

Schutzsysteme

im Tief- und
Ingenieurbau



Impulsprogramm Bau -
Erhaltung und Erneuerung
Bundesamt für Konjunkturfragen

Die vorliegende Dokumentation «Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau» ist durch die Arbeitsgruppe «Technologien» des «IP-Bau – Erhaltung und Erneuerung, Fachbereich Tiefbau» erarbeitet worden. Im Autorenverzeichnis sind die Verfasser der Beiträge aufgeführt. Ein engerer und weiterer Kreis von Experten aus den verschiedenen Themenbereichen hat die Arbeitsgruppe begleitet und im Rahmen von Stellungnahmen wertvolle Hinweise gegeben.

Mitglieder der Arbeitsgruppe Technologien

- Dr. R. P. Frey, Ingenieurbureau Frey & Schwartz, Zug
- M. Lugeon, Ingenieurbureau Rochat et Lugeon SA, Cossonay-Gare
- M. Matalon, Emch + Berger AG, Biel
- P. Matt, Ingenieur-Beratung, Ittigen
- Dr. A. Muttoni, Studio Grignoli Martinola Muttoni, Lugano

Leitung der Arbeitsgruppe und Gesamtdaktion

- P. Matt, Ingenieur-Beratung, Ittigen

Mitglieder des Expertenkreises

- Dr. A. Arnold, Institut für Denkmalpflege, ETH, Zürich
- A. Bernhard, Tecnotest AG, Zürich
- M. Donzel, Bundesamt für Strassenbau
- B. Furrer, Denkmalpflege der Stadt Bern
- M. Gut, Baudirektion, Kanton Nidwalden
- Dr. F. Hunkeler, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Zürich
- C. Meuli, Bundesamt für Strassenbau, Bern
- Prof. Dr. P. Schiessl, Institut für Bauforschung, RWTH, Aachen (Deutschland)
- O.W. Schuwerk, Thalwil
- W. Studer, EMPA, Dübendorf
- Dr. R. Suter, Schindelholz + Dénériaz SA, Lausanne
- M. Tschumi, Generaldirektion SBB, Bern
- S. Zingg, Schweiz. Zentralstelle für Stahlbau, Zürich
- P. Zwicky, Ingenieurbüro, Sarnen

Autorenverzeichnis

- Dr. R. P. Frey, Ingenieurbureau Frey & Schwartz, Zug und
Dr. A. Muttoni, Studio Grignoli Martinola Muttoni, Lugano (Kap. 3)
- U. Meierhofer, EMPA, Dübendorf und
J. Fischer Lignum, Zürich (Kap. 6)
- P. Matt, Ingenieur-Beratung, Ittigen

An dieser Stelle sei auch allen anderen Fachleuten aus Praxis, Lehre und Forschung für deren wertvolle Auskünfte und Stellungnahmen bestens gedankt.

Trägerschaft

- SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
- STV Schweizerischer Technischer Verband
- VSS Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute

Gestaltung

APUI, Hochfeldstrasse 113, 3000 Bern 26

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, Januar 1992

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.455 d)

Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre befristet (1990-1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

- IP Bau – Erhaltung und Erneuerung
- RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER – Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll ein Beitrag zu einem verstärkt qualitativ orientierten Wirtschaftswachstum, d.h. zu einer rohstoff-, energie- und umweltschonenden Produktion bei gleichzeitig verstärktem Einsatz von Fähigkeitskapital geleistet werden.

Die Voraussetzungen für die Instandhaltung wesentlicher Teile unserer Siedlungsstrukturen sind zu verbessern. Immer grössere Bestände im Hoch- und Tiefbau weisen aufgrund des Alterns sowie der sich wandelnden Bedürfnisse und Anforderungen technische und funktionale Mängel auf. Sie müssen – soll ihr Gebrauchswert erhalten bleiben – erneuert werden. Mit stetem «Flicken am Bau» kann diese Aufgabe nicht sinnvoll bewältigt werden. Neben den bautechnischen und -organisatorischen Aspekten bilden auch die rechtlichen Rahmenbedingungen, die fast ausschliesslich auf den Neubau ausgerichtet sind, Gegenstand des IP BAU. Es gliedert sich entsprechend in die drei Fachbereiche: Hochbau, Tiefbau, Umfeld.

Wissenslücken bei vielen Beteiligten-Eigentümer, Behörden, Planer, Unternehmer und Arbeitskräfte aller Stufen – sind zu schliessen, damit die technische und architektonische Qualität unserer Bauten, aber auch die funktionale, wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung vieler Quartiere, Dorf- und Stadtteile erhalten oder verbessert werden können.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, usw.

Umgesetzt werden sollen die Ziele des IP BAU durch Aus- und Weiterbildung sowohl von Anbietern als auch Nachfragern von Erneuerungsdienstleistungen sowie durch Informationen. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der

täglichen Praxis ausgerichtet. Sie basiert hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen. Interessenten können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint zwei- bis dreimal jährlich und ist (im Abonnement) beim Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, gratis erhältlich.

Jedem Kurs- oder Veranstaltungsteilnehmer wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Die Publikationen können auch bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bestellt werden.

Zuständigkeiten

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Umsetzungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch Spezialisten auch die Beachtung der vielen Schnittstellen in der Bauerhaltung und -erneuerung sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus Vertretern der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programms fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten im Bereich der Bauerneuerung sicher. Branchenorganisationen übernehmen auch die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für die Vorbereitung ist das Projektleitungsteam (Reto Lang, Andreas Bouvard, Dr. Niklaus Kohler, Dr. Gustave E. Marchand, Ernst Meier, Dr. Dieter Schmid, Rolf Sägesser, Hannes Wüest und Eric Mosimann, BFK) verantwortlich. Die Hauptarbeit wird durch Arbeitsgruppen erbracht, die zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Dokumentation

Die vorliegende Dokumentation behandelt die Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau in erster Linie aus der Sicht der Erhaltung und der Erneuerung von Bauwerken. Im Sinne einer gesamtheitlichen Betrachtungsweise werden die Schutzsysteme für verschiedene Baustoffe und Bauweisen dargestellt. Dazu gehören Bauwerke aus Beton,

Stahl, Holz und Naturstein. Alle diese Baustoffe können durch äussere oder innere Einwirkungen altern oder geschädigt werden. Schutzsysteme dienen dazu, den Baustoff und damit den entsprechenden Bauwerksteil dann zusätzlich zu schützen, wenn das baustoffeigene Schutzvermögen nicht ausreicht, um die festgelegten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Die Dokumentation enthält Hinweise zu den Arten von Schutzsystemen, den Alterungs- und Schädigungsmechanismen, zu Überwachung und Unterhalt sowie zur Instandsetzung und Erneuerung von Schutzsystemen.

In der Ausbildung und in der Praxis sind die einzelnen Bauweisen leider stark getrennt. Es war deshalb für die Arbeitsgruppe erfreulich festzustellen, dass die Experten aus den verschiedenen Bereichen hier konstruktiv mitgearbeitet haben. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Erhaltungsproblematik gar nicht so unterschiedlich ist, und dass wichtige Erfahrungen in einem Bereich auch auf andere übertragen werden können. Im weiteren wurden in bezug auf Fragen wie beispielsweise zum wirklichen Verhalten von Schutzsystemen und deren Lebensdauer erhebliche Wissenslücken festgestellt. Es wäre für die Praxis eine grosse Hilfe, wenn

sich geeignete Institutionen in Zukunft vermehrt mit dieser Thematik befassen würden. Dies wäre auch von erheblicher volkswirtschaftlicher Bedeutung.

Nach einer Vernehmlassung und dem Anwendungstest in einer Pilotveranstaltung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Dennoch hatten die Autoren freie Hand, unterschiedliche Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Sie tragen denn auch die Verantwortung für die Texte. Unzulänglichkeiten, die sich bei den praktischen Anwendungen ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfragen oder der verantwortliche Redaktor/Kursleiter entgegen (vgl. S. 2).

Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

Januar 1992

Dr. H. Kneubühler
Stv. Direktor des Bundesamtes für Konjunkturfragen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Allgemeines	8
1.2	Ziele der Dokumentation	8
1.3	Zielpublikum	10
1.4	Erläuterung der Thematik	11
2	Grundlagen	19
2.1	Das Normenumfeld	20
2.2	Richtlinien und gesetzliche Verordnungen	23
2.3	Einwirkungen, Alterungs- und Schädigungsmechanismen	25
2.4	Qualitätssicherung	27
2.5	Umweltverträglichkeit	28
2.6	Schutzwürdige Bauwerke	29
3	Anforderungen an Schutzsysteme und Grundsätze zur Wahl	31
3.1	Allgemeines	32
3.2	Generelle Anforderungen an Schutzsysteme	33
3.3	Bauwerks- und baustoffspezifische Überlegungen an einem Beispiel	36
4	Betonbau	45
4.1	Allgemeines	46
4.2	Gliederung der Schutzsysteme	47
4.3	Alterungs- und Schädigungsmechanismen	51
4.4	Instandsetzung von Beton und Bewehrung	54
4.5	Abdichtungssysteme	80
5	Stahlbau	101
5.1	Allgemeines	102
5.2	Alterungs- und Schädigungsmechanismen	105
5.3	Arten von Korrosionsschutzsystemen	109
5.4	Überwachung und Unterhalt	114
5.5	Erneuerung	114
6	Holzbau	117
6.1	Allgemeines	118
6.2	Alterungs- und Schädigungsmechanismen	119
6.3	Bauteile	123
6.4	Schutzmassnahmen und Schutzwirkungen	126
6.5	Überwachung, Unterhalt und Erneuerung	131

7	Natursteinmauerwerksbau	133
7.1	Allgemeines	134
7.2	Naturstein- und Mauerwerksarten	135
7.3	Alterungs- und Schädigungsmechanismen	141
7.4	überwachung	144
7.5	Unterhalt und Erneuerung	145
8	Literaturverzeichnis	151
9	Anhang	159
9.1	Abkürzungsverzeichnis	160
9.2	Bildnachweise	161
9.3	Publikationen des Imulsprogrammes IP-Bau	162

1 Einleitung

1.1	Allgemeines	8
1.2	Ziele der Dokumentation	8
1.3	Zielpublikum	10
1.4	Erläuterung der Thematik	11

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Die Bedeutung der Bauwerkserhaltung wächst von Jahr zu Jahr. Gemäss vorliegenden Schätzungen beträgt mittlerweile der Wiederbeschaffungswert der Tief- und Ingenieurbauten in der Schweiz 300–400 Milliarden Franken. Dieses grosse volkswirtschaftliche Vermögen muss erhalten werden. Immer grössere Baubestände kommen nach und nach in die Erneuerungsphase. Dies unter anderem auch darum, weil sich sicherheitsmässige und funktionelle Änderungen aufdrängen.

Wird mit einer Lebensdauer der Tief- und Ingenieurbauten von 50 bis 100 Jahren gerechnet, so müssten jährlich 4 bis 8 Milliarden Franken für Unterhalts- und Erneuerungsmassnahmen investiert werden. Im öffentlichen Bereich werden heute dafür erst ungefähr 2,5 Milliarden Franken aufgewendet.

Das Impulsprogramm Bauerhaltung und -erneuerung hat sich zum Ziel gesetzt, einen Beitrag zur Wissensvermittlung auf diesem Gebiet zu leisten. Es geht primär darum, vorhandenes Wissen aus dem In- und Ausland innerhalb von sinnvollen Themenkreisen aufzuarbeiten und der Praxis zur Verfügung zu stellen.

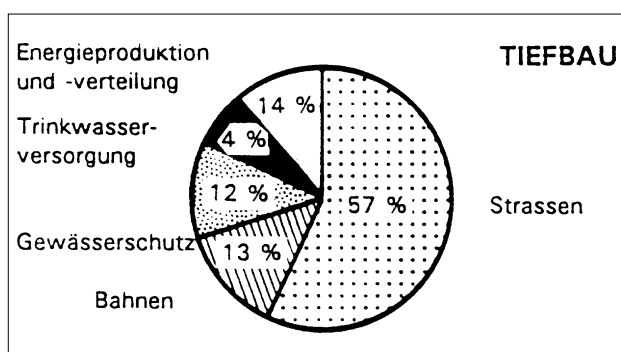


Bild 1.1 Wertmässige Prozentanteile der wichtigsten Bauwerkssparten im Tief- und Ingenieurbau (Quelle: Bundesamt für Statistik)

1.2 Ziele der Dokumentation

In dieser Dokumentation ist der Wissensstand im Bereich der Schutzsysteme für Tief- und Ingenieurbauten erstmals **baustoff- und bauweisenübergreifend** dargestellt. Der Inhalt bezieht sich in der Regel auf die Instandsetzung und Erneuerung von Schutzsystemen bei **bestehenden** Bauwerken. Überdies sind auch Hinweise enthalten, wie die gemachten Erfahrungen bei der Planung neuer Bauwerke zu berücksichtigen sind. Damit soll vermieden werden, dass nicht bewährte und oftmals auch teure Lösungen ständig wieder zur Anwendung gelangen und damit in der Zukunft wieder zu den gleichen Problemen führen werden, mit denen wir heute konfrontiert sind.

Es soll also gezeigt werden, wie bestehende und zukünftige Tragwerke geschützt werden können und wie bei der Planung und Ausführung vorgegangen werden muss. Hier ist der Begriff **Planung** von entscheidender Bedeutung. Wir müssen wegkommen von der oftmals praktizierten ziellozen «Flickerei» und «Pflasterlipolitik». Ein bestehendes oder zukünftiges Bauwerk zweckmässig gegen Umwelteinflüsse zu schützen ist eine **wichtige und anspruchsvolle Ingenieuraufgabe**.

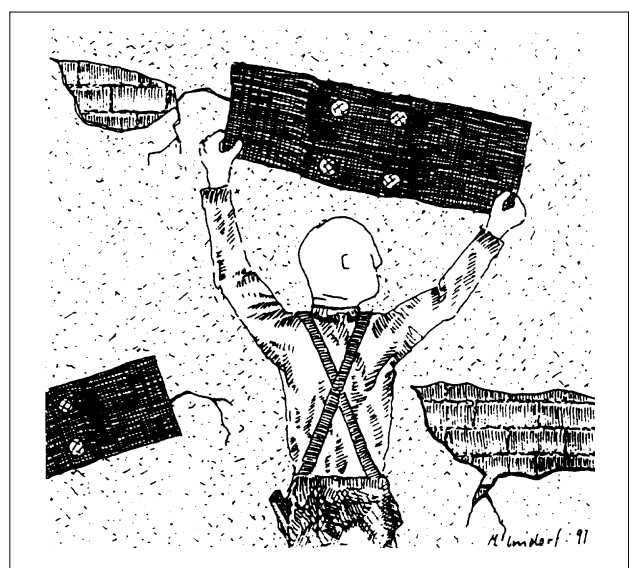


Bild 1.2 Erneuern bzw. Erhalten ist mehr als Flickern

Die Denkarbeit muss frühzeitig im Planungsablauf erfolgen. Insbesondere beim **Erarbeiten des Nutzungsplanes** müssen die Probleme erkannt, und die Schutzziele richtig definiert werden.

Die Überlegungen sind dann in definierte Qualitätsanforderungen an Produkte und Verfahren umzusetzen, und in genügendem Detaillierungsgrad in die **Ausschreibung** der Arbeiten aufzunehmen. Es kann im folgenden nicht darum gehen, bestimmte Produkte oder Verfahren zu nennen und zu beurteilen, die der Markt anbietet. Es wird versucht, die notwendigen Rahmenbedingungen zu deren Wahl und Überwachung zu geben.

Die ausführenden Firmen und die Produktelieferanten haben somit immer noch ihre unternehmerische Freiheit, wie sie die festgelegten Ziele erreichen wollen. Dies muss allerdings innerhalb von bereits in der Ausschreibung ausreichend festgelegten **Qualitätsanforderungen** geschehen. Die Unternehmen müssen sämtliche **kosten- und terminwirksamen Anforderungen an die Qualität und deren Kontrolle** kennen, damit sie ein brauchbares Angebot ausarbeiten können. Nur so ist es möglich, unliebsame Kostenüberschreitungen und Terminverzögerungen zu verhindern. Nicht nur bei der Planung zukünftiger Bauten, sondern vor allem bei der Erhaltungsplanung für bestehende Bauwerke stellt dies sehr hohe Anforderungen an den projektierenden Ingenieur.

Bei den hier behandelten Bauwerksarten hat es der planende Ingenieur in der Regel mit einem **fachkundigen Bauherrn oder seinem Vertreter** zu tun. Gerade bei der Festlegung von Qualitätszielen ist dessen Rolle von grosser Bedeutung, und ein fruchtbarer Dialog zwischen Ingenieur und Bauherr ist ausserordentlich wichtig.

Die Dokumentation soll dazu beitragen, die vorgenannten Gesichtspunkte näher zu beleuchten und Hinweise zu den Schutzzielen und den Anforderungen an Materialien und Ausführung zu geben. Sie baut auf den bereits erschienenen Dokumentationen der Arbeitsgruppen «Planungshilfen für Hochleistungsstrassen» und «Diagnosemethoden» auf:

- Erhaltung von Hochleistungsstrassen unter Verkehr, Nr. 724.452 d, 1991, [1.1]
- Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, Nr. 724.453 d, 1991, [1.2]

Als Grundlage für die Planung von Schutzmassnahmen bei bestehenden Bauwerken muss eine **ausreichende Zustandsbeurteilung** vorliegen. Darauf aufbauend kann dann die **Projektierung von Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen** erfolgen (Bild 1.3).

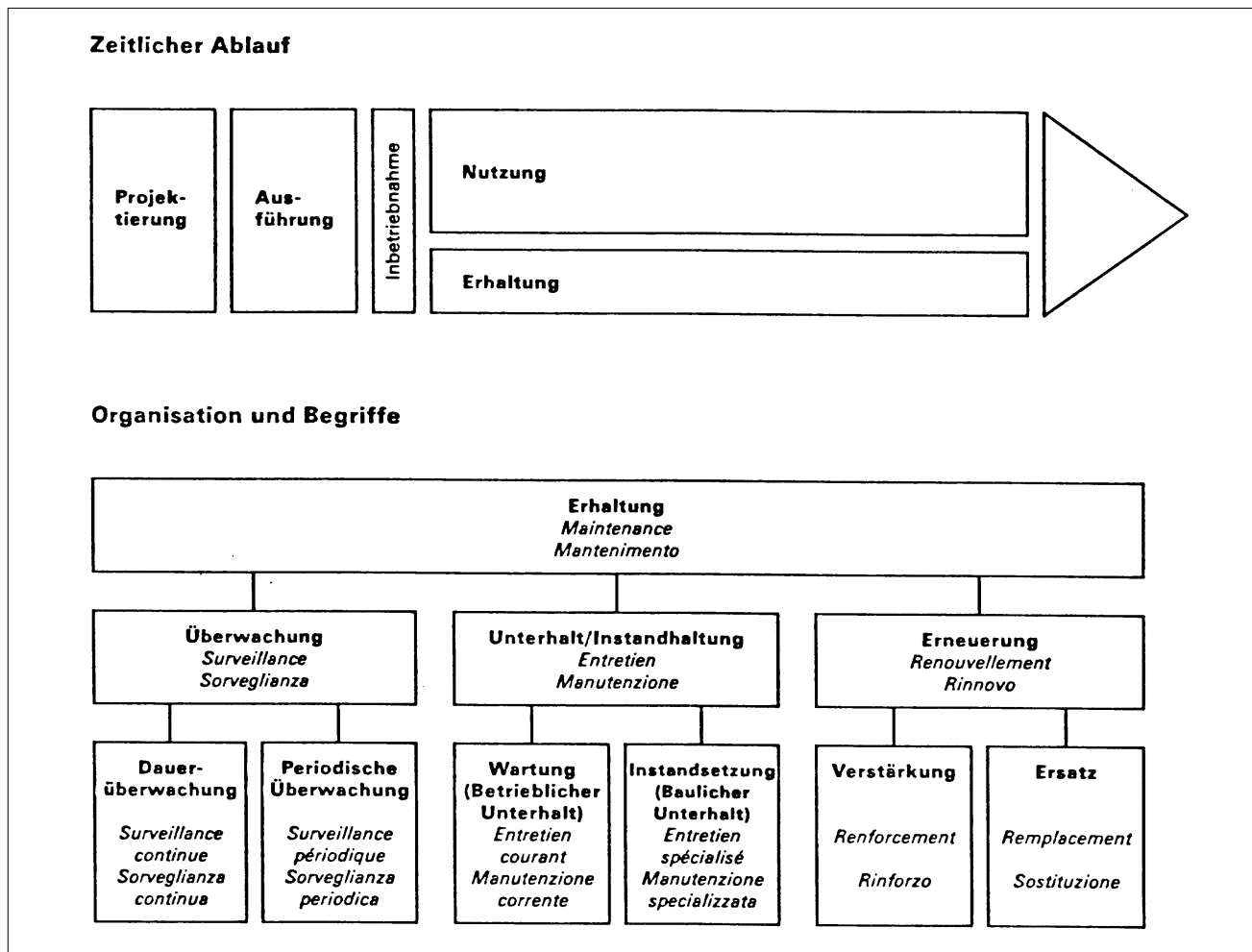


Bild 1.3 Begriffe gemäss Empfehlung SIA 169 (1987), Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken

1.3 Zielpublikum

Die Dokumentation richtet sich in erster Linie an projektierende und bauleitende Ingenieure. Diese können in Ingenieurbüros, Unternehmungen und Verwaltungen tätig sein. Dabei ist nicht an spezialisierte Fachleute gedacht, sondern an den Ingenieur, der sich in seiner täglichen Arbeit mit sehr verschiedenartigen Problemen des Tief- und Ingenieurbaus konfrontiert sieht, und der diese innert nützlicher Frist lösen muss. Er soll mit dieser Dokumentation den Einstieg in die behan-

delten Themenbereiche erhalten. Nach einem aktiven Befassen mit der Thematik, insbesondere auch durch das zusätzliche Studium der angegebenen Fachliteratur, sollte ein selbständiges Weiterarbeiten möglich sein.

