzwerts. Dies betrifft sowohl die konkrete Entscheidung über eine einzelne Erhaltungsmaßnahme im speziellen Fall, als auch die grundsätzliche Entscheidung über die langfristige, lebenszyklusorientierte Erhaltungsstrategie.

Im Folgenden werden am Beispiel des Strassenunterhalts verschiedene Verfahren zur Strategie- sowie Massnahmenauswahl dargestellt:

- In Kapitel 2 werden die Grundlagen der Strategiebildung im Erhaltungsmanagement dargelegt.
- In Kapitel 3 wird mit der AHP-Methode ein Verfahren zur nicht monetären, qualitativen Entscheidungsfindung vorgestellt.
- In Kapitel 4 wird die quantitative Wirtschaftlichkeitsanalyse als monetäres Entscheidungsverfahren vorgestellt.



## 2 Strategiebildung

### 2.1 Einleitung

In den meisten europäischen Ländern stellt nicht mehr der Bau neuer Infrastrukturen, sondern der Unterhalt der bestehenden Strukturen eine grosse Belastung für die öffentlichen Haushalte dar. Während bei Neubauprojekten meist intensiv versucht wird, die Investitionskosten für die Baumassnahmen durch Variantenanalysen unter Beachtung von vergleichbaren Qualitätskriterien zu minimieren, besteht beim Unterhalt das Problem, dass die meisten Netzbetreiber keine langfristige Unterhaltsstrategie bzw. keine Unterhaltsvarianten verfolgen. Die lebenszyklusorientierte Betrachtung und Bewertung des effizienten Unterhalts von Infrastrukturen auf definierten Mindestanforderungen ist jedoch unumgänglich für ein funktionierendes Gemeinwesen.

Für die Entscheidungsträger der Betreiber von Infrastrukturen (öffentliche Hand oder Private) stellt sich bei der Entwicklung geeigneter Unterhaltsstrategien das Problem der konkreten Quantifizierung der Kosten einzelner Strategien sowie der zusätzlichen Kosten, die durch ein Abweichen von einer Strategie entstehen. Dies liegt daran, dass bis heute geeignete Konzepte zur LC-Strategie- und LC-Unterhaltsvariantenbildung sowie darauf aufbauende LC-Kosten-Entscheidungs- und Bewertungsmodelle fehlen. Eine klare LC-Strategiebildung mit den dazugehörigen LC-Unterhaltsvarianten und Massnahmen sowie die darauf aufbauende strukturierte Wirtschaftlichkeitsanalyse der einzelnen Varianten ist die Voraussetzung zur Entwicklung der für den Einzelfall idealen LC-Strategie und LC-Unterhaltsvariante und liefert die notwendige Argumentationsgrundlage, um diese auch politisch durchzusetzen.

Dazu wurde ein lebenszyklusorientiertes Kosten-Barwert-Strassenunterhalts-Modell (LC-KBW-StraUnt-Modell) entwickelt. Im Folgenden wird der erste Teil dieses Modells zur Entwicklung einer LC-Unterhaltsstrategie für ein vorgegebenes Strassennetz bzw. einen Netzabschnitt mit den LC-Unterhaltsvarianten und Massnahmen gemäss der Verkehrsbelastung und Bedeutung des Netzes vorgestellt. In einem folgenden Beitrag wird der zweite Teil, das LC-KBW-Entscheidungsmodell zur Quantifizierung der Kosten verschiedener Unterhaltsvarianten, vorgestellt. Das LC-Unterhaltsstrategie- und LC-Unterhaltsvarianten-Konzept sowie das LC-KBW-Entscheidungsmodell wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts am Institut für Bauplanung und Baubetrieb der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) entwickelt.

Mit dem Konzept zur Bildung der LC-Unterhaltsstrategie und der LC-Unterhaltsvarianten sowie dem darauf aufbauenden LC-KBW-Entscheidungsmodell können die verschiedensten Fragestellungen hinsichtlich der finanziellen Auswirkungen, die sich bei der Unterhaltsplanung stellen, untersucht werden. Einerseits können verschiedene LC-Unterhaltsstrategien einschliesslich der dazugehörigen LC-Unterhaltsvarianten verglichen werden; andererseits können zeitliche Verschiebungen einzelner Massnahmen oder das kurzzeitige Abweichen von einer Unterhaltsstrategie aufgrund finanzieller Zwänge, mit der ursprünglichen Unterhaltsstrategie verglichen werden.

Der prinzipielle Prozess der LC-Strategieplanung und Bildung der LC-Unterhaltsvarianten mit den dazugehörigen Massnahmen für den Strassenunterhalt mit den einzelnen Abläufen und Inputparametern ist Gegenstand dieses Beitrags und in Bild 1 dargestellt.

Den Rahmen für das LC-KBW-StraUnt-Modell bildet die Definition des betrachteten Netzes für den Strassenunterhalt. In diesem Strassennetz müssen folgende Parameter für den Input einer Unterhaltsstrategie festgelegt werden:

- Netzzumfang / Netzgrenzen
- Strassenaufbau
- Verkehrsaufkommen / Verkehrsmix
- Mindestbetriebsstandards
- Zustandsentwicklung
- Unterhaltsmassnahmen / Unterhaltsvarianten
- Budgetanforderungen

Innerhalb des betrachteten Netzsystems können verschiedene Unterhaltsvarianten gemäss der zu erwartenden Abnutzung und Schäden am Oberbau der Strassen aufgrund des konstruktiven Aufbaus der Strassen, der Verkehrsbelastung und wetterbedingter Einwirkungen definiert und in einem nächsten Schritt in der Wirtschaftlichkeitsanalyse mittels des neu entwickelten LC-KBW-Entscheidungsmodells bewertet werden (Bild 1). Aufgrund der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse können die besten Varianten selektiert und die Zusatzkosten eines Abweichens von diesen Varianten berechnet werden.

## 2.2 Stand der Forschung – Gesamtmodellansatz

Das Institut für Bauplanung und Baubetrieb (IBB) der ETH Zürich hat die Lebenszyklusbetrachtung im Rahmen des Forschungsansatzes SysBau<sup>®</sup> zum Schwerpunkt gemacht. Im Rahmen dieses Forschungsansatzes werden Projektabwicklungsformen [1], Geschäftsmodelle [2] und Supportmodelle wie Risikomanagementprozessmodelle [3], [4], [5] entwickelt. Zu dem hier vorgestellten Forschungsthema „Lebenszyklusorientiertes Entscheidungsmodell für den Strassenunterhalt“ ist der Stand der Forschung wie folgt:

Die Grundsätze, Begriffe und Abläufe sind in der europäischen Norm EN 13306:2001 [6] sowie SN 469 [7] und DIN 31051 [8] dargelegt. Die SN 640900a [9] ist die Grundnorm des Erhaltungsmanagements im Schweizer Strassenbau, in der Überwachung, Unterhalt etc. geregelt sind. In der SN 640925b [10] werden die Zustandserhebung und die darauf aufbauende schadensorientierte Indexbewertung dargelegt. Die Gesamtbewertung von Fahrbahnen nach Substanz- und Gebrauchswerten erfolgt in der SN 640904 [11]. Ferner differenzieren Rafi, Scazziga und Lindenmann [12] in Sicherheits-, Gebrauchs- und Substanzwerte, indem sie die Einzelindizes für diese drei Gesamtbewertungen zusammenführen. Die SN 640730b bis SN 640736a [13], [14], [15], [16], [17] beschreiben die Unterhaltsmassnahmen. Die Bewertung von Strassenabschnitten nach nachfrage- und angebotsorientierten Kriterien beschreibt SN 640908 [18].

Die RPE-Stra01 [19] legt die Grundlagen für eine systematische Planung der Unterhaltsmassnahmen von Strassen. Diese Richtlinie behandelt die Bewertung der Netz-

qualität, die Zustandsentwicklung sowie die Planung und Umsetzung des Unterhaltungsprogramms. Umfangreiche Anhänge erläutern praxisgerecht die Umsetzung. Ferner bieten verschiedene Arbeitspapiere der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen Systematiken des Strassenunterhalts. In [20] werden Programmkenngrossen für Abschnittseinteilung, Zustandsentwicklung, Schadensursachen und Mängelklassen sowie Erhaltungsmassnahmenarten und Rücksetzwerte mit den Verhaltensänderungen nach der Erhaltungsmassnahme sowie die Bewertung von Strategien und deren Optimierung dargelegt. Die Auswertung der messtechnischen Erfassung verschiedener Schäden und die Einordnung in die Zustandsindizes sowie die Bestimmung der Teilzielwerte bezüglich Gebrauchsfähigkeit und Substanzgrad erfolgt in [21]. Die Bewertung der Substanz aus den Bestandsdaten erfolgt in [22]. Rafi, Hajdin u.a. [23] beschäftigen sich mit dem Einsatz von Optimierungsverfahren auf der Basis des Operations Research im Erhaltungsmanagement von Strassennetzen. Die Grundlagen der Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement sind in der SN 640907 [24] dargelegt und in der SN 641820 [25] zur Kosten-Nutzen-Analyse zusammengeführt. Die SN 640931 [26] beschreibt grundsätzliche Modelle der Erhaltungsstrategien. Mit dem Zielsystem dieser Strategien setzt sich die SN 640901 [27] auseinander.

Allerdings besteht kein Konzept zur LC-Unterhaltsstrategie- und -variantenbildung mit einem integrierten finanzmathematischen Lebenszyklusentscheidungsmodell zur Beurteilung von LC-Unterhaltsstrategien auf Netzebene für Strassensysteme im Speziellen oder für Verkehrssysteme im Allgemeinen.

Die LCCA-Konzepte (Life-Cycle Cost Analysis) [28], [29], [30] beinhalten in der Regel nur Bar-Wert-Formeln. Es fehlen klare Systemabgrenzungen in Bezug auf

- räumliche Systemabgrenzung (Gegenstand: Netzraum und Strassenkörper),
- technische Systemabgrenzung (Zustandsentwicklung, Massnahmenkonzepte),
- methodische Systemauswahl (statische / dynamische Methoden),
- finanzmethodische Systemauswahl (Rechnungswesen),
- finanztechnische Anfangs- und Endbewertung (Anfangs- / Endwert),
- finanztechnische Abgrenzung der Stakeholder (Betrachtungsperspektiven).

Daher wurden am IBB der ETH Zürich Life-Cycle-Net-Present-Value-Analysemodelle entwickelt für den Vergleich baulicher Alternativen [5], die Bewertung von PPP-Entscheidungen [4] sowie zur Systementscheidung und Miet- und Besitzmodellentscheidung von Schalungssystemen bzw. Baugeräten [31]. Dieses LC-KBW-StraUnt-Modell (Bild 1) wird im Rahmen des ASTRA-Forschungsclusters „Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen“ des Bundesamts für Strassen (Schweiz) unter zentraler Beteiligung des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) entwickelt. Dieses Forschungscluster besteht aus den Projekten:

- Standardisierte Erhaltungsmassnahmen
- Schadensprozesse und Zustandsverläufe
- Bedeutung von Oberflächenzustand und Tragfähigkeit
- Gesamtnutzen – Nutzen-Kosten-Verhältnisse
- Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen

## 2.3 Forschungsmethodik

Zur Begründung der Forschungsmethodik [32] wird die wissenschaftliche Einteilung der Welt nach Popper [33] in die drei Welten vorgenommen. Diese Einteilung gliedert die Welt (Triadismus) in die Welt 1 der Dinge und Materie, die zur nomothetischen Wissenschaftstheorie gehört mit ihren Theorien, Gesetzen und Ursache-Wirkungsbeziehungen (z.B. Naturwissenschaften). Die Welt 2 ist das innere Ich (z.B. Psychologie). Die Welt 3 beinhaltet die Aussenwelt, die vom Menschen geschaffen wurde. Diese Welt 3 gehört zur hermeneutischen Wissenschaftsphilosophie, die die Welt durch den Menschen interpretiert und gestaltet / konstruiert. Die Baubetriebswissenschaft gehört zu der Welt 3, der sozio-technischen Umwelt, die von Ingenieuren durch Prozesse, Modelle etc. gestaltet wird. Aus dieser hermeneutischen wissenschaftsphilosophischen Betrachtung leiten sich die interpretivistischen [34] und konstruktivistischen [35], [36] Forschungsparadigmen ab.

Für die Gestaltung des LC-KBW-StraUnt-Modells wird das konstruktivistische Forschungsparadigma angewendet [32]. Das LC-KBW-StraUnt-Modell wurde denklogisch-deduktiv konstruiert. Zur wissenschaftlichen Güteprüfung wird die Triangulation [37] herangezogen. Dazu wird das denklogisch-deduktive Modell in einen theoretischen Bezugsrahmen eingebettet und durch Realisierbarkeitstests auf die intendierte Input-Output-Beziehung überprüft [32].

Das holistische LC-KBW-StraUnt-Modell setzt sich aus zwei Teilen zusammen (Bild 1):

- Teil 1 – Konzept und Prozess der Bildung von LC-Unterhaltsstrategien und LC-Unterhaltsvarianten
- Teil 2 – LC-KBW-Entscheidungsmodell zur Bestimmung der ökonomischsten LC-Unterhaltsvariante unter der gewählten Strategie

Dieser Beitrag stellt den Teil 1 des LC-KBW-StraUnt-Modells vor. Als theoretischen Bezugsrahmen für das denklogisch-deduktiv entwickelte Konzept zur LC-Unterhaltsstrategie- und LC-Unterhaltsvariantenplanung wird die Systemtheorie [38], [39] herangezogen. Die Systembegrenzung für die LC-Unterhaltsstrategien und LC-Unterhaltsvarianten werden durch folgende Dimensionen bestimmt:

- Willensbildungs-Dimension
  - Politische, volkswirtschaftliche und ökologische Bedingungen
- Räumliche Dimension
  - Räumliche Bildung von Netzen und Netzabschnitten nach Verkehrsströmen und -verbindungen
  - Räumliche Bildung von verhaltenshomogenen Abschnitten innerhalb der Netze und Netzabschnitte bezüglich Strassenaufbau und Verkehrsbelastung
- Zeitliche Dimension
  - Zeitliches Verhalten von Belagsmaterialien und –konstruktionen unter Belastung
  - Zeitliches Verhalten von Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen unter Belastung
- Technische Dimension
  - Typisierung der Schäden

- Zuordnung von Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen zu den Schadenskategorien

Das Konzept zur Bildung der LC-Strategien und LC-Unterhaltsvarianten gliedert sich in:

- LC-Unterhaltsstrategiebildung mit Mission, Vision und Strategievarianten
- LC-Unterhaltsvariantenbildung mit Schadens-Massnahmen-Zuordnung, Grenzwertbildung und Variantenbildung

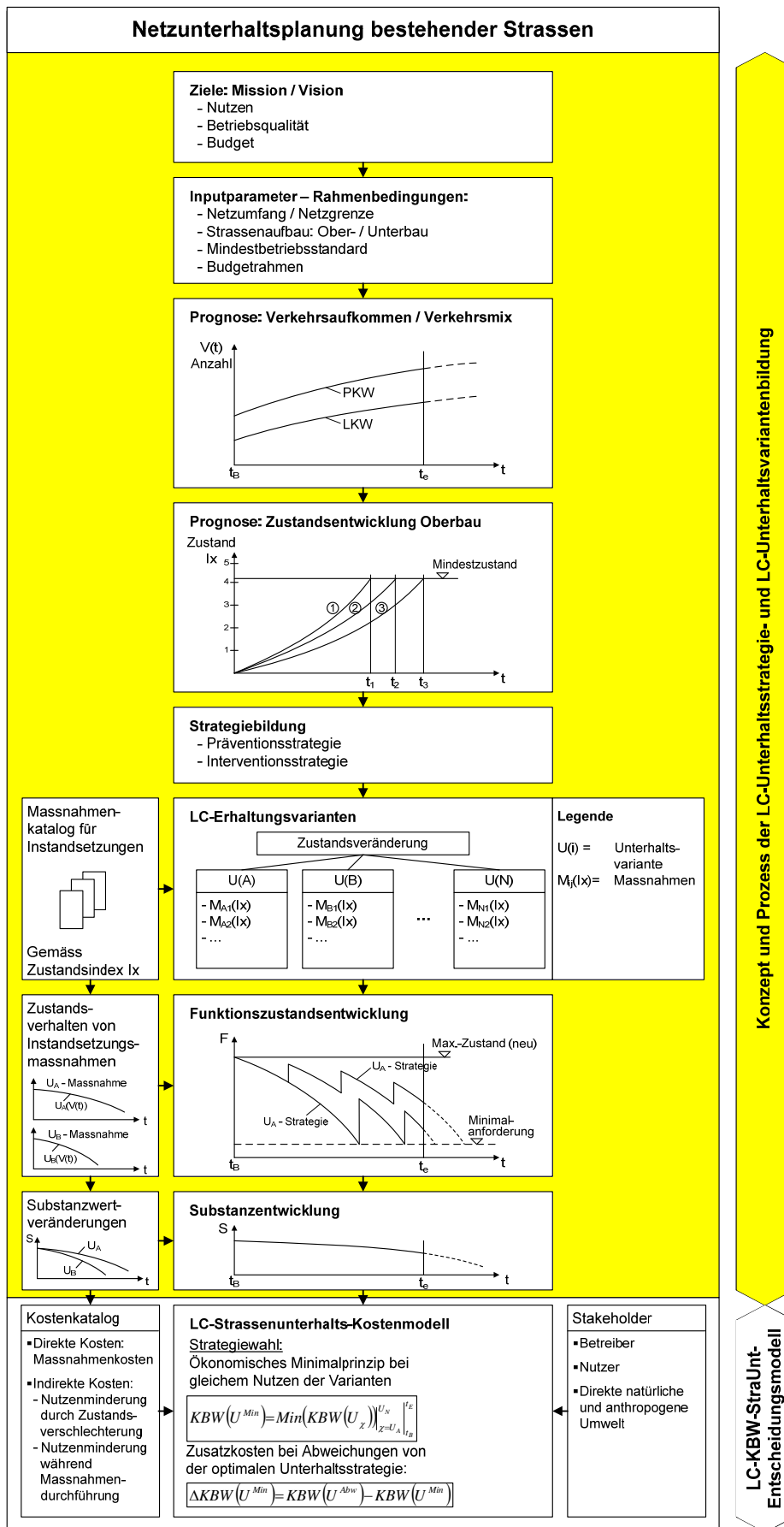


Bild 1: LC-KBW-StrUnt-Modell: Prozess der LC-Strategieplanung eines Strassennetzunterhalts

## 2.4 Teil-Modellansatz – LC-Strategiebildung und LC-Unterhaltsvarianten

Die LC-Strategiebildung wird durch die externe und interne Willensbildungsdimension aus Politik, Ökonomie, Ökologie und Technik der Gesellschaft geformt, die Input bildet. Die räumlichen, zeitlichen und technischen Dimensionen des Teilmodells werden konstruktivistisch gestaltet (Bild 1).

### 2.4.1 Räumliche Dimension

Die räumliche Dimension wird in Netz (flächenhafte Ausdehnung) und vertikalen Aufbau des Strassenkörpers gegliedert. Die flächenhafte Dimension dieses LC-KBW-StraUnt-Modells befindet sich im Netzraum von Verkehrssystemen. Der Netzraum z.B. eines Betreibers kann oder muss sogar unterteilt werden in

- Strassenverbindungen von A nach B,
- Teilabschnitte eines Netzes,
- ganzes Netz (Kreisstrasse, Bundesstrasse, etc.).

Die Bewertung einzelner Strassenabschnitte kann zwar mit dieser Methode bzw. mit diesem Modell vorgenommen werden, jedoch fehlt bei der Aussagekraft die Interaktion zu den Auswirkungen weiterer Massnahmen in dem Teilnetz, in dem dieser Strassenabschnitt sich befindet. Daher wird die flächenhafte Abgrenzung des Betrachtungssystems wie folgt vorgenommen:

- Verkehrsflussabhängigkeiten der verschiedenen z.B. dezentralen Erhaltungsmaßnahmen im Netz
- Ökonomische Optimierung der Massnahmen bezüglich Reduzierung der Nutzenminderung und der direkten Kosten durch verschiedene Massnahmen an einer Verkehrsflussachse

Dazu ist es erforderlich, das Netz oder den Netzabschnitt in verhaltenshomogene Abschnitte bezüglich des Zustandsverhaltens zu gliedern (Bild 2).

Die vertikale Dimension des LC-KBW-StraUnt-Modells beinhaltet im Strassenkörperaufbau nur den Oberbau mit

- Deckschicht / Verschleisschicht,
- Binderschicht,
- Tragschicht.

Der Unterbau der Strasse sowie darin befindliche Installationen sind nicht Gegenstand des Modells. Das Modell kann jedoch relativ einfach auf einen integrativen Infrastrukturansatz erweitert werden.

Aufgrund der Netzabschnittgliederung nach räumlichen Dimensionen und der Verkehrsbelastung lässt sich eine holistische LC-Strategie für den Unterhalt entwickeln.

Die optimale LC-Strategie  $\Gamma$  und LC-Unterhaltsvariante  $\chi$  sollen dann mittels des LC-KBW-StraUnt-Entscheidungsmodells aufgrund von wirtschaftlichen Analysen unter Einbezug der direkt betroffenen Stakeholder bestimmt werden.

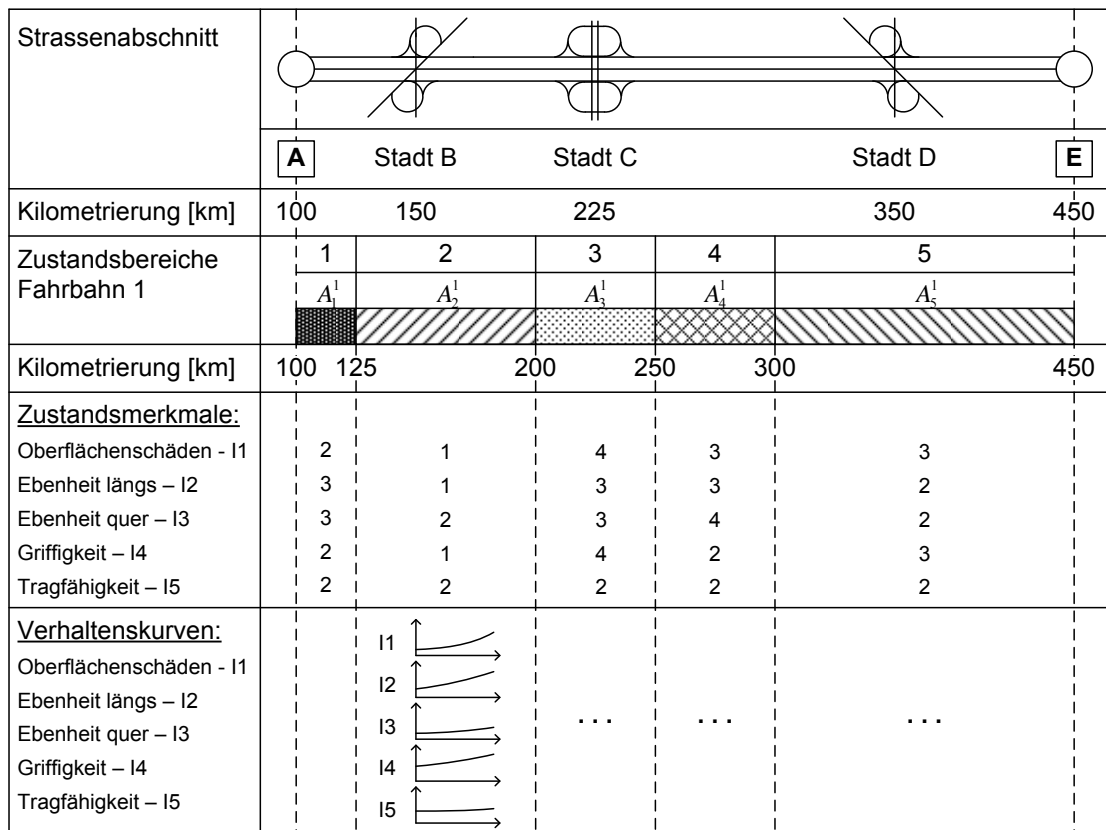


Bild 2: Zustandsbeurteilung eines Netzabschnitts mit verhaltenshomogenen Abschnitten

## 2.4.2 Technische und zeitliche Dimension

Der Strassenzustand ist der zentrale Parameter in der Unterhaltsplanung. Sämtliche Entscheidungen im Strassenunterhalt hängen direkt oder indirekt vom jetzigen Strassenzustand sowie seiner erwarteten Entwicklung ab.

Nach der Schweizer Norm [10] wird der Strassenzustand in fünf Zustandsindizes I1 bis I5 angegeben. Die Zustandsindizes beschreiben die Oberflächenschäden (I1), die Ebenheit in Längs- (I2) und Querrichtung (I3), die Griffigkeit (I4) sowie die Tragfähigkeit (I5). Entsprechend dem durch visuelle Beurteilung oder Messung ermittelten Zustand werden die Indizes mit einer Skala von 0 (guter Zustand) bis 5 (schlechter Zustand) bewertet. Zusätzlich wird jede Strasse entsprechend ihres strukturellen Aufbaus in eine Verhaltensklasse (Bild 3) eingeteilt, die die unterschiedliche Zustandsentwicklung über die Zeit abbildet.

Im Rahmen des VSS-Forschungsclusters „Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen“ wird im Projekt „Schadensprozesse und Zustandsverläufe“ der Verlauf der Schadensentwicklung (Verlaufskurven), der sich in einer zunehmenden Verschlechterung der Zustandsindizes niederschlägt, ermittelt. Im Projekt „Standardisierte Erhaltungsmassnahmen“ wurde ein Katalog von standardisierten Erhaltungsmassnahmen aufgestellt. Neben den zu erwartenden Kosten wird dort jeweils der Einfluss einer Massnahme auf die einzelnen Zustandsindizes und auf die Verhaltensklasse angegeben. Für jeden Zustandsindex werden Verlaufskurven für den Strassenzustand definiert (Bild 3). Die Verlaufskurven repräsentieren die Verhaltensklassen V1 bis V4 und werden differenziert nach Art der Strasse (übergeordnete oder untergeordnete Strasse), Art des Oberbaus, Verkehrsbelastung und den klimatischen Verhält-



nissen. In Bild 4 ist der mögliche Zustandsverlauf für eine Kombination von Randbedingungen in Abhängigkeit von der Verhaltensklasse exemplarisch dargestellt.