Der projektierende Ingenieur soll in die Lage versetzt werden, die Massnahmen zur Instandsetzung und Erneuerung fachgerecht zu planen und auch zu erkennen, wie zukünftige Bauwerke erhaltungsgerechter konzipiert werden können.

Der bauleitende Ingenieur soll Hinweise dazu erhalten, worauf es bei der Ausführung von Schutzsystemen ankommt. Die einzelnen Ausführungsmethoden werden insoweit behandelt, als dies für den Projektierenden und den Bauleiter von Bedeutung ist. Es geht also nicht darum, Bauausführende in Sanierungsmethoden zu schulen oder bereits spezialisierte Fachleute weiterzubilden.

Zur Sprache im Bauwesen:

Den Autoren ist bewusst, dass es unter dem Zielpublikum auch Frauen gibt. Diese sollten richtigerweise sprachlich entsprechend angesprochen werden. Die Bausprache ist bis heute sehr stark männlich geprägt, und weibliche Sprachformen fehlen fast immer. Da sich die Autoren nicht berufen fühlten, sprachschöpferisch zu wirken, ist die hier verwendete Sprache traditionell. Die Frauen sind jedoch immer mitangesprochen.

1.4 Erläuterung der Thematik

Unsere Bauwerke sind mannigfaltigen Einwirkungen ausgesetzt. Diese können auf verschiedenste Art und Weise die Dauerhaftigkeit und damit den Wert beeinträchtigen. Wir stellen auch fest, dass sich der Einfluss der Einwirkungen in der Regel verstärkt hat. Dies kann beispielsweise bei bekannten historischen Bauten festgestellt werden, die viele Jahrhunderte relativ gut überstanden haben, die aber vor allem in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts stark geschädigt wurden [1.3]. Die meisten dieser Bauwerke bestehen aus Natursteinen, die neben einer natürlichen Alterung vor allem durch aggressive Bestandteile der Luft und des Regens leiden. Wir erkennen, dass sich primär die Oberfläche verändert, und dass nach und nach die Steine und damit die Bauwerksoberfläche die ursprünglichen Konturen verliert.

Es sind aber auch Bauwerke neueren Datums, die bereits nach kürzerer Nutzungsdauer Schäden an der Oberfläche aufweisen.

Gerade bei unschätzbaren Kulturgütern, aber auch bei der ebenfalls betroffenen Vielzahl von modernen Tief- und Ingenieurbauten liegt es deshalb nahe, nach Schutzmassnahmen zu suchen. Natürlich muss unser Bestreben auch dahin gehen, die Einwirkungsseite günstig zu beeinflussen. In Einzelfällen ist es auch gelungen, eine Reduktion der Schadstoffe zu bewirken (z.B. Reduktion des SO₂-Anteils in der Luft). Im gegebenen Kontext dieser Dokumentation geht es aber primär darum, aufzuzeigen, wie Bauwerke geschützt werden können, damit deren Dauerhaftigkeit gewährleistet ist.

Im weiteren hat sich auch die Frage gestellt, zu welchen **Baustoffen** etwas ausgesagt werden soll. Um der immer mehr um sich greifenden **Segmentierung des Wissens und der Erfahrung auf enge Bereiche entgegenzuwirken**, befasst sich diese Dokumentation nicht nur mit dem vom Volumen her dominierenden Betonbau, sondern auch mit **Stahlbau, Holzbau** sowie Bauten aus **Natursteinmauerwerk**.

Alle diese Baustoffe können sich von ihren Eigenschaften her bis zu einem gewissen Grad selbst schützen, oder sind in der Lage, das Durchdringen von Flüssigkeiten zu verhindern. Es gibt also zumindest gegenüber einzelnen Einwirkungen ein

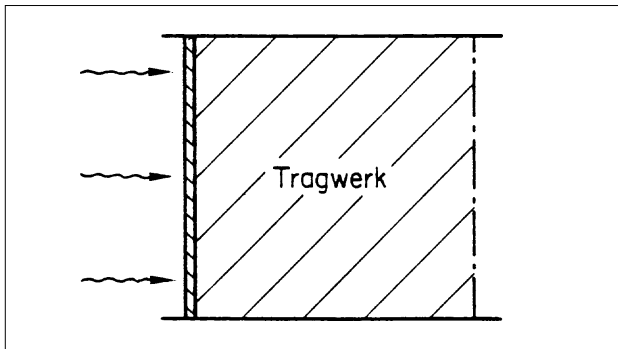


Bild 1.4 Durch geeignete Schutzsysteme das Eindringen schädigender Medien verhindern; solche sind vorzusehen, wenn das baustoffeigene Schutzvermögen nicht ausreicht

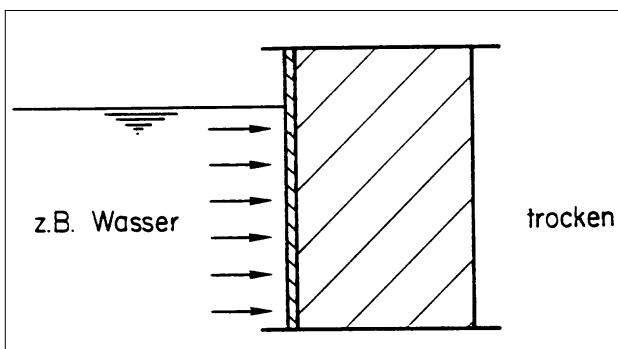


Bild 1.5 Durch geeignete Schutzsysteme das Durchdringen von Flüssigkeiten verhindern; solche sind vorzusehen, wenn das baustoffeigene Schutzvermögen nicht ausreicht

baustoffeigenes Schutzvermögen. So kann ein Betonbehälter wasserdicht sein; hingegen ist der gleiche Behälter ohne zusätzliches Schutzsystem nicht dicht gegenüber Heiz- und Dieselöl.

Es kann also von einem **baustoff- bzw. bauweiseigenen Schutzvermögen** und von zusätzlichen **Schutzsystemen** gesprochen werden.

Zusätzliche Schutzsysteme können sein (Bilder 1.4 und 1.5):

- **Oberflächenschutz** (Anstriche, Beschichtungen, Überzüge, Imprägnierungen, Verkleidungen, usw.)
- **Abdichtungen** (Dichtungsbahnen, Flüssigfolien, usw.)
- **Elektrochemische Verfahren** (Kathodischer Korrosionsschutz, usw.)

Für die Erzielung einer ausreichenden Dauerhaftigkeit sind neben den eigentlichen Schutzsystemen auch zweckmässige **konstruktive Massnahmen**, sowie **Überwachung** und **Unterhalt** erforderlich.

Welche Bauwerksarten sind mit dem Begriff Tief- und Ingenieurbau gemeint?

Die nachstehenden, allgemein üblichen Definitionen zeigen, dass damit eine Vielzahl von Bauwerksarten angesprochen ist. Diese unterscheiden sich teilweise sehr stark in bezug auf Funktion, Nutzung und Einwirkungen.

Tiefbau:

«im Unterschied zum Hochbau die Bauarbeiten zu ebener Erde, in oder unter der Erde (Strassen-, Erd-, Tunnelbau, Eisenbahnbau, Wasserbau, Kanalisationen u.a.).»

Ingenieurbau:

«Teilgebiet der Bautechnik, betrifft die Bauten, die u.a. durch technisch-konstruktive und statische Gesichtspunkte geprägt werden (Brücken, Stahl- und Stahlbetonskelettbauten, Hochhäuser, Türme, Industriebauten, Hallen, Wasserkraftanlagen, Talsperren).»

Es wird nachfolgend gezeigt, welche Arten in die Überlegungen der späteren Kapitel einbezogen sind. Überdies werden bereits erste, übergeordnete Hinweise zu den einzelnen Bauarten und den wichtigsten Schutzzielen gegeben.

Im übrigen ist zu erwähnen, dass einiges in dieser Dokumentation sinngemäss auch für den Hochbau gelten kann. Dies betrifft insbesondere die Abdichtung von Flachdächern oder den Schutz von Fassaden aus Beton, Naturstein und Holz.

Grundwasserwannen (Bilder 1.6 und 1.7)

In der Regel handelt es sich hier um neuere Bauwerke, die dank der **Stahlbetonbauweise** möglich wurden.

Bereits an dieser Stelle ist kurz auf eine Besonderheit der **Stahlbetonbauweise** hinzuweisen. Grundsätzlich stehen für das Gewährleisten einer wasserdichten Wanne **zwei Konzepte** zur Verfügung:

- Wannen aus wasserundurchlässigem Beton (oft auch «weisse Wanne» genannt), wobei heute, wo immer möglich, eine monolithische Struktur angestrebt wird, d.h. das Ziel ist die Vermeidung

oder zumindest eine Verringerung von Dauerfugen, die sehr oft Dauerhaftigkeitsprobleme verursachen.

- Wannen mit starrer oder flexibler Hautabdichtung.

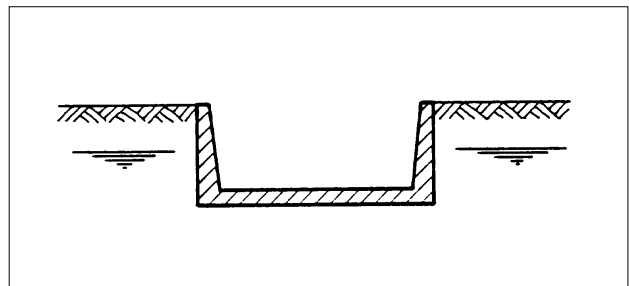


Bild 1.6 Strassenunterführung oder Strasse im Einschnitt:

- im Innenbereich Schutz der Bewehrung vor Tausalzeinwirkung
- Dichtigkeit der Wanne gegen Grundwasser (u.a. Verhindern von Glatteisbildung im Strassenbereich)

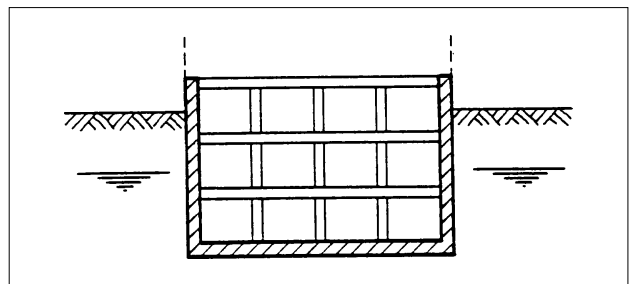


Bild 1.7 Untergeschosse in Hochbauten:

- Dichtigkeit der Aussenwände und Betonplatte (zusätzlich können weitergehende Anforderungen an die Feuchtigkeit bestehen, d.h. auch wenn kein sichtbares Wasser eindringt, kann es doch für die vorgesehene Nutzung zu feucht sein)
- Schutz der Aussenflächen gegen beton- und/oder stahlaggressive Beimengungen im Wasser

Erdüberschüttete Bauwerke (Bild 1.8)

Hier gelten ähnliche Aussagen, wie sie bereits bei den Wannen gemacht wurden. Ein wichtiger Unterschied besteht darin, dass es bei der erdüberschütteten Decke bei einem fehlenden oder nicht funktionstüchtigen Schutz nicht nur zu einem Gebrauchtauglichkeits- sondern auch **unbemerkt zu einem Tragsicherheitsproblem** kommen kann. Bei den normalerweise verwendeten Flachdecken in Stahlbeton oder Spannbeton hat die obere Bewehrung eine entscheidende Aufgabe insbesondere auch in bezug auf die Sicherheit gegen das Durchstanzen. Es ist denkbar, dass durch fehlenden Schutz diese Bewehrung so stark korrodieren kann, dass dies zu einem örtlichen Durchstanzen der Decke und anschliessendem progressiven Kollaps mit möglicherweise katastrophalen Folgen führen kann. Analoge Überlegungen gelten auch für die Fundamente, vor allem dann, wenn vom Untergrund her aggressive Medien einwirken können.

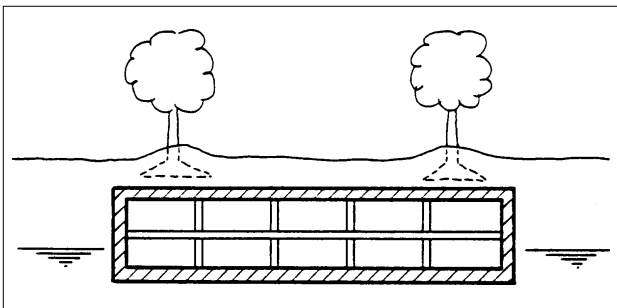


Bild 1.8 Einstellhallen für Fahrzeuge, unterirdische Bahnhofsbauten, usw.:

- Dichtigkeit der Aussenwände und Bodenplatte
- Schutz von Beton und Bewehrung bei der obersten Decke
- Schutz der Bauteile im Innern von Einstellhallen gegen Tausalzeinwirkung

Stützbauwerke (Bilder 1.9 und 1.10)

Bei Stützbauwerken kommen in der Regel Stahlbeton, Natursteinmauerwerk und, im Ausland, oft auch Stahlspundwände zur Anwendung.

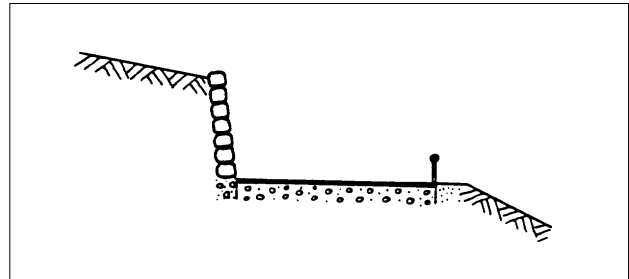


Bild 1.9 Typische Stützmauer in Natursteinmauerwerk:

- Schutz der Steinoberflächen und des Fugenmaterials gegen Aggressivität in Luft und Regenwasser sowie gegen Spritzwasser mit Tausalzen

Solche Stützbauwerke können auch mit permanenten, vorgespannten Boden- und Felsankern gesichert sein. Die Zugglieder dieser Anker bestehen aus hochfesten Stählen, die u.a. auch wegen der hohen Zugspannungen, denen sie dauernd ausgesetzt sind, sehr empfindlich auf Korrosion reagieren und deshalb zuverlässig geschützt werden müssen.

Diese Thematik, die auch für andere Zugglieder aus Spannstählen wie Spannglieder, Schrägseile und Hängestangen gilt, wird von IP-Bau zu einem späteren Zeitpunkt behandelt werden.

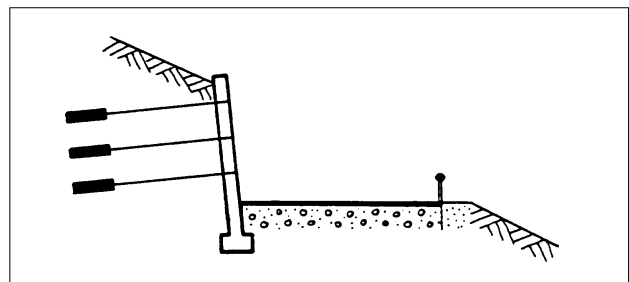


Bild 1.10 Rückverankerte Stützmauer in Stahlbeton:

- Schutz der Wand gegen Aggressivität in Luft und Regenwasser sowie gegen Spritzwasser mit Tausalzen
- Schutz der permanenten, vorgespannten Boden- und Felsanker gegen Korrosion des Zementsteins und des Stahlzuggliedes und dies im gesamten Bereich, d.h. von der Schutzkappe bis zum andern Ende, siehe dazu u.a. [1.4]

Schutzgalerien (Bilder 1.11 und 1.12)

Diese bestehen in der Regel aus Stahlbeton (Ortsbauweise oder Vorfabrikation). Für die Dachelemente sind auch Spannbetonbauteile verwendet worden. Einzelne Galeriedächer bestehen auch aus Verbundkonstruktionen.

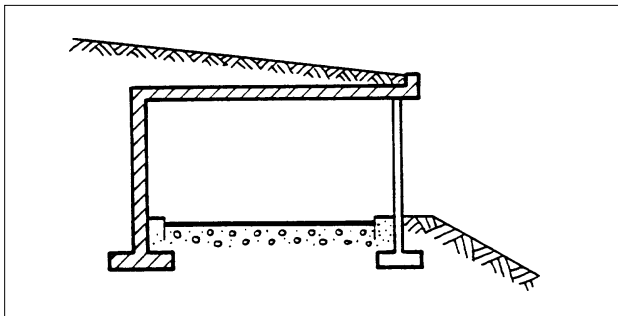


Bild 1.11 Schutzgalerien mit vorderer Stützenreihe:

- Dichtigkeit der Dachkonstruktion (u.a. Verhindern von Eiszapfenbildung am Dach und Eiszapfenbildung auf der Fahrbahn)
- Schutz der Bauteile gegen Tausalzeinwirkung

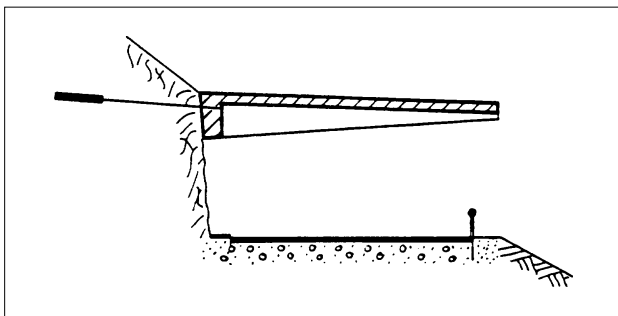


Bild 1.12 Frei auskragende, rückverankerte Schutzgalerie:

- Dichtigkeit der Dachkonstruktion (u.a. Verhindern von Eiszapfenbildung am Dach und Eiszapfenbildung auf der Fahrbahn)
- Schutz der Bauteile gegen Tausalzeinwirkung
- Zu den Ankern siehe Bemerkungen unter Stützbauwerken

Brücken (Bilder 1.13 bis 1.16)

Hier sind alle in dieser Dokumentation einbezogenen Baustoffe anzutreffen. Bei den sehr alten Brücken sind dies Natursteinmauerwerk und Holz sowie Stahl im Eisenbahnbau des letzten Jahrhunderts; bei den Brücken dieses Jahrhunderts in erster Linie Stahlbeton und in den letzten Jahrzehnten auch Spannbeton. In jüngerer Zeit kann wieder ein verstärktes Interesse an Holzbrücken festgestellt werden. Diese sind im übrigen ein Beispiel dafür, wie Dauerhaftigkeit primär durch das bauliche Konzept gewährleistet werden kann, in dem die Tragwerksteile durch eine Dachkonstruktion geschützt sind.

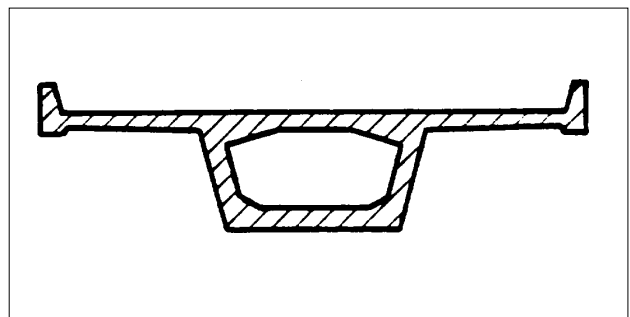


Bild 1.13 Typische Spannbetonbrücke für den Strassen- und Bahnverkehr:

- Schutz der durch Wasser und Tausalz gefährdeten Bauteile wie Fahrbahnplatte, Brüstungen sowie Pfeiler und Fundationen (die letztere bei Brücken über Strassen)

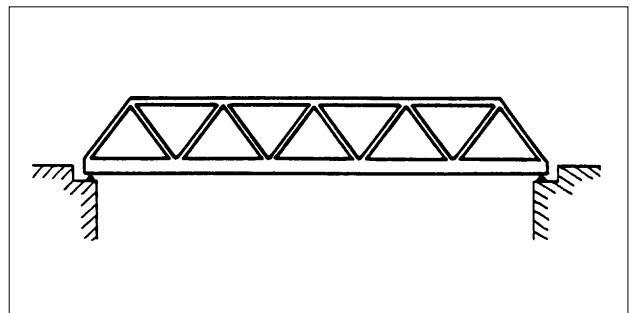


Bild 1.14 Stahlbrücke für die Bahn:

- Schutz der Stahlkonstruktion gegen Korrosion

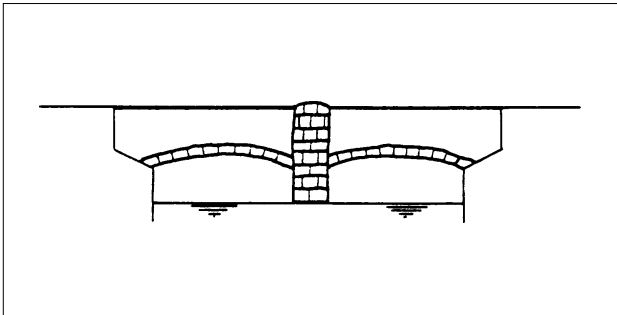


Bild 1.15 Bogenbrücke aus Natursteinmauerwerk:
– Schutz der Steinoberflächen und des Fugenmaterials gegen Aggressivität in Luft und Regenwasser sowie Fahrbahn und Brüstungen zusätzlich gegen Tausalze

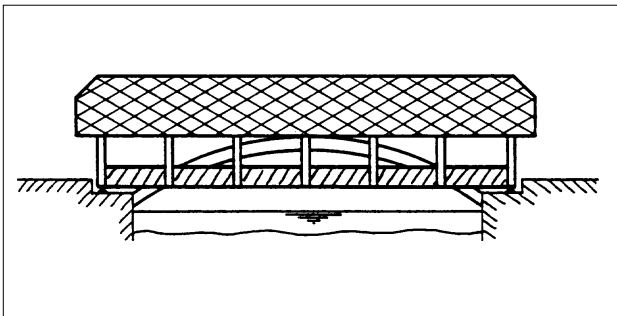


Bild 1.16 Holzbrücke:
– Schutz der Tragkonstruktion gegen holzschädigende Einflüsse

Tunnelbauten (Bilder 1.17 bis 1.19)

Bei den Tunnelbauten, die für den Bahnverkehr hauptsächlich im letzten Jahrhundert gebaut wurden, ist zur Verkleidung in der Regel Natursteinmauerwerk verwendet worden. Neben den eigentlichen Tunnelstrecken, die im Fels liegen, sind auch die oft im Lockergestein liegenden Portalbauwerke zu beachten.

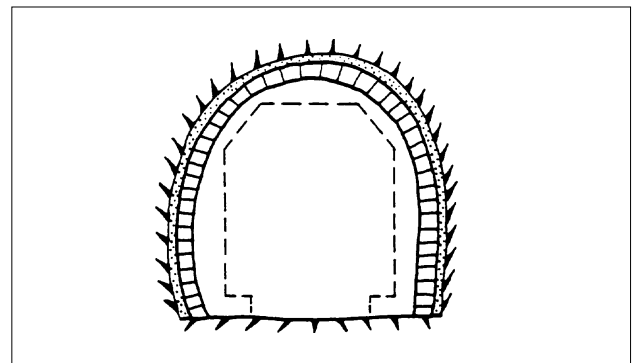


Bild 1.17 Bahntunnel mit Auskleidung aus Natursteinmauerwerk:
– Schutz der Steine und des Fugenmaterials vor Verwitterung
– Dichtigkeit der Verkleidung; im Portalbereich verhindern der Eisbildung in nassen Fugen

Im Zuge des Nationalstrassenbaus und bei Neubaustrecken der Eisenbahn sind Verkleidungen und weitere Einbauten wie beispielsweise Fahrbahnplatten in Stahlbeton ausgeführt worden. Dabei wurde bei bergmännisch erstellten Tunnels sowohl die Ortsbetonbauweise wie die Vorfabrikation verwendet.

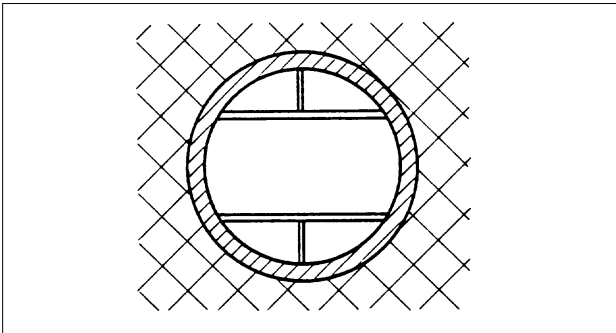


Bild 1.18 Bergmännisch erstellte Tunnels für den Strassen- und Eisenbahnverkehr:

- Schutz der Fahrbahnplatten und der übrigen Innenflächen gegen Tausalze (bei Strassentunnels)
- Schutz von Aufhängungen und Befestigungen gegen Korrosion (hier nicht weiter behandelt – siehe [1.5])
- Dichtigkeit der Stahlbetonverkleidung (vor allem im Portalbereich, verhindern von Eisbildung in den Fugen und auf der Fahrbahn)
- Schutz der Stahlbetonaussenflächen gegen beton- und/oder stahlangreifende Wässer

Die im Tagbau erstellten Tunnels werden üblicherweise in Ortsbeton erstellt.

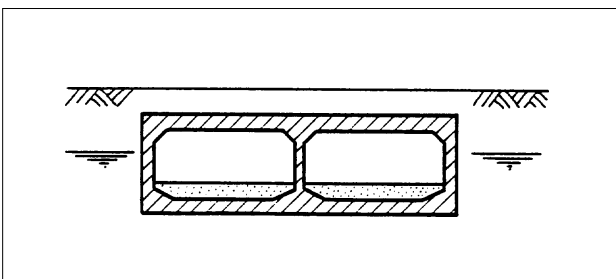


Bild 1.19 Im Tagbau erstellte Tunnels für den Strassen- und Eisenbahnverkehr:

- Schutz der Innenflächen gegen Tausalze (bei Strassentunnels)
- Dichtigkeit der Stahlbetonkonstruktion (verhindern von Eisbildung in den Fugen und auf der Fahrbahn)
- Schutz der Stahlbetonaussenflächen gegen beton- und/oder stahlangreifende Wässer

Flüssigkeitsbehälter (Bilder 1.20 und 1.21)

Zur **Lagerung von Wasser** werden in der Regel Behälter oder Becken aus Stahlbeton verwendet. Bei grösseren Behältern kommt auch die Spannbetonbauweise zur Anwendung, wobei die Ringvorspannung sowohl mit in den Wänden angeordneten Spanngliedern als auch durch das Wickeln von Drähten auf die Wandaussenfläche bewerkstelligt werden kann. Bei letzterem Verfahren muss der Schutz des Spannstahls durch eine sorgfältig aufgetragene Spritzbetonschicht gewährleistet werden.

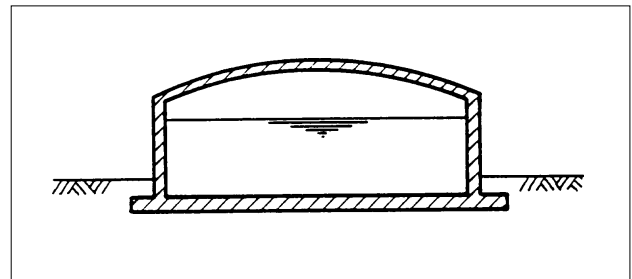


Bild 1.20 Lagerung von Wasser (Wasserreservoirs, Schwimmbäder):

- Dichtigkeit des Behälters
- Schutz der Aussen- und Innenflächen gegen beton- und stahlangreifende Wässer sowie weiterer Einwirkungen

Für die **Lagerung von wasser- und luftgefährdenden Flüssigkeiten** werden in der Regel Behälter aus Stahl, aus mit Schutzsystemen versehenem Stahlbeton und, in Sonderfällen, auch aus Holz (mit Ringvorspannung) verwendet. Bei grossen Behältern sind gemäss gesetzlichen Bestimmungen auch Auffangwannen anzuordnen, die bei einem Versagen des Primärbehälters als Sicherheitsbarriere dienen.

Es handelt sich hier um ein Spezialgebiet, dessen weitergehende Behandlung den Rahmen dieser Dokumentation sprengen würde. Um dem Leser den Einstieg zu erleichtern, finden sich dazu in Abschnitt 2.2 Hinweise zu Richtlinien und gesetzlichen Verordnungen.

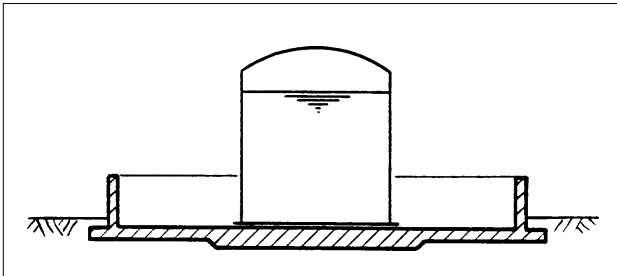


Bild 1.21 Lagerung wasser- und luftgefährdender Flüssigkeiten (flüssige Brennstoffe, Chemikalien):

- Dichtigkeit des Behälters
- Schutz der Behälterwände und der Auffangwannen gegen die Einwirkungen durch das Lagergut einerseits und andererseits gegen Einwirkungen von aussen

Die folgenden Anwendungsbereiche von Schutzsystemen sind in dieser Dokumentation nicht behandelt:

- Leitungsbauwerke für Wasser, Abwasser, Gas, usw.
- Zugglieder aus Spannstählen für Spannglieder, Boden- und Felsanker, Schrägseile und Hängestangen
- Befestigungs- und Aufhängesysteme aus Stahl

IP-Bau plant, diese Themen in zukünftigen Publikationen und Kursen zu behandeln.

2 Grundlagen

2.1	Das Normenumfeld	20
2.2	Richtlinien und gesetzliche Verordnungen	23
2.3	Einwirkungen, Alterungs- und Schädigungsmechanismen	25
2.4	Qualitätssicherung	27
2.5	Umweltverträglichkeit	28
2.6	Schutzwürdige Bauwerke	29

2 Grundlagen

2.1 Das Normenumfeld

Mit dem Erscheinen der neuen Generation von SIA Tragwerksnormen verfügen wir in der Schweiz über moderne Normen, die auch den Entwicklungen und Erfahrungen der letzten 10 – 15 Jahre gerecht werden [2.1 bis 2.6]. Insbesondere befasst sich die Empfehlung SIA 169 mit der Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken. Diese Normen und Empfehlungen wurden der Fachwelt in sehr gut besuchten Einführungskursen vorgestellt [2.7 bis 2.10]. Neben vielen Neuerungen, die im vorliegenden Zusammenhang nicht primär von Bedeutung sind, ist auf die Einführung von sogenannten **Ordnungsmitteln** hinzuweisen. Statistische Auswertungen von Schadensursachen im Bauwesen haben klar gezeigt, dass vor allem der **Informationsaustausch** unter den an einem Projekt Beteiligten verbessert werden muss. Dies kann durch das Erarbeiten von spezifischen Dokumenten oder Plänen erreicht werden. Diese sind:

- Nutzungsplan
- Sicherheitsplan
- Kontrollplan
- Nutzungsanweisungen
- Überwachungsplan
- Unterhaltsplan

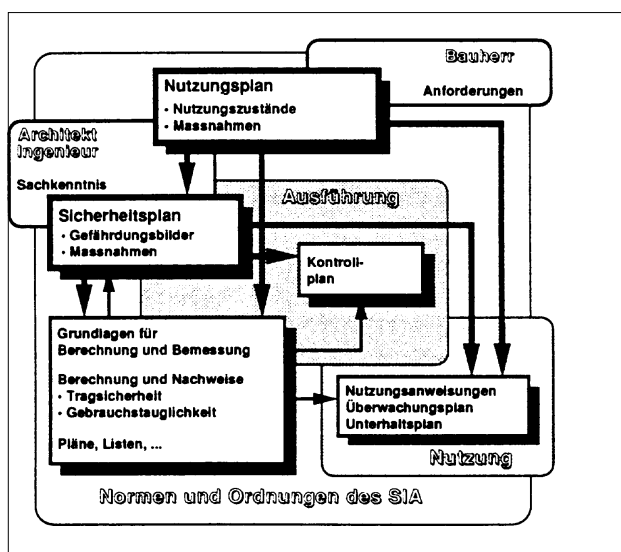


Bild 2.1 Schematische Darstellung der hierarchischen Folgen von Ordnungsmitteln, aus [2.10]

Bei bestehenden Bauwerken sind diese Pläne in der Regel zumindest in der gewünschten Form nicht vorhanden. Im Rahmen der Projektierung von Erhaltungsmassnahmen sind sie deshalb zu erarbeiten. Damit soll gewährleistet werden, dass unter den Beteiligten die wichtigen Fragen diskutiert werden. Dazu gehören beispielsweise beim Nutzungsplan:

- Restnutzungsdauer?
- Vereinbarte Nutzung?
- Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit
- Auftretende Nutzungszustände?
- Massnahmen zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit?
- Möglichkeiten der Instandsetzung?

Bei der Erarbeitung dieser Ordnungsmittel sind auch die Anforderungen an den hier angesprochenen **Bauwerksschutz** zu stellen.

Die Hinweise insbesondere zu den Normen des SIA und der VSS, die sich spezifisch mit Schutzsystemen befassen, finden sich in den entsprechenden Abschnitten dieser Dokumentation.

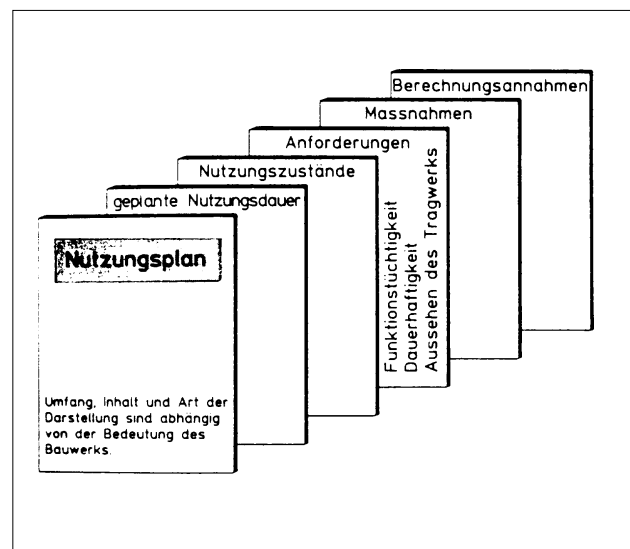


Bild 2.2 Schematische Darstellung des Inhalts eines Nutzungsplanes, aus [2.10]

Im weiteren ist zu erwarten, dass sich die **technische Harmonisierung** in Europa mit der Zeit auch auf unser Land auswirken wird. Im vorliegenden Zusammenhang ist der Hinweis auf die **EG-Bauprodukterichtlinie EG-BPR 89/106 vom 21.12.1988** wichtig. Diese legt die generellen Anforderungen an Bauwerke und Bauprodukte, sowie die Regeln für den freien Warenverkehr im EG-Raum, und – bei Abschluss und Genehmigung des EWR-Vertrages – auch für die EFTA-Länder fest. Die detaillierten Anforderungen werden in den technischen Normen des Europäischen Komitees für Normung (CEN) enthalten sein. CEN ist die privatrechtliche Vereinigung der nationalen Normvereinigungen der 18 EG- und EFTA-Länder. Die Schweizerische Normenvereinigung (SNV) vertritt die Schweiz bei CEN. Sie ist die Dachorganisation für das schweizerische Normenwesen. Der SIA ist innerhalb der SNV verantwortlich für den Fachnormenbereich Bauwesen und die VSS für das Strassenwesen.

Die Bedeutung der Bauprodukterichtlinie für die Schweiz ist gemäss [2.17] wie folgt:

«Die Bauprodukterichtlinie ist für die Schweiz aus verschiedener Sicht von Bedeutung.

Einerseits haben die den EG-Richtlinien im öffentlichen Beschaffungswesen unterstellten Auftraggeber bei Bauaufträgen auf technische Spezifikationen Bezug zu nehmen, die im Rahmen der Bauprodukterichtlinie erarbeitet worden sind (vgl. dazu etwa: Art. 10 der Baukoordinierungsrichtlinie (89/440/ EWG) und insbesondere Art. 13 und 27 Abs. 3 der Sektorenrichtlinie (90/531/EWG)). Im Falle einer Übernahme der Beschaffungsrichtlinien durch die Schweiz erhielte also die Bauprodukterichtlinie eine gewissermassen erhöhte Bedeutung. Dies deshalb, weil die Nichtberücksichtigung der europäischen technischen Spezifikationen in den Ausschreibungsunterlagen Anlass für ein Rekursverfahren bilden kann. (Nebenbei sei hier darauf hingewiesen, dass es für Planer, welche im Rahmen von EG-Ausschreibungen die jeweiligen Bauherren beraten und unterstützen bzw. die Ausschreibungsunterlagen selbst anfertigen, ausserordentlich wichtig sein wird, den neuesten Stand der europäischen Normung jederzeit zu kennen. Eine Nichtberücksichtigung der europäischen Normen in den Ausschreibungsunterlagen kann eine Sorgfaltspflichtverletzung

bedeuten und damit Schadenersatzansprüche des Bauherrn auslösen.)

Andererseits ist folgendes festzuhalten: Die Schweizerische Normenvereinigung (SNV) ist Mitglied des CEN, in welchem bereits umfangreiche Normungsarbeiten im Bauproduktbereich im Gange sind. Federführend für den Fachnormenbereich «Bauwesen» innerhalb des SNV ist der SIA.

Da der SNV gegenüber dem CEN die Verpflichtung eingegangen ist, beim Erscheinen einer europäischen (CEN-) Norm die entsprechende schweizerische zurückzuziehen und durch die europäische zu ersetzen, werden die europäischen Normen in Zukunft in das schweizerische Baunormenwerk einfließen. Und dies aufgrund des eben beschriebenen Mechanismus unabhängig vom Zustandekommen eines Staatsvertrages zwischen der Schweiz und der EG über Bauprodukte.

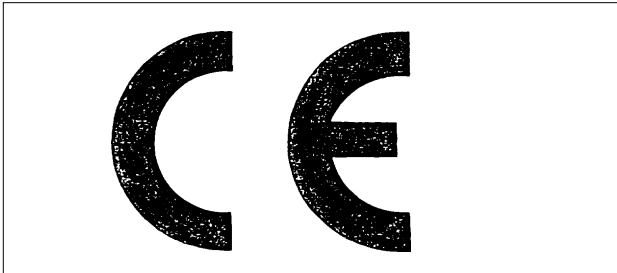
Daneben sind aber auch im Rahmen der EWR-Verhandlungen Bestrebungen im Gange, zwischen den EFTA-Ländern und der EG ein Abkommen über Bauprodukte abzuschliessen. Grundlage dafür bildet der Wortlaut der EG-Bauprodukterichtlinie, die voraussichtlich von den EFTA-Ländern inhaltlich im wesentlichen unverändert übernommen werden wird. **«Das Abkommen mit der EG wird den freien Warenverkehr mit Bauprodukten in allen 18 westeuropäischen Ländern regeln.»**

Seit einiger Zeit sind für alle Bereiche des Bauwesens unzählige technische Komitees mit ihren Untergruppen daran, die CEN-Normen zu erarbeiten. Währenddem einige Normen bereits fertig sind, wird es bei anderen bis zu deren Verfügbarkeit noch einige Jahre dauern.