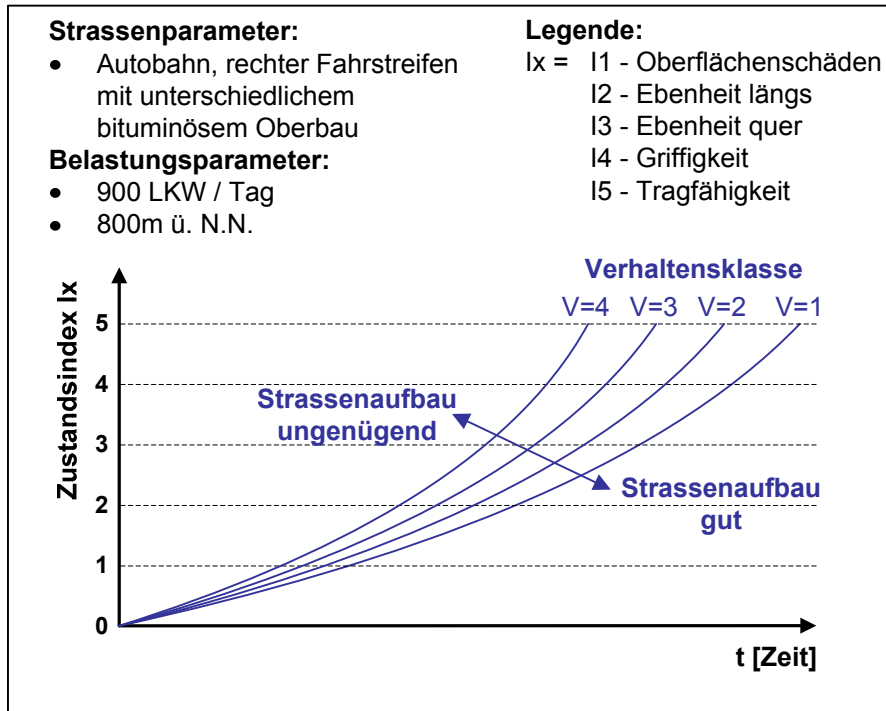


Bild 3: Verhaltensklassen-Zustandsentwicklung von unterschiedlichem Strassenaufbau bei gleicher Verkehrsbelastung (Beispiel)

Wird eine Erhaltungsmassnahme durchgeführt, so verbessern sich einzelne oder alle Zustandsindizes sowie eventuell auch die Verhaltensklasse (Bild 4).

Kleinere Massnahmen wie z.B. eine Oberflächenbehandlung haben demnach nur eine geringfügige Verbesserung einzelner Zustandsindizes zur Folge, während umfangreichere Massnahmen wie z.B. die Erneuerung des Oberbaus in allen Indizes den Neuzustand herstellen und zusätzlich eine Verbesserung der Verhaltensklasse bewirken.

In Bild 4 sind die Veränderungen der Zustandsindizes und der Verhaltensklasse bei zwei unterschiedlich umfangreichen Massnahmen dargestellt. Die zeitabhängigen Veränderungen der einzelnen Zustandsindizes zwischen den Massnahmen werden im weiteren Verlauf des Projekts durch empirisch gewonnene Verhaltensfunktionen ersetzt (Projekt „Schadensprozesse und Zustandsverläufe“).

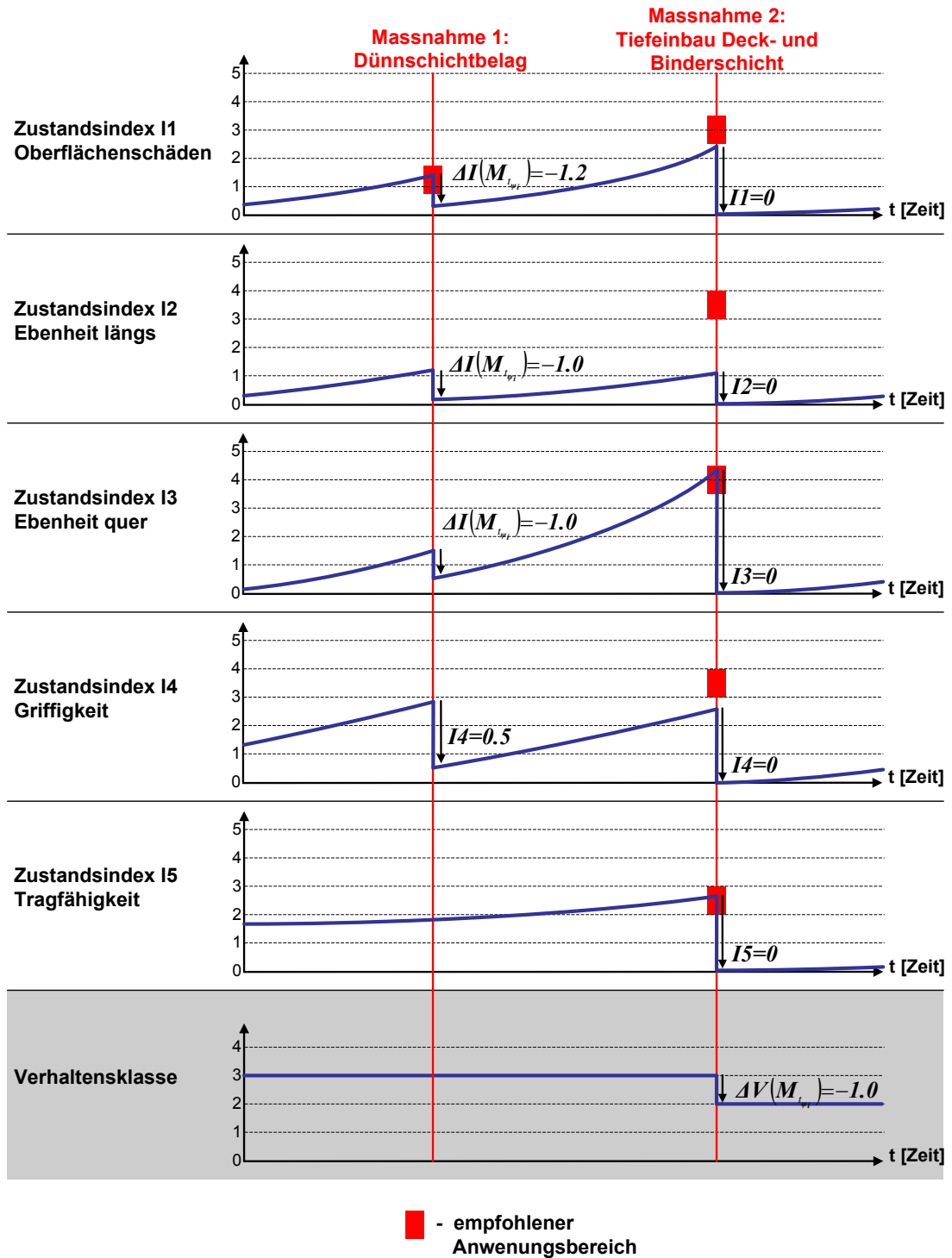


Bild 4: Zustandsentwicklung verschiedener Zustandsindizes (Ix) aufgrund der Verhaltensklasse sowie Auswirkung von Instandsetzungsmassnahme 1 und 2 auf die Zustandsbeurteilung (Ix) und Verhaltensklasse (V)

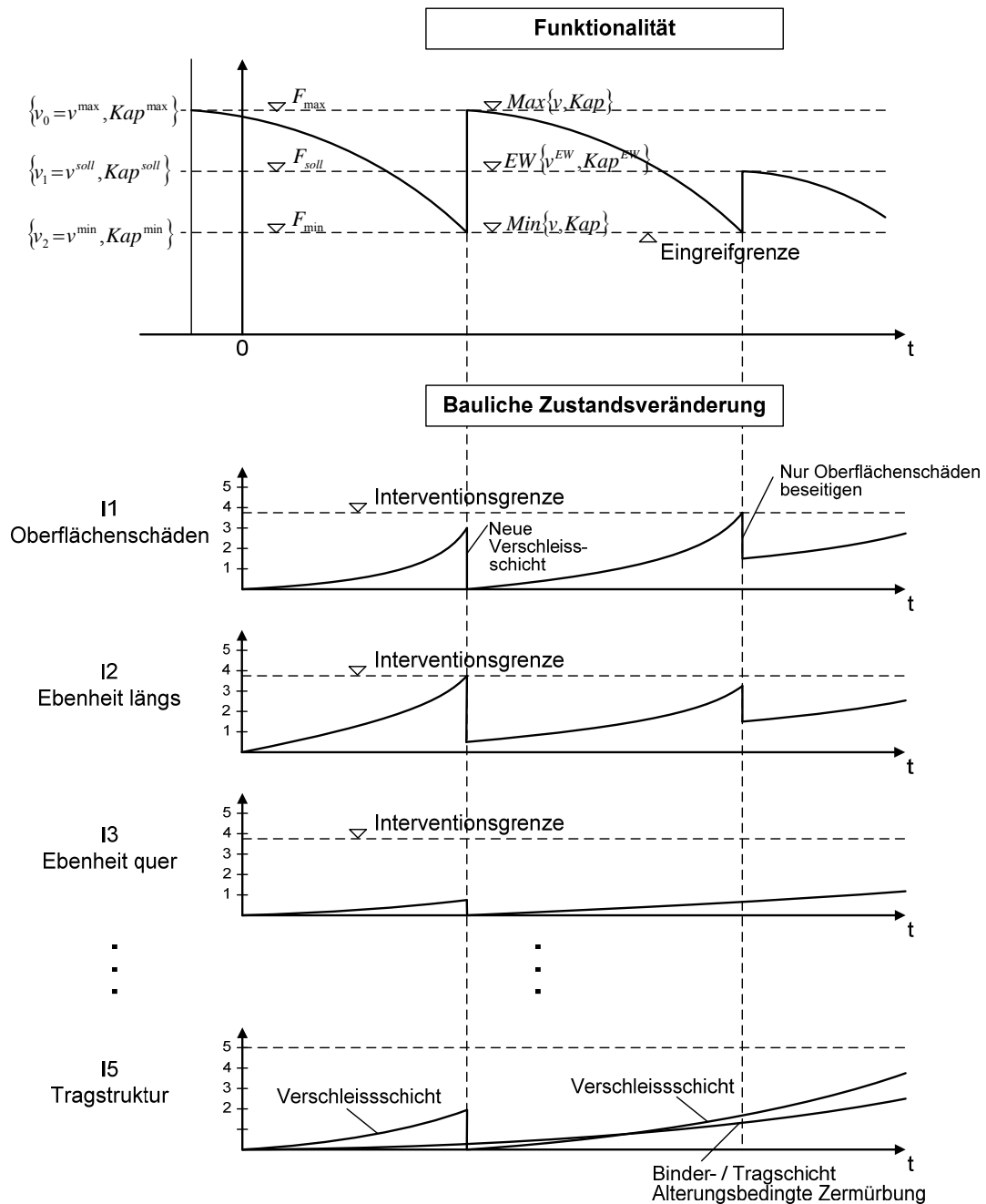
Bild 5: Funktionalität  $F(t)$  in Abhängigkeit von den Interventionsgrenzen der Zustandsindikatoren  $I_x$ 

Bild 5 zeigt auf, wie sich die Funktionalität eines Strassennetzes oder Strassenabschnitts durch die Veränderung des Strassenzustands aufgrund verschiedener Schadenseinflussfaktoren  $I_x$  verändert. Die Funktionalität mit Elementen der Gebrauchstauglichkeit und Sicherheit ausgedrückt, z.B. durch die Parameter Geschwindigkeit oder Kapazität, kann durch Oberflächenschäden und / oder Ebenheitsveränderungen gleichermassen beeinträchtigt werden. Die Funktionalitätseinschränkungen werden durch Oberflächenveränderungen bewirkt, die Tragstruktur verändert sich dagegen bei richtiger Bemessung sehr langsam.

## 2.5 LC-Strategieplanung

Die LC-Unterhaltsstrategie für ein Strassennetz oder einen Netzabschnitt ergibt sich aus der externen und internen Willensbildung [2]. Die externen Bedingungen, die die Strategie beeinflussen, ergeben sich aus (Bild 6)

- politischen (transnational, national, regional),
- volkswirtschaftlichen und regionalwirtschaftlichen sowie
- ökologischen

Anforderungen.

Die internen Bedingungen, die die Strategie beeinflussen, ergeben sich aus (Bild 6)

- Budgetvorgaben,
- technischem und ökonomischem Know-how,
- Präferenzen der Entscheidungsträger.

Aufgrund dieser willensbildenden Vorgaben ergibt sich die Mission und Vision des Unterhaltsmanagements. Die Mission geht von der politischen und volkswirtschaftlichen Bedeutung sowie den Umweltaforderungen und Zielsetzungen für das jeweilige Strassennetz oder den Netzabschnitt aus und legt für den Unterhalt (Bild 6)

- die Dauer- und Mindestleistungsfähigkeit,
  - den Qualitäts- und Sicherheitsstandard sowie den Nutzungskomfort unter Betriebsbedingungen
  - sowie den Nutzungskomfort bei Störungen und Instandsetzungen
- fest.

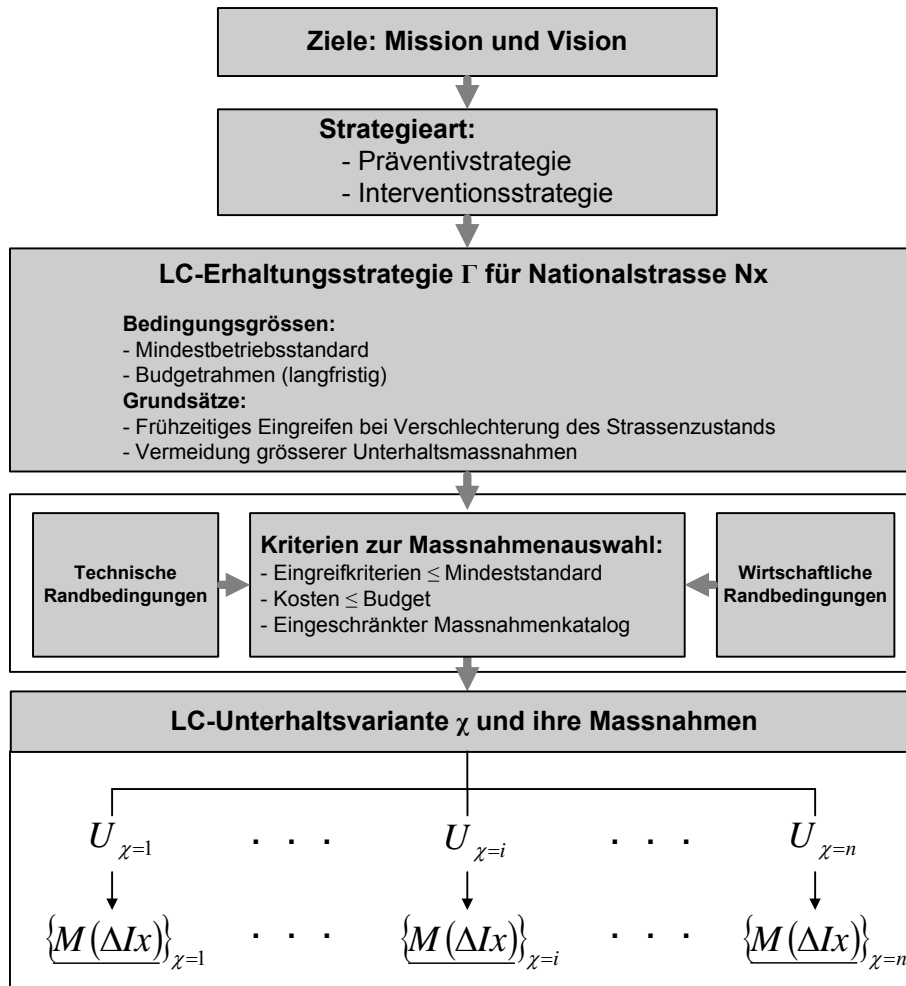


Bild 6: Konzept der LC-Strategiebildung  $\Gamma$  sowie der LC-Unterhaltsvarianten  $\chi$

Die Vision legt fest, wie diese Mission in der Zukunft in Ziele umgesetzt werden soll. Daher müssen Vorgaben quantifiziert formuliert werden, die dann mittels Strategieplanung umgesetzt werden. Zu diesen Zielen der Vision gehört u.a. (Bild 6):

- Erwartungsqualitätsniveau im Betrieb mit der Präventionsgrenze  $\{v_{Soll}^B, Kap_{Soll}^B\}$  und  $\{Ix\}_{Soll}$ , die in der Strategieplanung eingehalten werden sollten
- Mindestqualitätsniveau mit der Interventionsgrenze  $\{v_{Min}^B, Kap_{Min}^B\}$  und  $\{Ix\}_{Min}$  im Betrieb, die nicht unterschritten werden darf
- Mindestkomfortniveau  $\{v_{Min}^{St}, Kap_{Min}^{St}, T, f\}$  bei Störungen und Instandsetzungen

Um das Erwartungsqualitätsniveau und das Mindestqualitätsniveau zu definieren, müssen Schadensarten gebildet, Messgrößen zur Aufnahme der Schäden vor Ort definiert sowie eine Einordnung der Schadensmessgrößen in eine dimensionslose Skalierung vorgenommen werden. Dazu ist es erforderlich, die Schadensarten bei Strassendecken zu klassifizieren in:

$$\{\Phi\} = \{\varphi_1(t); \varphi_2(t); \varphi_3(t); \varphi_4(t); \varphi_5(t)\}$$

$\varphi_1$  = Oberflächenschäden

$\varphi_2$  = Längsebenheitsschäden

$\varphi_3 =$  Querebenheitsschäden

$\varphi_4 =$  Griffigkeitsschäden

$\varphi_5 =$  Tragfähigkeitsschäden

Diese Schadensarten werden über Messgrößen  $\gamma_i$  bewertet. Die Messgrößen werden dann dimensionslos skaliert zu  $I_x$ . Somit besteht folgender Zusammenhang:

$$\{\underline{\Phi}\} = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \\ \gamma_5 \end{bmatrix}_{[Dim]} \Rightarrow \begin{bmatrix} I1(t) \\ I2(t) \\ I3(t) \\ I4(t) \\ I5(t) \end{bmatrix}_{Skalierung\ 1 \leq I_x \leq 5} = \{\underline{I_x}\}$$

Die Schadensarten und ihre messbaren Größen verändern sich aufgrund der Verkehrsbelastung über die Zeit  $t$  und somit auch die dimensionslosen Zustandsgrößen  $I_x(t)$ .

Somit lassen sich die Grenzwerte für das Erwartungsniveau und Mindestqualitätsniveau für Geschwindigkeit, Kapazität, Fahrkomfort und Sicherheit wie folgt darstellen.

Erwartungsniveau – Sollfunktionalität (Bild 7):

$$(\underline{I_x})_{Soll} = \begin{bmatrix} I1_{Soll} \\ I2_{Soll} \\ I3_{Soll} \\ I4_{Soll} \end{bmatrix} \text{ bzw. } \begin{bmatrix} I1_{EW} \\ I2_{EW} \\ I3_{EW} \\ I4_{EW} \end{bmatrix}$$

Mindestqualitätsniveau – Mindestfunktionalität (Bild 7):

$$(\underline{I_x})_{Grenz} = \begin{bmatrix} I1_{Max} \\ I2_{Max} \\ I3_{Max} \\ I4_{Max} \end{bmatrix} = (\underline{I_x})_{Max}$$

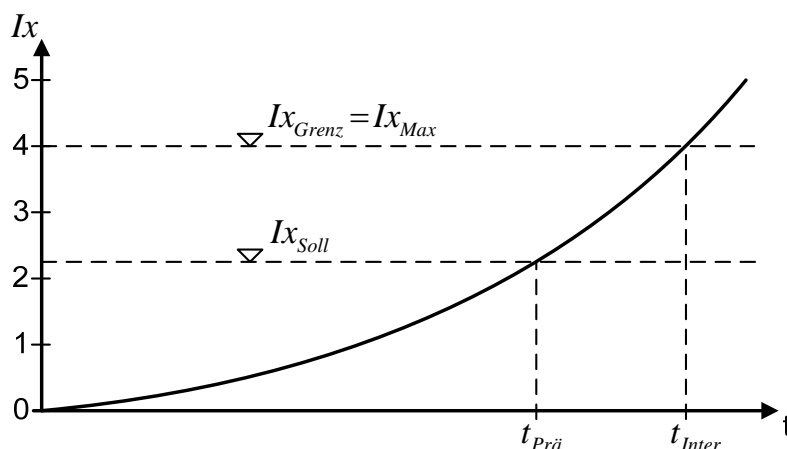


Bild 7: Zustandsgröße des Schadens und mögliche Grenzwerte für die Soll- und Mindestfunktionalität

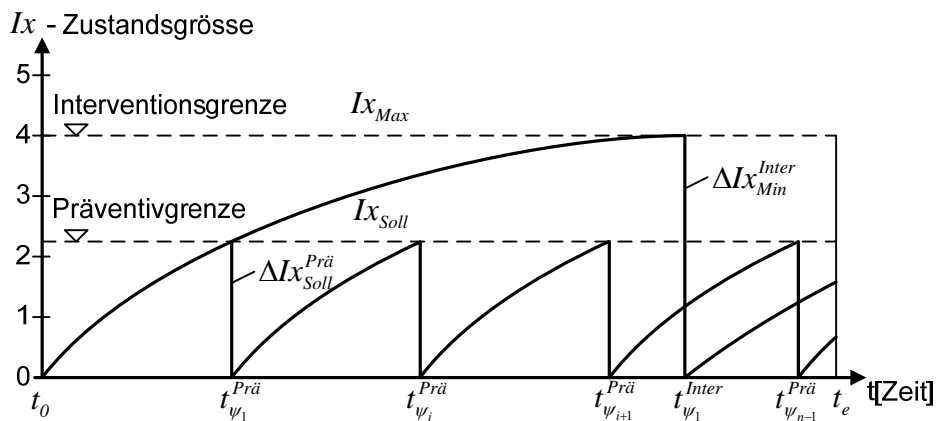


Bild 8: Wirkung von Präventiv- und Interventionsstrategie im zeitlichen Rahmen

Auf dieser Basis wird die Unterhaltsstrategie aufgebaut. Grundsätzlich unterscheidet man [40] folgende Unterhaltsstrategien im Anlagenbau, die auch auf den Strassenunterhalt im weitesten Sinn übertragen werden können (Bild 8):

- Präventivstrategie
- Interventionsstrategie

Die Präventivstrategie wird bereits bei Anzeichen von Schäden bzw. Komfortstörungen angewendet, die ein Erwartungsqualitätsniveau  $\{v_{EW}^B; Kap_{EW}^B\}$  bzw.  $\{v_{Soll}^B; Kap_{Soll}^B\}$  im Betrieb erreichen, z.B. durch Vorgaben über Oberflächenveränderungsgrenzwerte für

- kleine / mittlere Schäden  $(I1_{EW})$  bzw.  $(I1)_{Soll}$
- Griffigkeit  $(I4_{EW})$  bzw.  $(I4)_{Soll}$
- Ebenheit  $(I2_{EW}; I3_{EW})_{Soll}$  bzw.  $(I2_{Soll}; I3_{Soll})_{Soll}$

Die Interventionsstrategie wird erst angewendet, wenn der Mindeststandard für Qualität, Komfort oder Sicherheit  $\{v_{Min}^B; Kap_{Min}^B\}$  des Strassennetzes bzw. Netzabschnitts erreicht wird. Vorher finden quasi keine Instandsetzungs- oder Erneuerungsmassnahmen statt. Die Grenzwerte für Oberflächen- und Tragfähigkeitsveränderungen sind dann wie folgt:

$$\{Ix\}_{Max} = \{I1_{Max}; I2_{Max}; I3_{Max}; I4_{Max}; I5_{Max}\}$$

Beide Strategien sagen noch nichts über die Kurz- oder Langlebigkeit der Massnahmen aus. Allerdings führt die Interventionsstrategie (man macht möglichst lange nichts) mit kurzlebigen Massnahmen über längere Zeiträume zur möglichen Gebrauchsuntauglichkeit. Dies ist bei der Präventivstrategie mit langlebigen Massnahmen nicht der Fall (Bild 8).