Auch auf dem Gebiet der **Schutzsysteme** und den dazugehörigen **Produkten** ist die Normarbeit im Gange, bei der ebenfalls Schweizer Fachleute beteiligt sind. Es ist das Ziel, Anforderungen an Produkte oder Produktgruppen mit den dazugehörigen Eignungsprüfungen und Qualitätskontrollen festzulegen. Sie stellen damit die Bedingungen zur Erlangung des EG-Konformitätszeichens, der sogenannten «CE-Marke» (Certificat Européen) dar.

Ist ein Produkt mit dieser Marke versehen, so erfüllt es die entsprechenden Anforderungen und kann frei in allen Ländern des europäischen Binnenmarktes angewendet werden.

Das EG-Konformitätszeichen besteht aus dem CE-Symbol



Zusätzlich sind anzugeben:

- Name oder Kennung des Herstellers und gegebenenfalls
- Angaben zu den Produktmerkmalen, gegebenenfalls gemäss technischen Spezifikationen,
- die letzten beiden Ziffern des Herstellungsjahres,
- Symbol der eingeschalteten Überwachungsstelle,
- Nummer des EG-Konformitätszertifikats.

Es ist zu erwarten, dass in absehbarer Zeit auch in der Schweiz dieses Zeichen bei Bauprodukten Bedeutung erlangen wird, und zwar unabhängig davon, wie die Schweiz in bezug auf den EWR oder die EG handeln wird.

2.2 Richtlinien und gesetzliche Verordnungen

Verschiedene öffentliche Bauherren haben für ihre Bauwerksarten Richtlinien herausgegeben, welche in der Regel für die Planung und Ausführung zukünftiger Bauwerke gelten. Viele der darin enthaltenen Bestimmungen sind aber sinngemäss auch bei der Projektierung von Erhaltungsmassnahmen zu berücksichtigen.

Mit solchen Richtlinien werden übergeordnete Entscheidungen zur Wahl von Schutzsystemen getroffen.

So verlangen sowohl das Bundesamt für Strassenbau (ASB) wie die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) für ihre Brückenbauten eine Abdichtung der Fahrbahnplatten.

Zusätzlich zu den nachstehend aufgeführten Richtlinien finden sich weitere Festlegungen betreffend Bauwerksschutz und Dauerhaftigkeit in weniger offiziellen Dokumenten wie Wettbewerbsbedingungen, internen Weisungen und technischen Aufsätzen. So verlangen beispielsweise sowohl das ASB wie die SBB eine Mindestbetonüberdeckung der Bewehrung von 40 mm.

Auch bei grösseren privaten Bauherrenorganisationen sind teilweise Richtlinien vorhanden, welche die Anforderungen an Schutzsysteme betreffen können.

Verzeichnis wichtiger Richtlinien:

- Bundesamt für Strassenbau (ASB):
 - Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken, Bern, 1990
 - Richtlinien zur Anwendung von epoxidharzbeschichteten Betonstählen, Bern, 1991
 - Richtlinie für die Projektierung von Strassentunnels, 1970
- Schweizerische Bundesbahnen (SBB):
 - Weisung W Bau GD 36/89, Allgemeine Grundlagen, Normalquerschnitte und konstruktive Details für die Ausbildung beschotterter Brücken
- Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK):
 - Richtlinien zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen, C3 d, Ausgabe 1981, Zürich
 - Richtlinien zum Korrosionsschutz erdverlegter metallischer Anlagen bei Bauwerken oder anderen Installationen mit Fundamentarmierungen oder Fundamenterden, C2 d, Ausgabe 1984, Zürich, (z.Z. in Überarbeitung)

Wie bereits in Abschnitt 1.4 erwähnt, handelt es sich bei den **Schutzsystemen für Bauwerke zur Lagerung von wasser- und luftgefährdenden Stoffen** um ein Spezialgebiet, das in dieser Dokumentation nicht weitergehend behandelt wird. Als Einstiegshilfe sind nachstehend die **Normen, Richtlinien und Gesetze zum Bau von Tankanlagen** aufgeführt. Im Sinne einer Gesamtübersicht enthält die Zusammenstellung auch Unterlagen, welche nicht direkt das Thema Schutzsysteme betreffen.

Normen, Richtlinien und Gesetze zum Bau von Tankanlagen und Anlageteilen:

- Richtlinien für Tankanlagen, CARBURA Zürich
- Gewässerschutzgesetz (GschG), insbesondere
 - Verordnung zum Schutze der Gewässer gegen Verunreinigung durch wassergefährdende Flüssigkeiten (VWF)
 - Technische Vorschriften zum Schutze der Gewässer gegen Verunreinigung durch flüssige Brenn- und Treibstoffe sowie andere wassergefährdende Flüssigkeiten (TTV)
- Umweltschutzgesetz (USG), insbesondere
 - Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (VUV)
- Weisungen für Schutzmassnahmen gegen gefährdende Wirkungen des elektrischen Stromes in autonomen Tankanlagen sowie in allen Tankanlagen mit Bahnanschluss (WeT); Eidgenössisches Starkstrominspektorat (ESTI)
- Brandschutz-Normen VKF (prov. Titel)
- SUVA Richtlinien, Merkblätter, Publikationen, insbesondere
 - Form. 1825
«Richtlinien für die Lagerung und das Umfüllen von brennbaren Flüssigkeiten mit Flammpunkt unter 55°C»
 - Form. 2153
«Grundsätze des Explosionsschutzes mit Beispiel-Sammlung Ex-Zonen»
 - Form. 1469
«Sicherheitstechnische Kennzahlen von Flüssigkeiten und Gasen»
 - Form. 1903
«Arbeitshygienische Grenzwerte»
 - Form. 4406
Merkblatt «Geländer»
- Normen der SIA, insbesondere die Normen 160, 161, 162 und 183
- Empfehlungen
 - Arbeitsgesetz Verordnung 3 (ArGV3)
- Richtlinien für die Konstruktion von prismatischen Stehtanks, SVDB Zürich
- Richtlinien für die Dimensionierung, Ausführung und Prüfung von zylindrischen Tanks mit gewölbten Böden, SVDB Zürich
- Richtlinien für Berechnung, Ausführung und Prüfung von freistehenden, vertikalen, zylindrischen Tanks mit flachen Böden (Stehtanks) und Stahlauffangtassen, SVDB Zürich

(In der jeweilig aktuellen Fassung)

2.3 Einwirkungen, Alterungs- und Schädigungsmechanismen

Um die Anforderungen an den Bauwerksschutz festlegen zu können, muss bekannt sein, wovor ein Bauwerk zu schützen ist, und welche Mechanismen zu Alterung und Schädigung führen.

Bauwerke sind, je nach **Nutzung** und **Exposition** den verschiedenartigsten **Einwirkungen** ausgesetzt. Diese können in **natürliche** und **anthropogene, d.h. vom Menschen verursachte Einflüsse** eingeteilt werden.

Der Begriff **Alterung** kann den **natürlichen Einwirkungen** und der Begriff **Schädigung** den **anthropogenen Einflüssen** zugeordnet werden.

In der Regel erfolgt sowohl Alterung wie Schädigung durch Einflüsse, welche von **aussen** auf die Bauwerks Oberfläche wirken.

Die Einwirkungen von aussen können je nach Fall sein:

- Statische und dynamische Lasten:
Strassenlasten, Lasten aus dem Baugrund, Wasserdruck, Wind, Erschütterungen, Schnee, Lawinen, usw.
- Mechanische Einwirkungen:
Abrasion, mechanische Beschädigungen, usw.
- Klimatische Einwirkungen:
Temperaturschwankungen, UV-Strahlung, Feuchtigkeit in Form von Regen, Nebel, Tau, usw.
- Chemische Einwirkungen:
Tausalze, sulfathaltige Wässer, saurer Regen, Gase (O_2 , CO_2), wasser- und luftgefährdende Flüssigkeiten, usw.
Ausserdem elektrochemische Einwirkungen durch Streuströme
- Biologische Einwirkungen:
Pflanzenwuchs, Pilzbefall, Mikroorganismen, usw.

Einige der Einwirkungen erzeugen im Tragwerk Spannungs- und Dehnungszustände, welche das Verhalten der Bauwerks Oberflächen zusätzlich beeinflussen können.

Alterungs- und Schädigungsvorgänge entstehen aber nicht nur durch äussere Einwirkungen, sondern können sich auch durch Vorgänge **im Innern** ergeben. Dazu zählen beispielsweise das Zusammentreffen gegenseitig unverträglicher Materialien, die Verwendung instabiler Stoffe und die Auswirkungen vorhandener Materialfeuchtigkeit. Im weiteren zeigen sich in der Praxis öfters auch Schadensbilder, welche aus der **Kombination von äusseren und inneren Vorgängen** entstanden sind.

Neben den natürlichen Einflüssen, deren Auswirkungen auch mit dem Begriff **Verwitterung** bezeichnet werden könnten, nahmen im Laufe der Geschichte die von Menschen verursachten, anthropogenen Belastungen zu. Dies betrifft beispielsweise die **Luftverschmutzung** durch säurebildende Gase aus menschlicher Tätigkeit. Es handelt sich allerdings dabei nicht nur um eine Erscheinung der jüngsten Zeit. Bereits um 1240 erliess Friedrich II. ein Edikt über die Reinhaltung der Luft, der Gewässer und des Bodens. Einige Jahrzehnte später wurde in London ein Gesetz gegen die Verwendung von Steinkohle erlassen [2.11]. Es ist bekannt, dass sich bei Natursteinbauten bereits im Mittelalter neben der natürlichen Verwitterung sich bei Natursteinbauten auch die Luftverschmutzung ausgewirkt hat. Im 18. Jahrhundert wurde in England der Zusammenhang zwischen Schwefel aus der Kohleverbrennung und Schäden an Baustoffen wie Eisen und Steinen klar erkannt [2.12].

Im Bild 2.3 ist die Entwicklung des pH-Wertes des Niederschlages in der Schweiz gezeigt. Der Verlauf des Diagrammes zeigt eine deutliche Verschiebung zu saurem Regen und stimmt gut überein mit Messungen, die in Deutschland gemacht wurden (Bild 2.4).

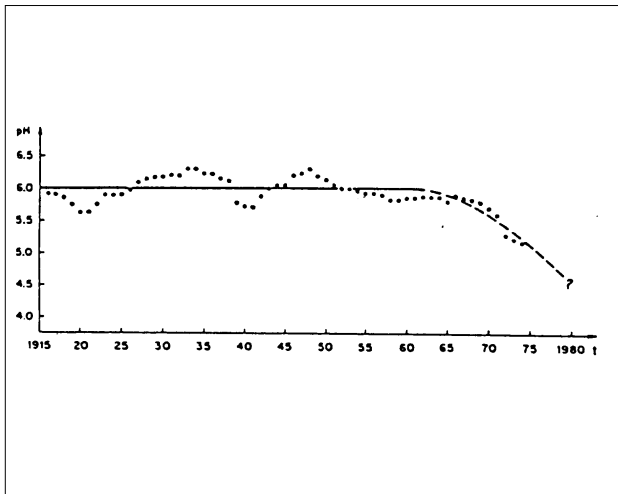


Bild 2.3 Entwicklungen des pH-Wertes im Eis des Griffeti-Passes auf 4450 m Höhe, aus [2.13]
Der pH-Wert ist das Mass für die Konzentration von Wasserstoff-Ionen in einer Lösung:

- reines Wasser (neutral) pH-Wert = 7
- saure Lösung pH-Wert < 7
- basische Lösung pH-Wert > 7

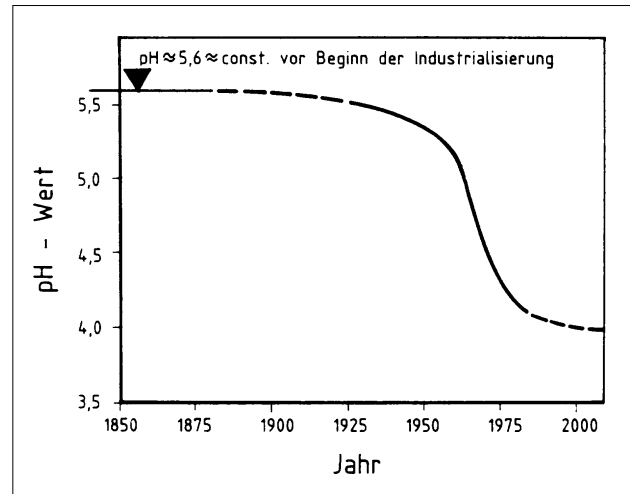


Bild 2.4 Veränderung des pH-Wertes des Regens gemäss Messungen des Deutschen Wetterdienstes, aus [4.7]

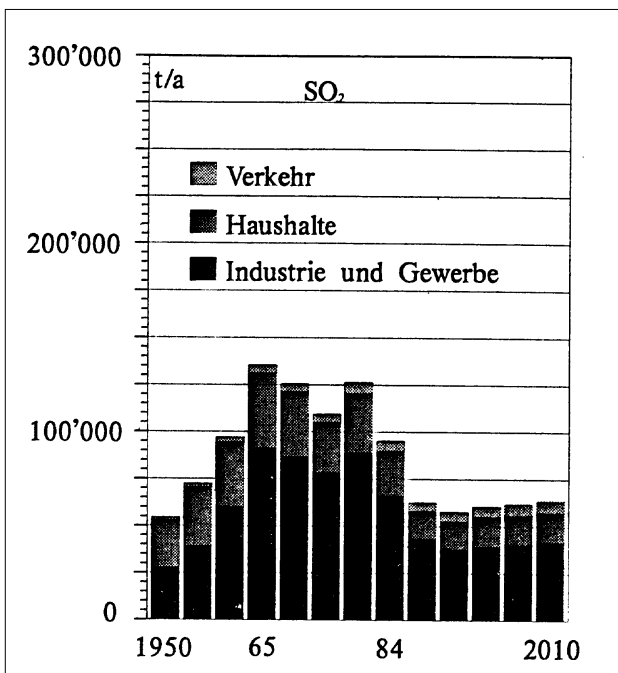


Bild 2.5 Entwicklung der Schwefeldioxid-Emissionen von 1950 bis 2010, aus [2.14]

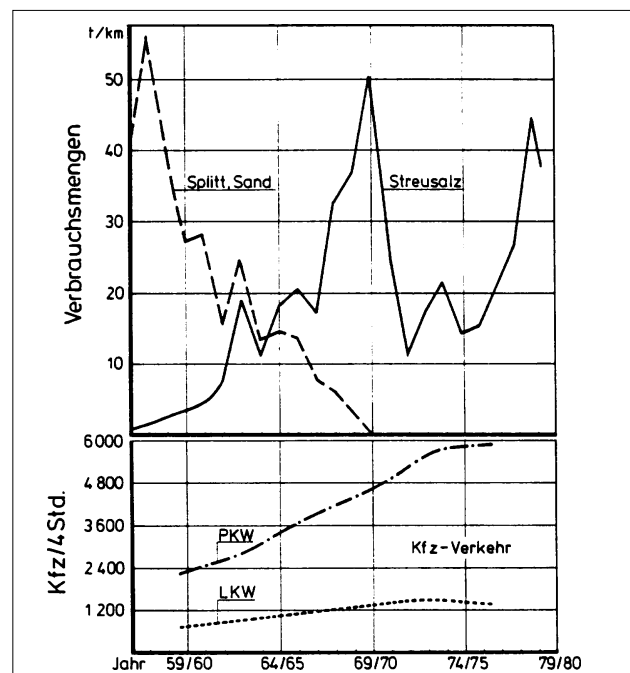


Bild 2.6 Verbrauch von Streugut und Entwicklung des Verkehrsaufkommens in Deutschland in den Jahren zwischen 1959 und 1980, aus [4.7]

Bei diesen anthropogenen Belastungen kann der Mensch vor allem über die Gesetzgebung und dadurch ausgelöste technologische Massnahmen Einfluss nehmen. Die in Bild 2.5 dargestellte Entwicklung der Schwefeldioxid-Emissionen in der Schweiz zeigt, dass auch Verbesserungen erzielt werden können.

Die Entwicklung anderer schädigender Einflüsse kann in ähnlicher Art aufgezeigt werden. Als weiteres Beispiel zeigt Bild 2.6 die Verbrauchsentwicklung von Tausalzen. Allerdings fehlen in vielen Fällen die entsprechenden Daten.

Im übrigen ist festzustellen, dass über den Zusammenhang zwischen Art und Intensität einer Einwirkung und eines Baustoffwiderstandes noch sehr wenig bekannt ist.

Die wichtigsten Alterungs- und Schädigungsmechanismen sind:

– **Verwitterung**

Dieser Begriff wird in der Regel für Naturstein verwendet. Er beinhaltet die Veränderung der Gesteinsoberflächen durch äussere Einwirkungen.

– **Korrosion**

Im weiteren Sinn ist Korrosion die von der Oberfläche ausgehende Schädigung von Werkstoffen durch chemische Reaktionen mit Bestandteilen ihrer Umgebung. Der Begriff gilt also nicht nur für die Metallkorrosion. In der Praxis wird er aber im allgemeinen damit gleichgesetzt.

– **Grenzschichtenprobleme**

In der Zone an der Berührungsoberfläche zweier miteinander verbundener Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften und Verhalten kann es zu Schädigungen in Form von Enthaltungen und Ablösungen kommen (z.B. zwischen einer Schutzschicht und dem zu schützenden Baustoff).

In den entsprechenden Abschnitten der einzelnen Bauweisen finden sich weitere, spezifische Angaben zu Einwirkungen und zu Alterungs- und Schädigungsmechanismen.

2.4 Qualitätssicherung

In vielen Industriezweigen ist die Qualitätssicherung (QS) seit vielen Jahren ein integrierter und nicht mehr wegzudenkender Bestandteil der Tätigkeit. Verglichen damit, stehen wir im Bauwesen am Anfang einer wichtigen Entwicklung. Wohl ist es so, dass für Sonderbauwerke wie Kernkraftwerke und Offshore-Ölplattformen QS betrieben wird. Die Impulse dazu kamen aber nicht aus dem Bauwesen selbst, sondern aus den Bereichen Maschinenbau, Nuklear- und Erdölindustrie. Dabei hat die QS im Bauwesen eine lange Tradition, wie dies beispielsweise in [2.15] dargestellt ist. Die ältesten schriftlichen Zeugnisse stammen von Hammurabi (König von Babylon von 1727–1686 v. Chr.) und Vitruv.

Im Schweizer Bauwesen ist in bezug auf systematische QS noch recht wenig vorhanden. Gemäss den Jahresberichten der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Qualitätsförderung (SAQ) sind unter den über 700 Mitgliedern nur ungefähr 10 Firmen vertreten, die dem Bauwesen zugeordnet werden können.

Zum Themenkreis QS ist in den letzten Jahren viel publiziert worden und es wird darauf verwiesen, z.B. [2.16]. Auch innerhalb des IP-Bau sind in der Dokumentation [1.1] weitere Hinweise enthalten. Die allgemeine Normung ist auf diesem Gebiet recht weit fortgeschritten. Bild 2.7 gibt eine Übersicht über die entsprechenden ISO Normen, die auch von der Schweiz übernommen worden sind. Die in diesen Normen verwendeten Begriffe und Organisationsvorstellungen sind aber für das Bauwesen nicht direkt verwendbar. Eine Arbeitsgruppe innerhalb des SIA hat die Aufgabe, eine Anpassung an dessen Bedürfnisse zu erarbeiten.

Auch die in Abschnitt 2.1 aufgeführten neuen Tragwerksnormen des SIA enthalten bereits die wichtigsten Elemente einer QS. So werden für einzelne Baustoffe und -verfahren **Eigenüberwachung** der Ausführenden und **Fremdüberwachung** durch amtliche Prüfstellen verlangt. **Entscheidend ist hier die konsequente Umsetzung der geforderten Massnahmen in die tägliche Praxis. Diese Umsetzung gelingt nur, wenn von Bauherrenseite die Anforderungen auch durchgesetzt werden, und wenn in den ausführenden Firmen und insbesondere in den**

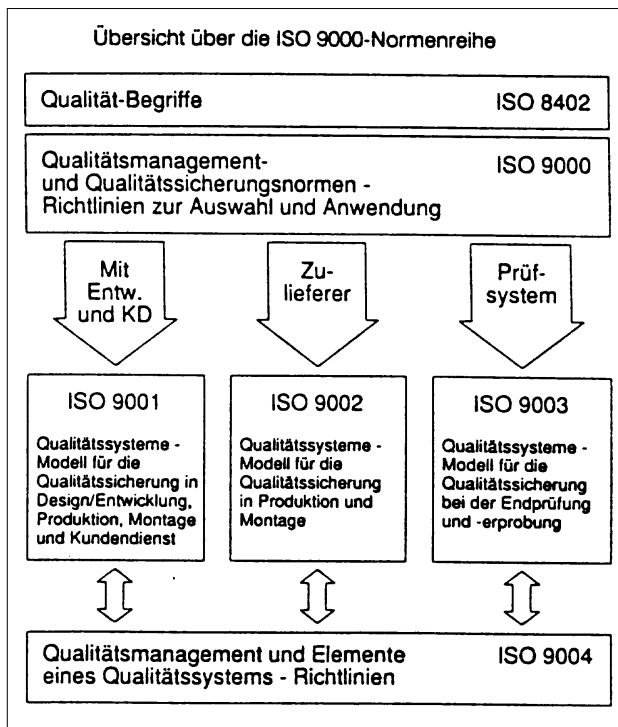


Bild 2.7 Übersicht über die ISO-Normenreihe zur Qualitätssicherung; diese sind als Schweizer Normen (SN) erhältlich, aus [2.16]

Firmenleitungen der Wille vorhanden ist, die **Qualität im Betrieb** zu sichern.

Die Qualitätssicherung sollte allerdings nicht nur die Produkteherstellung und die Ausführung auf der Baustelle umfassen, sondern auch die Bereiche **Projektmanagement** und die eigentliche **Projektierung**. Die bereits im Abschnitt 2.1 erwähnten Ordnungsmittel und eine klare Festlegung der Verantwortungen und des Informationsflusses sind dabei wichtige Elemente.

Die Planung und Ausführung von Erhaltungsmaßnahmen erfordert langjährige Erfahrung mit der Anwendung von Schutzsystemen. In dem Sinne ist auch auf die Rolle des Bauherrn bei der Wahl geeigneter Firmen hinzuweisen.

Die Qualitätssicherung kostet Geld. In [4.7] wird deren Anteil auf 1 bis 5% der Gesamtherstellungskosten eines Bauwerkes beziffert. Sinnvolle QS bedeutet aber auch Einsparungen beim Bauherrn durch reduzierte Werterhaltungskosten und bei den Firmen (dazu gehören auch die Projektierenden) die Vermeidung von Kosten für die Behebung von Mängeln und Schäden. Bei der Beurteilung des Aufwandes für die QS muss deshalb immer von den Gesamtkosten ausgegangen werden.

Wichtig ist, dass die Bemühungen um eine vernünftige QS nicht durch eine Papier- und Formularflut erstickt werden, auch wenn es eben doch ein Minimum an Vorschriften und Dokumentation braucht. Überdies geht es nicht darum, Qualität erst auf der Baustelle **«hineinzukontrollieren»**. Es braucht vielmehr ein **«Engineering for quality»**, d.h. entsprechendes **planerisches Vorausdenken**, welches klare Grundlagen für die Ausführung schafft.

2.5 Umweltverträglichkeit

Es ist abzusehen, dass sich die am Bauprozess beteiligten Fachleute in Zukunft vermehrt damit befassen müssen, ob die verwendeten Baustoffe und Bauverfahren umweltverträglich sind.

Die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen dazu auf Bundesebene sind nachstehend aufgeführt.

Diese Verordnungen haben bis heute nur zum Teil Eingang in die Praxis gefunden. Dies wird sich aber nach und nach ändern. So verlangen beispielsweise auch die europäischen Bestimmungen im Bauwesen gleichwertig neben Anforderun-

gen an Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit, solche die die Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz betreffen.

In den Kapiteln zu den einzelnen Bauweisen werden Produktgruppen und Verfahren genannt. Diese sind allerdings nur in Ausnahmefällen in bezug auf deren Umweltverträglichkeit beurteilt. Weitere Arbeiten auf diesem Gebiet sind erforderlich.

Der Einfluss der Umweltschutzbestimmungen zeigt sich schon heute beispielsweise bei den Schutzsystemen im Stahl- und Holzbau.

Verschiedene Produktgruppen dürfen wegen ihrer Umweltbelastung nicht mehr verwendet werden, was zur Entwicklung neuer, umweltverträglicher Schutzsysteme geführt hat.

Gesetzliche Verordnungen des Bundes:

- Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV) vom 9. Juni 1986 (Stand am 1. April 1991) regelt die Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Stoffen und den Umgang mit umweltgefährdenden Stoffen. Legt insbesondere das Prinzip der Eigenverantwortlichkeit (Selbstkontrolle) des Herstellers bezüglich der Umweltverträglichkeit fest, ohne eine vollständige Produkterklärung vorzuschreiben.
- Luftreinhalteverordnung (LRV) vom 16. Dezember (Stand am 1. April 1991) enthält unter anderem Emissionsbegrenzung und Tabelle der krebserzeugenden Stoffe.
- Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS) vom 12. November 1986 (Stand am 1. Juli 1991) enthält die Liste der Sonderabfälle in der Schweiz.
- Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990 definiert die Art von Abfällen und deren Behandlung (Verbrennung, Deponietypen). Schreibt vor, in welche Deponie (Inertstoff-, Reststoff-, Reaktordeponie) welche Abfälle gehören.

2.6 Schutzwürdige Bauwerke

Vor der Inangriffnahme der Planung von Erhaltungsmassnahmen ist abzuklären, ob das betreffende Bauwerk im Sinne der Denkmalpflege schutzwürdig ist. Damit können Planungsumwege und Planungsmehrkosten vermieden werden, denn der Einfluss denkmalpflegerischer Überlegungen kann auf die Wahl von Schutzsystemen ausschlaggebend sein.

Weitere Hinweise im Zusammenhang mit historischen Bauwerken aus Naturstein finden sich in Abschnitt 7.5 (u.a. die Resolution der Schweizer Denkmalpfleger vom 14. November 1986).

Es ist zu beachten, dass auch Bauwerke aus den moderneren Baustoffen Beton und Stahl als schutzwürdig eingestuft werden können.

3 Anforderungen an Schutzsysteme und Grundsätze zur Wahl

3.1	Allgemeines	32
3.2	Generelle Anforderungen an Schutzsysteme	33
3.3	Bauwerks- und baustoffspezifische Überlegungen an einem Beispiel	36

3 Anforderungen an Schutzsysteme und Grundsätze zur Wahl

3.1 Allgemeines

Die in der Norm SIA 160 enthaltenen Grundsätze für die Projektierung von Tragwerken können sinn- gemäss auch beim Entwurf und der Wahl von Schutzsystemen angewendet werden. Dabei ist von den Anforderungen an das zu schützende Tragwerk in bezug auf **Sicherheit** und **Gebrauchstauglichkeit** auszugehen. In Bild 3.1 sind die Qualitätsmerkmale und Eigenschaften eines Tragwerks dargestellt, wobei zu den in der Norm SIA 160 genannten Begriffen noch die Unter- halts- und Erneuerungsfähigkeit und die Ersetz- barkeit von Teilsystemen genannt werden.

- Sicherheit
- Gebrauchstauglichkeit
 - . Funktionstüchtigkeit
 - . Dauerhaftigkeit
 - . Unterhaltsfähigkeit
 - . Erneuerungsfähigkeit
 - . Ersetzbarkeit (u.a. eines Schutzsystemes)
 - . Aussehen

Bild 3.1 Qualitätsmerkmale und Eigenschaften von Tragwerken

Im Zusammenhang mit der Thematik der Schutz- systeme steht die Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks eindeutig im Vordergrund, denn diese ist in der Regel tangiert, bevor es zu einem Tragsi- cherheitsproblem kommt. Wichtig ist hier aller- dings der Hinweis auf Fälle, mit nicht, oder nur mit grossem Aufwand überprüfbaren Tragwerks- teilen, bei denen unbemerkt ein Versagen des Schutzsystemes und nachfolgend des Tragwerks auftreten kann.

Qualitätsmerkmale und Eigenschaften von Trag- werken sind, wenn nicht durch die Normen gege- ben, mit dem Bauherrn festzulegen. Dabei spielen auch wirtschaftliche Überlegungen eine wichtige Rolle.

In Bild 3.2 ist schematisch dargestellt, dass sich die Qualität eines Tragwerks im Laufe der Zeit vermindert. Dies ist die Regel, wobei sich einzelne Eigen- schaften, wie beispielsweise die Betondruckfestig- keit, auch verbessern können.

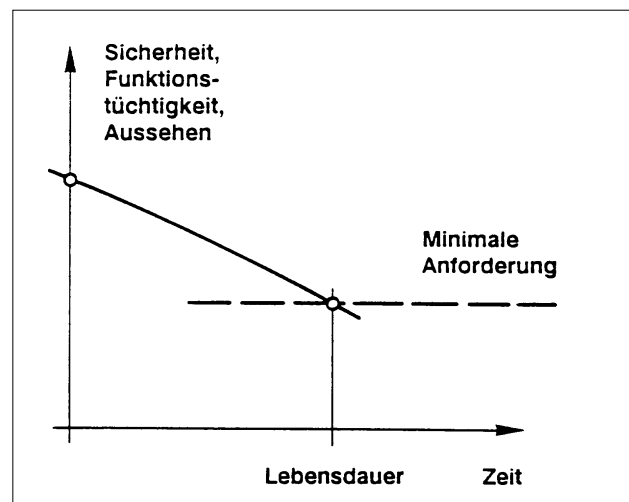


Bild 3.2 Generelle Entwicklung der Eigenschaften eines Tragwerks in Funktion der Zeit

Im allgemeinen nimmt die Qualität eines Trag- werks oder Teile davon nicht sprunghaft ab; Aus- nahmen bilden das plötzliche Auftreten ausserge- wöhnlicher Einwirkungen (z.B. Anprall, Brand).

Die übliche Verminderung der Qualität kann mit **regelmässigen Erhaltungsmassnahmen** verhindert oder zumindest verlangsamt werden, d.h. die Lebensdauer kann durch zweckmässige Massnahmen erhöht werden (Bild 3.3). Somit gehören auch die Fähigkeiten zu Unterhalt und Erneuerung zur Qualität eines Tragwerks. In dieser Betrachtungsweise ist auch die Möglichkeit der Ersetzbarkeit von Teilsystemen (u.a. eines Schutzsystemes) ein wichtiger Aspekt.

Die Lebensdauer eines Tragwerks oder Teile davon ist dann erschöpft, wenn gewisse Minimalanforderungen erreicht werden. Wenn nicht durch Normen vorgegeben, so sind diese Minimalanforderungen im Einzelfall festzulegen.

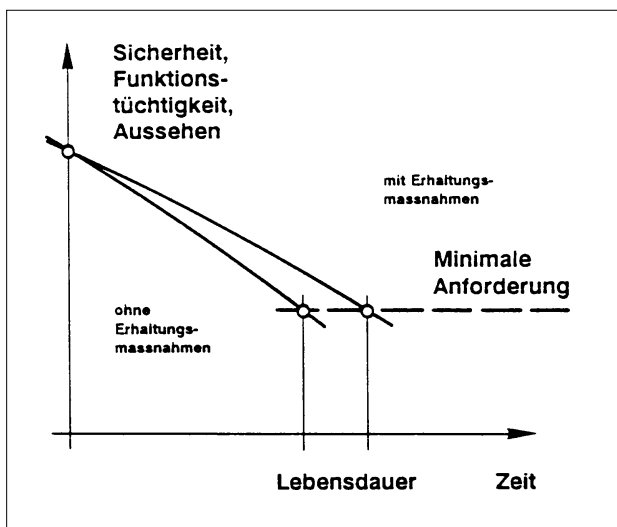


Bild 3.3 Generelle Entwicklung der Eigenschaften eines Bauwerks mit und ohne Erhaltungsmassnahmen

3.2 Generelle Anforderungen an Schutzsysteme

Aufgrund der Anforderungen an ein bestehendes oder auch neu zu projektierendes Tragwerk ist zuerst abzuklären, ob neben dem baustoffeigenen Schutzvermögen ein zusätzliches Schutzsystem erforderlich ist. Kriterien für den Entscheid über die Verwendung oder den Verzicht auf ein zusätzliches Schutzsystem sind neben der Art und Funktion eines Tragwerks:

- Restnutzungsdauer bei bestehenden bzw. vorgesehene Nutzungsdauer bei neuen Bauten
- Art der Einwirkungen (u.a. ist abzuklären, ob schädigende Einwirkungen durch geeignete Massnahmen reduziert oder eliminiert werden können)
- Vorschriften (Gesetze, Normen, Vorschriften eines Bauherrn)
- Kosten – Nutzen – Analyse

Fällt der Entscheid für die Verwendung eines zusätzlichen Schutzsystemes, so ist dieses als integraler Bestandteil eines Tragwerkes zu betrachten und bei der Projektierung als solches zu behandeln.

Wie bereits in Abschnitt 3.1 erwähnt, stehen in der vorliegenden Dokumentation die Überlegungen zur Gebrauchstauglichkeit im Vordergrund. Immerhin sei nochmals darauf hingewiesen, dass im Einzelfall auch ein Zusammenhang zwischen Schutzsystem und Tragsicherheit bestehen kann. Die wichtigsten Eigenschaften eines Schutzsystemes sind seine Funktionstüchtigkeit und seine Dauerhaftigkeit (Bild 3.4). Im Falle, dass ästhetischen Kriterien Rechnung zu tragen ist, kommt dem Aussehen des Schutzsystemes eine den beiden schon erwähnten Eigenschaften gleichwertige Bedeutung zu. Abgesehen von Schutzsystemen, welche gleichzeitig auch eine statische Funktion ausüben, spielen die Anforderungen an die Tragsicherheit des Schutzsystemes selbst in der Regel eine untergeordnete Rolle.

- Funktionstüchtigkeit
 - . Funktionstüchtigkeit Tragwerk
 - . Dauerhaftigkeit Tragwerk
 - . Aussehen Tragwerk
- Dauerhaftigkeit
- Unterhaltsfähigkeit
- Ersetzbarkeit
- Aussehen

Bild 3.4 Qualitätsmerkmale und Eigenschaften von Schutzsystemen

Die Funktionstüchtigkeit des Schutzsystems muss die Funktionstüchtigkeit, die Dauerhaftigkeit und ein gutes Aussehen bzw. Erscheinungsbild des Tragwerks gewährleisten (z.B. Verhinderung von durchdringendem, das Erscheinungsbild des Bauwerks störendem Wasser).

Wenn die Dauerhaftigkeit des Schutzsystems so gross ist, dass seine Lebensdauer die Nutzungsdauer des Tragwerks erreicht oder übersteigt, muss die Ersetzbarkeit nicht unbedingt gewährleistet sein (Bild 3.5). Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass infolge von Fehlern in der praktischen Ausführung die Schutzziele manchmal nicht erreicht werden. Es müssen deshalb Strategien vorgesehen werden, die es erlauben, solche Fehler nachträglich zu korrigieren (z.B. durch Injektionen, durch Abschotten von Abdichtungsbereichen).

Ist die Lebensdauer eines Schutzsystems kleiner als die Nutzungsdauer des Tragwerks, sind entsprechende Massnahmen vorzusehen, die das Schutzsystem eine Lebensdauer erreichen lassen, welche der Nutzungsdauer des Bau- oder Tragwerks entspricht oder diese übertrifft.

Dazu gehören:

- baulicher Unterhalt
- betrieblicher Unterhalt
- Ersatz

Bild 3.6 zeigt schematisch einen möglichen Verlauf der Funktionstüchtigkeit und/oder des Aussehens eines Schutzsystems in Funktion der Zeit im Falle der Anwendung von baulichen Unterhaltsmassnahmen bzw. Instandsetzungsarbeiten auf das Schutzsystem, welche die Lebensdauer verlän-

gern (z.B. Injektion von Rissen, Instandsetzung von Fugen, lokale Ausbesserungen von Beschichtungen).

In vielen Fällen kann die Lebensdauer des Schutzsystems auch mit betrieblichem Unterhalt verlängert werden (Bild 3.7). Dieser kann z.B. darin bestehen, dass schädigende Einwirkungen auf das System entfernt oder vermindert werden (regelmässiges Reinigen von Oberflächen, Unterhalt von Drainagesystemen usw.).

Ist die Lebensdauer des Systems kleiner als die vorgesehene Nutzungsdauer des Tragwerks, und ist sie auch mit Massnahmen des betrieblichen oder baulichen Unterhalts nicht wesentlich zu verlängern, dann muss deren Ersetzbarkeit gewährleistet sein. Der Verlauf der Funktionstüchtigkeit und/oder des Aussehens eines Schutzsystems ist für den Fall eines zweimaligen Ersatzes desselben in Bild 3.8 gezeigt.

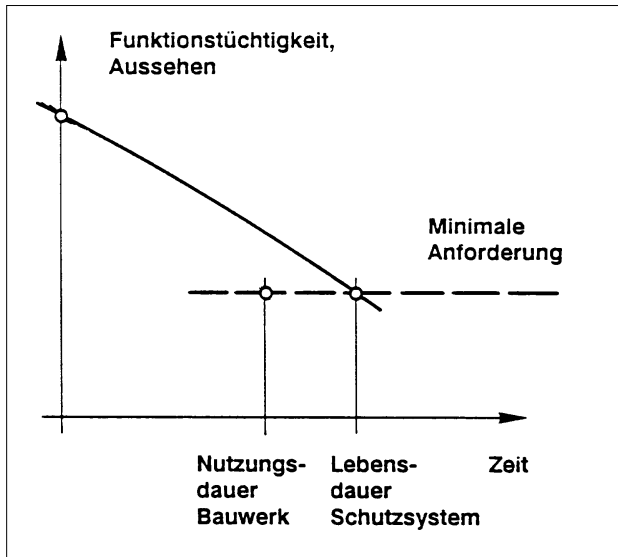


Bild 3.5 Generelle Entwicklung der Eigenschaften eines Schutzsystems ohne besondere Massnahmen (Lebensdauer des Schutzsystems grösser als die Nutzungsdauer des Bauwerks)

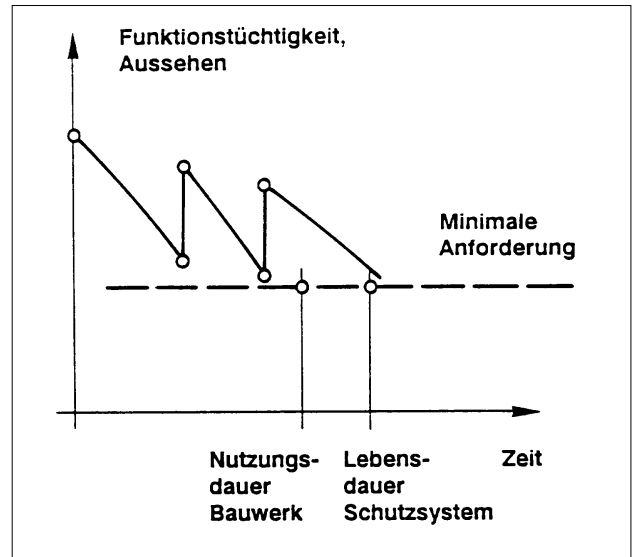


Bild 3.6 Generelle Entwicklung der Eigenschaften eines Schutzsystems mit baulichen Unterhaltmassnahmen

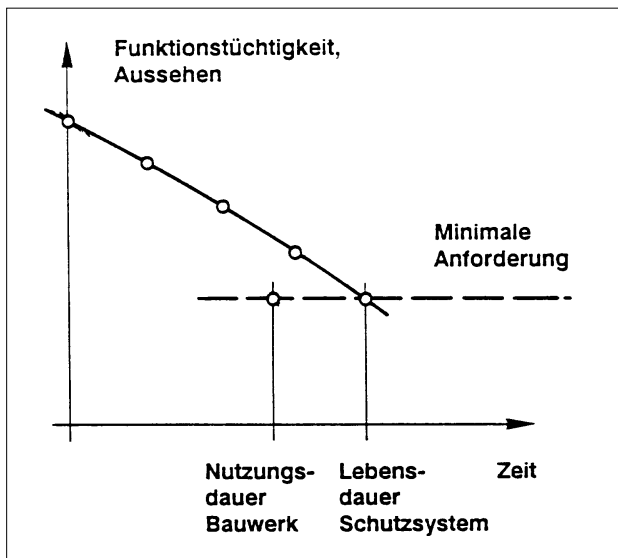


Bild 3.7 Generelle Entwicklung der Eigenschaften eines Schutzsystems; dank betrieblichem Unterhalt übersteigt dessen Lebensdauer die Nutzungsdauer des Bauwerks

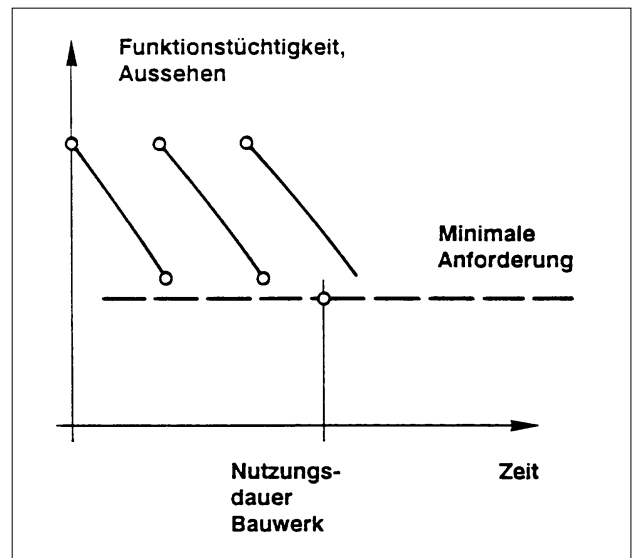


Bild 3.8 Generelle Entwicklung der Eigenschaften eines Schutzsystems bei periodischem Ersatz desselben

3.3 Bauwerks- und baustoffspezifische Überlegungen an einem Beispiel

Die nachfolgenden Ausführungen sollen an einem Beispiel zeigen, welche bauwerks- und baustoffspezifischen Überlegungen in bezug auf Schutzsysteme anzustellen sind. Als Beispiel wird eine typische Schutzgalerie gewählt. Diese bietet dem Strassenbenützer Schutz, beispielsweise vor Lawinen und Steinschlag. Sehr ähnliche Verhältnisse liegen auch bei Lärmschutzgalerien vor, welche der Nachbarschaft Schutz vor verkehrsbedingten Immissionen bietet.