Für die Präventiv- sowie für die Interventionsstrategie ist es sinnvoll, einen Mindestrücksetzwert  $\Delta Ix_{Min}^i$  für die jeweilige Zustandsgröße  $Ix$  bei Erreichen des Grenzwertes

$$F_{Grenz} = \{F_{Soll} \vee F_{Min}\} \vee Ix_{Grenz} \Big|_{x=1}^5 = \{Ix_{Soll} \vee Ix_{Max}\} \Big|_{x=1}^5$$

mit:

$$\{\underline{Ix}\}_{Grenz} = \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ \ddots \\ I5 \end{bmatrix}_{Soll}^{Präventiv} \vee \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ \ddots \\ I5 \end{bmatrix}_{Max}^{Intervention}$$

wie folgt zu definieren:

$$(\underline{\Delta Ix})_{Min} = \left\{ \{(\underline{\Delta Ix})_{Min}\}_{x=1}^5 \mid \{(\underline{\Delta Ix})_{Min}\}_{x=1}^5 = \{(\underline{\Delta Ix})_{Min}^{Soll}\} \vee \{(\underline{\Delta Ix})_{Min}^{Max}\} \right\}_{x=1}^5$$

$$(\underline{\Delta Ix})_{Min} = \begin{bmatrix} \Delta I1_{Min}^{Soll \vee Max} \\ \Delta I2_{Min}^{Soll \vee Max} \\ \Delta I3_{Min}^{Soll \vee Max} \\ \Delta I4_{Min}^{Soll \vee Max} \\ \Delta I5_{Min}^{Soll \vee Max} \end{bmatrix}_{1 \leq x \leq 5}$$

mit:  $Präventiv = Soll \wedge Intervention = Max$

## 2.6 LC-Unterhaltsvariantenbildung

Aufgrund der Vorgaben der Mission und Vision mit den langfristigen Zielen und der Strategie zur Umsetzung der Ziele erfolgt die Bildung der Massnahmenvarianten. Da die Unterhaltsstrategie aufgrund von einer Vielzahl von Massnahmenvarianten umgesetzt werden kann, ist ein systematisches analytisches Vorgehen notwendig, um aus der Vielzahl von Kombinationen die wirtschaftlich optimale Kombination mittels LC-KBW-StraUnt-Modell zu identifizieren. Für die Planung der Unterhaltsmassnahmen stehen umfangreiche Massnahmenkataloge [41], [20] zur Verfügung. Diese Massnahmen sollten für die Verbesserung der Zustandsgrössen  $\{I1; I2; I3; I4; I5\}$  sortiert werden. Somit kann man die Gesamtmassnahmen in spezifische Massnahmen zur Verbesserung der Zustandsgrössen oder Behebung der jeweiligen Schäden einordnen. Dabei werden Massnahmen  $\{Mx\}$  teilweise zur Verbesserung verschiedener Zustandsgrössen  $\{\underline{Ix}\}_i$  genutzt. Daher werden die gesamten Massnahmen  $\{M\}$  nach den spezifischen Zustandsveränderungen  $\Delta Ix_{Min}^i$  der jeweiligen Massnahme ( $Mx$ ) gegliedert:

$$\{\underline{M}\}_{Total} = \left\{ \{M1(\Delta I1^i)\}; \{M2(\Delta I2^i)\}; \{M3(\Delta I3^i)\}; \{M4(\Delta I4^i)\}; \{M5(\Delta I5^i)\} \right\}_{i=(Soll \vee Max)}$$

Es gilt ferner:

$$\{\underline{M}\}_{Total} \supset \left\{ \{Mx(\Delta Ix^i)\} \right\}_{i=(Soll \vee Max)}^5$$

Dabei gilt:

$$\{\underline{M1}\} \subset \{\underline{M2}\} \subset \{\underline{M3}\} \subset \{\underline{M4}\} \subset \{\underline{M5}\}$$

Die Massnahmenmatrizen  $\{\underline{Mx}\}$  zur Verbesserung der Zustandsgrössen  $\{\underline{Ix}\}_i$  um  $\Delta Ix_{Min}^i$  enthalten nur Massnahmen, die nach der festgelegten Strategie diesen Mindestrücksetzwert der Zustandsgrösse erzielen, um die Gesamtfunktionalität auf das Erwar-



tungsqualitätsniveau, wenn nicht sogar auf  $Ix=0$ , zurückzuführen. Damit lassen sich die Massnahmen, die die strategischen Vorgaben  $\Gamma$  erfüllen, für die jeweiligen Zustandsverbesserungen (Mindestrücksetzwert)  $\Delta Ix_{Min}^i$  der Zustandsgrössen  $\{I1; \dots; I5\}$  wie folgt ordnen:

$$\Delta I1_{Min} : \left\{ \underline{M1}(\Delta I1_{Min}^i) \right\}_{i=(Soll \vee Max)} = \{m_1^1; m_2^1; \dots; m_{n1}^1\}_{i=(Soll \vee Max)}$$

$$\Delta I2_{Min} : \left\{ \underline{M2}(\Delta I2_{Min}^i) \right\}_{i=(Soll \vee Max)} = \{m_1^2; m_2^2; \dots; m_{n2}^2\}_{i=(Soll \vee Max)}$$

$$\Delta I3_{Min} : \left\{ \underline{M3}(\Delta I3_{Min}^i) \right\}_{i=(Soll \vee Max)} = \{m_1^3; m_2^3; \dots; m_{n3}^3\}_{i=(Soll \vee Max)}$$

$$\Delta I4_{Min} : \left\{ \underline{M4}(\Delta I4_{Min}^i) \right\}_{i=(Soll \vee Max)} = \{m_1^4; m_2^4; \dots; m_{n4}^4\}_{i=(Soll \vee Max)}$$

$$\Delta I5_{Min} : \left\{ \underline{M5}(\Delta I5_{Min}^i) \right\}_{i=(Soll \vee Max)} = \{m_1^5; m_2^5; \dots; m_{n5}^5\}_{i=(Soll \vee Max)}$$

Damit reduzieren sich die Massnahmen für die gewählte Strategie  $\Gamma$  zu:

$$\left\{ \underline{Mx}(\Delta Ix_{Min}^i) \right\}_{i=(Soll \vee Max)}^5 \subset \{ \underline{M} \}_{Total}$$

Mit diesen auf die gewählte Strategie  $\Gamma$  abgestimmten Massnahmen, die die Mindestkriterien erfüllen, können nun die Unterhaltsvarianten  $\chi$  der Strategie  $\Gamma$  entwickelt werden. Das Vorgehen bezüglich der Entwicklung der Unterhaltsvarianten  $\chi$  ist wie folgt (Bild 1 und Bild 6):

- Gemäss dem Verkehrsaufkommen sowie Verkehrsmix wird das Zustandsverhalten über die Zeit (t) der Zustandsgrössen  $\{I1; \dots; I5\}$  simuliert.
- Wird die Funktionalitätsgrenze (Bild 5) z.B.  $F_{Soll}$  oder  $F_{Min}$  durch eine der Zustandsgrössen  $Ix_{Grenz}$  mit  $Grenz = (Soll \vee Max)$  erreicht, so sind entsprechende Instandsetzungsmassnahmen  $\{ \underline{Mx} \}$  zu wählen.
- Die zu  $Ix_{Grenz}$  zugeordnete Massnahmenmatrix  $\{ \underline{Mx} \}$ , die die Strategie  $\Gamma$  erfüllt, bildet das Variantenpotenzial  $\chi$  für die jeweiligen Massnahmen  $m_i^x \Big|_{i=1}^{n_x}$ .
- Die gewählte Massnahme  $m_i^x(\Delta Ix_{Min}^i)$  beeinflusst nun ab dem Zeitpunkt  $t_{\psi_i}$  der Umsetzung der Massnahme wieder das Zustandsgrössenverhalten, bis wieder die Funktionalitätsgrenze  $F_{Grenz} = \{ F_{Soll} \vee F_{Min} \}$  zum Zeitpunkt  $t_{\psi_{i+1}}$  durch mindestens eine der Zustandsgrössen  $\{Ix\}_{Grenz}$  erreicht ist.
- Dann wird wieder eine Massnahme  $m_i^x \Big|_{i=1}^{n_x}$  ausgewählt.
- Dieser Iterationsprozess wird wie folgt durchgeführt:
- Das zeitliche Zustandsverhalten der Strasse vom Neuzustand bzw. vom Instandsetzungszeitpunkt  $t_{\psi_{i-1}}$  bis zum Zeitpunkt  $t_{\psi_i}$  der Funktionalitätsgrenze  $F_{Grenz} = \{Ix\}_{Grenz}$  wird durch die Haltbarkeitsdauer wie folgt ausgedrückt:

$$\Delta t_{\psi_i} = t_{\psi_i} - t_{\psi_{i-1}}$$

$$\Delta t_{\psi_i} (Ix_1 \rightarrow Ix_{Grenz}) = f(M + K; V_{Volumen}; V_{Mix}; U_{\chi})$$

- Feststellen der Funktionalitätsgrenze zum Zeitpunkt  $t_{\psi_i}$ :

$$F_{Grenz, t_{\psi_i}} = \left\{ F_{Grenz, t_{\psi_i}} \mid F_{Grenz, t_{\psi_i}} = Ix_{Grenz} = (I1_{Grenz} \vee I2_{Grenz} \vee I3_{Grenz} \vee I4_{Grenz} \vee I5_{Grenz}) \right\}$$

$$\text{mit: } F_{Grenz, t_{\psi_i}} = \{F_{Soll} \vee F_{Min}\}_{t_{\psi_i}}$$

Nach Feststellung der Zustandsgrösse  $Ix_{Grenz}$  oder Zustandsgrössen  $Ix_{Grenz, i} \Big|_{i=1}^n$  werden die möglichen Massnahmen bestimmt, die den Mindestrücksetzwert  $\Delta Ix_{Min}^i$  der Zustandsgrösse(n)  $Ix$  vom erreichten Zustandsgrenzwert  $Ix_{Grenz}$  der Funktionalität sicherstellen.

Der Rücksetzwert muss somit je nach Strategieforderung folgende Bedingung erfüllen:

$$\{Ix_1 \vee Ix_{Soll}\} = (Ix_{Grenz} - \Delta Ix_{Min}^i) \text{ mit: } (Grenz=i) = (Soll \vee Max)$$

- Auswahl der Massnahmen  $\{Mx\}$ , die die Rücksetzbedingung  $\{\Delta Ix_{Min}^i\}$  der Strategie  $\Gamma$  erfüllen:

$$\{Mx(\Delta Ix_{Min}^i)\}_{i=1}^n = \{m_i^x(\Delta Ix_{Min}^i)\}_{i=1}^{n_x}$$

$$\{Mx(\Delta Ix_{Min}^i)\}_{i=1}^n \subset \{Mx(\Delta Ix)\}$$

$$\text{mit: } i = (Soll \vee Max)$$

Dabei haben die einzelnen Massnahmen  $m_i^x$  neben ihrer Hauptwirkung auf die Zustandsgrösse  $Ix$  im Regelfall auch Rücksetzeffekte  $\Delta Iy_{Zurück}$  auf die anderen Zustandsgrössen:

$$\{Iy \text{ mit } y | y = Z^+ \text{ mit } 1 \leq y \leq 5 \text{ ohne } y = x\}$$

Somit wird durch die Massnahme

$$m_{\xi \vee \nu}^x(\Delta Ix_{Min}^i)$$

mit:

$$i = (Soll \vee Max) \wedge \xi = \text{Instandsetzungsmassnahmen} \wedge \nu = \text{Erneuerungsmassnahmen}$$

folgender Effekt auf die Zustandsgrössen  $\{Ix\}_{x=1}^5$  erzielt:

$$\{Ix_1 \vee Ix_{Soll}\}_{t_{\psi_i}^{Neu}} = (Ix_{t_{\psi_i}^-} - \Delta Ix_{Min}^i) \wedge Iy_{t_{\psi_i}^+}^{Neu} = Iy_{t_{\psi_i}^-} - \Delta Iy^i \text{ mit } y | y = Z^+ \text{ von } 1 \leq y \leq 5 \text{ ohne } y = x\}$$

Dieser Iterationsprozess wiederholt sich, wenn die Funktionalitätsgrenze  $F_{Grenz}$  wieder erreicht ist.

Da bei jeder Funktionalitätsgrenze  $F_{Grenz}$  nicht nur eine Massnahme  $m_i^x$  zur Verfügung steht, sondern  $n_x$ , entsteht eine Entscheidungsbaumstruktur (Bild 9), die sich bei jeder Entscheidungsstufe  $t_{\psi_i}$  weiter verästelt. Damit ergeben sich bei der Erreichung der Funktionalitätsgrenze für den jeweiligen Netzabschnitt folgende Unterhaltsvarianten  $\chi$  der Instandsetzung  $\xi$  oder Erneuerung  $\nu$ , die die Kriterien der Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  erfüllen:

$$\text{Unterhaltsvarianten } \chi: U_{\chi}(\Gamma) = \left\{ m_i^{x1} \Big|_{t_{\psi_1}}; m_j^{x2} \Big|_{t_{\psi_i}}; m_{k_1}^{x3} \Big|_{t_{\psi_j}}; \dots; m_{k_n}^{xn} \Big|_{t_{\psi_1, k_n-1}} \right\}_{\chi}$$

Die mittels Entscheidungsbaumverfahren entwickelten Unterhaltsvarianten  $\chi$  der Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  (Bild 9) müssen dann der systematischen Wirtschaftlichkeitsanalyse zugeführt werden.

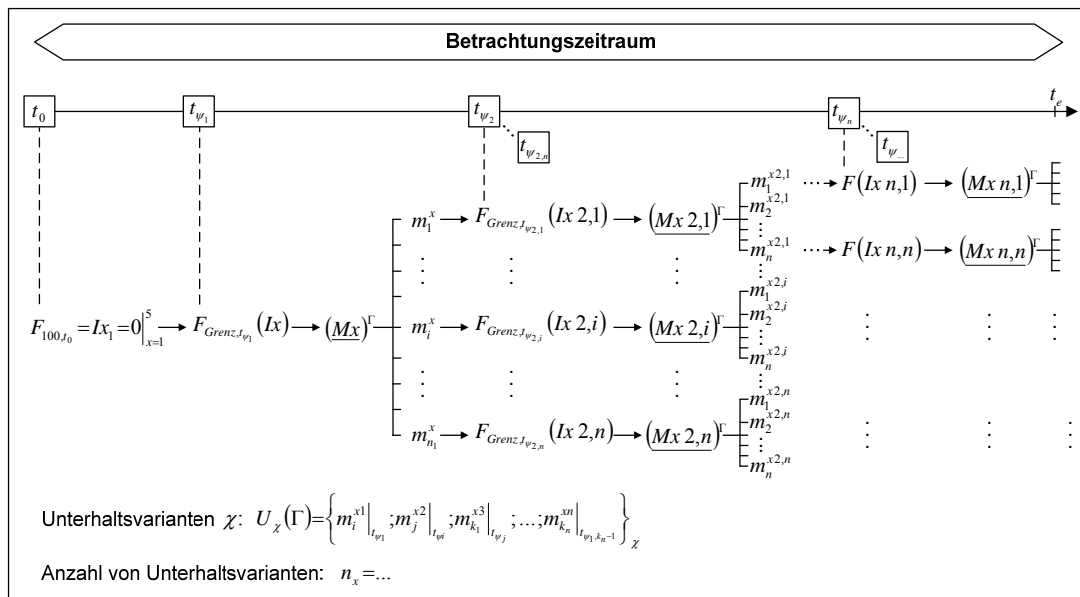


Bild 9: Entscheidungsbaumstruktur der Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  mit den Unterhaltsvarianten  $\chi$

Die Vielzahl der Varianten  $\chi$  stellt trotz grosser Rechenkapazität einen umfangreichen und zeitaufwendigen Analysevorgang zur Bestimmung der optimalen Unterhaltsstrategie  $U(\Gamma)_{Opt} = U^{Min}$  dar.

## 2.7 Fazit

In diesem Beitrag wurden die Grundlagen für die Entwicklung der LC-Unterhaltsstrategien und LC-Unterhaltsvarianten mit den dazugehörigen Massnahmen der Instandsetzung und Erneuerung gebildet. Damit erhält der Entscheidungsträger eine systematische Grundlage für die Entwicklung von Unterhaltsvarianten und für die lebenszyklusorientierte Planung von Massnahmen. In einem Folgebeitrag erfolgt die probabilistische, wirtschaftliche lebenszyklusorientierte Bewertung der Varianten unter Beachtung der Kosten der am Strassenverkehr direkt involvierten Stakeholder, um die optimale Unterhaltsvariante und die dazugehörigen Massnahmen nach dem ökonomischen Minimalprinzip zu ermitteln.

## 2.8 Formelzeichen

$\chi$	Unterhaltsvariante
$ix$	Zustandsindex $x$ ( $x=1,2,3,4,5$ )
$V$	Verhaltensklasse

$M_{t_{\psi_i}}$	Instandsetzungsmassnahme zum Zeitpunkt $t_{\psi_i}$
$Kap$	Kapazität
$v^i$	Geschwindigkeitsgrenze des Netzabschnitts mit $i = \{i = Min \vee i = Max \vee i = Soll \vee i = EW\}$
$Kap^i$	Kapazität / Verkehrsvolumen des Netzabschnitts mit $i = \{i = Min \vee i = Max \vee i = Soll \vee i = EW\}$
$F^i$	Funktionalität des Netzabschnitts mit $i = \{i = Min \vee i = Max \vee i = Soll \vee i = EW\}$
$F_{Grenz, t_{\psi_i}}$	Funktionalitätsgrenze zum Zeitpunkt $t_{\psi_i}$
$v_{Soll}^B$	Soll-Geschwindigkeitsgrenze im Betrieb
$Kap_{Soll}^B$	Soll-Kapazität im Betrieb
$v_{EW}^B$	Erwartungswert der Geschwindigkeit im Betrieb
$Kap_{EW}^B$	Erwartungswert der Kapazität im Betrieb
$v_{Min}^{St}$	Untere Geschwindigkeitsgrenze bei Störung und Instandsetzung
$Kap_{Min}^{St}$	Minimale Kapazität bei Störung und Instandsetzung
$\Gamma$	Unterhaltsstrategie
$f$	Frequenz der Instandsetzungsmassnahmen mit Störungen
$T$	Dauer der Instandsetzungsmassnahmen
$\{\Phi\}$	Vektor der Schadensarten $\varphi_i$
$\gamma_i$	Messgrösse zur Bewertung der Schadensarten $\varphi_i$
$(Ix)_i$	Vektor der Zustandsindizes $x$ mit $i = \{i = Soll \vee i = Grenz \vee i = Max\}$
$t_{Prä}$	Eingreifzeitpunkt bei der Präventivstrategie
$t_{Inter}$	Eingreifzeitpunkt bei der Interventionsstrategie
$\Delta Ix_{Soll}^{Prä}$	Verbesserung der Zustandsindizes $Ix$ von der Präventionsgrenze zum neuwertigen Zustand
$\Delta Ix_{Min}^{Inter}$	Verbesserung der Zustandsindizes $Ix$ von der Interventionsgrenze zum neuwertigen Zustand
$t_{\psi_i}$	Zeitpunkt der Instandsetzungsmassnahme $\psi_i$
$t_{\psi_i}^{Prä}$	Zeitpunkt der Instandsetzungsmassnahme $\psi_i$ der Präventivstrategie
$t_{\psi_i}^{Inter}$	Zeitpunkt der Instandsetzungsmassnahme $\psi_i$ der Interventionsstrategie
$t_0$	Startzeitpunkt der Betrachtung
$t_e$	Endzeitpunkt der Betrachtung
$t_B$	Bezugszeitpunkt
$\Delta Ix_{Min}^i$	Mindestrücksetzwert der Zustandsgrösse $Ix$ bezogen auf $i = Sollwert$ oder $i = Max-Wert$
$i = Soll$	Sollwert bei Präventivstrategie

$i = Max$	Max-Wert bei Interventionsstrategie
$F_{Grenz}$	Grenzwert der Funktionalität
$\{\underline{\Delta Ix}\}_{Min}^{Soll}$	Vektor der Mindestrücksetzwerte der Zustandsgrösse $Ix$ bei der Präventivstrategie
$\{\underline{\Delta Ix}\}_{Min}^{Max}$	Vektor der Mindestrücksetzwerte der Zustandsgrösse $Ix$ bei der Interventionsstrategie
$\{\underline{M}\}_{Total}$	Matrix aller Instandsetzungsmassnahmen
$\{\underline{Mx}(\underline{\Delta Ix})\}$	Massnahmenmatrix $\{\underline{Mx}\}$ zur Verbesserung der Zustandsgrösse $Ix$
$\{\underline{Mx}\}$	Massnahmenmatrix
$Ix_{Grenz}$	$Grenz = (Soll \vee Max)$
$m_i^x$	Massnahme $i$ zur Verbesserung der Zustandsgrösse $Ix$
$\{Ix\}_{Grenz}$	Grenzwerte für die Zustandsindizes $Ix$ mit $Grenz = (Soll \vee Max)$
$\{Ix\}_{Soll}$	Eingreifgrenze für die Zustandsindizes $Ix$ bei der Präventivstrategie
$\{Ix\}_{Max}$	Eingreifgrenze für die Zustandsindizes $Ix$ bei der Interventionsstrategie
$\Delta t_{\psi_i}$	Halbbarkeitsdauer der Massnahme $\psi_i$
$Ix_1$	Neuzustand oder Instandsetzungszustand
$M + K$	Material und Konstruktion
$V_{Volumen}$	Verkehrsvolumen
$V_{Mix}$	Verkehrsmix
$m_{\xi \vee \nu}^x$	Unterhaltsmassnahme zugeordnet zur Verbesserung des Instandsetzungsinde- x $x$ durch $\xi = Instandsetzungsmassnahme$ oder $\nu = Erneuerungsmassnahme$
$Iy_{t_{\psi_i}^+}$	Zustandsgrösse $Iy$ nach der Instandsetzung mit $m_{\xi \vee \nu}^x$ zum Zeitpunkt $t_{\psi_i}$
$Iy_{t_{\psi_i}^-}$	Zustandsgrösse $Iy$ vor der Instandsetzung zum Zeitpunkt $t_{\psi_i}$
$Ix_1$	Zustandsindex nach Durchführung der Massnahme bei der Interventionsstrategie
$t_{\psi_i}^+$	Zeitpunkt nach dem Zeitpunkt $t_{\psi_i}$
$t_{\psi_i}^-$	Zeitpunkt vor dem Zeitpunkt $t_{\psi_i}$
$Ix_{t_{\psi_i}^-}$	Zustandsgrösse $Ix$ vor der Instandsetzung zum Zeitpunkt $t_{\psi_i}$
$Ix_{t_{\psi_i}^+}$	Zustandsgrösse $Ix$ nach der Instandsetzung zum Zeitpunkt $t_{\psi_i}$
$\Delta Ix_{min}$	Mindestrücksetzwert der Zustandsgrösse $Ix$
$\Delta Iy$	Veränderung des Zustandsindex $Iy$
$\Delta Iy_{Zurück}$	Rücksetzeffekt auf den Zustandsindex $Iy$
$n_x$	Anzahl der möglichen Massnahmen bei der Funktionalitätsgrenze $F_{Grenz}$
$U_{\chi}$	Unterhaltsvariante $\chi$

$U_\chi(\Gamma)$	Unterhaltsvariante $\chi$ der Strategie $\Gamma$
$M_{ij}(Ix)$	Massnahme j der Unterhaltsvariante i zur Verbesserung des Index $Ix$
$KBW(U_\chi)$	Kosten-Barwert der Unterhaltsvariante $\chi$
$\Delta KBW(U^{Min})$	Zusatzkosten im Vergleich zur optimalen Unterhaltsvariante
$A_j^i$	Zustandsbereich j der Fahrbahn i
$\Delta I(M_{\psi_i})$	Zustandsveränderung durch die Massnahme $\psi_i$
$\Delta V(M_{\psi_i})$	Veränderung der Verhaltensklasse durch die Massnahme $\psi_i$

## 2.9 Literatur

- [1] *Girmscheid G*: Projektabwicklung in der Bauwirtschaft - Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. Springer Verlag, Berlin, 2004.
- [2] *Girmscheid, G.*: Strategisches Bauunternehmensmanagement. Springer Verlag, Berlin, 2006.
- [3] *Girmscheid G*: Angebots- und Ausführungsmanagement – Leitfaden für Bauunternehmen. Springer Verlag, Berlin, 2004.
- [4] *Girmscheid, G.*: NPV-Wirtschaftlichkeitsanalysemodell - Lebenszyklusbetrachtung von kommunalen Strassenunterhalts-PPPs. In: Bauingenieur, Band 81, H. 10/2006, S. 455-463.
- [5] *Girmscheid, G.*: Risikobasiertes probabilistisches LC-NPV-Modell - Bewertung alternativer baulicher Lösungen. In: Bauingenieur, Band 81, H. 09/2006, S. 394-405
- [6] EN 13306, Begriffe der Instandsetzung. Beuth Verlag, Berlin, 2001.
- [7] SN 469, Erhaltung von Bauwerken. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur, 1997.
- [8] DIN 31051, Grundlagen der Instandhaltung. Beuth Verlag, Berlin, 2001.
- [9] SN 640900a, Erhaltungsmanagement (EM), Grundnorm. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur, 2004.
- [10] SN 640925b, Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen (EMF), Zustandserhebung und Indexbewertung. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur, 2003.
- [11] SN 640904, Erhaltungsmanagement (EM), Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen: Substanz- und Gebrauchswerte. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur, 2003.
- [12] *Rafi, A.-A.; Scazziga, I.; Lindenmann, H. P.*: Erhaltungsmanagement: Gesamtbewertung der Fahrbahnen, Substanz- und Gebrauchswert. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, Bern, 2006.

- [13] SN 640730b, Erhaltung von Fahrbahnen, Kopfnorm; Massnahmenkonzept. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 1998.
- [14] SN 640731b, Erhaltung bitumenhaltiger Oberbauten. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 2001.
- [15] SN 640733b, Erhaltung von Fahrbahnen, Oberbauverstärkung von Fahrbahnen in bituminöser Bauweise aufgrund von Deflektionsmessungen. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 1997.
- [16] SN 640735b, Erhaltung Erhaltung von Betonbelägen. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 1996.
- [17] SN 640736a, Erhaltung Erhaltung von Betonbelägen, Instandsetzung und Verstärkung. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 2000.
- [18] SN 640908, Erhaltungsmanagement, Bewertung von Strassenabschnitten im Netz – Funktionelle Bewertung. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 1999.
- [19] *Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V.*: RPE-Stra 01, Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Strassenbefestigungen. Verlag der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., Köln, 2002.
- [20] *Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V.*: Systematik der Strassenerhaltung, Reihe R, Rechnergestützte Erhaltungsplanung für Fahrbahnbefestigungen. Verlag der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., Köln, 2001.
- [21] *Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V.*: Systematik der Strassenerhaltung, Reihe A, Auswertung. Verlag der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., Köln, 2001.
- [22] *Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V.*: Systematik der Strassenerhaltung, Reihe S, Substanzwert. Verlag der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., Köln, 2003.
- [23] *Rafi, A.-A.; Hajdin, R.; Welte, U.*: Optimierungsprozesse im Management der Strassenerhaltung (MSE). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, Bern, 2005.
- [24] SN 640907, Erhaltungsmanagement (EM), Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 2003.
- [25] SN 641820, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, Grundnorm. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 2006.
- [26] SN 640931, Erhaltungsmanagement, Erhaltungsstrategien für Fahrbahnen. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 1990.
- [27] SN 640901, Zielsystem. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 2000.

- [28] *Fuller, S. K.; Petersen, S. R.:* Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program. NIST Handbook 135, 1995 Edition, Gaithersburg, 1996.
- [29] *Hawk H.:* Bridge Life-Cycle Cost Analysis. NCHRP Report 483, Washington, 2003.
- [30] *Boussabaine, H.; Kirkham, R.:* Whole life-cycle costing: risk and risk responses. Blackwell Publishing, Oxford, 2004.
- [31] *Girmscheid, G.:* Prozessbasiertes Entscheidungsmodell für die Auswahl projektspezifischer Schalungssysteme - Teil 3: NPV-Wirtschaftlichkeitsanalyse von Bauhilfsmaterialien – Alternative Bereitstellung von Produktionseinrichtungen mit begrenzter Einsatzhäufigkeit. Forschungsbericht, IBB, ETH Zürich, 2006.
- [32] *Girmscheid, G.:* Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften. Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, 2004.
- [33] *Popper, K. R.:* Auf der Suche nach einer besseren Welt: Vorträge und Aufsätze aus 30 Jahren. Piper, München, Zürich, 2004.
- [34] *Weber, M., Winckelmann, J.:* Wirtschaft und Gesellschaft. Grundriss der verstehenden Soziologie. Mohr, Tübingen, 1990.
- [35] *Guba, E. G., Lincoln, Y. S.:* Competing paradigms in qualitative research. In: Denzin, N. K., and Lincoln, Y. S. (Hrsg.): Handbook of Qualitative Research. Thousand Oaks, Sage, 1994, S. 105-118.
- [36] *Glaserfeld von, E.:* Radikaler Konstruktivismus. Ideen, Ergebnisse, Probleme. Suhrkamp, Frankfurt a. M., 1998.
- [37] *Yin, R., K.:* Case study research: design and methods. Sage Publications, Inc., Thousands Oaks (USA), 1994.
- [38] *Boulding, K.:* General Systems Theory. In: General Systems, p. 11-17, 1956.
- [39] *Bertalanffy, L., von:* General System Theory, New York, 1968.
- [40] *Narayan, V.:* Effective Maintenance Management. Industrial Press Inc., New York, 2004.
- [41] *Gnehm, V.:* Standardisierte Erhaltungsmaßnahmen. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, Bern, unveröffentlicht.