Die Ergebnisse der Überlegungen können sinn- gemäss auch für andere Bauwerksarten von Nutzen sein. Eine Schutzgalerie weist Tragwerkselemente auf, welche sich in bezug auf Anforderungen und Einwirkungen durchaus auch sonst wiederfinden.

Die hier festgehaltenen Überlegungen sollen dazu dienen, dem planenden Ingenieur Denkanstösse für seine eigenen Überlegungen und Entscheidungen zu geben.

Schutzsysteme bei Lawinen- und Steinschlagschutzgalerien

In Bild 3.10 ist der Querschnitt einer typischen Schutzgalerie dargestellt. In der Regel handelt es sich dabei um eine Stahlbetonkonstruktion, wobei für das Galeriedach auch schon die Verbundbauweise zur Anwendung gelangte.

Um zu entscheiden, ob bei einer Galerie zusätzliche Schutzsysteme zum Einsatz gelangen sollen, ist von der **Nutzung** bzw. der **Funktion** des Bauwerks auszugehen. Diese ist im Nutzungsplan festzulegen. Sie besteht im vorliegenden Fall darin, den Verkehrsträger innerhalb der festgelegten **Nutzungs-** bzw. **Restnutzungsdauer** vor Lawinnenniedergängen, Steinschlag und anderen Einwirkungen zu schützen. Zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit muss ausserdem verhindert werden, dass es wegen durchdringendem Wasser zur Bildung von Eis auf der Strasse oder zu Eiszapfen über dem Fahrbahnbereich kommen kann. Dies führt zu Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und die Sicherheit, wobei nachfolgend primär auf die im gegebenen Zusammenhang wichtige Gebrauchstauglichkeit eingegangen wird.

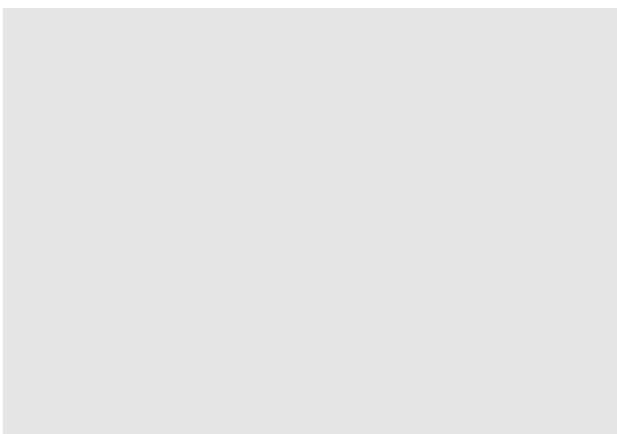


Bild 3.9 Schutzgalerie

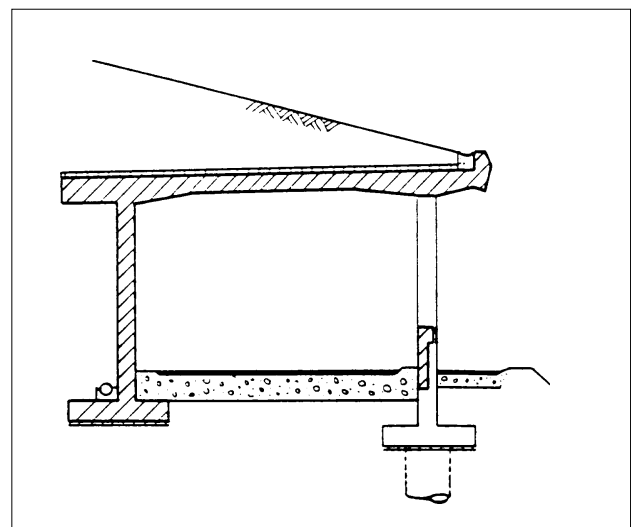


Bild 3.10 Querschnitt einer typischen Schutzgalerie mit talseitiger Stützenreihe

Die Art der auftretenden, äusseren Einwirkungen bzw. den Nutzungszuständen bildet eine weitere Entscheidungsgrundlage. Diese können gemäss Abschnitt 2.3 wie folgt gegliedert werden:

- Statische und dynamische Lasten:
Eigenlasten, Erdüberdeckung, bergseitiger Erd-
druck, Wasserdruck, Lawinnenniedergang und
-ablagerung, Schnee, Steinschlag und Fahr-
zeuganprall
(Diese Kategorie hat mit dem Entscheid, ob
Schutzsystem ja oder nein, wenig zu tun. Die
Ausnahme stellt der Wasserdruck dar. Ist der
Entscheid für ein zusätzliches Schutzsystem ge-
fallen, sind die Auswirkungen der Lasten auf
dieses zu berücksichtigen.)
- Mechanische Einwirkungen:
Beschädigungen durch Fahrzeuge und Schnee-
pflüge, Eisdruck, lokale Erosion an Oberflächen
- Klimatische Einwirkungen:
Temperaturschwankungen (Verformungen),
Sonneneinstrahlung, Frost-Tauzyklen

- Chemische Einwirkungen:
Tausalze im Spritzwasser und Sprühnebel, be-
ton- und/oder stahlaggressive Wässer im Boden
(z.B. sulfathaltige Wässer), schädliche Gase aus
dem Verkehr
- Biologische Einwirkungen:
Pflanzenwuchs (Durchwurzelung), Mikroorga-
nismen

Es ist im Einzelfall abzuklären, ob und mit welcher Intensität die genannten Einwirkungen auftreten, und ob es ggf. zusätzliche gibt, die berücksichtigt werden müssen.

Der nächste Schritt besteht darin zu überlegen, inwiefern diese Einwirkungen die **Funktions-
tüchtigkeit**, die **Dauerhaftigkeit** und das **Aus-
sehen** beeinträchtigen können. Aus dem Resultat sollte sich ergeben, ob das baustoffeigene Schutz-
vermögen der Stahlbetonkonstruktion ausrei-
chend ist, oder ob bei einzelnen Tragwerksteilen ein zusätzliches Schutzsystem erforderlich ist.

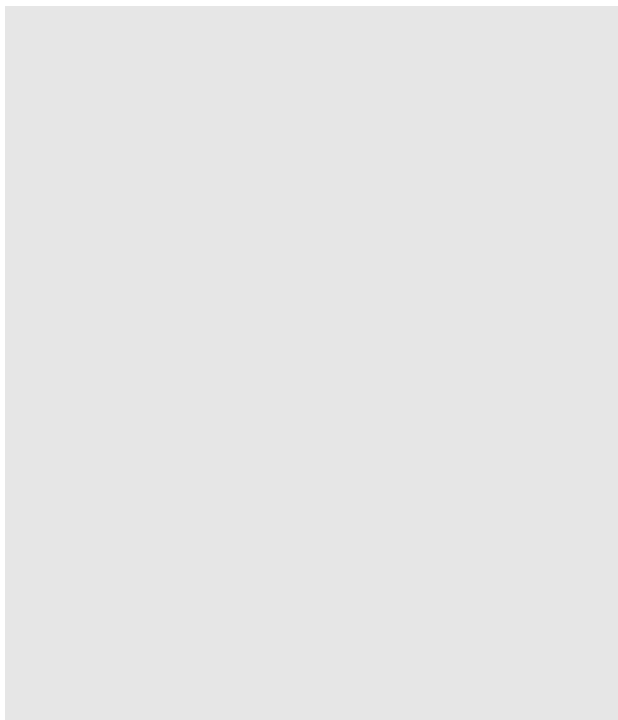


Bild 3.11 Schneematsch an Galeriestützen klebend;
Einwirkung ähnlich wie durch Spritzwasser

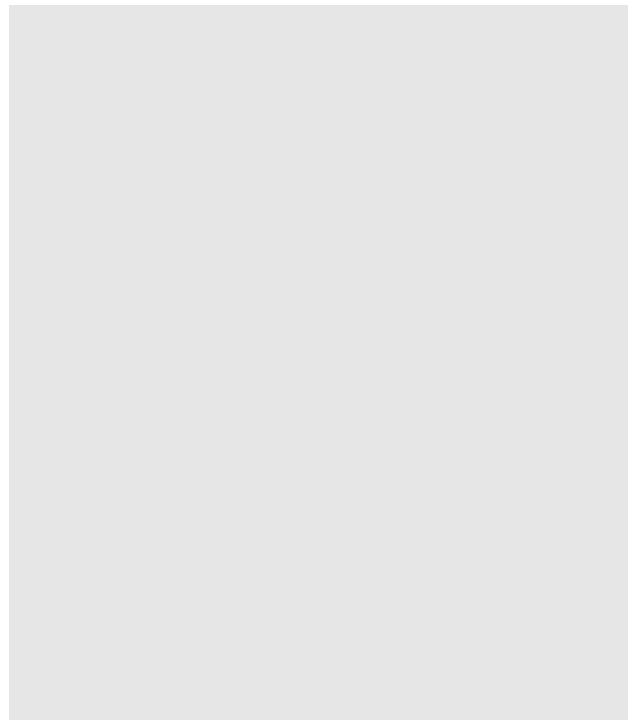


Bild 3.12 Am Ende der Winterperiode: deutlich
sichtbare Salzablagerungen längs des
Fahrbahnrandes und auf dem Gehstreifen

Bei der Planung und Ausführung einer neuen Galerie besteht die Möglichkeit von früheren Fehlern zu lernen, und die Struktur und die Details entsprechend optimal auszubilden und zu bauen.

Bei einer bestehenden Galerie ist zuerst eine sorgfältige **Zustandserfassung** und **-beurteilung** vorzunehmen. Erst danach kann auf dieser Grundlage mit der Planung der Erhaltungsmassnahmen begonnen werden.

Die einzelnen Tragwerksteile einer Galerie unterliegen verschiedenen Einwirkungen und Anforderungen und sind deshalb gesondert zu betrachten, wobei folgende Gliederung gewählt wird (Bild 3.13):

- Decke, Einwirkungen von oben (aussen) ①
- Decke, Einwirkungen von unten (innen) ②
- Randzone der Decke ③
- Wand, Einwirkungen von aussen ④
- Wand, Einwirkungen von innen, Stütze ⑤

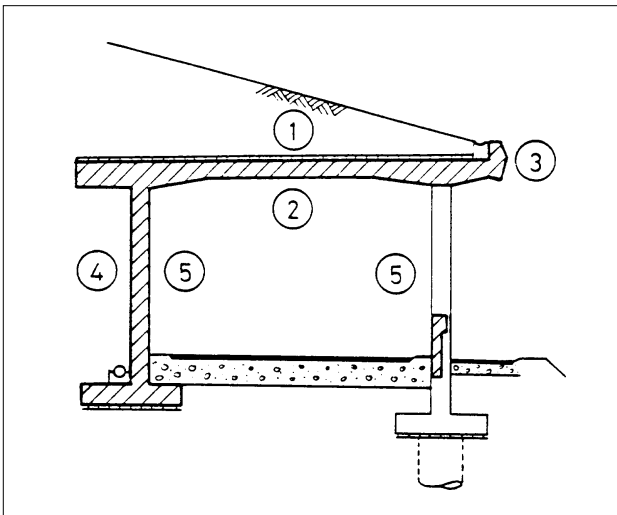


Bild 3.13 Querschnitt einer typischen Schutzgalerie mit den Einwirkungszone

Galeriedecke

Einwirkungen von oben (aussen) ①

Decken von Schutzgalerien sind praktisch immer Stahlbeton- oder Verbundkonstruktionen. Für die obere Deckenseite kann somit angenommen werden, dass der Baustoff Stahlbeton ist. Die für die Wahl des Schutzsystems massgebenden Einwirkungen mit ihren hauptsächlichsten Einflüssen auf die Qualitätsmerkmale des Bauwerkes sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Einwirkungen	Qualitätsmerkmale		
	Funktions-tüchtigkeit	Dauerhaf-tigkeit	Aussehen
Wasser	*	*	*
Sulfathaltiges Wasser		*	
Erosion der Oberfläche		*	
Kräfte infolge Pflanzenwuchs (Wurzeln)		*	*
Eisdruck		*	

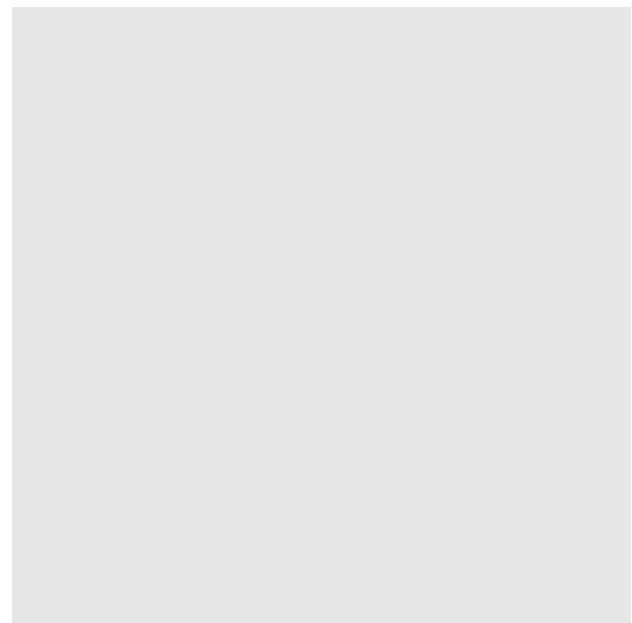


Bild 3.14 Eiszapfenbildung infolge durchdringenden Wassers bei einer Dilatationsfuge

Das Wasser darf nicht durch die Decke dringen, damit die Funktionstüchtigkeit der Galerie nicht beeinträchtigt wird. Dies wäre der Fall, wenn es auf die Fahrbahn tropfen würde und es dort zur Eisbildung kommt oder wenn gefährdende Eiszapfen entstehen (Bild 3.14).

Durchdringendes Wasser kann auch das Erscheinungsbild beeinträchtigen, wenn Flecken entstehen oder Pflanzenwuchs, wie beispielsweise Moosbildung, begünstigt wird. Selbstverständlich kann durchdringendes Wasser zur Korrosion der Bewehrung führen und somit die Dauerhaftigkeit reduzieren. Letztlich kann dadurch auch die Tragsicherheit gefährdet sein.

Das Durchdringen von Wasser wird in der Stahlbetondecke durch Schwachstellen im Beton (Kiesnester, Schwind- und Betonierfugen), breite und durchgehende Risse und Dilatationsfugen ermöglicht. Die Intensität der Einwirkung ist vom Wasserdruck abhängig, d.h. sie kann bei neuen Galerien mit geeigneten Massnahmen, wie Einbau einer Drainageschicht oder durch das Vorsehen genügenden Gefälles, entschärft werden.

Aus diesen Überlegungen ist klar ersichtlich, dass die Problematik des Durchdringens von Wasser nicht nur von der Wirksamkeit eines zusätzlichen Schutzsystems abhängig ist, sondern auch von vielen anderen konstruktiven Einzelheiten (Vorhandensein von Fugen, Drainage, Gefälle usw.), vom Bauvorgang (Schwind- und Betonierfugen), von der Betonqualität, vom Bewehrungsgehalt und von der statischen Beanspruchung (Risse).

Ausführung der Galeriedecke mit Abdichtung und Dilatationsfugen

Die bisher ausgeführten Galeriedächer sind in den meisten Fällen ganzflächig mit einer flexiblen Abdichtung versehen. Alle 20 bis 25m sind Dehnfugen vorhanden, die mittels einer Fugenkonstruktion dicht gehalten werden. Bei dieser häufigen Bauart ist also ein zusätzliches Schutzsystem gewählt worden, welches aus der flächenhaften Abdichtung, aus den Dehnfugenkonstruktionen sowie aus Randabschlüssen besteht. In einigen Fäl-

len ist auf die ganzflächige Abdichtung verzichtet worden; nur die Fugen weisen eine dichtende Konstruktion auf.

Das Schutzsystem hat die Aufgabe, das Durchdringen von Wasser in den Fahrbahnraum zu verhindern. Es stellt sich nun die Frage, wie sich diese Bauarten bisher bewährt haben. Untersuchungen des Bundesamtes für Strassenbau haben ergeben, dass Dichtigkeitsprobleme in der Regel nicht bei den Abdichtungen, sondern bei den Fugen und den Randabschlüssen aufgetreten sind (Bild 3.15). Die Zustandserfassung von Fugenkonstruktionen bei Galeriedächern in einer Gebirgsregion haben ergeben, dass diese bis zu einem Alter von 5 bis 10 Jahren überwiegend dicht bleiben. Nach einer starken Zunahme des Anteils schadhafter Fugen im Zeitraum zwischen 10 und 15 Jahren sind im Alter von 30 Jahren über 80 Prozent der Fugen undicht (Bild 3.16, [3.1], Erfahrungen an der Simplonstrasse N9). In Bild 3.17 ist eine Auswahl von Fugenkonstruktionen dargestellt, die alle im Laufe der Zeit undicht wurden. Die Erfahrung, dass Fugen Schwachstellen sein können, findet hier wieder ihre Bestätigung.

Die Instandsetzung solcher schadhafter Fugenkonstruktionen ist äusserst aufwendig. Infolge der Lage von Schutzgalerien am Berghang und zur Aufnahme von Einwirkungen wie Steinschlag und Lawinnenniedergang ist meistens eine starke Erdüberdeckung vorhanden. Diese erreicht bergseitig in vielen Fällen Stärken von 2 bis 3 Metern. Damit ist schon angezeigt, dass jegliche Arbeiten am Schutzsystem, beginnend bei der Zustandserfassung äusserst erschwert und kostenaufwendig sind. Die in Abschnitt 3.2 aufgestellte Forderung nach Unterhaltsfähigkeit und Ersetzbarkeit eines Schutzsystems ist in diesem Fall in Frage gestellt. Bei kleineren Erdüberdeckungen sind die Voraussetzungen für Erhaltungsmassnahmen natürlich besser, aber trotzdem noch aufwendig.

Für zukünftige Galerien ist deshalb nach neuen Lösungen zu suchen. Eine der Möglichkeiten besteht darin, zu monolithischen Strukturen überzugehen (siehe weiter unten).

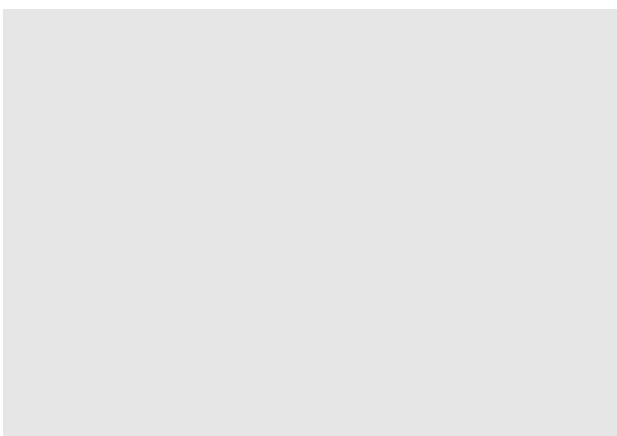
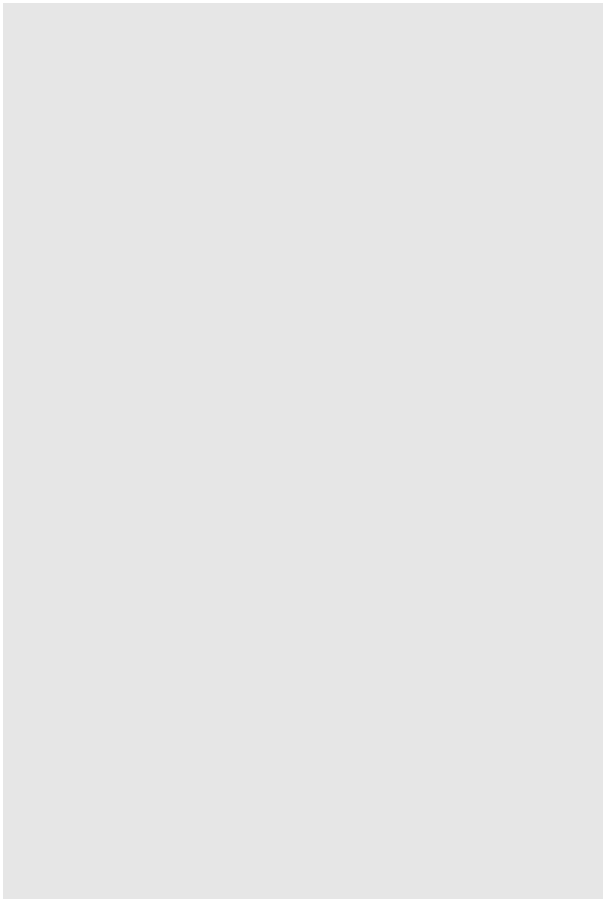


Bild 3.15 Schadhafte Abdichtung am talseitigen Rand des Galeriedaches und am bergseitigen Übergang Wand/Decke

Dies soll aber nicht bedeuten, dass dadurch in Zukunft die Verwendung zusätzlicher Schutzsysteme nicht mehr empfohlen wird. Es kann durchaus Gründe geben, diese weiterhin vorzusehen; dies allerdings nur dann, wenn dazu technisch und wirtschaftlich sinnvolle Strategien für Unterhaltsfähigkeit und Ersetzbarkeit entwickelt werden. Einige Ansätze finden sich in [3.1].

Auch bei der Instandsetzung schadhafter Fugenkonstruktionen ist zu prüfen, ob eine Elimination der Dehnfugen durch den Ersatz der Fugenbereiche mit Ortsbeton möglich ist. Da das Bauwerk durch einen solchen Eingriff eine Systemänderung erfährt, ist diesem Umstand – vor allem auch im Zusammenhang mit den vorhandenen Gründungsverhältnissen – gebührend Rechnung zu tragen.

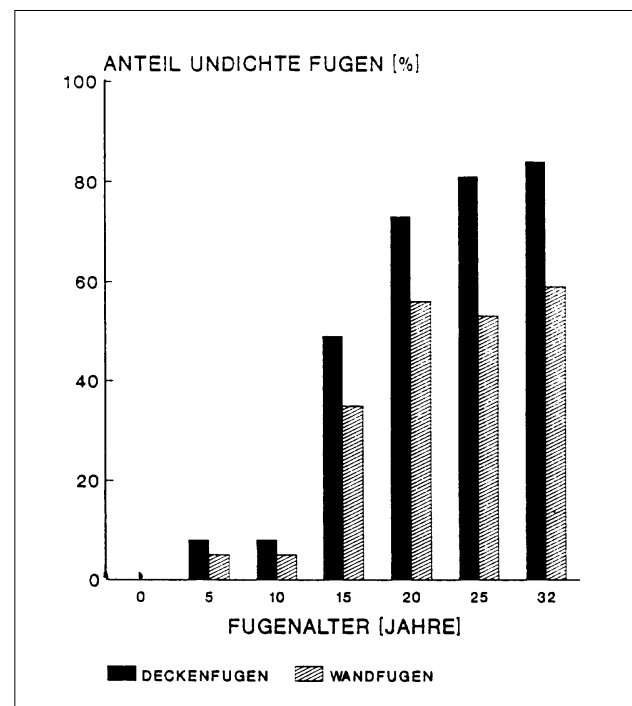


Bild 3.16 Schadensverlauf bei Dilatationsfugen an Schutzgalerien, aus [3.1]

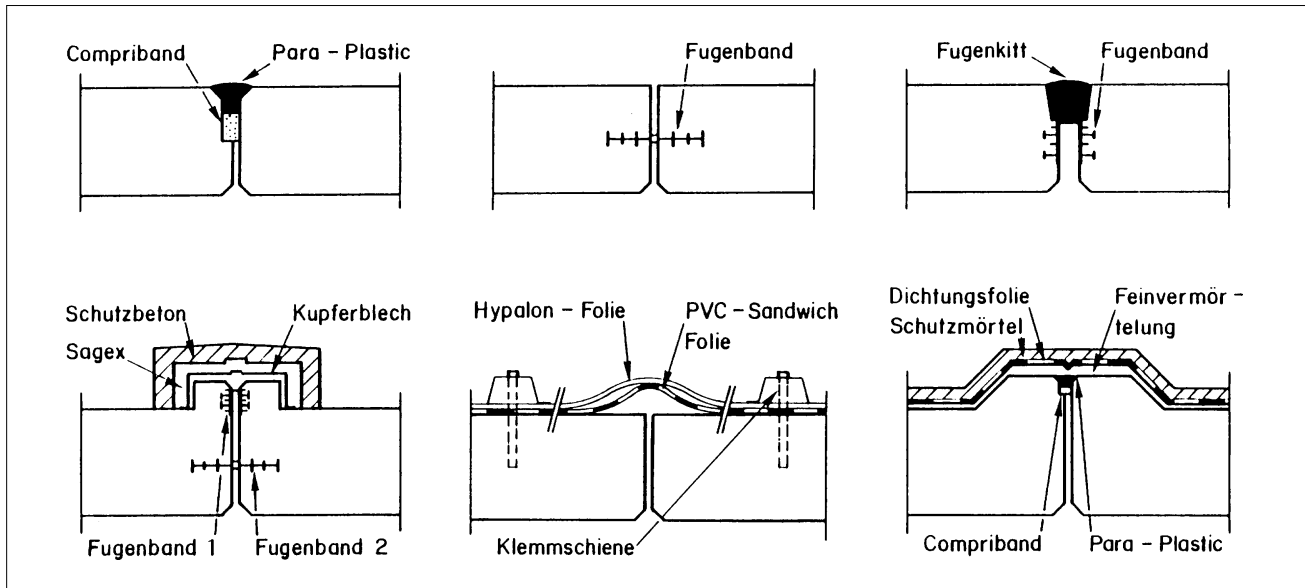


Bild 3.17 Auswahl von Dehnfugenkonstruktionen in den Decken von Lawinen- und Steinschlag-Schutzgalerien, die alle im Laufe der Zeit undicht wurden, aus [3.1]

Ausführung der Galeriedecke in monolithischer Bauweise ohne zusätzliches äusseres Schutzdispositiv

Bei dieser Bauweise kommt das baustoffeigene Schutzvermögen des durchgehend bewehrten Stahlbetons zur Anwendung. Es wird also auf ein zusätzliches Schutzsystem verzichtet. Gegen das Ein- und Durchdringen von Wasser sind ein dichter Beton und kleine Rissweiten von Bedeutung. Ist betonaggressives Wasser vorhanden, so hilft in der Regel die Verwendung eines geeigneten Zementes (z.B. sulfatresistenter Zement bei sulfathaltigem Wasser).

Das Durchdringen des Wassers ist zu verhindern, da dies die Dauerhaftigkeit und die Funktionstüchtigkeit einschränkt und ausserdem das Aussehen ungünstig beeinflusst. Das Eindringen von Wasser ist nur für die Dauerhaftigkeit der Betonkonstruktion von Bedeutung. Untersuchungen, die in den letzten Jahren durchgeführt worden sind, zeigen,

dass die Rissweite innerhalb bestimmter Grenzen keine Verminderung der Dauerhaftigkeit erwarten lässt, ausser im Falle wasserführender Trennrisse [3.2], [3.3].

Bezüglich der Anforderung und der zu treffenden Massnahmen für die Rissebeschränkung sei auf die Norm SIA 162 (1989) verwiesen. Es ist hierbei anzufügen, dass aus heutiger Sicht den betontechnologischen Massnahmen, wie sinnvolle Etappierung, Reduktion des Wasser/Zement-Faktors und der Nachbehandlung des Betons sowie der Qualitätsüberwachung eine bedeutendere Rolle zukommt, als den rechnerisch ermittelten Massnahmen.

Im Falle durchdringenden Wassers durch einen Riss, sind einfache Instandsetzungsmassnahmen in Form von Injektionen möglich (Bild 3.18). Diese können vom Fahrbahnraum her ausgeführt werden, wobei sich in der Ausführung eine zu knappe lichte Höhe erschwerend auswirkt.

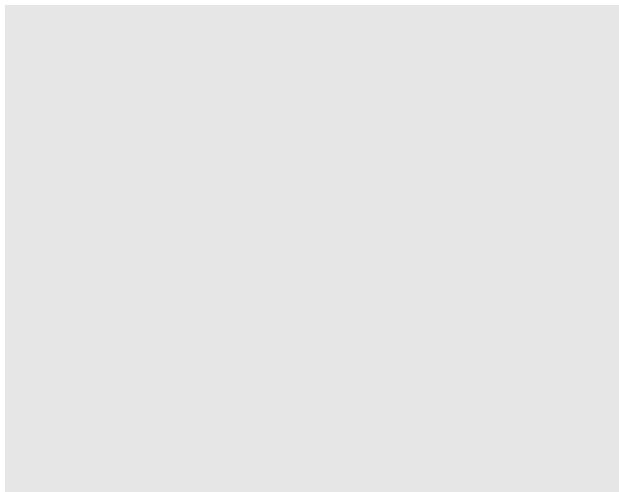


Bild 3.18 Injektion von Rissen

Die wichtigste Einwirkung auf die Unterseite des Galeriedaches ist der Sprühnebel der Tausalzlösung. Dieser wirkt auf die ganze innere Dachfläche. Bei einer massiven Stahlbetonkonstruktion ohne zusätzlichem Schutzdispositiv kann der schädlichen Wirkung mit verschiedenen Massnahmen entgegengetreten werden. Massgebend für den Schutz der Bewehrung ist die Stärke der Überdeckung und die Qualität des Betons (Porosität). Für die Instandsetzung von Stahlbetonkonstruktionen sei auf das Kapitel 4.4 verwiesen. Die Möglichkeiten der Instandsetzung sind dabei fast immer durch die verkehrsbetrieblichen Notwendigkeiten und ungenügende lichte Höhe eingeschränkt. Im Falle eines Neubaus sollte diese Problematik schon in der Phase der Projektierung einbezogen werden.

Bezüglich der Verwendung eines zusätzlichen Oberflächenschutzsystems auf Beton sei ebenfalls auf Kapitel 4.4 verwiesen.

Für Galeriedecken mit tragender Struktur aus Stahl können für den Schutz des Stahls die Empfehlungen aus Kapitel 5 angewendet werden.

Galeriedach Einwirkungen von unten (aus dem Fahrraum)

②

Folgende Einwirkungen sind für die Wahl des Schutzsystems zu berücksichtigen:

Einwirkungen	Qualitätsmerkmale		
	Funktions-tüchtigkeit	Dauerhaf-tigkeit	Aussehen
Tausalz (Sprühnebel)		*	
Schädliche Gase, Abgase		*	
Vegetation			*
Mechanische Einwirkungen		*	*

Randzone Galeriedach/Stützen

③

Diese Zone ist mit Sorgfalt auszubilden und zu unterhalten, da sich hier verschiedene Einwirkungen überlagern. Zu den bisher beschriebenen Einwirkungen auf das Galeriedach kommen zusätzlich extreme klimatische Einwirkungen an diesem exponierten Ort des Galeriequerschnittes hinzu. Infolge der kleinen Erdüberdeckung in der Randzone entfällt die thermische Trägheit und der mechanische Schutz der Erdmasse. Der Randbereich ist dadurch den stärksten thermischen Kurzzeitschwankungen unterworfen. Die Projektierung der Ableitung des Sicker- und Oberflächenwassers verlangt besondere Aufmerksamkeit. Auch die beste Detailsausbildung kann misslingen, wenn diesen extremen Einwirkungen und deren Kombinationen nicht genügend Gewicht gegeben wird.

Galeriewand, Einwirkungen von aussen

④

Im wesentlichen sind die gleichen Einwirkungen und Anforderungen wie unter ① in Betracht zu ziehen.

Die Instandsetzung eines zusätzlichen Schutzsystems auf der bergseitigen Wandoberfläche ist im Normalfall praktisch unmöglich. Wird ein zusätzliches Schutzsystem vorgesehen, muss es eine Lebensdauer erreichen, welche gleich oder grösser ist als diejenige des Bauwerks (Abschnitt 3.2).

Erhaltungsmassnahmen sind nur vom Fahrbahnraum her möglich. Weist die Stahlbetonwand Risse auf, durch welche Wasser treten kann, so müssen diese injiziert werden. Bei bestehenden Bauten, die lange ohne Unterhalt blieben, sind solche Risse oft versintert und damit dicht.

Einwirkungen	Qualitätsmerkmale		
	Funktions-tüchtigkeit	Dauerhaf-tigkeit	Aussehen
Streusalz (Spritzwasser)		*	(*)
Streusalz (Sprühnebel)		*	(*)
Schädliche Gase, Abgase		*	(*)
Vegetation		(*)	*
Mechanische Einwirkungen		*	*

Galeriewand und Stützen, Einwirkungen von innen (aus dem Fahrraum)

⑤

Grundsätzlich sind die gleichen Einwirkungen wie unter ② vorhanden. Bei Strassengalerien tritt die Einwirkung des Streusalzes jedoch verstärkt in den Vordergrund, da dieses durch die Fahrzeuge in Form von Spritzwasser an die Wand geschleudert wird.

Die Intensität der Versalzung ist im Spritzwasserbereich bedeutend höher als im Sprühnebelbereich (Bilder 3.19, 3.20).

Die Wahl des Schutzsystems bedarf im unteren Bereich der Galeriewand und der Stützen besonderer Aufmerksamkeit. Der hohen Salzbelastung wegen sind an die Oberflächen im Spritzwasserbereich ausserordentliche Anforderungen gestellt. Will man auf ein spezielles Schutzsystem verzichten, so ist eine so hohe Betonqualität notwendig, welche nur mit einer modernen Betontechnologie und einer strikten Qualitätsüberwachung erreicht werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eventuelle Schäden am Beton und an der Bewehrung praktisch irreversibel sind. In diesen Fällen ist eine Instandsetzung praktisch immer mit höheren Kosten verbunden als der Ersatz eines Schutzsystems.

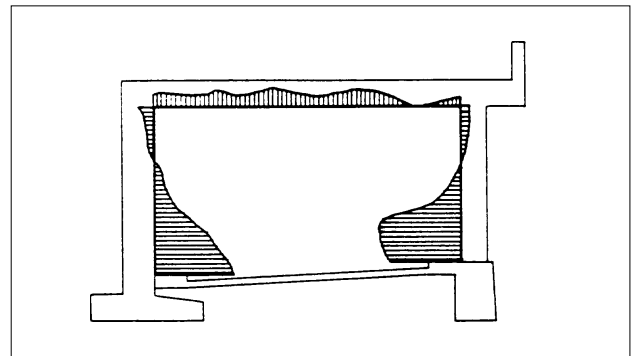


Bild 3.19 Qualitativer Verlauf der Potentiallinie in Stütze, Decke und Wand eines Galeriequerschnittes

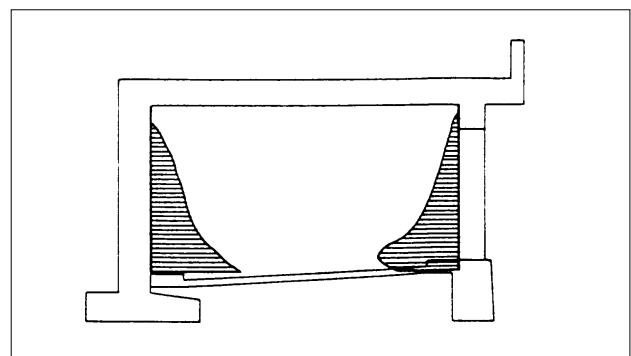


Bild 3.20 Qualitativer Verlauf des Chloridgehaltes in der Bewehrungsebene in einem Galeriequerschnitt

Bei der Wahl eines zusätzlichen Schutzsystems ist ausser der Salzbelastung auch die Gefahr eines Fahrzeuganpralls oder die Beschädigung mit dem Schneepflug in Betracht zu ziehen. Aus dieser Überlegung heraus stehen für die Anwendung im Spritzwasserbereich ersetzbare Schutzsysteme oder/und reparierbare Schutzdispositive im Vordergrund.

Bei den Stützen kann sogar das ganze Element ersetzt werden, wenn diese Möglichkeit schon im Projekt vorgesehen wird (z.B. Stahlstütze, vorfab. Betonstütze).

Schlusskommentar

Bei der Erarbeitung dieses Abschnittes haben die Autoren feststellen müssen, dass in bezug auf Entscheidungskriterien für Schutzsysteme beträchtliche Wissensdefizite bestehen. Diese betreffen u.a. die realistischerweise zu erwartende Lebensdauer der verschiedenen Schutzsysteme und vergleichende Kosten-Nutzen-Analysen unter Einbezug von Erhaltungskosten. Dies sind Elemente, die der planende Ingenieur für die optimale Wahl von Schutzsystemen eigentlich benötigen würde. Es ist zu hoffen, dass die Bauforschung diese Lücken in absehbarer Zukunft schliessen kann.

4 Betonbau

4.1	Allgemeines	46
------------	--------------------	-----------

4.2	Gliederung der Schutzsysteme	47
------------	-------------------------------------	-----------

4.3	Alterungs- und Schädigungsmechanismen	51
4.3.1	Allgemeines	51
4.3.2	Korrosionsmechanismen und -risiken	51

4.4	Instandsetzung von Beton und Bewehrung	54
4.4.1	Allgemeines	54
4.4.2	Grundsätze für Schutz und Instandsetzung von Beton	58
4.4.3	Grundsätze für den Korrosionsschutz der Bewehrung	59
4.4.4	Betonuntergrund und Witterungsbedingungen	70
4.4.5	Vorbehandlung der Bewehrung	76
4.4.6	Instandsetzungsbetone und -mörtel	77
4.4.7	Oberflächenschutzsysteme	78
4.4.8	Füllen von Rissen	80

4.5	Abdichtungssysteme	80
4.5.1	Allgemeines	80
4.5.2	Arten von Abdichtungssystemen sowie Normen und Richtlinien	81
4.5.3	Dauerhaftigkeit und Lebensdauer	87
4.5.4	Überwachung und Unterhalt	93
4.5.5	Ersatz	100

4 Betonbau

4.1 Allgemeines

Unter dem Begriff **Betonbau** sind hier in erster Linie die Bauwerke aus **Stahlbeton** gemeint. Solche werden seit dem Ende des 19. Jahrhunderts auch in der Schweiz gebaut (Bild 4.1).