## 3 Qualitative Entscheidungsfindung - Analytic Hierarchy Process (AHP)

### 3.1 Einleitung

Im Erhaltungsmanagement von Bauwerken, Strassen oder Ver- und Entsorgungsnetzen steht der Betreiber immer wieder vor dem Entscheidungsproblem, welche Erhaltungsmassnahme im konkreten Fall optimal ist und damit einen möglichst grossen Nutzen und möglichst geringe Kosten verursacht.

Idealerweise sind die einzelnen Entscheidungen über Erhaltungsmassnahmen in eine übergeordnete Erhaltungsstrategie eingeordnet. Die Strategie enthält Vorgaben zum angestrebten Zustandsniveau und definiert ausserdem eine Eingreifgrenze bei der spätestens eine Massnahme notwendig wird. Daraus ergeben sich im konkreten Fall Vorgaben über den Zeitpunkt wann eine Erhaltungsmassnahme notwendig wird. Für die Auswahl der dann auszuführenden Massnahme spielen neben den direkten Massnahmekosten meist auch diverse andere Faktoren, wie z.B. die Zustandsverbesserung, die Dauerhaftigkeit oder die Nutzungseinschränkung während der Massnahme, eine Rolle.

Für ein solches Entscheidungsproblem stehen verschiedene Lösungsansätze zur Verfügung. Diese lassen sich unterteilen in

- rein monetäre und
- nicht bzw. nur teilweise monetäre

Verfahren.

Die rein monetären Verfahren berücksichtigen ausschliesslich monetär bewertbare Grössen. Zu diesen Verfahren gehören sämtliche Verfahren der Wirtschaftlichkeitsanalyse, die entweder auf Kosten- oder auf Cash-Flow-Basis durchgeführt werden können. Diese Verfahren setzen allerdings voraus, dass sämtliche Einflussfaktoren auf die Entscheidungsfindung monetär ausgedrückt, d.h. in Geldeinheiten bewertbar, sind.

Die nicht monetären bzw. nur teilweise monetären Verfahren berücksichtigen zusätzlich zu den direkt entstehenden Cash-Flows auch weitere nicht monetäre Grössen, die in Form von Bewertungsfaktoren in die Betrachtung einfliessen. Das am meisten verbreitete Verfahren dieser Art ist die Nutzwertanalyse, die allerdings nur eindimensional auf einer Hierarchieebene einen Vergleich ermöglicht. Der Analytic Hierarchy Process erfordert grösseren mathematischen Aufwand, ermöglicht dafür aber den einfachen Vergleich komplexer Strukturen der Entscheidungsfindung. Er stellt daher eine Erweiterung der nicht monetären Verfahren auf komplexe hierarchische Entscheidungsprobleme dar, die mit der Nutzwertanalyse nur ungenügend beurteilt werden können.

### 3.2 Analytic Hierarchy Process (AHP) – Grundlagen

Die AHP-Methode wurde 1980 vom Mathematiker Thomas Saaty entwickelt (Saaty 1980) und kommt seither in viele praktischen Anwendungen zum Einsatz. Mit Hilfe der AHP-Methode lassen sich komplexe Entscheidungsprobleme mathematisch aus-

werten und zu einer rationalen Entscheidungsfindung führen. Dabei können monetäre, sonstige quantifizierbare Bewertungsgrößen (z.B. Bauzeit) oder auch nicht direkt quantifizierbare abstrakte Bewertungskriterien (z.B. Umweltbelastung) in die Entscheidungsfindung einbezogen werden.

Im Erhaltungsmanagement von Bauwerken können mit Hilfe der AHP-Methode beispielsweise verschiedene Erhaltungsmaßnahmen oder auch ganze Erhaltungsstrategien gegenübergestellt und verglichen werden.

Die Entscheidungsfindung mit der AHP-Methode erfolgt in zwei grundlegenden Schritten.

- Im ersten Schritt muss das Entscheidungsproblem definiert und strukturiert werden.
- Im zweiten Schritt erfolgt die Bewertung der Alternativen, die Auswertung sowie letztendlich die Entscheidungsfindung.

### **3.2.1 Definition des Entscheidungsproblems**

Ein Entscheidungsproblem, das mit Hilfe der AHP-Methode bewertet werden soll, muss zunächst strukturiert und hierarchisch gegliedert werden. Zunächst muss der Gegenstand der Untersuchung und das Ziel der Entscheidungsfindung definiert werden. Im Erhaltungsmanagement kann dies z.B. die Auswahl einer optimalen Erhaltungsmaßnahme sein. Allgemein können aber beliebige Entscheidungsprobleme, wie z.B. die Beschaffung eines Geräts oder die Auswahl eines Bauverfahrens bewertet werden.

Die Definition des Entscheidungsproblems gliedert sich in drei Teile:

- Zieldefinition
- Definition der Entscheidungskriterien
- Definition möglicher Alternativen

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

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

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

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

Kosten und Nutzen gehen sonst die Informationen über die absolute Grösse der einzelnen Anteile verloren.

### Hierarchische Struktur

Die hierarchische Struktur des Entscheidungsproblems setzt sich aus dem Ziel des Entscheidungsproblems, sowie den Bewertungskriterien, mit denen die Zielerreichung beurteilt wird, zusammen (Bild 1). Mit der AHP-Methode lassen sich beliebig strukturierte Probleme abbilden, bei denen beliebig viele Kriterien auf beliebigen Ebenen angeordnet sein können.

Für die Entscheidungsfindung werden die Handlungsoptionen auf der untersten Ebene der Struktur beurteilt und die Ergebnisse dann entsprechend der hierarchischen Beziehungen zwischen den Kriterien aggregiert, bis auf der obersten Ebene ein Bewertungsfaktor pro Handlungsoption die Gesamtbewertung darstellt. Für die Aggregation der Bewertungsfaktoren über die Hierarchiestufen müssen jeweils auf den einzelnen Ebenen der hierarchischen Struktur Gewichtungsfaktoren zwischen den einzelnen Kriterien festgelegt werden. Diese Gewichtungsfaktoren geben an, in welchem Verhältnis die Bewertungsfaktoren, die für die einzelnen Kriterien ermittelt wurden, in die Ermittlung des Bewertungsfaktors auf der nächst höheren Ebene eingehen.

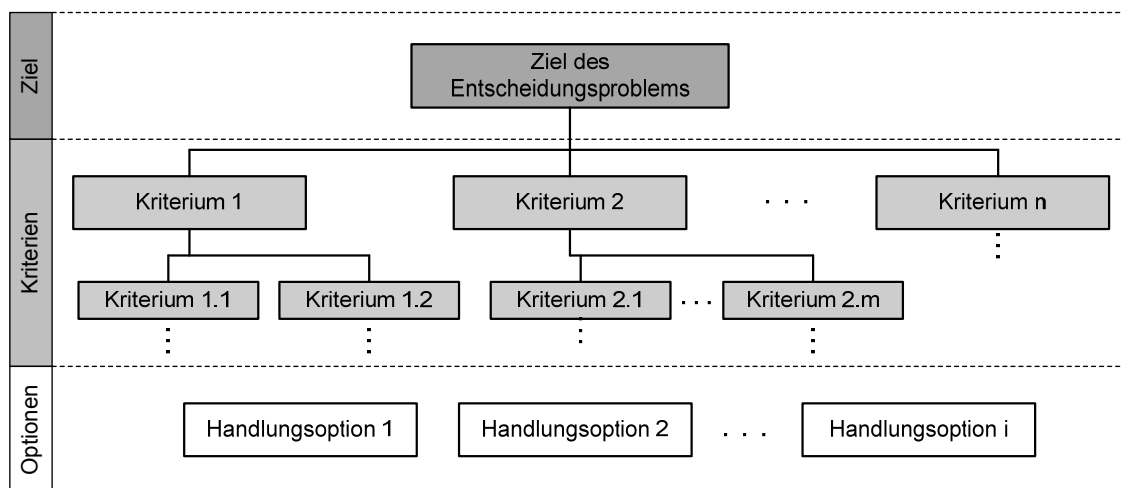


Bild 1: Allgemeiner Aufbau der hierarchischen Struktur eines Entscheidungsproblems

### Mathematische Herleitung des AHP-Verfahrens

1. Gewichtungsmatrixbildung der Gewichtungsfaktoren der Bewertungskriterien untereinander

$$\underline{G}^{rel} = \left( g_{jk}^{rel} \right) = \begin{pmatrix} 1 & g_{12}^{rel} & g_{13}^{rel} & \dots \\ g_{21}^{rel} = 1/g_{12}^{rel} & 1 & g_{23}^{rel} & \dots \\ g_{31}^{rel} = 1/g_{13}^{rel} & g_{23}^{rel} = 1/g_{23}^{rel} & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

## 2. Gewichtungseigenvektor – Diagonalisierung der Gewichtungsmatrix

$$\underline{y} = \underline{G}^{rel} \cdot \underline{x}$$

$$\underline{y} = \lambda \cdot \underline{x}$$

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

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} g_1^{abs} \\ g_2^{abs} \\ g_3^{abs} \\ \dots \end{pmatrix}$$

## 3. Vergleichsmatrix – Bewertung der Handlungsoptionen untereinander nach den Beurteilungskriterien.

Bildung der Vergleichsvektoren je Kriterium für die Handlungsoptionen untereinander.

Vergleichsmatrix:

$$\underline{N}^{abs} = \begin{bmatrix} v_1^{abs} & v_2^{abs} & v_3^{abs} & \dots \\ v_{1,1}^{abs} & v_{1,2}^{abs} & v_{1,3}^{abs} & \dots \\ v_{2,1}^{abs} & v_{2,2}^{abs} & v_{2,3}^{abs} & \dots \\ v_{3,1}^{abs} & v_{3,2}^{abs} & v_{3,3}^{abs} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

## 4. Entscheidungsfindung – Gesamtbewertung der Handlungsoptionen. Bewertungsvektor der Handlungsoptionen:

$$\underline{b} = \left( b_i^{gesamt} \right) = \left( g_i^{abs} \right)^T \cdot \underline{N}$$

$$\underline{b} = \left( g_1^{abs}, g_2^{abs}, g_3^{abs}, \dots \right) \cdot \begin{pmatrix} v_{1,1}^{abs} & v_{1,2}^{abs} & v_{1,3}^{abs} & \dots \\ v_{2,1}^{abs} & v_{2,2}^{abs} & v_{2,3}^{abs} & \dots \\ v_{3,1}^{abs} & v_{3,2}^{abs} & v_{3,3}^{abs} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} = \left( b_1^{ges}, b_2^{ges}, b_3^{ges}, \dots \right)$$

## 5. Optimale Handlungsalternative:

$$\underline{b}_{opt} = \left\{ b_{opt} \mid b_{opt} = \max \left( b_i^{ges} \mid_{i=1}^n \right) \right\}$$

$$\underline{b}_{opt} = \left\{ b_{opt} \mid b_{opt} = \max \left( b_1^{ges}, b_2^{ges}, b_3^{ges}, \dots \right) \right\}$$

**Gewichtung der Bewertungskriterien**

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

verschiedenen Handlungsoptionen an, wie die Bewertungsfaktoren auf den verschiedenen Ebenen gewichtet und auf der nächst höheren Ebene aggregiert werden.

### **Paarweiser Vergleich – relative Gewichtungsfaktoren**

Da die Festlegung sinnvoller und untereinander konsistenter Gewichtungsfaktoren bei einer grösseren Anzahl von Bewertungskriterien meist nicht in einem Schritt möglich ist, erfolgt die Definition der Gewichtungsfaktoren in zwei Schritten. Zunächst werden die verschiedenen Bewertungskriterien paarweise gegenübergestellt und damit die relativen Gewichtungsfaktoren zwischen je zwei Kriterien ermittelt. Auf diese Weise gestaltet sich die Gewichtung sehr viel einfacher, da zunächst immer nur zwei Kriterien  $K_i$  und  $K_j$  miteinander verglichen werden und ein relativer Gewichtungsfaktor  $g_{ij}^{rel} = 1/g_{ji}^{rel}$  zwischen diesen beiden Kriterien definiert wird. Eine solche Gegenüberstellung erfolgt für alle möglichen Kombinationen der zu bewertenden Kriterien. Die Ableitung der absoluten Gewichtungsfaktoren der Bewertungskriterien erfolgt dann erst in einem weiteren Schritt.

Für die Gewichtung wird eine Skala von eins bis neun gemäss Bild 2 verwendet. Wird der  $g_{ij}^{rel} = 1$  gewählt, so bedeutet dies eine Gewichtung der beiden Kriterien im Verhältnis 1:1. Es wird also beiden Kriterien i und j dieselbe Bedeutung zugeordnet. Wird dagegen  $g_{ij}^{rel} = 9$  gewählt, so werden die beiden Kriterien im Verhältnis 9:1 bewertet, es besteht also eine absolute Präferenz für das Kriterium i gegenüber dem Kriterium j.

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

Bild 2: Skala zur Gewichtung der Bewertungskriterien bzw. der Handlungsoptionen

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

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

Bild 3: Matrix des paarweisen Vergleichs aller Bewertungskriterien einer Hierarchiestufe

Aus dem paarweisen Vergleich aller Bewertungskriterien ergibt sich so die Matrix  $\underline{G}^{rel}$  der relativen Gewichtungsfaktoren:

$$\underline{G}^{rel} = \begin{pmatrix} g_{11}^{rel} & g_{12}^{rel} = \frac{1}{g_{21}^{rel}} & \dots \\ g_{21}^{rel} = \frac{1}{g_{12}^{rel}} & g_{22}^{rel} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

### **Berechnung der absoluten Gewichtungsfaktoren**

Die zuvor ermittelten relativen Gewichtungsfaktoren geben lediglich den Vergleich einzelner Bewertungskriterien untereinander an, ermöglichen aber noch keine absolute Gewichtung der Bewertungskriterien. Mit Hilfe des Eigenvektors der Matrix  $\underline{G}^{rel}$  lassen sich jedoch aus den relativen Gewichtungsfaktoren absolute Gewichtungsfaktoren für die Gesamtbewertung der verschiedenen Kriterien ableiten. Nach Saaty (Saaty 1980) stellt der Eigenvektor zum grössten Eigenwert der Matrix  $\underline{G}^{rel}$  der relativen Gewichtungsfaktoren eine gute Näherung für die absoluten Gewichtungsfaktoren dar.

### **Mathematische Grundlagen**

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

Daraus ergibt sich

$$\underline{G}^{rel} \cdot \underline{x} = \lambda \cdot \underline{x}$$

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

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

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

Es gilt also allgemein:

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

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

$$\underline{G}^{rel} \cdot \underline{x} = \lambda \cdot \underline{x}$$

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

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

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

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

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

Zu jedem Eigenwert lässt sich ein zugehöriger Eigenvektor der Matrix  $\underline{G}^{rel}$  bestimmen. Die gesuchte Lösung für die absoluten Gewichtungsfaktoren ist der zum grössten Eigenwert  $\lambda^{\max}$  gehörige Eigenvektor  $\underline{x}$  (Saaty 1980).

Den Eigenvektor  $\underline{x}$  erhält man durch einsetzen des Eigenwerts  $\lambda^{\max}$  in die oben stehende Formel

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

Dies ergibt ein lineares Gleichungssystem, dessen Lösung der gesuchte Eigenvektor  $\underline{x}$  ist.

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

### 3.2.2 Bewertung und Entscheidungsfindung

#### Bewertung der alternativen Handlungsoptionen

Nachdem im ersten Schritt die verschiedenen Bewertungskriterien untereinander gewichtet wurden, werden im nächsten Schritt die verschiedenen Handlungsoptionen gegenübergestellt. Die Bewertung erfolgt jeweils in Bezug auf die Bewertungskriterien.

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

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

- Mathematische Ableitung der Vergleichsfaktoren aus vorhandenem Datenmaterial

- Bestimmung der Vergleichsfaktoren aus einer paarweisen Gegenüberstellung der Handlungsoptionen analog zum Vorgehen bei der Gewichtung der Bewertungskriterien.

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

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

### **Gesamtbewertung der alternativen Erhaltungsmassnahmen**

Die Gesamtbewertung der zur Auswahl stehenden alternativen Erhaltungsmassnahmen ergibt sich aus der Kombination der im ersten Schritt definierten Gewichtungen der verschiedenen Bewertungskriterien und der Vergleichsfaktoren der alternativen Handlungsoptionen in Bezug auf die Bewertungskriterien.

Bild 4 zeigt die Aggregation der der Bewertungen einer Handlungsoption von der untersten Ebene, auf der die Bewertung zunächst erfolgt, auf die höheren Ebenen bis zur Gesamtbewertung der Zielerreichung.

Zunächst werden die Untervergleichsfaktoren  $v_{j,m,i}^{abs}$  der verschiedenen Handlungsoptionen  $i$  in Bezug zu den Kriterien  $m$  der untersten Hierarchieebene bestimmt. Diese werden dann unter Berücksichtigung der Untergewichtungsfaktoren  $g_{j,m}^{abs}$  der einzelnen Kriterien von Ebene zu Ebene aggregiert, bis am Ende die Gesamtbewertung  $b_i^{gesamt}$  der Handlungsoption auf der obersten Ebene der Hierarchie erreicht wird. Die Auswahl, welche Handlungsoption die optimale ist, erfolgt durch die Gegenüberstellung der Gesamtbewertungen  $b_i^{gesamt}$ .



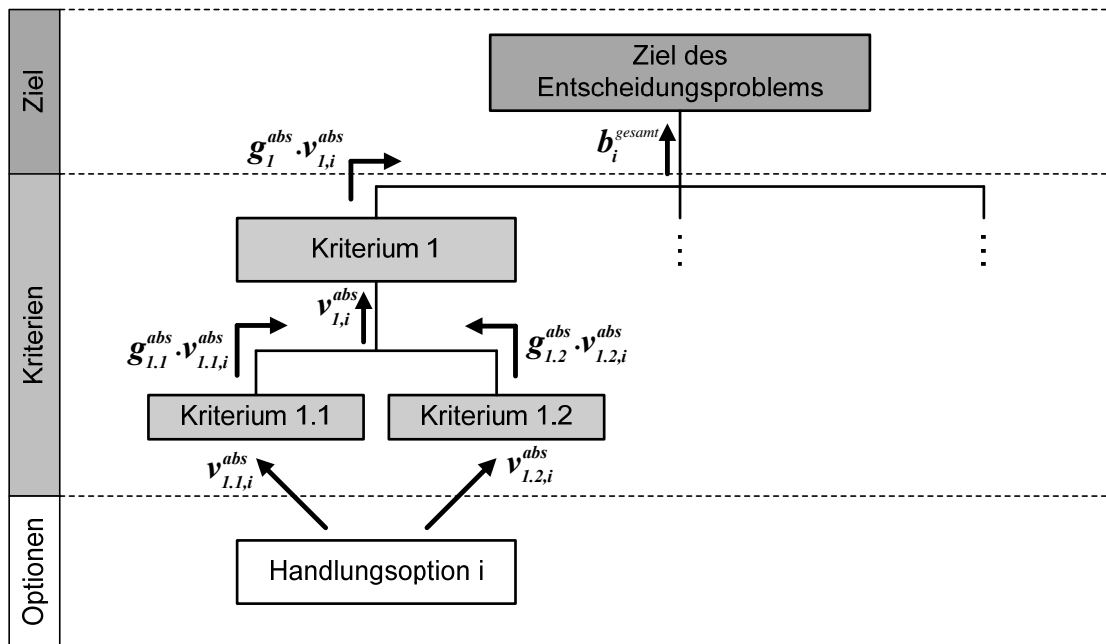


Bild 4: Ableitung der Gesamtbewertung einer Handlungsoption durch Aggregation der Bewertungsergebnisse über die verschiedenen Hierarchiestufen

Für die Berechnung des Hauptvergleichsfaktors  $v_{j,i}^{abs}$  einer Handlungsoption  $i$  zum Hauptbewertungskriterium  $j$  (Hauptkriterien) aus den Untervergleichsfaktoren der darunterliegenden Hierarchieebene  $j.m$  (Unterkriterium  $m$  zum Hauptkriterium  $j$ ) gilt:

$$v_{j,i}^{abs} = \sum_m g_{j,m}^{abs} \cdot v_{j,m,i}^{abs}$$

Auf der obersten Hierarchiestufe wird die Gesamtbewertung aus den Hauptbewertungskriterien  $j$  wie folgt berechnet:

$$b_i^{gesamt} = \sum_j g_j^{abs} \cdot v_{j,i}^{abs}$$

Die optimale Erhaltungsmassnahme ist die Massnahme mit dem maximalen Wert der Gesamtbewertung, d.h. es gilt:

$$b_i^{gesamt,opt} = \max(b_i^{gesamt})$$

### 3.3 Beispiel – Auswahl Erhaltungsmassnahme

Im Folgenden wird die AHP-Methode an einem Beispiel aus dem Erhaltungsmanagement eines Bauwerks vorgestellt. Es wird davon ausgegangen, dass im Entscheidungszeitpunkt Handlungsbedarf bezüglich des Zustands des Bauwerks besteht, d.h. es muss eine Erhaltungsmassnahme eingeplant werden. Mit Hilfe der AHP-Methode soll die optimale Massnahme zu diesem Zeitpunkt gefunden werden.

### 3.3.1 Definition des Entscheidungsproblems

Das Ziel der Entscheidungsfindung ist die Auswahl der unter den gegebenen Umständen und unter Berücksichtigung der entsprechenden Entscheidungskriterien optimalen Massnahme.

Folgende Entscheidungskriterien werden einbezogen:

- Kosten
- Zustandsverbesserung
- Dauerhaftigkeit
- Nutzungseinschränkung

Die gewählten Entscheidungskriterien stehen alle auf einer Hierarchieebene. Sie werden also unabhängig voneinander betrachtet und entsprechend ihrer Gewichtungsfaktoren in die Entscheidungsfindung einbezogen.

Als Handlungsoptionen werden drei Massnahmen unterschiedlichen Umfangs zur Auswahl gestellt (Bild 5):

- Massnahme 1 weist den geringsten Umfang der Arbeiten auf und führt nur zu einer oberflächlichen Verbesserung des Zustands. Allerdings weist diese Massnahme auch die geringsten Kosten auf.
- Massnahme 2 weist einen erhöhten Umfang auf und führt damit auch zu einer strukturellen Verbesserung des Zustands. Der grössere Umfang der Arbeiten führt aber zu höheren Kosten als bei Massnahme 1
- Massnahme 3 weist den grössten Umfang auf und entspricht einer Komplettsanierung des Bauwerks. Sie führt damit auch zu den höchsten Kosten.

	Kosten	Zustands- verbesserung	Wirkungs- zeitspanne	Nutzungs- einschränkung
<b>Massnahme 1:</b>	230'000 CHF	$\Delta I = -1.5$	$\Delta T = 8$ Jahre	gering
<b>Massnahme 2:</b>	310'000 CHF	$\Delta I = -2.5$	$\Delta T = 10$ Jahre	mässig
<b>Massnahme 3:</b>	350'000 CHF	$\Delta I = -3.0$	$\Delta T = 15$ Jahre	gross

Bild 5: Beschreibung der zur Auswahl stehenden Erhaltungsmassnahmen

Mit Hilfe der AHP-Methode soll aus den drei Massnahmen die für den vorliegenden Fall optimale Massnahme gefunden werden.

#### Hierarchische Struktur

Aus den oben beschriebenen Vorgaben ergibt sich die in Bild 6 dargestellte hierarchische Struktur des Entscheidungsproblems.

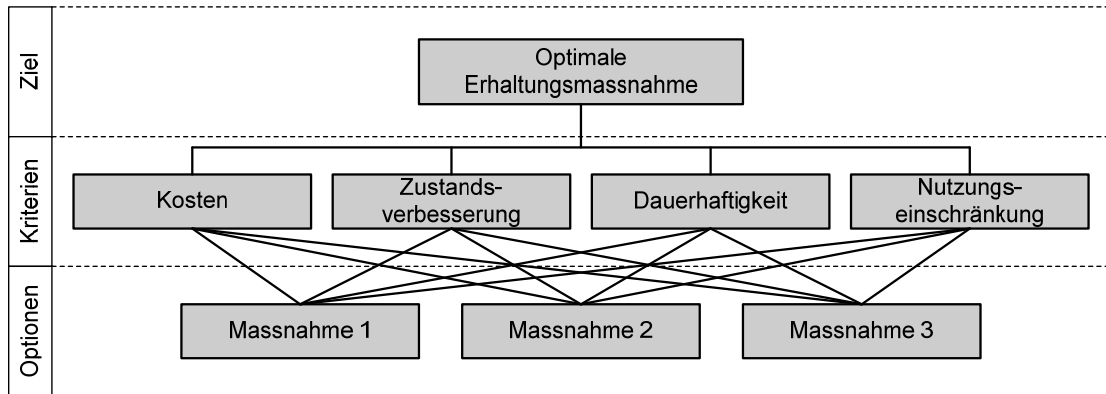


Bild 6: Hierarchische Struktur des Entscheidungsproblems im Beispiel

### Gewichtung der Bewertungskriterien

Zunächst wird die Gewichtung der Bewertungskriterien untereinander ermittelt. Dazu werden zunächst alle möglichen Kombinationen der Bewertungskriterien paarweise gegenübergestellt und relative Gewichtungsfaktoren festgelegt.

#### Paarweiser Vergleich – relative Gewichtungsfaktoren

Bild 7 und Bild 8 zeigen die Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Bewertungskriterien aus dem in Bild 6 dargestellten Beispiel. In Bild 7 ist die paarweise Gegenüberstellung der einzelnen Bewertungskriterien und die sich daraus ergebenden direkten Gewichtungsfaktoren  $g_{jk}^{rel}$  dargestellt. Aus diesen einzelnen Gegenüberstellungen ergibt sich dann die in Bild 8 dargestellte Matrix  $\underline{G}^{rel} = \left( \underline{g}_{jk}^{rel} \right)$  der Gewichtungsfaktoren.

Kosten : Zustandserbesserung	= 2 : 1	→	$g_{KZ}^{rel} = 2$
Kosten : Dauerhaftigkeit	= 2 : 1	→	$g_{KD}^{rel} = 2$
Kosten : Nutzungseinschränkung	= 7 : 1	→	$g_{KN}^{rel} = 7$
Zustandserbesserung : Dauerhaftigkeit	= 1 : 1	→	$g_{ZD}^{rel} = 1$
Zustandserbesserung : Nutzungseinschränkung	= 4 : 1	→	$g_{ZN}^{rel} = 4$
Dauerhaftigkeit : Nutzungseinschränkung	= 3 : 1	→	$g_{DN}^{rel} = 3$

Bild 7: Direkte Gewichtungsfaktoren  $g_{jk}^{rel}$  aus dem paarweisen Vergleich der einzelnen Bewertungskriterien  $K_n$

Kriterien	Kosten	Zustands- verbesserung	Dauerhaftigkeit	Nutzungs- einschränkung
Kosten	1	2	2	7
Zustands- verbesserung	1/2	1	1	4
Dauerhaftigkeit	1/2	1	1	3
Nutzungs- einschränkung	1/7	1/4	1/3	1

Bild 8: Matrix  $\underline{G}^{rel}$  der relativen Gewichtungsfaktoren  $g_{jk}^{rel}$  zwischen je zwei Bewertungskriterien j und k

### **Berechnung der absoluten Gewichtungsfaktoren**

Für das oben dargestellte konkrete Beispiel erfolgt die Berechnung des Eigenvektors und damit der globalen Gewichtungsfaktoren wie in Kapitel beschrieben.

Die Eigenwerte der Matrix  $\underline{G}^{rel}$  ergeben sich zu:

$$\underline{\lambda} = \begin{pmatrix} 4.0078 \\ 0 \\ -0.0039 + 0.1766 \cdot i \\ 0.1429 - 0.1766 \cdot i \end{pmatrix}$$

Der gesuchte Eigenwert ist der grösste Wert des Vektors  $\underline{\lambda}$ , d.h.  $\lambda = 4.0078$ .

Der Eigenvektor zu diesem Eigenwert ergibt sich zu:

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} 0.8107 \\ 0.4199 \\ 0.3908 \\ 0.1167 \end{pmatrix}$$

Normiert man diesen Eigenvektor, so erhält man die absoluten Gewichtungsfaktoren  $g_i^{abs}$  der Bewertungskriterien. Die Normierung erfolgt so, dass die Summe der einzelnen Vektorkomponenten gleich eins ist (Summe der Gewichtungen gleich 100%).

$$\underline{g}^{abs} = \begin{pmatrix} \frac{0.8107}{0.8107 + 0.4199 + 0.3908 + 0.1167} \\ \frac{0.4199}{0.8107 + 0.4199 + 0.3908 + 0.1167} \\ \frac{0.3908}{0.8107 + 0.4199 + 0.3908 + 0.1167} \\ \frac{0.1167}{0.8107 + 0.4199 + 0.3908 + 0.1167} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.47 \\ 0.24 \\ 0.22 \\ 0.07 \end{pmatrix}$$

Es ergeben sich also die in Bild 9 dargestellten absoluten Gewichtungsfaktoren der verschiedenen Bewertungskriterien.

Kosten	$g_K^{abs} = 0.47$	→	47 %
Zustandsverbesserung	$g_Z^{abs} = 0.24$	→	24 %
Dauerhaftigkeit	$g_D^{abs} = 0.22$	→	22 %
Nutzungseinschränkung	$g_N^{abs} = 0.07$	→	7 %

Bild 9: Absolute Gewichtungsfaktoren der verschiedenen Bewertungskriterien

### 3.3.2 Bewertung der alternativen Handlungsoptionen / Massnahmen nach Kriterien

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

#### Bewertung der möglichen Erhaltungsmassnahmen

Im Folgenden werden die alternativen Handlungsoptionen / Massnahmen mit den jeweiligen Kriterien untereinander betrachtet. Dazu werden die normierten Vergleichsfaktoren für die jeweiligen Kriterien gebildet.

##### **Bewertungskriterium Kosten**

Die Kosten der alternativen Handlungsoptionen / Massnahmen werden untereinander verglichen.

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

Bild 10 zeigt die im Beispiel zu erwartenden Kosten der zur Auswahl stehenden Erhaltungsmassnahmen.

Massnahme 1:	230'000 CHF
Massnahme 2:	310'000 CHF
Massnahme 3:	350'000 CHF

Bild 10: Kalkulierte Kosten der zur Auswahl stehenden Erhaltungsmassnahmen

Daraus ergibt sich der folgende Vektor der Vergleichskoeffizienten im Bezug auf die Kosten der drei zur Auswahl stehenden Massnahmen:

$$\underline{v}_K^{abs} = \begin{pmatrix} \frac{1}{230'000} / \left( \frac{1}{230'000} + \frac{1}{310'000} + \frac{1}{350'000} \right) \\ \frac{1}{310'000} / \left( \frac{1}{230'000} + \frac{1}{310'000} + \frac{1}{350'000} \right) \\ \frac{1}{350'000} / \left( \frac{1}{230'000} + \frac{1}{310'000} + \frac{1}{350'000} \right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.42 \\ 0.31 \\ 0.27 \end{pmatrix}$$

Es ergeben sich also folgende Vergleichsfaktoren in Bezug auf die Kosten:

$$\text{Massnahme 1: } v_{K,1}^{abs} = 0.42$$

$$\text{Massnahme 2: } v_{K,2}^{abs} = 0.31$$

$$\text{Massnahme 3: } v_{K,3}^{abs} = 0.27$$

### **Bewertungskriterium Zustandsverbesserung**

Die Bewertung der Zustandsverbesserung hängt davon ab, ob für das betrachtete Bauwerk oder Bauteil eine definierte Zustandsbewertung z.B. in Form von Zustandsindizes existiert oder nicht. Eine solche Bewertung in Form von Zustandsindizes existiert beispielsweise für den Strassenunterhalt in der entsprechenden Normung (SN 640925b 2003) aber auch für verschiedene Formen von Kunstbauten.

Wenn derartige Bewertungsindizes für die Zustandsbewertung zur Anwendung kommen, kann analog zur Betrachtung der Kosten, die Bewertung der Zustandsverbesserung bei den verschiedenen Handlungsoptionen direkt durch die Gegenüberstellung der Zustandsverbesserungen in den Zustandsindizes beschrieben werden.

Stehen derartige Bewertungsindizes nicht zur Verfügung, so muss eine Bewertung der verschiedenen Handlungsoptionen auf Grundlage der in Bild 2 gezeigten Bewertungsskala erfolgen. In diesem Fall muss von Experten abgeschätzt werden, ob die Zustandsverbesserung zweier Erhaltungsmassnahmen vergleichbar gross ist, bzw. ob eine der Massnahmen zu einer geringfügig oder auch deutlich grösseren Zustandsverbesserung führt. Dementsprechend sind dann den Massnahmen die Vergleichsfaktoren gemäss Bild 2 zuzuordnen.

Im Beispiel wird davon ausgegangen, dass der Zustand des betrachteten Bauwerks durch einen Zustandsindex  $I$  auf einer Skala von  $I = 0$  (sehr guter Zustand) bis  $I = 5$  (sehr schlechter Zustand) beschrieben werden kann. Auf Grundlage dieser Skale werden für die zur Auswahl stehenden Massnahmen die in Bild 11 gezeigten Zustandsverbesserungen  $\Delta I$  angenommen.

Massnahme 1:	$\Delta I = -1.5$
Massnahme 2:	$\Delta I = -2.5$
Massnahme 3:	$\Delta I = -3.0$

Bild 11: Zustandsverbesserungen der zur Auswahl stehenden Erhaltungsmassnahmen

Daraus ergibt sich der folgende normierte Bewertungsvektor im Bezug auf die Zustandsverbesserung bei den drei zur Auswahl stehenden Massnahmen:

$$\underline{v}_Z^{abs} = \begin{pmatrix} \frac{-1.5}{-1.5-2.5-3.0} \\ \frac{-2.5}{-1.5-2.5-3.0} \\ \frac{-3.0}{-1.5-2.5-3.0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.21 \\ 0.36 \\ 0.43 \end{pmatrix}$$

### **Bewertungskriterium Dauerhaftigkeit**

Auch beim Bewertungskriterium Dauerhaftigkeit besteht die Möglichkeit die Bewertung aus eventuell vorhandenen konkreten Daten (Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein 2004; Gnehm 2008) zur Dauerhaftigkeit einer Massnahme abzuleiten bzw. abzuschätzen oder, wenn solche Daten nicht vorhanden sind eine paarweise Gegenüberstellung der Massnahmen mit einer relativen Bewertung mit der Bewertungsskala gemäss Bild 2 durchzuführen.

Als Grundlage für eine datenbasierte Bewertung der Massnahmen können z.B. die aus Erfahrungswerten gewonnenen oder geschätzten Wirkungszeitspannen  $\Delta T$  der Massnahmen dienen. Die Wirkungszeitspanne beschreibt in diesem Fall den Zeitraum ab Durchführung der Massnahme bis zu dem Zeitpunkt, in dem der Zustand sich wieder bis zum Niveau vor der Massnahme verschlechtert hat und damit eine neue Massnahme fällig wird. Eine umfangreichere Massnahme, die auch zu einer strukturellen Verbesserung des Bauwerks führt, wird eine grössere Wirkungszeitspanne  $\Delta T$  aufweisen, als eine geringfügigere Massnahme.

Bild 12 zeigt die Wirkungszeitspannen der drei zur Auswahl stehenden Erhaltungsmassnahmen.

Massnahme 1:	$\Delta T = 8 \text{ Jahre}$
Massnahme 2:	$\Delta T = 10 \text{ Jahre}$
Massnahme 3:	$\Delta T = 15 \text{ Jahre}$

Bild 12: Wirkungszeitspannen der zur Auswahl stehenden Erhaltungsmassnahmen

Aus den Wirkungszeitspannen ergibt sich der normierte Vergleichsvektor in Bezug auf die Dauerhaftigkeit wie folgt:

$$\underline{v}_D^{abs} = \begin{pmatrix} \frac{8}{8+10+15} \\ \frac{10}{8+10+15} \\ \frac{15}{8+10+15} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.24 \\ 0.30 \\ 0.45 \end{pmatrix}$$

### **Bewertungskriterium Nutzungseinschränkung**

Die Nutzungseinschränkung, die während der verschiedenen möglichen Massnahmen im Betrieb des betrachteten Bauwerks entsteht, kann sich in verschiedenen Faktoren messen lassen. Eine Möglichkeit wäre die Dauer der Baumassnahmen, wobei allerdings auch der Umfang der Einschränkungen berücksichtigt werden muss. Im vorliegenden Beispiel wird davon ausgegangen, dass aufgrund eines stark unterschiedlichen Umfangs der Einschränkungen ein direkter Vergleich auf Basis der Dauer der Baumassnahmen nicht möglich ist.

Da auch sonst kein Datenmaterial, aus dem ein direkter Rückschluss auf die Bewertung der Nutzungseinschränkung möglich wäre, vorliegt, muss hier eine Abschätzung der Einschränkung durch paarweisen Vergleich der möglichen Massnahmen erfolgen. Es werden also jeweils zwei Massnahmen gegenübergestellt und die Unterschiede in der sich ergebenden Nutzungseinschränkung abgeschätzt werden.

### ***Paarweiser Vergleich der möglichen Erhaltungsmassnahmen***

Für die Bewertung der einzelnen Massnahmen bzw. der Unterschiede zwischen den Massnahmen, muss die Bewertungsskala aus Bild 2 entsprechend angepasst werden. Es wird weiterhin eine Skala von eins bis neun verwendet, allerdings mit angepassten Definitionen für die Koeffizienten (Bild 13). Da im AHP Verfahren immer positive Einflüsse mit hohen Koeffizienten bewertet werden, steht der höchste Koeffizient (neun) für die geringste Nutzungseinschränkung.

Vergleichskoeffizienten	Definition
1	Gleiche Einschränkung
3	Etwas geringere Einschränkung
5	Geringere Einschränkung
7	Viel geringere Einschränkung
9	Sehr viel geringere Einschränkung

Bild 13: Skala zur Bewertung Nutzungseinschränkung bei den verschiedenen Massnahmen

Bild 14 zeigt die paarweise Gegenüberstellung der drei zur Auswahl stehenden Erhaltungsmassnahmen in Bezug auf die Nutzungseinschränkung während der Massnahme. Entsprechend ihres geringeren Umfangs führt die Massnahme 1 zu geringeren Nutzungseinschränkungen als die beiden anderen Massnahmen. Massnahme 3 als umfangreichste Massnahme führt zu den grössten Nutzungseinschränkungen.

Massnahme 1 : Massnahme 2 <i>Etwas geringere Einschränkung bei Massnahme 1</i>	= 3 : 1	→ $v_{N,12}^{rel} = 3$
Massnahme 1 : Massnahme 3 <i>Deutlich geringere Einschränkung bei Massnahme 1</i>	= 7 : 1	→ $v_{N,13}^{rel} = 7$
Massnahme 2 : Massnahme 3 <i>Geringere Einschränkung bei Massnahme 2</i>	= 4 : 1	→ $v_{N,23}^{rel} = 4$

Bild 14: Paarweiser Vergleich der möglichen Erhaltungsmassnahmen in Bezug auf die Nutzungseinschränkung



Aus dem paarweisen Vergleich der Erhaltungsmassnahmen folgt die in Bild 15 dargestellte Matrix  $\underline{V}_N^{rel}$  der relativen Vergleichsfaktoren  $v_{ij}^{rel}$ .

	Massnahme 1	Massnahme 2	Massnahme 3
Massnahme 1	1	3	7
Massnahme 2	1 / 3	1	4
Massnahme 3	1 / 7	1 / 4	1

Bild 15: Matrix  $\underline{V}_N^{rel}$  der relativen Vergleichsfaktoren  $v_{ij}^{rel}$  zwischen je zwei Erhaltungsmassnahmen  $i$  und  $j$

### **Berechnung der absoluten Vergleichsfaktoren**

Die Berechnung der absoluten Vergleichsfaktoren  $v_{ij}^{abs}$  aus den relativen Vergleichsfaktoren  $v_{ij}^{rel}$  in der Matrix  $\underline{V}_N^{rel}$  erfolgt analog zum Vorgehen bei der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren der verschiedenen Bewertungskriterien (siehe Kapitel 3.3.1).

Es ergeben sich die folgenden Eigenwerte:

$$\underline{\lambda} = \begin{pmatrix} 3.0324 \\ -0.0162 + 0.3129 \cdot i \\ -0.0162 - 0.3129 \cdot i \end{pmatrix}$$

Der gesuchte Eigenwert ist der grösste Wert des Vektors  $\underline{\lambda}$ , d.h.  $\lambda = 3.0324$ .

Der Eigenvektor zu diesem Eigenwert ergibt sich zu:

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} 0.9232 \\ 0.3683 \\ 0.1102 \end{pmatrix}$$

Normiert man diesen Eigenvektor, so erhält man die absoluten Vergleichsfaktoren  $v_{N,i}^{abs}$  der Bewertungskriterien.

$$\underline{v}_N^{abs} = \begin{pmatrix} 0.66 \\ 0.26 \\ 0.08 \end{pmatrix}$$

### **3.3.3 Entscheidungsfindung**

Mit den Gewichtungsfaktoren  $g_i^{abs}$  der verschiedenen Bewertungskriterien und den Vergleichsfaktoren der Kriterien  $v_{ij}^{abs}$  der möglichen Erhaltungsmassnahmen untereinander, sind alle Grundlagen für die Entscheidungsfindung vorhanden. Im letzten Schritt der Entscheidungsfindung werden jetzt die Vergleichsfaktoren der jeweiligen

Massnahme mithilfe der Gewichtungsfaktoren zu einer Gesamtbewertung je Massnahme  $i$  zusammengeführt. Damit ergibt sich für jede Handlungsoption / Massnahme  $i$ , d.h. für jede Erhaltungsmassnahme eine Gesamtbewertung  $b_i^{gesamt}$ , die die Erreichung des Gesamtziels der Entscheidungsfindung bewertet.

Die Gesamtbewertungen der Erhaltungsmassnahmen  $i$  ergibt sich aus den Vergleichsfaktoren zu den verschiedenen Bewertungskriterien  $j$  wie folgt:

$$b_i^{gesamt} = \sum_j g_j^{abs} \cdot v_{j,i}^{abs}$$

Für die Massnahme 1 ergibt sich:

$$\begin{aligned} b_1^{gesamt} &= g_K^{abs} \cdot v_{K,1}^{abs} + g_Z^{abs} \cdot v_{Z,1}^{abs} + g_D^{abs} \cdot v_{D,1}^{abs} + g_N^{abs} \cdot v_{N,1}^{abs} \\ &= 0.47 \cdot 0.42 + 0.24 \cdot 0.21 + 0.22 \cdot 0.24 + 0.07 \cdot 0.66 \\ &= 0.35 \end{aligned}$$

Für die Massnahme 2 ergibt sich:

$$\begin{aligned} b_2^{gesamt} &= g_K^{abs} \cdot v_{K,2}^{abs} + g_Z^{abs} \cdot v_{Z,2}^{abs} + g_D^{abs} \cdot v_{D,2}^{abs} + g_N^{abs} \cdot v_{N,2}^{abs} \\ &= 0.47 \cdot 0.31 + 0.24 \cdot 0.36 + 0.22 \cdot 0.30 + 0.07 \cdot 0.26 \\ &= 0.32 \end{aligned}$$

Für die Massnahme 3 ergibt sich:

$$\begin{aligned} b_3^{gesamt} &= g_K^{abs} \cdot v_{K,3}^{abs} + g_Z^{abs} \cdot v_{Z,3}^{abs} + g_D^{abs} \cdot v_{D,3}^{abs} + g_N^{abs} \cdot v_{N,3}^{abs} \\ &= 0.47 \cdot 0.27 + 0.24 \cdot 0.43 + 0.22 \cdot 0.45 + 0.07 \cdot 0.08 \\ &= 0.33 \end{aligned}$$

Die optimale Erhaltungsmassnahme ergibt sich zu:

$$b_{opt}^{gesamt} = \max \left\{ b_i^{gesamt} \Big|_{i=1}^n \right\}$$

$$b_{opt}^{gesamt} = \left\{ b_{opt}^{gesamt} \mid b_{opt}^{gesamt} = \max \left\{ b_i^{gesamt} \Big|_{i=1}^n \right\} \right\}$$

Die optimale Erhaltungsmassnahme ist die Massnahme 1 mit der höchsten Gesamtbewertung  $b_i^{gesamt}$ . Daraus folgt, dass Massnahme 1 die Bewertungskriterien am besten erfüllt und die optimale Wahl darstellt.

### 3.4 Literaturverzeichnis

- [1] Gnehm, V. (2008). Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen, Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen.
- [2] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process planning, priority setting, resource allocation. New York a.o., McGraw-Hill.
- [3] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2004). Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau Leitfaden zur Anwendung der Norm SIA 480. Zürich, SIA.
- [4] SN 640925b (2003). Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF) - Zustandserhebung und Indexbewertung, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute.

## 4 Quantitative Entscheidungsfindung - Wirtschaftlichkeitsanalyse

### 4.1 Einleitung

Aufbauend auf der LC-Unterhaltsstrategieentwicklung  $\Gamma$  auf Netzebene und der LC-Unterhaltsvariantenbildung  $U_x$  mit den dazugehörigen Massnahmen [1], wird in diesem Beitrag das Lebenszyklus-Kosten-Barwert- (LC-KBW-) Entscheidungsmodell vorgestellt. Dieses LC-KBW-Entscheidungsmodell ermöglicht es den Entscheidungsträgern, die für die Stakeholder des Strassenverkehrs kostenminimale Variante für den Unterhalt zu identifizieren. Zudem ermöglicht das Modell, die finanziellen Auswirkungen von vorgezogenen und aufgeschobenen Instandsetzungsmassnahmen kostengmässig zu quantifizieren. Es bietet den Entscheidungsträgern die Möglichkeit, die langfristigen Konsequenzen, die mit Unsicherheiten verbunden sind, auf Netzebene probabilistisch zu simulieren.

### 4.2 Stand der Forschung

Der Stand der Forschung wurde bereits im Beitrag „Entscheidungsmodell – Lebenszyklusorientierte Strategiebildung und Unterhaltsvarianten für Strassennetze“ nicht nur für die Aspekte Strassenbeurteilung, Strassenzustandsentwicklung, Unterhaltsmassnahmen und Kosten von Massnahmen, sondern auch für LCC-Analysen untersucht. Besonders Analysemodelle im Hinblick zur Bewertung von Lebenszykluskosten von alternativen LC-Unterhaltsstrategien bzw. LC-Unterhaltsvarianten von Strassennetzen auf probabilistischer Basis mit klarer Systemabgrenzung bezüglich räumlicher, technischer, methodischer und finanztechnischer Bedingungsgrössen fehlen.

In diesem Beitrag wird das Konzept der LC-Unterhaltsstrategie- und LC-Unterhaltsvariantenbildung, das in [1] veröffentlicht wurde, durch ein probabilistisches LC-KBW-Entscheidungsmodell (Bild 1) ergänzt. Damit steht für die Entscheidungsträger ein Werkzeug zur finanziellen Beurteilung ihrer LC-Strassenunterhaltsstrategie zur Verfügung, unter Einbezug der direkt beteiligten Stakeholder der Strassennetze.

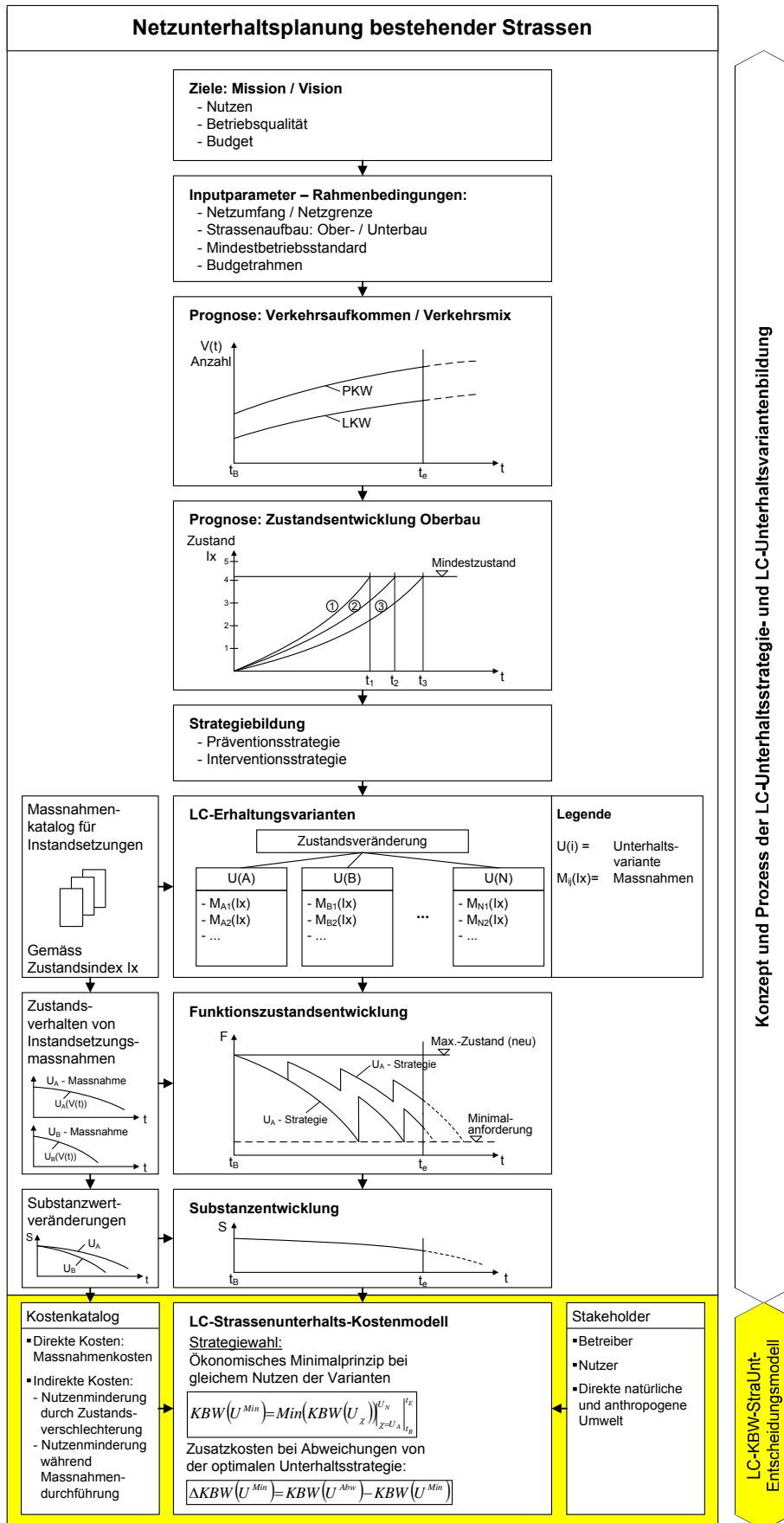


Bild 1: Prozess der LC-Strategieplanung eines Strassennetzunterhalts

### 4.3 Forschungsmethodik und Teilmodellansatz

Das LC-KBW-StraUnt-Modell basiert auf dem Konzept der LC-Unterhaltsstrategie- und LC-Unterhaltsvariantenbildung für Strassennetze und Netzabschnitte [1] sowie folgenden konstruktivistischen Ansätzen für das LC-KBW-Entscheidungsmodell:

- Stakeholderabgrenzung auf Betreiber, Nutzer und direkte natürliche Umwelt
- Ökonomisches Minimalprinzip, da ein Mindeststandard / Mindestnutzen vorgegeben wird
- Dynamische Kostenbetrachtung
- In diesem LC-KBW-StraUnt-Modell werden
- die räumlichen und zeitlichen Systemabgrenzungen klar definiert,
- unterschiedliche Zustandsentwicklungen der Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen berücksichtigt,
- Nutzenminderungen durch Zustandsentwicklungen (Ix) als Kosten der Stakeholder berücksichtigt,
- Unsicherheiten zukünftiger Zahlungsströme, Ausgaben- und Geldwertentwicklung durch probabilistische Ansätze und Simulationsmethoden berücksichtigt.

Für die Gestaltung des LC-KBW-StraUnt-Modells wird das konstruktivistische Forschungsparadigma angewendet [2]. Das LC-KBW-StraUnt-Modell wurde denklogisch-deduktiv konstruiert. Zur wissenschaftlichen Güteprüfung wird die Triangulation [3] herangezogen. Dazu wird das denklogisch-deduktive Modell in einen theoretischen Bezugsrahmen eingebettet und durch Realisierbarkeitstests auf die intendierte Input-Output- Beziehung überprüft [2].

Der theoretische Bezugsrahmen für das LC-KBW-StraUnt-Modell wurde zweistufig gewählt:

- Systemabgrenzung mittels Systemtheorie [4], [5] mit den räumlichen, inhaltlichen und zeitlichen Dimensionen
- Strukturierung mittels Finanz- und Entscheidungstheorien [6], [7] sowie Simulationstheorien [8].

### 4.4 Systemabgrenzung des LC-KBW-Entscheidungsmodells

Die Systemabgrenzung eines Modells ist die Grundaufgabe der Systemtheorie zur Gestaltung von Modellen [2]. Das LC-KBW-Entscheidungsmodell (Bild 1) ist durch folgende vier Dimensionen charakterisiert:

- Räumliche Dimension:
  - Räumliche Systemabgrenzung (Gegenstand: Netzraum und Strassenkörper)
- Inhaltliche Dimension:
  - Technische Systemabgrenzung (Instandhaltung: Zustandsentwicklung und Massnahmen)
  - Methodische Systemauswahl (Wirtschaftlichkeitsvergleichsmethode: statisch oder dynamisch)
  - Finanztechnische Systemauswahl (Rechnungswesenebene – Finanz- oder Kostenrechnung; Stakeholder Ausgaben- / Kostenstellen und Ausgaben- / Kostengruppen)

- Zeitliche Dimension:
  - Zeitliche, finanzielle Systemabgrenzung (Anfangs- und Endbewertung der Instandsetzungsvarianten)
- Budgetdimension
  - Vorgaben der öffentlichen Haushalte

#### **4.4.1 Räumliche Dimension**

Die räumliche Dimension ist identisch mit dem ersten Teil des Modells zur Bildung der LC-Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  und der LC-Unterhaltsvarianten  $\chi$  und wird in Netz (flächenhafte Ausdehnung) und vertikalen Aufbau des Strassenkörpers gegliedert. Dies wurde bereits im ersten Teil des Modells [1] beschrieben.

#### **4.4.2 Inhaltliche Dimension**

##### **Strassenzustandsentwicklung und Massnahmenkonzepte**

Die inhaltliche Dimension „Strassenzustandsentwicklung und Massnahmenkonzepte“ wurde bereits im Beitrag „Entscheidungsmodell – Lebenszyklusorientierte Strategiebildung und Unterhaltsvarianten für Strassennetze“ [1] erläutert und bildet die Basis dieses Teilmodells.

##### **Finanztechnische Systemauswahl**

###### ***Ebenen der Wirtschaftlichkeitsmethode***

Zunächst muss festgelegt werden, mit welcher Wirtschaftlichkeitsuntersuchungsmethode der Systemvergleich durchgeführt werden sollte. Da es sich um eine langfristige Strategieentscheidung handelt, ist es für private sowie für öffentliche Institutionen und Organisationen von grosser Bedeutung, den zeitlichen Anfall der Ausgaben bzw. Kosten zu berücksichtigen [6]. Zudem spielen die Preisentwicklung und die Geldwertentwicklung bei einer solchen langfristigen Betrachtung eine entscheidende Rolle. Daher muss bzw. sollte eine langfristige Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, wie es bei dem LC-KBW-Entscheidungsmodell der Fall ist, mittels dynamischem Net-Present-Value- oder Kosten-Barwert-Verfahren durchgeführt werden [9], [10].

###### ***Ebene des Rechnungswesens***

Die Entscheidung, auf welcher Ebene des Rechnungswesens die Entscheidungsanalyse mittels LC-KBW-Entscheidungsmodell durchgeführt wird, hängt von der Ausgaben- bzw. Kostenerfassung der Strassennetzbetreiber ab.

###### ***Stakeholderebene – Kostenträger***

Die im LC-KBW-Entscheidungsmodell berücksichtigten Stakeholder sind in zwiebelschalenförmigen Ebenen aufgebaut. Es werden die Kosten berücksichtigt, die im direkten Zusammenhang mit der Nutzung des Strassennetzes stehen.

Der Werteverzehr von folgenden Akteursgruppen wird bei der Analyse der Unterhaltsvarianten berücksichtigt:

- Betreiber

- Nutzer
- Dritte

Beim privaten wie öffentlichen Betreiber wird davon ausgegangen, dass dieser nicht Besitzer des Strassennetzes ist. Der Besitzer ist nach dieser Definition

- die Öffentlichkeit / der Staat oder
- die PPP-Projektgesellschaft.

Unabhängig davon, ob zwischen dem privaten oder öffentlichen Betreiber und dem Besitzer eine Gesellschaftsunion besteht, wird eine kostenmässige Trennung zwischen Besitzer und Betreiber vorgenommen. Es wird im LC-KBW-Entscheidungsmodell davon ausgegangen, dass der Betreiber ein neues oder bestehendes System übernimmt und für die Erhaltung der Funktionalität und Sicherheit und die Erhaltung der baulichen Substanz zuständig ist. Bei ihm fallen daher keine Ausgaben für die Erstellung an bzw. er braucht die Kosten des Strassensystems nicht abzuschreiben und keine Verzinsung vorzunehmen, da er die Strasse nicht besitzt, sondern nur betreibt, also die Strasse betriebsbereit auf einem definierten festgelegten Standard (Servicebetrieb) hält. Somit sind alle Massnahmen des Unterhalts, der Instandsetzung und Erneuerung keine Investitionen, sondern Kosten, d.h. Werteverzehr, die direkt am Zeitpunkt der Massnahme anfallen, also nicht abgeschrieben werden. Da die Kosten somit den Wertverzehr von Betreiber, Nutzer und Dritten abbilden, ist die Finanzperspektive vollumfassend für die vollständige finanzielle Analyse der Wirkung von Unterhaltsvarianten.

Diese Sichtweise hat wesentliche volkswirtschaftliche Aspekte. Zur wirtschaftlichen Bewertung einzelner Unterhaltsvarianten  $\chi$  werden daher folgende Stakeholder (Kostenträger) (Bild 2) und folgende Kostengruppen berücksichtigt:

- Kostenträger Strassenbetreiber
  - Kostengruppe – Unterhaltsmassnahmen
  - Kostengruppe – Erhöhter Unterhalt
- Kostenträger Strassennutzer
  - Kostengruppe – Reisezeitverlängerung, Arbeitszeitausfall etc.
  - Kostengruppe – Erhöhte Fahrzeugbetriebskosten
  - Kostengruppe – Erhöhte Unfallkosten (nur erhöhte)
- Kostenträger Dritte
  - Kostengruppe – Erhöhte Umweltkosten
  - Kostengruppe – Erhöhte Unfallkosten



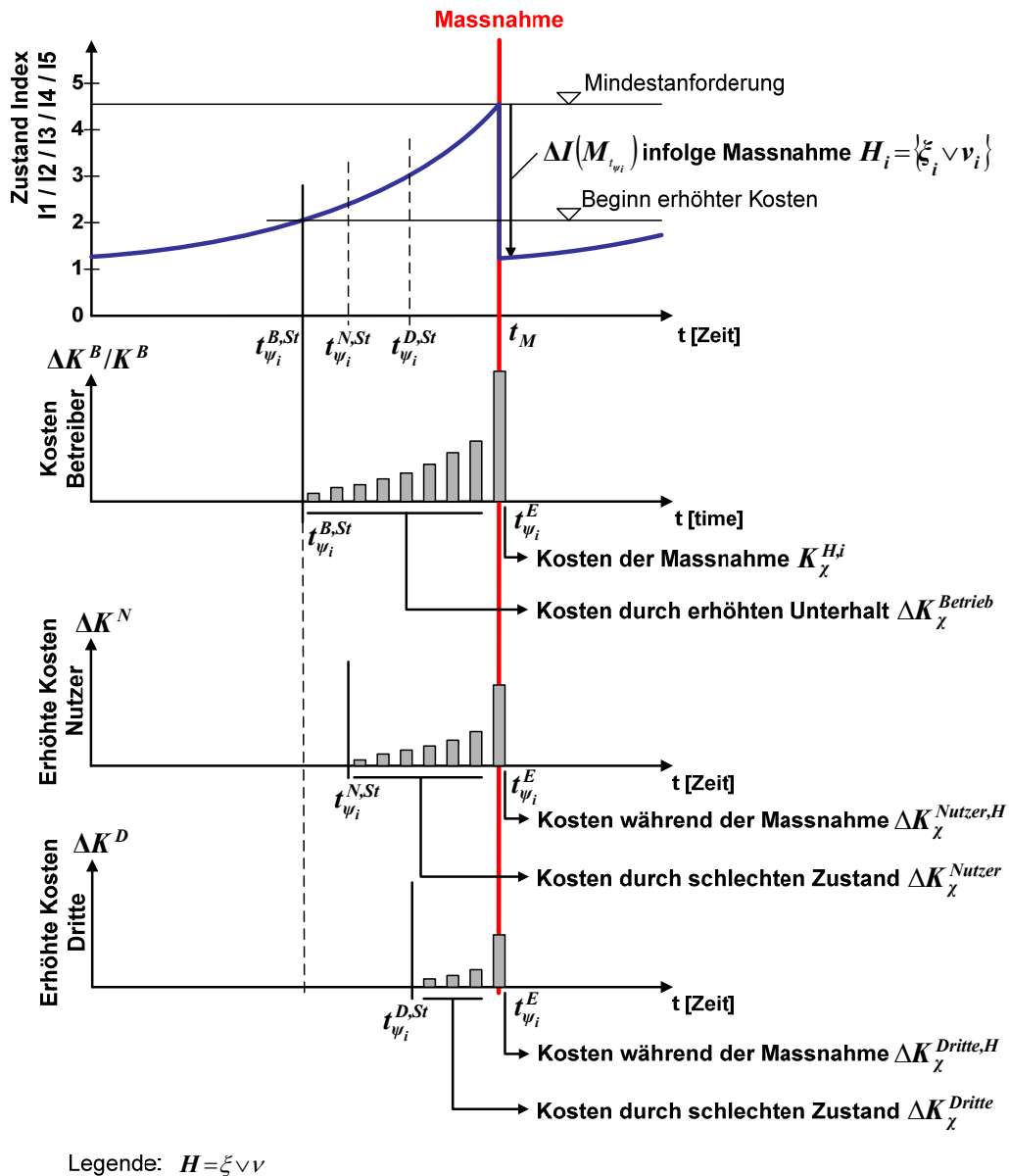


Bild 2: Kostenanteile in Abhängigkeit von Unterhaltmassnahmen und dem Strassenzustand

Die Kosten des Strassenbetreibers setzen sich somit aus den direkten Kosten der einzelnen Unterhaltmassnahmen  $K^M$  sowie den Kosten, die durch eine Erhöhung des Unterhaltsaufwands  $\Delta K$  bei schlechtem Strassenzustand entstehen, zusammen (Bild 2). Die normalen Kosten  $K_0$  des betrieblichen Unterhalts, die in jedem Fall anfallen, müssen nicht berücksichtigt werden, da sie für alle Unterhaltsvarianten in gleicher Höhe anfallen.

Die Kosten der Nutzer und Dritter werden somit nicht als Absolutwerte, sondern lediglich in Form der Erhöhung dieser Kosten  $\Delta K$  im Vergleich zu einem optimalen Strassenzustand, der den Entwurfparametern entspricht, berücksichtigt. Die berücksichtigten Kosten entsprechen also der Nutzenminderung durch eine Verschlechterung des Strassenzustands. Es wird also beispielsweise nur die Verlängerung der Reisezeit durch Geschwindigkeitsbeschränkungen, nicht aber die gesamte Reisezeit bewertet.

In Bild 2 sind die einzelnen Kostenkomponenten exemplarisch für einen möglichen zeitlichen Verlauf des Strassenzustands und eine Unterhaltmassnahme dargestellt.

### 4.4.3 Zeitliche Dimension

Für die verschiedenen LC-Unterhaltsvarianten  $\chi$  der LC-Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  muss ein einheitlicher zeitlicher Rahmen definiert werden, in dem die Kosten der Unterhaltsvarianten verglichen werden (Bild 3). Es ist also ein Startzeitpunkt  $t=t_B$  und ein Endzeitpunkt  $t=t_e$  festzulegen. Wichtig für die Vergleichbarkeit ist, dass jeweils im Anfangs- und im Endzeitpunkt bei allen Unterhaltsvarianten vergleichbare Bedingungen vorliegen. Im Anfangszeitpunkt ist diese Vorgabe immer erfüllt, da hier der zum Zeitpunkt  $t=t_B$  vorhandene Strassenzustand für alle Varianten des Unterhalts gleich ist. Durch unterschiedliche LC-Unterhaltstrategien und LC-Unterhaltsvarianten wird sich allerdings der Strassenzustand und damit auch der Substanz- bzw. Funktionalitätsgrad (Verhaltensklasse und Zustandsindizes) der Strassen über den Betrachtungszeitraum unterschiedlich entwickeln. Somit ist die Vergleichbarkeit im Endzeitpunkt zunächst nicht mehr gegeben, da unterschiedliche Substanz- und Funktionalitätsverluste der Strasse vorliegen (Bild 3). Der Funktionalitätsverlust  $\Delta F = f(I)$  kann durch geeignete Instandsetzungsmassnahmen  $\xi$  und Erneuerungsmassnahmen  $\nu$  wieder hergestellt werden; dabei wird teilweise auch der Substanzgrad um  $\Delta SW$  bzw. der bauliche Zustandswert um  $\Delta Z$  verbessert werden. Der Substanzgrad (Substanzwert)  $SW$  bzw. der bauliche Zustand  $Z_b^i$  kann z.B. am Ende der Gebrauchstauglichkeit durch eine Erneuerungsmassnahme  $\nu$  auf  $SW=100\%$  bzw.  $Z_b^i=100\%$  gebracht werden.

Daher wird im Endzeitpunkt bei jeder Unterhaltsvariante der „Wertverlust“ durch eine Wiederherstellungsmassnahme zur Erzielung des ursprünglichen Substanz- und Funktionalitätsgrads ausgeglichen.

Der Substanz- bzw. Funktionalitätsverlust über den Betrachtungszeitraum für die jeweilige Strassenunterhaltsvariante entspricht somit den Kosten, die aufgebracht werden müssten, um den Anfangszustand am Ende wieder herzustellen. Er kann aus den Kosten einer entsprechenden Massnahme zur Herstellung des Ursprungssubstanz- bzw. Ursprungsfunktionalitätsgrads bestimmt werden (Bild 3).

Wiederherstellungskosten bei der Unterhaltsvariante  $\chi$ :

$$K_{t_E, \chi}^{WH} = \Delta SW^\chi \cdot K_{(100\%), \chi}^{WH} = \Delta Z_{\chi}^{\nu} \cdot K_{(100\%), \chi}$$

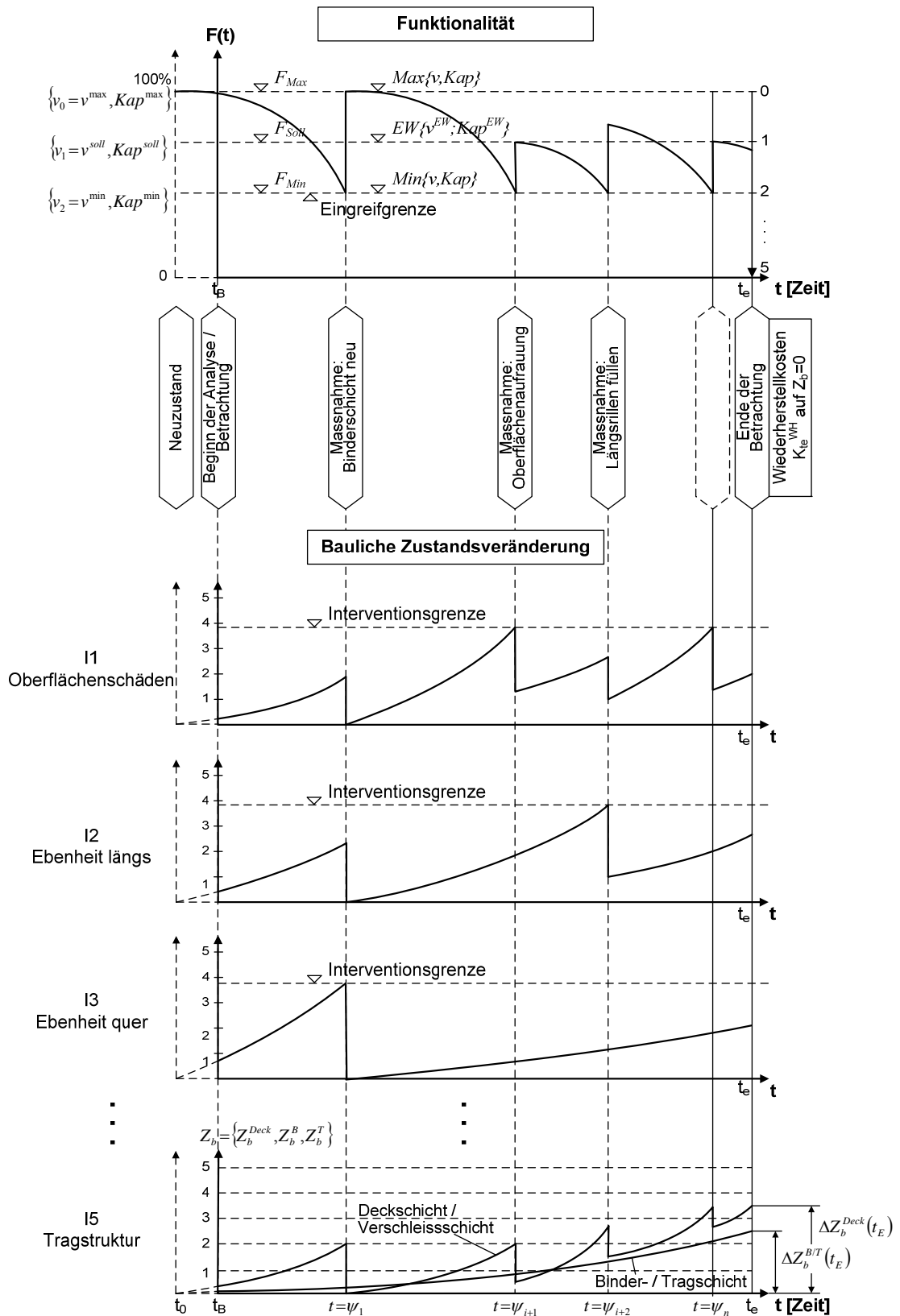


Bild 3: LC-Unterhaltsvariante  $\chi$  der Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  mit Massnahmen  $H_i = (\xi_i \vee v_i)$  – Wirkung auf Funktionalität und Substanzzustand

Bild 3 zeigt auf, wie sich die Funktionalität eines Strassennetzes oder Netzabschnitts durch Veränderung des Strassenzustands verschiedener Schadenseinflussfaktoren  $I_x$

verändert. Die Funktionalität (Geschwindigkeit oder Kapazität) kann durch Oberflächenschäden und / oder Ebenheitsveränderungen in gleicher Weise beeinträchtigt werden. Die Funktionalitätseinschränkungen werden durch Oberflächenveränderungen bewirkt, die Tragstruktur verändert sich dagegen bei richtiger Bemessung sehr langsam.

#### 4.4.4 Budgetbeschränkung

Eine weitere Systemdimension bzw. Systemdeterminante können jährliche oder aperiodische Budgetbeschränkungen sein, die die gewählten LC-Unterhaltsstrategien  $\Gamma$  stark einschränken. Daraus können folgende Szenarien resultieren:

- Aufschiebung von Massnahmen mit einhergehendem Mindernutzen für die Nutzer
- Einschränkung der Unterhaltsmassnahmen auf bestimmte Arten, die innerhalb des Budgets realisierbar sind, mit möglichem sukzessivem Substanz- und Funktionalitätsverlust bzw. Mindernutzen

### 4.5 Systemkonfiguration des deterministischen LC-KBW-Entscheidungsmodells

Jedes vergleichende Wirtschaftlichkeitsmodell muss mittels Systemtheorie in seine räumlichen, inhaltlichen und zeitlichen Strukturen und Interaktionen gegliedert werden.

Die inhaltliche Abgrenzung gliedert sich in:

- Methode: Kosten-Barwert (KBW) auf der Basis der Vollkostenrechnung
- Struktur: Kostenstrukturgliederung, in Anlehnung an [11]

Die Unterscheidung der NPV- und KBW-Methode ist in [9] dargelegt. In diesem Beitrag wird die KBW-Methode auf der Basis von Kosten vorgestellt.

Das LC-KBW-Entscheidungsmodell ist unabhängig von Normen und muss sich an den Hauptkostengruppen des Unterhalts einer Infrastruktur während ihrer betrachteten Lebensphasen orientieren.

Die zeitliche Abgrenzung muss für alle untersuchten Unterhaltsvarianten  $\chi$  gleich sein. Dabei ist es wichtig, die Wiederinstandsetzung am Ende des Betrachtungszeitraums  $t_e$  auf den Substanzgrad  $SW=100\%$  bzw. den baulichen Zustand  $Z_b=0$  (Bild 3) als Kosten jeder Unterhaltsvariante am Ende des Betrachtungszeitpunktes zu bewerten, unter Beachtung möglicher unterschiedlicher Lebensdauerkurven des gewählten Unterhalts.

Der Zustand des Strassennetzes zum Zeitpunkt  $t_B$  (Zeitpunkt der Strategieentwicklung bzw. Betrachtungszeitpunkt) ist für alle Unterhaltsvarianten gleich. Die Zustandsentwicklung des Strassennetzes wird jedoch, je nach Unterhaltsstrategie  $\chi$  mit den dazugehörigen Instandsetzungsmassnahmen  $H_i=(\xi_i \vee v_i)$ , unterschiedlich verlaufen (Bild 3). Daher müssen folgende Kostengruppen bei der Beurteilung der Varianten berücksichtigt werden:

- Herstellkosten brauchen nicht berücksichtigt zu werden, da bei allen Unterhaltsvarianten der gleiche Zustand besteht.

$$K_0^H(t_0) = \left\{ K_0^H(t_0) \mid K_0^H(t_0) = K_{const} \right\} \text{ für alle Unterhaltsstrategien } \chi$$

- Betriebskosten der Unterhaltsvariante  $\chi$ , die durch die Zustandsentwicklung  $Ix_{\chi,i}(t)$  Auswirkung auf die Funktionalität  $F_{\chi}\{v(t),Kap(t)\}$  hat:  $\{K_{\chi,i}^{Betrieb}(t)\}_{\chi} = \{K_{\chi,i}^{Betrieb,Betreiber}(t); K_{\chi,i}^{Betrieb,Nutzer}(t); K_{\chi,i}^{Betrieb,Dritte}(t)\}$
- $K_{\chi}^{WH}(t_E)$  - Wiederherstellkosten auf den Neuzustand gemäss der Abnutzung, die die Unterhaltsvariante  $\chi$  zum Zeitpunkt  $t_E$  erreicht hat (Bild 3).

#### 4.6 Kostenansätze im LC-KBW-Entscheidungsmodell

Die Kostenströme der Unterhaltsvariante  $\chi$  mit

$$\{K_{\chi,t}\} = \{K_{\chi,t}^{Betrieb,i}; K_{\chi,t}^{Inst,\xi}; K_{\chi,t}^{Ern,v}\}$$

mit:  $i = \{i | i = \text{Betreiber} \vee i = \text{Nutzer} \vee i = \text{Dritte}\}$

werden unterteilt in die

- Nutzungs-, Betriebs-, Unterhalts- und Instandsetzungs- sowie Erneuerungskostenströme,
- virtuellen Erneuerungskosten am Ende des Betrachtungszeitraumes (auf den Substanzgrad = 100 %) zur inhaltlichen und zeitlichen Abgrenzung.

Die Kosten der Stakeholder, die während des Betriebs der Strasse bei der Unterhaltsvariante  $\chi$  anfallen, sind wie folgt:

$$K_{\chi,t}^{Betrieb,i} = K_{\chi}^{Betrieb,Betreiber}(t) + K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer}(t) + K_{\chi}^{Betrieb,Dritte}(t)$$

Die Zahlungsströme in der Nutzungs- und Betriebsphase können gemäss folgenden Hauptgruppen in Grundkosten  $K_0^i$  und erhöhte Kosten  $\Delta K_0^i$  für eine Lösungsvariante  $\chi$  dargestellt werden:

Periodische Kosten (Bild 2 und Bild 4):

$$\text{Betreiber: } K_{\chi}^{Betrieb,Betreiber}(t) = K_0^{Betrieb,Betreiber} + \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Betreiber}(t) \Big|_{t_{\psi_i}^{St}}^{t_{\psi_i}^E=t(Massn)}$$

$$\text{Nutzer: } K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer}(t) = K_0^{Betrieb,Nutzer} + \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer}(t) \Big|_{t_{\psi_i}^{St}}^{t_{\psi_i}^E=t(Massn)}$$

$$\text{Dritte: } K_{\chi}^{Betrieb,Dritte}(t) = K_0^{Betrieb,Dritte} + K_{\chi}^{Betrieb,Dritte}(t) \Big|_{t_{\psi_i}^{St}}^{t_{\psi_i}^E=t(Massn)}$$

Die Kosten der Stakeholder werden wie folgt weiter untergliedert:

$$\text{Betreiber: } K_{\chi}^{Betrieb,Betreiber}(t) = \sum_{\kappa} k_{\kappa}^{Betrieb,Flick}(t) \cdot A_{\kappa}$$

$$\text{Nutzer: } K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer}(t) = K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Zeit} + K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Fahrz} + K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Unf}$$

$$\text{Dritte: } K_{\chi}^{Betrieb,Dritte}(t) = K_{\chi}^{Betrieb,Dritte,Umw} + K_{\chi}^{Betrieb,Dritte,Unf}$$

Beim Vergleich von Unterhaltsvarianten  $\chi$  hinsichtlich minimaler Kosten wird das ökonomische Minimalprinzip angewendet. Daher werden die Grundkosten  $K_0^i$ , die

dem Betreiber, Nutzer und Dritten im normalen Betrieb bei allen Unterhaltsvarianten entstehen, nicht berücksichtigt (Bild 4). Diese sind bei allen Unterhaltsvarianten gleich, da hier die Funktionalität den normalen Betriebsparametern mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von  $P(w) \geq \alpha$  (z.B. 95 %) entspricht.

In der Entscheidungs- und Vergleichsanalyse werden nur die erhöhten  $\Delta K_{\chi}^i(t)$ -Betriebskosten berücksichtigt, die oberhalb der Grundkosten  $K_0^{Betrieb,i}$  mit  $i=(Betreiber,Nutzer,Dritte)$  des normalen Betriebs liegen.

Die erhöhten Betriebskosten  $\Delta K_{\chi}^i(t)$  für die berücksichtigten Stakeholder beginnen zum Zeitpunkt  $t_{\psi_i}^{Sr}$  der erhöhten Unterhaltmassnahmen gegenüber dem Neuzustand (Bild 2 und Bild 4) und enden nach Fertigstellung  $t_{\psi_i}^E$  der Massnahme  $m_i^x(\Delta Ix_{Min}^i)$ . Man geht von der Vereinfachung aus, dass die Wirkung auf die Nutzer und Dritte zum gleichen Zeitpunkt beginnt, obwohl diese Wirkung in der Regel später, zeitversetzt beginnt (Bild 2). Die erhöhten Betriebskosten setzen sich wie folgt zusammen:

Periodische Zusatzkosten  $\Delta K_{\chi}^i(t)$ , die bei Veränderung des Strassenzustands über eine definierte Grenzgrösse der Grundkosten  $K_{0,\chi}^i(t)$  hinausgehen (Bild 4):

$$\Delta K_{\chi}^{Betrieb,i}(t) = \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Betreiber}(t) + \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer}(t) + \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Dritte}(t)$$

Erhöhte Betreiberunterhaltskosten:

$$\Delta K_{\chi}^{Betrieb,Betreiber}(t) \Big|_{t_{\psi_i}^{Sr}}^{t_{\psi_i}^E} = \sum_{\kappa} \Delta k_{\chi,\kappa}^{Betrieb,Flick} \cdot A_{\chi,\kappa} \Big|_{t_{\psi_i}^{Sr}}^{t_{\psi_i}^E}$$

Erhöhte Nutzerkosten:

$$\Delta K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer}(t) \Big|_{t_{\psi_i}^{Sr}}^{t_{\psi_i}^E} = \left\{ \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Zeit}(t) + \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Fahrz} + \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Unf} \right\} \Big|_{t_{\psi_i}^{Sr}}^{t_{\psi_i}^E}$$

Erhöhte Kosten der direkt betroffenen Umwelt (Dritte):

$$\Delta K_{\chi}^{Betrieb,Dritte}(t) \Big|_{t_{\psi_i}^{Sr}}^{t_{\psi_i}^E} = \left\{ \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Dritte,Umw}(t) + \Delta K_{\chi}^{Betrieb,Dritte,Unf} \right\} \Big|_{t_{\psi_i}^{Sr}}^{t_{\psi_i}^E}$$

$$i = \{i | i = \text{Betreiber} \vee i = \text{Nutzer} \vee i = \text{Dritte}\}$$

Aperiodische Kosten (Bild 4) der Unterhaltsstrategie  $\chi$ :

$$K_{\chi}^{Inst,\xi}(t = \psi_i): \quad \text{Instandsetzung der Deckschicht durch Massnahme } \xi$$

$$K_{\chi}^{Ern,v}(t = \varphi_i): \quad \text{Erneuerung der Deckschicht } (v = D)$$

$$K_{\chi}^{Ern,v}(t = \varphi_i): \quad \text{Erneuerung der Deck- und Binderschicht } (v = D/B)$$

Diese Kosten der Massnahmen setzen sich in der Regel aus den Anteilen

- Abriss und Entsorgung sowie
- Herstellung

zusammen.

Aperiodische Kosten der Instandsetzungsmassnahme  $\xi$  zum Zeitpunkt  $t_{\psi_i}$  (Bild 4):

$$K_{\chi, \psi_i}^{Inst, \xi} = \left\{ K_{\chi}^{Inst, Betreiber, \xi} + K_{\chi}^{Inst, Nutzer, \xi} + K_{\chi}^{Inst, Dritte, \xi} \right\}_{t=t_{\psi_i}}$$

$$K_{\chi, \psi_i}^{Inst, \xi} = \sum_{i=1}^3 K_{\chi, \psi_i}^{Inst, i, \xi}$$

Aperiodische Erneuerungsmassnahme  $\nu$  (Bild 4 und Bild 5):

$$K_{\chi, \varphi_i}^{Ern, \nu} = \left\{ K_{\chi}^{Ern, Betreiber, \nu} + K_{\chi}^{Ern, Nutzer, \nu} + K_{\chi}^{Ern, Dritte, \nu} \right\}_{t=t_{\varphi_i}}$$

$$K_{\chi, \varphi_i}^{Ern, \nu} = \sum_{i=1}^3 K_{\chi, \varphi_i}^{Ern, i, \nu}$$

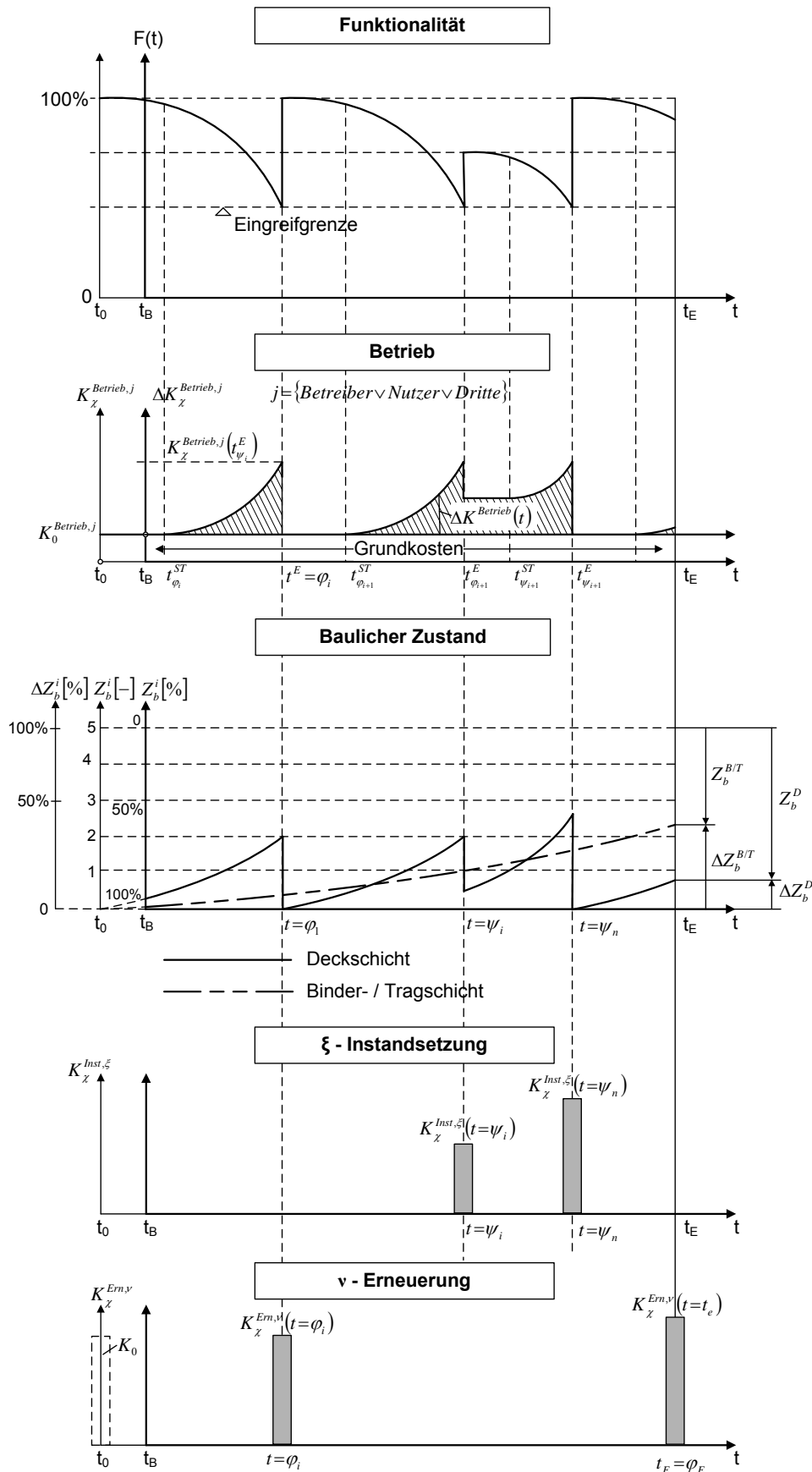


Bild 4: LC-Unterhaltsvariante  $\chi$  der LC-Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  – Funktionalitäts- und bauliche Zustandsentwicklung sowie Instandsetzungs- und Erneuerungskosten



Der Erneuerungsanteil am Ende des Analysezeitraums errechnet sich aus der Wiederherstellung des gesamten Oberbaus der Strasse (Deck-/Binder-/Tragschicht). Die Wiederherstellungskosten am Ende des Analysezeitraums setzen sich aus

- $K^{Abr}$  – Abriss und Entsorgung sowie
- $K^{Neu}$  – Wiederherstellung in den Ursprungszustand

zusammen. Jedoch wird der substanzielle Zustand des Strassenkörpers / Oberbaus berücksichtigt. Der Verlust des baulichen Zustands  $\Delta Z_b^k$  mit  $k = \{k | k = \text{Deckschicht} \vee k = \text{Deck} + \text{Binderschicht} \vee k = \text{Deck} + \text{Binder} + \text{Tragschicht}\}$  wird dabei gemäss der faktoriellen Zustandsskala  $Z_b^k = \{1, \dots, 5\}$  der Bausubstanz abgeschätzt.

Dabei müssen zwei Fälle berücksichtigt werden (Bild 4):

Fall 1:

Deckschicht schlechter als Binder- und Tragschicht mit

$$Z^D(t_E) < Z^{B/T}(t_E) \text{ folgt } \Delta Z^D > \Delta Z^{B/T} \quad [\%]$$

Fall 2:

Deckschicht besser als Binder- und Tragschicht mit

$$Z^D(t_E) > Z^{B/T}(t_E) \text{ folgt } \Delta Z^D < \Delta Z^{B/T} \quad [\%]$$

Zur Differenzierung der Unterhaltsvarianten  $\chi$  muss der Zustand, aber auch die Wiederherstellung von Deck-, Binder- und Tragschicht berücksichtigt werden. Daher kann man zwei Fälle unterscheiden:

1. Binder- und Tragschicht altern substanziell bei allen Unterhaltsvarianten  $\chi$  gleich ( $\Delta Z_{\chi_i}^{B/T} = \Delta Z_{\chi_{i+1}}^{B/T}$  für alle  $0 \leq \chi_i \leq n$ ). Dann wird nur der Erneuerungsanteil der Deckschicht in der Analyse berücksichtigt  $K^{Ern}(t_E) = (K_0^{D,Abr} + K_0^{D,Neu}) \cdot \Delta Z^D(t_E)$ .
2. Binder- und Tragschicht altern substanziell bei allen Unterhaltsvarianten  $\chi$  unterschiedlich ( $\Delta Z_{\chi_i}^{B/T} \neq \Delta Z_{\chi_{i+1}}^{B/T}$  für alle  $0 \leq \chi_i \leq n$ ). Dann wird der Erneuerungsanteil von Deck- und Binder- sowie Tragschicht berücksichtigt:

- a. differenziert nach Zustand

$$K^{Ern}(t_E) = (K_0^{D,Abr} + K_0^{D,Neu}) \cdot \Delta Z^D + (K_0^{B/T,Abr} + K_0^{B/T,Neu}) \cdot \Delta Z^{B/T}$$

Diese Differenzierung ist relativ schwierig, da bei Erneuerung der Binder- und Tragschicht auch die Deckschicht abgerissen / ausgebaut werden muss.

- b. Da allerdings bei Erreichen der Tragfähigkeitsgrenze der Binder- und Tragschicht bei einer Erneuerung auch die Deckschicht entfernt und erneuert werden muss, kann man auch folgende Erneuerungskosten ansetzen:

$$K^{Ern}(t_E) = (K_0^{D/B/T,Abr} + K_0^{D/B/T,Neu}) \cdot \Delta Z^{B/T}$$

Der Kosten-Barwert der Unterhaltsvariante  $\chi$  mit den Instandsetzungsmassnahmen  $\psi_k$  und Erneuerungsmassnahmen  $\varphi_l$  über den Betrachtungszeitraum  $t=n$  bezogen auf den Betrachtungszeitpunkt  $t_B$  beträgt:

$$\begin{aligned}
 KBW_{\chi,t_B} &= \sum_{t=1}^n K_{\chi,t} \frac{1}{(1+q)^{(t_B-t)}} \\
 KBW_{\chi,t_B} &= \sum_{t=t_B}^n \frac{1}{(1+q_{\text{Betreiber}})^{(t-t_B)}} \cdot \Delta K_{\chi,t}^{\text{Betreiber,Unterh}} + \frac{1}{(1+q_{\text{Nutzer}})^{(t-t_B)}} \cdot \Delta K_{\chi,t}^{\text{Nutzer}} \frac{1}{(1+q_{\text{Dritte}})^{(t-t_B)}} \cdot \Delta K_{\chi,t}^{\text{Dritte}} \\
 &+ \sum_{t=t_B}^n \frac{1}{(1+q)^{(t-t_B)}} \\
 &\left[ \sum_{j=1}^{m_1} \left\{ K_{\chi,t,j}^{\text{Inst},\xi} \mid K_{\chi,t,j}^{\text{Inst},\xi} = K_{\chi,\psi_k,j}^{\text{Inst},\xi} \text{ für } t = \{\psi_k\} = (\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{m_2}) \text{ mit } m_2 \leq n \vee K_{\chi,t}^{\text{Inst},\xi} = 0 \text{ für } t \neq \{\psi_k\} \right\} \right. \\
 &\left. + \sum_{j=1}^{m_3} \left\{ K_{\chi,t,j}^{\text{Ern},\nu} \mid K_{\chi,t,j}^{\text{Ern},\nu} = K_{\chi,\varphi_l,j}^{\text{Ern},\nu} \text{ für } t = \{\varphi_l\} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_{m_4}) \text{ mit } m_4 \leq n \vee K_{\chi,t}^{\text{Ern},\nu} = 0 \text{ für } t \neq \{\varphi_l\} \right\} \right]
 \end{aligned}$$

Jedes Bauelement  $\nu$  der Strasse (Deck-/Binder-/Tragschicht) und deren Lebenszykluskurven können weiter untergliedert werden:

$$\begin{aligned}
 \nu &= \{ \nu \mid \nu = \nu_D - \text{Deckschicht} \\
 &\vee \nu = \nu_{D/B} - \text{Deck- und Binderschicht} \\
 &\vee \nu = \nu_{D/B/T} - \text{Deck- und Binder- und Tragschicht} \}
 \end{aligned}$$

$(\xi \vee \nu)$  = Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmassnahme nach Katalog [13]

$\psi_k, \varphi_l$  Jahre, in denen Instandsetzungen und Erneuerungen stattfinden (aperiodisch)

$j$  Anzahl der Instandsetzungen und Erneuerungen, die in dem jeweiligen Jahr  $(\psi_k, \varphi_l)$  anfallen

Das Kosten-Barwert-Entscheidungsaxiom zwischen  $m$  Unterhaltsvarianten  $\chi$  lautet nach dem ökonomischen Minimalprinzip:

$$KBW_{t_B}^{\min} = \text{Min} \left( KBW_{\chi} \right) \Big|_{\chi=1}^{\chi=m} \text{ mit } (1 \leq \chi \leq m)$$

#### 4.7 Zusatzkosten bei Verschiebung von Massnahmen $\xi$ oder Erneuerungen $\nu$ bei einer Referenzstrategie $\chi_0$

Bei Verschiebung von Massnahmen des Unterhaltsprogramms vor oder nach der für die Referenz-Unterhaltsstrategie  $\chi_0$  festgelegten Eingreifgrenze  $F^{\text{Grenz}}(t)$  erhöhen oder verringern sich die Betriebs- bzw. Nutzungskosten bzw. die Kosten Dritter. Die Terme für diese Zusatzkosten werden wie folgt definiert (Bild 5):

$$\pm \Delta K_{\chi}^{\text{Zu,Betrieb},i}(t) = \pm \Delta K_{\chi}^{\text{Zu,Betrieb,Betreiber}} \pm \Delta K_{\chi}^{\text{Zu,Betrieb,Nutzer}} \pm \Delta K_{\chi}^{\text{Zu,Betrieb,Dritte}}$$

Diese Terme sind inhaltlich identisch mit den periodischen Zusatzkosten vor der Eingreifgrenze. Jedoch soll die Differenz an Betriebskosten hervorgehoben werden, die durch Vorziehen der Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmassnahmen vor die Eingreifgrenze die Kosten verringert bzw. bei Aufschub der Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmassnahmen über die Eingreifgrenze die Kosten wesentlich erhöht.

Dabei ist zu beachten, dass eine Abänderung der Strategie z.B. andere Instandsetzungs- oder Erneuerungsmassnahmen erfordert. Diese Abänderung kann somit eine Kostenänderung z.B. durch eine erforderliche umfangreichere Instandsetzungsmassnahme bei Überschreiten der Eingreifgrenze bedingen (Bild 5).

$$\Delta\Delta K_{\chi}^{Inst,\xi} = f(\xi_{\chi} - \text{Massnahme} - \xi_{Aufschub} - \text{Massnahme})$$

$$\Delta\Delta K_{\chi}^{Ern,\nu} = f(\nu_{\chi} - \text{Massnahme} - \nu_{Aufschub} - \text{Massnahme})$$

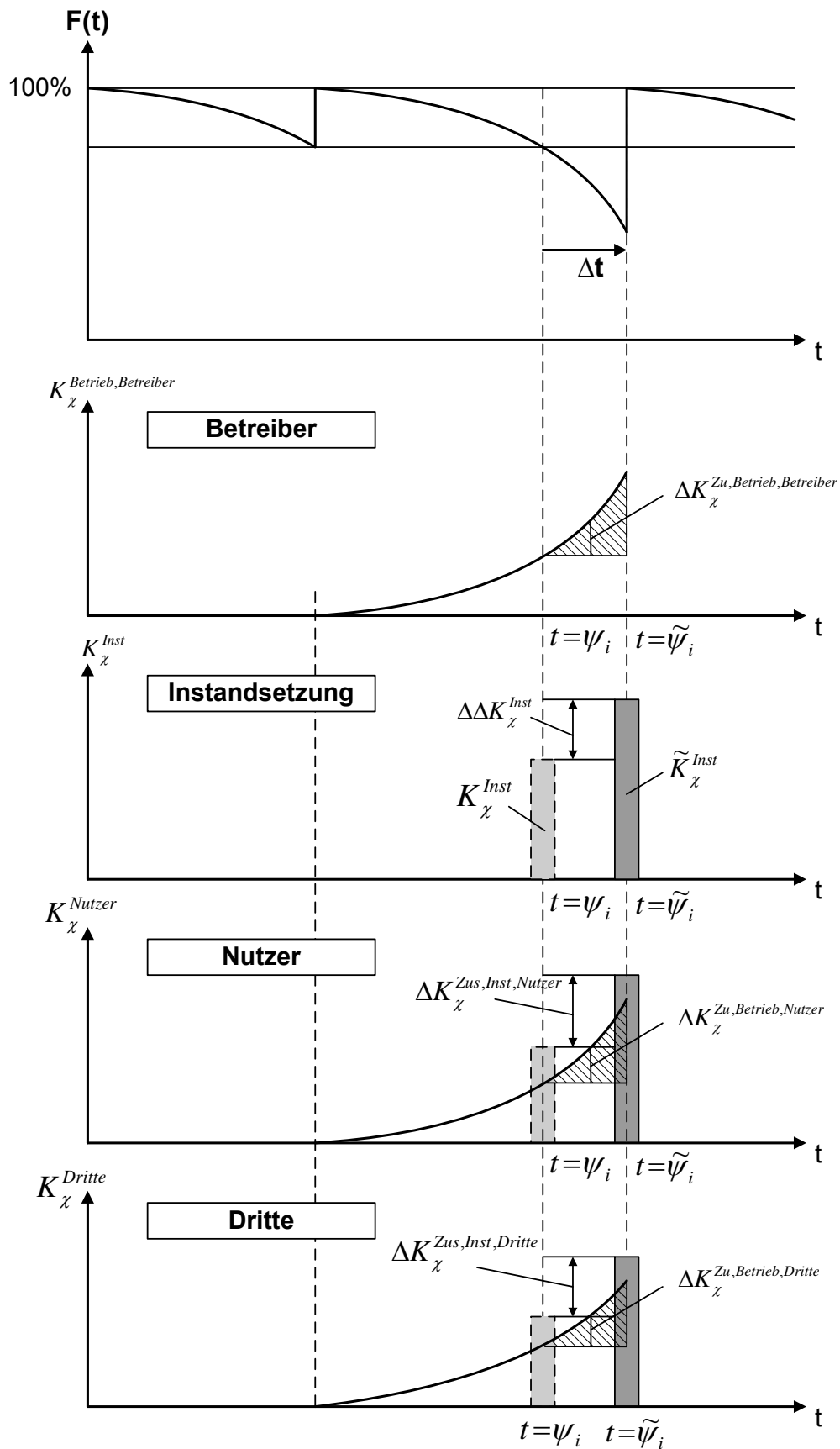


Bild 5: Zusatzkosten - Aufschieben von Instandhaltungsmassnahmen  $\xi$  der Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  bzw. des Unterhaltsprogramms  $\chi$

Die Analyse der Zusatzkosten bei Vorziehen oder Aufschub von geplanten Instandsetzungsmassnahmen  $\xi$  oder Erneuerung  $\nu$  der gewählten LC-Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  wird mittels Kosten-Barwert-Differenz-Axiom hinsichtlich der kostenmässigen Auswirkung wie folgt analysiert:

$$\Delta KBW - U_{\chi} \Big|_{t_B} = KBW - U_{\chi} \Big|_{t_B} - KBW - \tilde{U}_{\chi} \Big|_{t_B}$$

Damit wird es möglich, systembedingte oder politisch bedingte Gründe zur Verschiebung von Unterhaltsmassnahmen finanztechnisch zu bewerten.

## 4.8 Diskontierung und Teuerungsindex

Bei der Ermittlung des Kosten-Barwerts unterscheidet Girmscheid [10] zwischen Diskontierungssatz und Teuerungsindizes. Im Regelfall sind nur die heutigen Preise und Kosten für Löhne, Materialien etc. bekannt. Deswegen müssen die heutigen Preise und Kosten für Leistungen entsprechend den zu erwartenden Preis-, Lohn-, Material- bzw. Produktkostensteigerungen hochgezinst werden mit:

$$(\mu I) = \{PI = \text{Preisindex} \wedge LI = \text{Lohnindex} \wedge MI = \text{Materialindex} \wedge \dots\}$$

Die Ausgaben und Einnahmen bzw. Kosten werden auf den heutigen Geldwert auf der Basis der Geldwertentwicklung mittels Diskontierungssatz  $q = (\text{Nominalzins}; \text{Risikozins})$  abgezinst.

Somit können die Kosten der Zukunft durch Hochzinsung auf die jeweiligen Kostenzeitpunkte  $t$ , an denen die Kosten anfallen, auf den heutigen Preisen aufgebaut werden:

$$\left( \underline{K}_{\chi,t}^i \right) = \left( \underline{K}_{\chi,0}^i (1 + \mu I)^{t-t_B} \right)$$

## 4.9 Probabilistisches LC-KBW-Entscheidungsmodell

Die Kosten werden zum Zeitpunkt  $t_B$  bzw.  $t_0$  nur in Bandbreiten prognostizierbar sein. Daher ist das LC-KBW-Entscheidungsmodell besonders geeignet für eine stochastische Berechnung bzw. für eine Simulationsrechnung mittels Monte-Carlo-Simulation (MCS).

Mit Unterstützung der MCS lassen sich die möglichen Varianten und Kombinationen von Ereignissen betrachten. Im Regelfall treten bei Kosten weder nur die maximalen noch die minimalen Werte auf, jedoch die Kosten selbst treten immer auf (jährlich / einmalig). Solche Simulationen werden mit der MCS durchgeführt [15], die die Nachbildung einer empirischen Datenbasis ermöglicht, jedoch erfordert dies eine grosse Anzahl von Zufallsereignissen (z.B. 10000). Ziel der MCS ist deshalb die Durchführung einer grossen Anzahl von Simulationsdurchläufen, wobei jeder Simulationsdurchlauf einer Kombination möglicher Zufallsereignisse entspricht.

Für eine solche Simulation bzw. stochastische Berechnung müssen die Ansätze für:

- die Kosten der Stakeholder,
- die Teuerungsfaktoren und
- den Realzins / die Diskontierung

in probabilistischen Bandbreiten ermittelt werden, z.B. aus Erfahrungswerten bzw. Datenbanken der Stakeholder.

Diese Einflussgrößen, die nur in Bandbreiten vorliegen, werden mangels genauer bzw. statistisch abgesicherter Ist-Daten mittels probabilistischer

- Dreieckdichtefunktion bzw.
- Beta PERT-Dichtefunktion

bezüglich der Auftretensausprägung artikuliert.

Für die Kostenbandbreiten, die Teuerungsfaktoren und den Diskontierungssatz können normierte Dreiecks- oder BetaPERT-Dichtefunktionen mit A=1 wie folgt angenommen werden:

$$f(\Delta K_{\chi,0}^i) = \Xi(\Delta K_{\chi,0,\min}^i, \Delta K_{\chi,0,EW}^i, \Delta K_{\chi,0,\max}^i) \quad - \quad \text{Unterhalt laufend + aperiodisch,}$$

mit:

$$i = \{i = \text{Betreiber} \vee i = \text{Nutzer} \vee i = \text{Dritte}\}$$

$$f(K_{\chi,0,j}^H) = \Xi(K_{\chi,0,j,\min}^H, K_{\chi,0,j,EW}^H, K_{\chi,0,j,\max}^H) \quad - \quad \text{Instandsetzung } \xi \text{ oder Erneuerung}$$

$\nu$ ,

$$\text{mit: } H = \{H | H = \xi \vee H = \nu\}$$

$$f(K_{\chi,0}^{WH}) = \Xi(K_{\chi,0,\min}^{WH}, K_{\chi,0,EW}^{WH}, K_{\chi,0,\max}^{WH}) \quad - \quad \text{Wiederherstellung am Ende der}$$

Betrachtungszeit, mit:  $WH = \text{Ern}(t_E)$

$$f(\mu l) = \Xi(\mu l_{\min}, \mu l_{EW}, \mu l_{\max}) \quad - \quad \text{Teuerungsfaktoren}$$

$$f(q) = \Xi(q_{\min}, q_{EW}, q_{\max}) \quad - \quad \text{Diskontierungssatz}$$

$$\text{mit: } \Xi = \{ \Xi = \text{Dreiecksdichtefunktion} \vee \Xi = \text{BetaPERT-Dichtefunktion} \}$$

Die dazugehörige Verteilungsfunktion:

$$F(\Delta K_{\chi,0}^i) = \int_{K_{\chi,0,\min}^i}^{K_{\chi,0,\max}^i} f(\Delta K_{\chi,0}^i) d\Delta K_{\chi,0}^i$$

$$F(K_{\chi,0,j}^H) = \int_{K_{\chi,0,\min}^H}^{K_{\chi,0,\max}^H} f(K_{\chi,0,j}^H) dK_{\chi,0,j}^H$$

$$F(K_{\chi,0}^{WH}) = \int_{K_{\chi,0,\min}^{WH}}^{K_{\chi,0,\max}^{WH}} f(K_{\chi,0}^{WH}) dK_{\chi,0}^{WH}$$

Die Berechnung der Erwartungswerte für die Kosten wird aus der Gleichgewichtsbe-  
trachtung der Dichtefunktion um den Nullpunkt wie folgt vorgenommen:

Für die Dichtefunktion ergibt sich der Erwartungswert der Kosten i:

$$\Delta K_{\chi,0,EW}^i = \int_{K_{\chi,0,\min}^i}^{K_{\chi,0,\max}^i} \Delta K_{\chi,0}^i * f(\Delta K_{\chi,0}^i) d\Delta K_{\chi,0}^i$$

Die Varianz der Ausgabe i:

$$\sigma_{K_{\chi,0}^i}^2 = \int_{K_{\chi,0,\min}^i}^{K_{\chi,0,\max}^i} (\Delta K_{\chi,0}^i - \Delta K_{\chi,0,EW}^i)^2 * f(\Delta K_{\chi,0}^i) d\Delta K_{\chi,0}^i$$

Analog wird der Erwartungswert für die Kosten der Instandsetzung  $\xi$  und Erneuerung  $\nu$  ( $H = (\xi \vee \nu)$ ) bzw. für die Wiederherstellung ( $WH = Ern = \nu$ ) am Ende  $t_e$  über die Erwartungswerte für Teuerung und Diskontierung sowie die dazugehörige Varianz ermittelt.

Die Simulation mittels MCS bildet einzelne Szenarien in jedem Rechenablauf ab. In jedem Rechenablauf bzw. gebildetem Szenarium werden für alle Kosten sowie die dazugehörigen Teuerungsindizes und den Diskontierungssatz je eine Zufallszahl generiert (siehe hierzu Girmscheid [10]):

$$\left\{ \underline{Z}_{X_{\varepsilon,\chi}} \right\}_{\delta} = \left\{ Z_{\Delta K_{\chi,0}^i}; Z_{K_{\chi,0,j}^H}; Z_{K_{\chi,0}^{WH}}; Z_{\mu_0}; Z_{q_0} \right\}_{\delta} \text{ mit } 0 \leq Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} \leq 1$$

Diese Zufallszahlen bestimmen aus der jeweiligen Verteilungsfunktion der Einflussgrößen bzw. Zielgröße einen generativen Wert für jeden der beteiligten Terme in der jeweiligen Simulation  $\delta$ :

$$\left\{ \underline{X}_{\varepsilon,\chi} \right\}_{\delta} = \left( \Delta K_{\chi,0}^i; K_{\chi,0,j}^H; K_{\chi,0}^{WH}; \mu; q \right)_{\delta}$$

In jedem Simulationslauf  $\delta$  wird für jede Einflussgröße  $\left\{ \underline{X}_{\varepsilon,\chi} \right\}_{\delta}$  je eine Zufallszahl  $\left\{ Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} \right\}$  generiert. Die mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators ermittelten Zufallszahlen  $\left\{ Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} \right\}$  liegen im Intervall  $(0 \leq Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} \leq 1)$ .

Dies entspricht dem Wert der Verteilungsfunktion  $F(X_{\varepsilon,\chi,\delta})$  der jeweiligen Einflussgröße  $\left\{ \underline{X}_{\varepsilon,\chi,\delta} \right\}$ .

Die Auswahl der Einflussgröße  $\left\{ \underline{X}_{\varepsilon,\chi,\delta} \right\}$  über eine Zufallszahl  $\left\{ Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} \right\}$  erfolgt anhand der Umkehrfunktion  $G(F(X_{\varepsilon,\chi,\delta})) = \left\{ X_{\varepsilon,\chi,\delta} \right\}$  (siehe hierzu Girmscheid [10]).

Somit gilt für die Verteilungsfunktion:

$$Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} = F(X_{\varepsilon,\chi,\delta})$$

für die Umkehrfunktion:

$$G(F(X_{\varepsilon,\chi,\delta})) = G(Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}}) = \left\{ X_{\varepsilon,\chi,\delta} \right\}$$

$$Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} = \left\{ Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} \in R \mid (0 \leq Z_{X_{\varepsilon,\chi,\delta}} \leq 1) \right\}$$

Somit ergeben sich die Einflussgrößen im Simulationslauf  $\delta$  wie folgt:

Kosten:

$$\Delta K_{\chi,0,\delta}^i = \left\{ \Delta K_{\chi,0}^i \mid \Delta K_{\chi,0}^i = G(Z_{K_{\chi,0,\delta}^i}) \text{ mit } Z_{\Delta K_{\chi,0}^i} = \left\{ Z_{\Delta K_{\chi,0}^i} \in R \mid 0 \leq Z_{\Delta K_{\chi,0}^i} \leq 1 \right\} \right\}_{\delta}$$

$$K_{\chi,0,j,\delta}^H = \left\{ K_{\chi,0,j}^H \mid K_{\chi,0,j}^H = G\left(Z_{K_{\chi,0,j}^H}\right) \quad \text{mit } Z_{K_{\chi,0,j}^H} = \left\{ Z_{K_{\chi,0,j}^H} \in \mathbb{R} \mid 0 \leq Z_{K_{\chi,0,j}^H} \leq 1 \right\} \right\}_{\delta}$$

$$K_{\chi,0,\delta}^{WH} = \left\{ K_{\chi,0}^{WH} \mid K_{\chi,0}^{WH} = G\left(Z_{K_{\chi,0}^{WH}}\right) \quad \text{mit } Z_{K_{\chi,0}^{WH}} = \left\{ Z_{K_{\chi,0}^{WH}} \in \mathbb{R} \mid 0 \leq Z_{K_{\chi,0}^{WH}} \leq 1 \right\} \right\}_{\delta}$$

Teuerungsindizes:

$$\mu I_{\delta} = \left\{ \mu I \mid \mu I = G\left(Z_{\mu I}\right) \quad \text{mit } Z_{\mu I} = \left\{ Z_{\mu I} \in \mathbb{R} \mid 0 \leq Z_{\mu I} \leq 1 \right\} \right\}_{\delta}$$

Diskontierung:

$$q_{\delta} = \left\{ q \mid q = G\left(Z_q\right) \quad \text{mit } Z_q = \left\{ Z_q \in \mathbb{R} \mid 0 \leq Z_q \leq 1 \right\} \right\}_{\delta}$$

Die Zahlungsströme  $K_{\chi,0}$  ergeben sich aus:

$$K_{\chi,t} = K_{\chi,0} * (1 + \mu I)^{t-t_B} \quad \text{für } K_{\chi,0} = \left\{ K_{\chi,0} \mid K_{\chi,0} = \Delta K_{\chi,0}^i \vee K_{\chi,0} = K_{\chi,0,j}^H \vee K_{\chi,0} = K_{\chi,0}^{WH} \right\}$$

Das heisst,  $K_{\chi,0}$  enthält die gleichen Terme wie  $K_{\chi,t}$ , jedoch bezogen auf den heutigen Zeitwert  $t_0$  oder  $t_B$ .

Kosten-Barwert im Simulationslauf  $\delta$  (Bild 6):

$$KBW_{\chi,t_B,\delta} = \left( K_{\chi,0} \right)_{\delta} * \left[ \frac{\left( 1 + \mu I_{\delta} \right)^{(t-t_B)}}{\left( 1 + q_{\delta} \right)} \right]$$

Dichtefunktion des Kosten-Barwerts (Bild 6):

$$f\left(KBW_{\chi,t_B,\delta}\right) = f\left(KBW_{\chi,t_B,EW}; \sigma_{\chi,t_B}^2\right) \Big|_{\delta \leq \infty}$$

Verteilungsfunktion des Kosten-Barwerts :

$$F\left(KBW_{\chi,t_B,\delta}\right) = \int_{KBW_{\chi,t_B,\min}}^{KBW_{\chi,t_B,\max}} f\left(KBW_{\chi,t_B,EW}; \sigma_{\chi,t_B}^2\right) dKBW_{\chi,t_B} \Big|_{\delta \leq \infty}$$

Die Ermittlung des Kosten-Barwert-Erwartungswertes, der Varianz sowie der Standardabweichungen erfolgt mittels des zentralen Grenzwertsatzes der Stochastik. Der Erwartungswert  $KBW_{\chi}$  der baulichen Lösung ergibt sich aus (Bild 6):

$$KBW_{\chi,t_B,EW} = \int_{KBW_{\chi,t_B,\min}}^{KBW_{\chi,t_B,\max}} KBW_{\chi,t_B} * f\left(KBW_{\chi,t_B}\right) dKBW_{\chi,t_B}$$

Das Kosten-Barwert-Entscheidungsaxiom bildet auch bei der probabilistischen LC-KBW-Analyse die Basis für die Wahl der wirtschaftlichsten LC-Unterhaltsvariante  $\chi$  der Unterhaltsstrategie  $\Gamma$  aus dem Spektrum der Alternativen ( $1 \leq \chi \leq m$ ).

$$KBW_{\chi_0,t_B}^{\min} = \text{Min}\left(KBW_{\chi,t_B}\right) \Big|_{\chi=1}^{\chi=m}$$

Bei der probabilistischen Betrachtung der Entscheidung für die Unterhaltsvariante steht nicht nur eine Entscheidungsgrösse  $KBW_{\chi,EW}$  (Erwartungswert P=50 %) zur Verfügung, sondern die Varianz/Streubreite sowie die gesamte Verteilung möglicher Ereignisse aufgrund der Varianz der Eingangsgrössen.



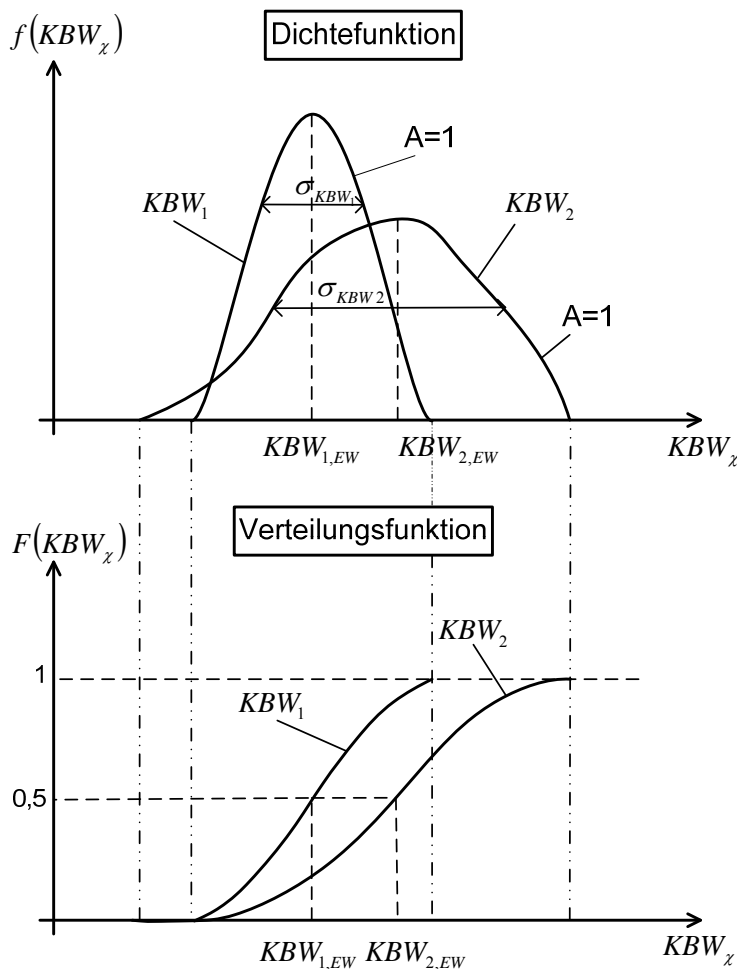


Bild 6: KBW-Dichte- und Verteilungsfunktion für zwei alternative Unterhaltsvarianten

Aus Bild 6 kann man folgende Analyse für Unterhaltsvarianten durchführen:

$$KBW_{2,EW} > KBW_{1,EW}$$

$KBW_{1,EW}$  : wird bei Alternative  $\chi=1$  mit  $P_w = 50\%$  Sicherheit erreicht,  
wird bei Alternative  $\chi=2$  mit  $P_w = 20\%$  Sicherheit erreicht

$KBW_{1,max}$  : wird bei Alternative  $\chi=1$  nur noch mit einer Sicherheit von  $P_w = 100\%$  erreicht,  
wird bei Alternative  $\chi=2$  jedoch nur mit einer Sicherheit von  $P_w = 70\%$  erreicht

Aufgrund dieser probabilistischen Ergebnisse können Entscheidungen auf unsicheren Eingangsgrößen „sicherer“ gefällt werden, da man die Auswirkungen von Änderungen auf das Ergebnis mit den Wahrscheinlichkeiten interpretieren kann.

#### 4.10 Fazit / Ausblick

Das vorgestellte LC-KBW-StraUnt-Modell mit den integrativen Teilmodellen:

- Bildung von LC-Unterhaltsstrategien und LC-Unterhaltsvarianten sowie
- LCC-Entscheidungsmodell zur Bestimmung der ökonomischsten LC-Unterhaltsvariante

ermöglicht es, die Auswirkungen von Entscheidungen im Strassenunterhalt monetär zu bewerten. Die Betrachtung erfolgt lebenszyklusorientiert und stützt sich auf wahr-scheinlichkeitsverteilte Parameter.

Dem Entscheidungsträger eröffnet sich damit die Möglichkeit, die Konsequenzen sei-ner Entscheidungen in einem frühen Planungsstadium zu prüfen und somit ein Opti-mum bezüglich der Bereitstellung einer möglichst guten Infrastruktur bei möglichst geringen Kosten zu finden.

#### 4.11 Formelzeichen

$\Gamma$	Unterhaltsstrategie
$U_{\chi}$	Vektor der Unterhaltsvariante $\chi$
$V$	Verkehrsaufkommen / Verkehrsvolumen
$I_x$	Zustandsindex $x$ ( $x=1,2,3,4,5$ )
$KBW(U_i)$	Kosten-Barwert der Unterhaltsvariante $i$
$\Delta KBW(U^{Min})$	Zusatzkosten im Vergleich zur optimalen Unterhaltsvariante
$\tilde{U}_{\chi}$	Von der optimalen Unterhaltsvariante abweichende Unterhalts-variante
$\xi$	Instandsetzungsmassnahme
$\nu$	Erneuerungsmassnahme
$K_{\chi}^{Betrieb}$	Betriebskosten durch erhöhten Unterhalt
$K_{\chi}^{\xi,i}$	Kosten der Instandsetzungsmassnahme $i$
$K_{\chi}^{\nu,i}$	Kosten der Erneuerungsmassnahme $i$
$\Delta K_{\chi}^{Nutzer}$	Erhöhte Nutzerkosten durch schlechten Zustand
$\Delta K_{\chi}^{Nutzer,\xi}$	Erhöhte Nutzerkosten durch eine Instandsetzungsmassnahme
$\Delta K_{\chi}^{Nutzer,\nu}$	Erhöhte Nutzerkosten durch eine Erneuerungsmassnahme
$\Delta K_{\chi}^{Dritte}$	Erhöhte Kosten Dritter durch schlechten Zustand
$\Delta K_{\chi}^{Dritte,\xi}$	Erhöhte Kosten Dritter durch eine Instandsetzungsmassnahme
$\Delta K_{\chi}^{Dritte,\nu}$	Erhöhte Kosten Dritter durch eine Erneuerungsmassnahme
$K^M$	Kosten von Unterhaltsmassnahmen
$\Delta K$	Kosten durch erhöhten Unterhaltsaufwand
$K_0$	Kosten des normalen betrieblichen Unterhalts
$t_e$	Endzeitpunkt der Betrachtung

$t_B$	Bezugszeitpunkt
$\Delta F$	Funktionalitätsveränderung
$\Delta SW$	Veränderung des Substanzgrads
$\Delta Z$	Veränderung des baulichen Zustandswerts
$SW$	Substanzgrad
$Z_b^i$	Baulicher Zustand
$\Delta I_x$	Veränderung des Zustandsindex x
$M_{\psi_i}$	Massnahme $\psi_i$
$t_{\psi_i}$	Zeitpunkt der Instandsetzungsmassnahme $\psi_i$
$t_{\varphi_i}$	Zeitpunkt der Erneuerungsmassnahme $\varphi_i$
$v_i$	Geschwindigkeitsgrenzwerte i mit: $i = \{i = Zulässig \vee i = Design \vee i = Max \vee i = Min \vee i = Soll = EW\}$
$Kap_i$	Kapazität = Verkehrsvolumen i mit: $i = \{i = Zulässig \vee i = Design \vee i = Max \vee i = Min \vee i = Soll = EW\}$
$\omega_{Grenz}$	Grenzfaktor der Einschränkung des Verkehrsvolumens bzw. der Kapazität
$\omega_V$	Grenzfaktor der Einschränkung des Verkehrsvolumens
$\omega_K$	Grenzfaktor der Einschränkung der Kapazität
$SW_{t_e}^i$	Restsubstanzwert der Unterhaltsvariante i zum Zeitpunkt $t_e$
$\Delta SW^i$	Substanzgradverlust der Unterhaltsvariante i
$K_{t_E}^{WH}$	Wiederherstellungskosten zum Zeitpunkt $t_E$
$K_{(100\%)}^{WH}$	Kosten einer vollständigen Wiederherstellung
$Z_b^{Deck}$	Baulicher Zustand der Deckschicht
$Z_b^{B/T}$	Baulicher Zustand der Binder- und Tragschicht
$K_0^H$	Herstellkosten der Strasse
$F_\chi$	Funktionalität bei der Unterhaltsvariante $\chi$
$K_{\chi,t}^{Betrieb,i}$	Betriebskosten bei der Unterhaltsvariante $\chi$ im Jahr t
$K_{\chi,i}^{Betrieb,Betreiber}(t)$	Betriebskosten der Betreiber bei der Unterhaltsvariante $\chi$ im Jahr t

$K_{\chi,i}^{Betrieb,Nutzer}(t)$	Betriebskosten der Nutzer bei der Unterhaltsvariante $\chi$ im Jahr t
$K_{\chi,i}^{Betrieb,Dritte}(t)$	Betriebskosten Dritter bei der Unterhaltsvariante $\chi$ im Jahr t
$K_0^{Betrieb,Betreiber}$	Grund-Betriebskosten des Betreibers
$\Delta K_{\chi}^{Betrieb,Betreiber}$	Erhöhte Betriebskosten des Betreibers
$K_0^{Betrieb,Nutzer}$	Grund-Betriebskosten der Nutzer
$\Delta K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer}$	Erhöhte Betriebskosten der Nutzer
$K_0^{Betrieb,Dritte}$	Grund-Betriebskosten Dritter
$\Delta K_{\chi}^{Betrieb,Dritte}$	Erhöhte Betriebskosten Dritter
$K_t^{Inst,\xi}$	Aperiodische Kosten der Instandsetzungsmassnahme $\xi$
$K_t^{Ern,\nu}$	Aperiodische Kosten der Erneuerung des Bauteils $\nu$
$KBW_{\chi,t_B}$	Kosten-Barwert der Unterhaltsvariante $\chi$ bezogen auf den Zeitpunkt $t_B$
$K_{\chi,t}$	Kosten der Unterhaltsvariante $\chi$ im Jahr t
$k_{\kappa}^{Betrieb,Flick}(t)$	Betriebskosten der Betreiber für Flickarbeiten pro qm im Jahr t
$A_{\kappa}$	Fläche $\kappa$ , auf der Flickarbeiten nötig sind
$K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Zeit}$	Zeitkosten der Nutzer
$K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Fahrz}$	Fahrzeugsbetriebskosten der Nutzer
$K_{\chi}^{Betrieb,Nutzer,Unf}$	Unfallkosten der Nutzer
$K_{\chi}^{Betrieb,Dritte,Umw}$	Umweltkosten Dritter
$K_{\chi}^{Betrieb,Dritte,Unf}$	Unfallkosten Dritter
$\Delta K_{\chi}^j(t)$	Kosten oberhalb der Grundkosten
$t_{\psi_i}^{St}$	Start des erhöhten Unterhaltsaufwands
$t_{\psi_i}^E$	Ende der erhöhten Kosten durch Unterhaltsmassnahme $\psi_i$ zur Verbesserung des Strassenzustands
$K_{\chi}^{Inst,Betreiber,\xi}$	Aperiodische Betreiberkosten der Instandsetzungsmassnahme $\xi$
$K_{\chi}^{Inst,Nutzer,\xi}$	Aperiodische Nutzerkosten der Instandsetzungsmassnahme $\xi$
$K_{\chi}^{Inst,Dritte,\xi}$	Aperiodische Kosten Dritter der Instandsetzungsmassnahme $\xi$

$K_{\chi}^{Ern,Betreiber,\nu}$	Aperiodische Betreiberkosten der Erneuerungsmassnahme $\nu$
$K_{\chi}^{Ern,Nutzer,\nu}$	Aperiodische Nutzerkosten der Erneuerungsmassnahme $\nu$
$K_{\chi}^{Ern,Dritte,\nu}$	Aperiodische Kosten Dritter der Erneuerungsmassnahme $\nu$
$\Delta Z_b^k$	Verlust des baulichen Zustands des Bauteils $k$
$K^{Ern}$	Erneuerungskosten
$K_0^{k,Abr}$	Kosten des Abrisses des Bauteils $k$
$K_0^{k,Neu}$	Kosten des Neubaus des Bauteils $k$
$k$	Deckschicht / Deck- + Binderschicht / Deck- + Binder- + Tragschicht
$q_{Betreiber}$	Diskontierungsfaktor für Betreiberkosten
$q_{Nutzer}$	Diskontierungsfaktor für Nutzerkosten
$q_{Dritte}$	Diskontierungsfaktor für Kosten Dritter
$\Delta K_{\chi}^{Zu,Betriebr,i}(t)$	Zusatz-Betriebskosten im Jahr $t$
$\Delta K_{\chi}^{Zu,Betrieb,Betreiber}$	Zusatz-Betriebskosten des Betreibers im Jahr $t$
$\Delta K_{\chi}^{Zu,Betrieb,Nutzer}$	Zusatz-Betriebskosten der Nutzer im Jahr $t$
$\Delta K_{\chi}^{Zu,Betrieb,Dritte}$	Zusatz-Betriebskosten Dritter im Jahr $t$
$\Delta \Delta K_{\chi}^{Inst,i,\xi}$	Zusatzkosten durch eine höhere Instandsetzungsmassnahme
$KBW-U_{\chi} _{t_B}$	Kosten-Barwert der gewählten Unterhaltsstrategie $\chi$ bezogen auf den Zeitpunkt $t_B$
$KBW-\tilde{U}_{\chi} _{t_B}$	Kosten-Barwert bei Verschiebung von Instandsetzungsmassnahme $\xi$ bzw. Erneuerungsmassnahme $\nu$ um die Zeitspanne $\pm \Delta t_{\psi_k}$ bzw. $\pm \Delta t_{\psi_e}$

## 4.12 Literatur

- [1] *Girmscheid G.*: Entscheidungsmodell - Lebenszyklusorientierte Strategiebildung und Unterhaltsvarianten für Strassennetze. In: Bauingenieur, Band 82, 07-08/2007, S. 346
- [2] *Girmscheid, G.*: Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften. Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, 2004
- [3] *Yin, R., K.*: Case study research: design and methods. Sage Publications, Inc., Thousands Oaks (USA), 1994
- [4] *Boulding, K.*: General Systems Theory. In: General Systems, p. 11-17, 1956

- [5] *Bertalanffy, L., von.:* General System Theory, New York, 1968
- [6] *Ross, S. A.; Westerfield R. W.; Jaffe J.:* Corporate Finance, McGraw-Hill Higher Education, Boston, 2002
- [7] *Weber, M., Winkelmann, J.:* Wirtschaft und Gesellschaft. Grundriss der verstehenden Soziologie. Mohr, Tübingen, 1990
- [8] *Curran, M. W.:* Range Estimating – Measuring Uncertainty and Reasoning with Risk. In: Cost Engineering Vol. 31: P. 18-26,1998.
- [9] *Girmscheid, G.:* NPV-Wirtschaftlichkeitsanalysemodell - Lebenszyklusbe-trachtung von kommunalen Strassenunterhalts-PPPs. In: Bauingenieur, Band 81, H. 10/2006, S. 455-463
- [10] *Girmscheid, G.:* Risikobasiertes probabilistisches LC-NPV-Modell - Bewer-tung alternativer baulicher Lösungen. In: Bauingenieur, Band 81, H. 09/2006, S. 394-405
- [11] SN 641820, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, Grundnorm. Schweizer Norm, SNV Schweizerische Normen-Vereinigung , Winterthur, 2006
- [12] *Rahmen, S.; Vanier, D.J.:* Life cycle cost analysis as a decision support tool for managing municipal infrastructure. In: Proceedings of CIB 2004 Triennial Congress, Toronto, Ontario, May 2-9, S. 1-12, 2004
- [13] *Gnehm, V.:* Standardisierte Erhaltungsmassnahmen. Eidgenössisches Departe-ment für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, Bern, unveröffentlicht
- [14] *Sachs, L.:* Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden, 11. Auf-lage, Springer Verlag, Berlin,2004
- [15] *Girmscheid, G.; Busch, Th.:* Risikomanagement in Generalunternehmungen, Eigenverlag des IBB, ETH Zürich, Zürich, 2005