In den frühen Vierzigerjahren dieses Jahrhunderts ist auch die **Spannbetonbauweise** eingeführt worden und zwar zuerst bei kleineren Brücken der SBB. Im Zuge des später folgenden Nationalstrassenbaues wurde eine Vielzahl von Spannbetonbrücken gebaut.

Verglichen mit andern Bauweisen stellt der Betonbau innerhalb der heute zu erhaltenden Baumasse weitaus den grössten Anteil dar.

Wie in Abschnitt 1.4 gezeigt, wird die Betonbauweise neben dem Brückenbau für sehr viele andere Bauwerksarten im Tief- und Ingenieurbau verwendet.

Die **Erhaltung von Betonbauten** ist in der Fachliteratur, in der Fachwerbung und bei Tagungen zu einem ausserordentlich beliebten Thema geworden. Die Fachwelt wird mit Informationen geradezu überschwemmt. Das Angebot ist von sehr unterschiedlicher Qualität und es ist insbesondere in bezug auf die Flut von Produkten und Verfahren sehr schwierig, die Spreu vom Weizen zu trennen.

Über die Jahre haben sich sehr unterschiedliche Arten von Schutzsystemen entwickelt und es ist für den planenden Ingenieur oft nicht einfach, die richtige Wahl zu treffen. In Kapitel 3 sind dazu übergeordnete Grundsätze dargestellt.

Während bei Neubauten immer mehr versucht wird, durch **monolithische Bauweise** die meistens **Probleme verursachenden Fugen** zu vermeiden oder auf ein Minimum zu reduzieren, sind solche bei bestehenden Stahlbetonbauwerken oft in grösserem Ausmass vorhanden. Neben andern Singularitäten wie Randabschlüsse und Durchdringungen, bilden Fugen oft Schwachstellen in bezug auf Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit [3.1].

Gerade auch bei Betonbauten ist die Bemerkung wichtig, dass **diese sorgsam zu sanieren sind**. Dies gilt im übrigen auch für die angewandten, zerstörenden Untersuchungstechniken. Es ist leider so, dass durch die angewandten Verfahren und durch deren nicht fachmännische Anwendung oftmals **mehr Schaden als Nutzen** angerichtet wird. Es ist in jedem Fall abzuklären, ob die vorgesehene Massnahme nicht zu zerstörend wirkt und ggf. durch eine «sanftere» ersetzt werden könnte.

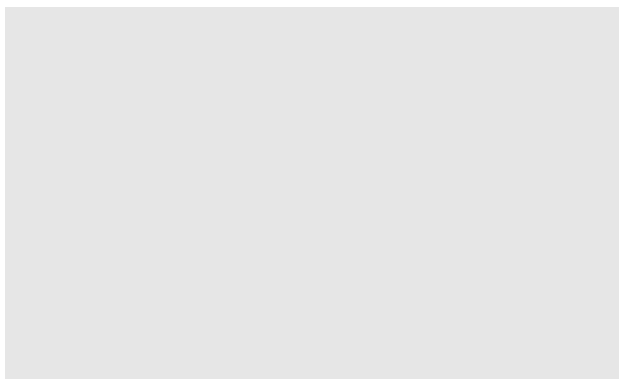


Bild 4.1 Erste Stahlbetonbrücke in der Schweiz, gebaut 1890 über einem Fabrikkanal bei Wildeggen, aus [4.1]

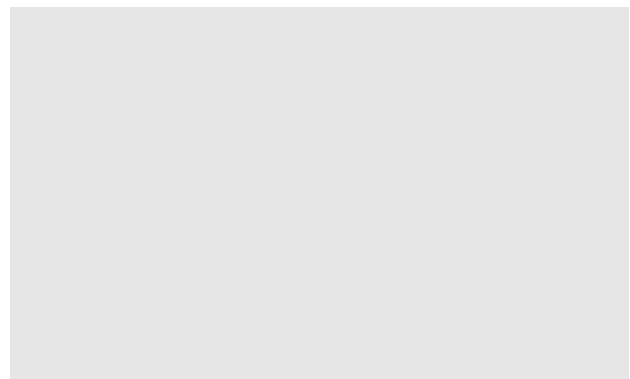


Bild 4.2 Weinlandbrücke über das Thurtal bei Andelfingen, 1958 in Betrieb genommen

4.2 Gliederung der Schutzsysteme

Die allgemeinen Erfordernisse an ein Schutzsystem sind bereits in den Kapiteln 2 und 3 behandelt worden. Im Sinne einer Rekapitulation sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass der Stahlbeton eine Verbundbauweise ist, bei der je nach Art der vorhandenen Einwirkungen sowohl der Beton als auch die Bewehrung geschützt werden müssen:

- **Schutz des Betons** gegen mechanische Einwirkungen (z.B. Abrieb), chemische Einwirkungen (z.B. sulfathaltige Wässer), physikalische Einwirkungen (z.B. Frost)
- **Schutz der Bewehrung** gegen Korrosion (z.B. infolge Tausalz)

Zu den Eigenschaften der Betonbauweise gehört, dass die Bewehrung durch das alkalische Milieu des Betons sehr gut geschützt ist. Dies natürlich nur dann, wenn beispielsweise die Betonüberdeckung genügend ist, der Beton selbst gegenüber den vorhandenen Einwirkungen dauerhaft ist und ausreichend Alkalität aufweist. Sowohl bei Neubauprojekten wie auch bei Betoninstandsetzungen ist deshalb strikt darauf zu achten, dass die **Qualitätsanforderungen insbesondere in bezug auf die Dauerhaftigkeitskriterien konsequent eingehalten werden**. Die nachstehenden Normhinweise bilden wohl eine Grundlage für diese wichtigen Kriterien; sie sind aber **nicht ausreichend**, um in der Praxis einen dauerhaften Beton herzustellen.

- Erforderliche Betonüberdeckungen:
 - Norm SIA 162 (1989): Abschnitt 4 32 oder, wenn vorhanden
 - Richtlinien des Bauherrn
- Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit in bezug auf Wasserdichtigkeit, Frostbeständigkeit, Frost-Tausalzbeständigkeit, chemische Beständigkeit (z.B. betonangreifende Wässer), Abriebfestigkeit:
 - Norm SIA 162 (1989) und 162/1 (1989): Abschnitt 5 1

In den letzten Jahren sind in unserem Land vermehrt Forschungsarbeiten gemacht worden, welche sich mit der Frage der Dauerhaftigkeit von Stahlbeton befassen.

Ausgehend von Bauwerksuntersuchungen, Laborversuchen und theoretischen Überlegungen werden in [4.2] Empfehlungen gemacht, wie einerseits ein dauerhaftes Stahlbetontragwerk erzielt werden kann und andererseits der Zustand eines bestehenden Tragwerks zu beurteilen ist.

Es wird festgestellt, dass die **Dichtigkeit** und die Dicke der Bewehrungsdeckschicht von ausschlaggebender Bedeutung für die Dauerhaftigkeit sind. Die Dichtigkeit wird bestimmt durch die **Porosität** und die vorhandenen **Risse**. Neben einer **korrekten Ausbildung der konstruktiven Details**, ist es vor allem eine **qualitativ hochstehende Bontontechnologie**, welche eine genügende Dichtigkeit gewährleistet (Tabelle 4.1). Dazu gehört beispielsweise bei üblichem Konstruktionsbeton die **Einhaltung eines W/Z-Wertes von 0.45 – 0.55** und eine den Erfordernissen angepasste **Nachbehandlung** des Betons.

Betondichtigkeit	Massnahmen
Porosität	W/Z-Wert (Deck- und Kernbeton)
	Nachbehandlung (Deckbeton)
	Konstruktive (Deck- und Kernbeton)
Risse	Nachbehandlung (Schwinden, ΔT)
	Mindestbewehrung (Zwängungen)
	Konstruktive

Tab. 4.1 Massnahmen zur Beeinflussung der Betondichtigkeit, aus [4.2]

Obwohl in der Praxis gewisse Fortschritte festzustellen sind, so ist in der Regel die Nachbehandlung immer noch ungenügend. Deren Hauptzweck ist zu verhindern, dass der Deckbeton zu rasch austrocknet und der thermische Gradient infolge der Hydrationswärme des Bauteils vermindert wird. Dies führt unter anderem dazu, dass sich Schwindrisse bilden, und dass infolge des fehlenden Wassers der Hydrationsvorgang unterbrochen wird, was die Deckschicht porös werden

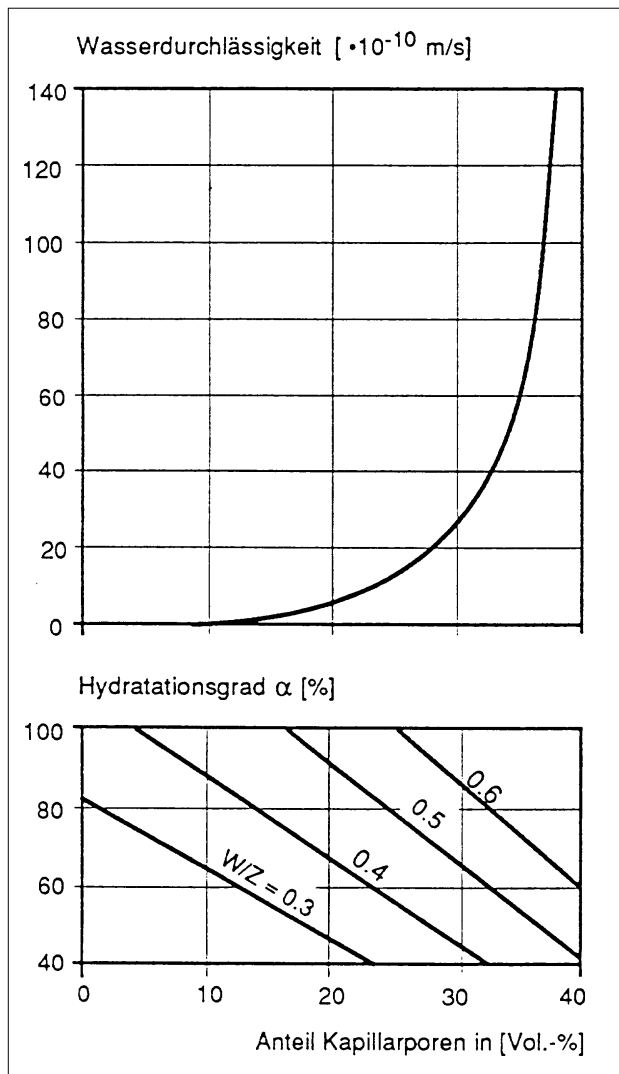


Bild 4.2 Einfluss vom Hydrationsgrad und W/Z-Wert auf die Wasserdurchlässigkeit von Zementstein, aus [4.2]

lässt.

In Bild 4.2 ist als Mass für die Dichtigkeit die Wasserdurchlässigkeit und der zugehörige Kapillarporengehalt in Abhängigkeit vom Hydrationsgrad und vom W/Z-Wert aufgetragen. Es ist ersichtlich, wie mit geringerem Hydrationsgrad die Wasserdurchlässigkeit zunimmt.

In Bild 4.3 zeigt es sich klar, dass die Sauerstoffdiffusion bei einer Nachbehandlung von weniger als 7 Tagen stark ansteigt.

In [4.3] und [4.4] wird auf die Vorzüge der sogenannten Hochleistungsbetone hingewiesen. Der Begriff Hochleistungsbeton wird in Zukunft noch zu definieren sein. Das Bestreben besteht in der Verbesserung der Festigkeitseigenschaften und der Dauerhaftigkeit. Diese Ziele können erreicht werden mittels richtiger Wahl der üblichen Bestandteile, der Verwendung von Betonzusatzmitteln (z.B. Verflüssiger), von Betonzusatzstoffen (z.B. Silikastaub) und als Folge solcher Massnahmen W/Z-Faktoren unter 0.4. Voruntersuchungen und praktische Ausführungen zeigen, dass die Verwendung solcher Betone für besonders stark

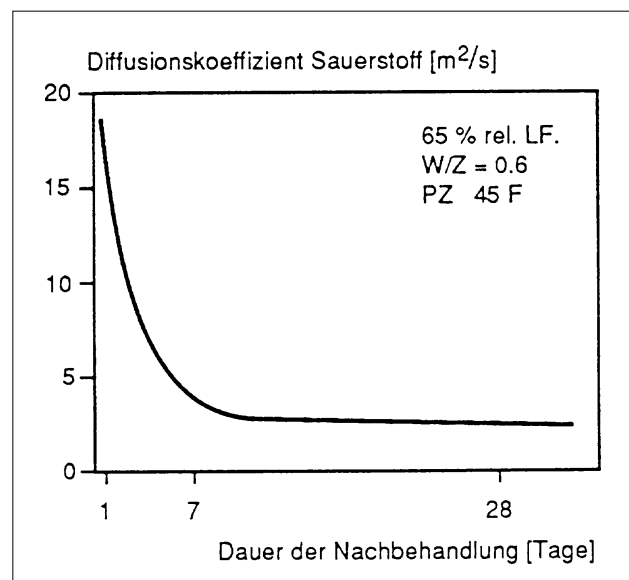


Bild 4.3 Einfluss der Nachbehandlungsdauer auf die Porosität, aus [4.2] gemäss [4.5]

durch Frost-Tausalzangriffe beanspruchte Bauteile im Spritzwasserbereich möglich und sinnvoll ist. In [4.4] sind die Resultate von 82 Frischbetonkontrollen bei Brücken im Tessin zusammengestellt. Es hat sich gezeigt, dass ein tiefer W/Z-Faktor durchaus einen verarbeitbaren Beton ergeben kann.

Vor einem einseitigen, undifferenzierten Propagieren von möglichst tiefen W/Z-Werten ist allerdings zu warnen. Es ist wohl möglich, mit Werten unter 0.35, oder noch tiefer, einzelne Eigenschaften zu verbessern. Damit handelt man sich aber auch gewichtige Nachteile wie schlechte Verarbeitbarkeit (u.a. Kiesnester), erhöhte Rissegefahr, Sprödigkeit und nicht zuletzt hohe Kosten ein.

Die vorstehenden Bemerkungen zum Thema dauerhafter Beton sind hier gemacht worden, weil sie zeigen, dass die **Stahlbetonbauweise über ein gutes baustoffeigenes Schutzvermögen verfügt**. Bei Neubauten ist deshalb unbedingt darauf zu achten, dass die Randbedingungen sowohl in der Projektierung, wie in den Ausführungen optimal eingehalten werden. **Ein zusätzliches Schutzsystem wird dann nur in bestimmten Fällen erforderlich sein.**

Bei **bestehenden Betonbauten** hingegen sind wir oft mit einer **qualitativ ungenügenden Betondeckschicht** konfrontiert, was je nach Einwirkung und Bauteilexposition früher oder später zu Schäden am Beton oder an der Bewehrung führt (Bild 4.4).

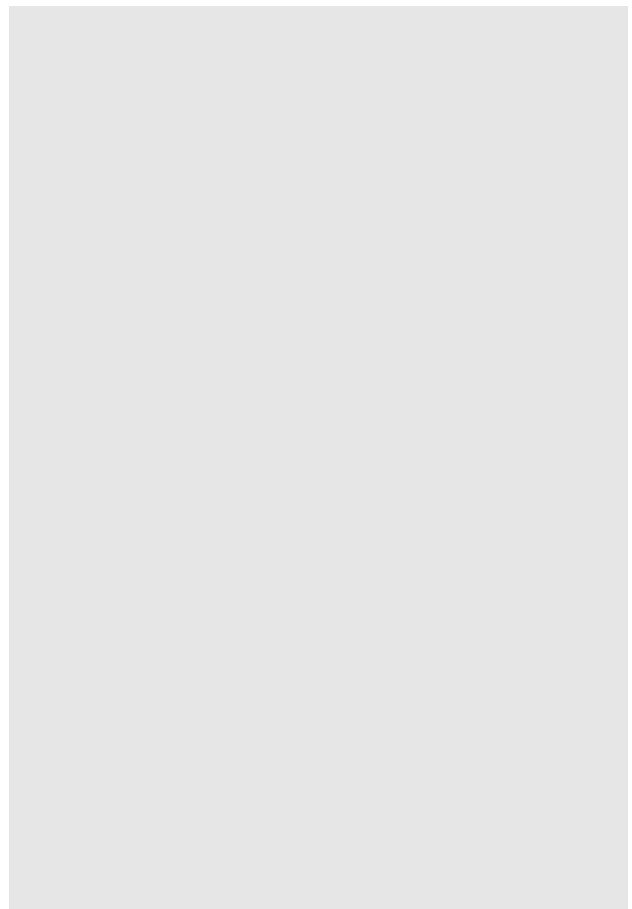
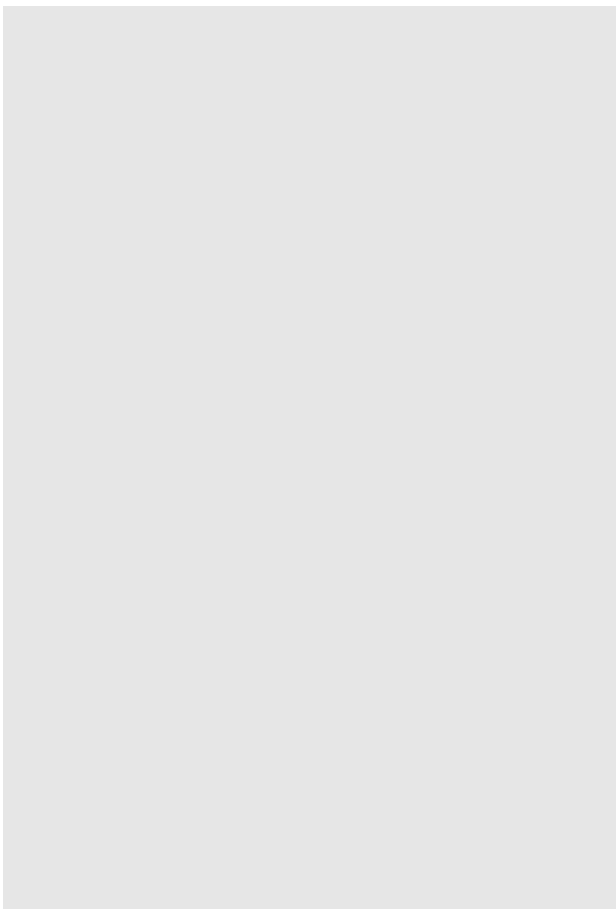
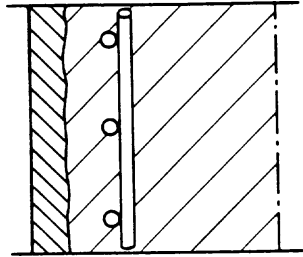
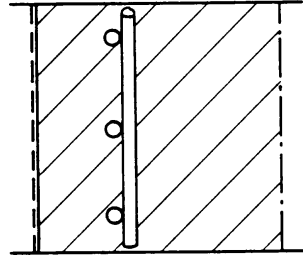
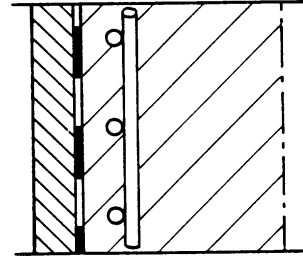
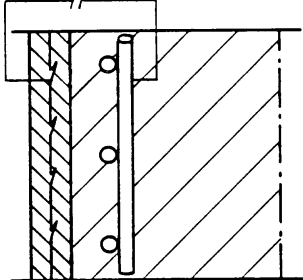


Bild 4.4 Schädigung durch Korrosion des Betonstahles, zwei Schadensbilder, aus [4.7]

Die Tabelle 4.2 stellt eine Gliederung der baustoffeigenen und der zusätzlichen Schutzsysteme und Verfahren dar.

	Art der Schutzsysteme	
baustoffeigenes Schutzsystem	Betone und Mörtel: – Beton – Mörtel – Spritzbeton	
	Oberflächenschutz: – hydrophobierende Imprägnierungen – Versiegelungen – Beschichtungen – Verkleidungen (z.B. Keramikplatten) – usw.	
zusätzliche Schutzsysteme und -verfahren	Abdichtungen: – Dichtungsbahnen – Flüssigkunststoff – Mastixabdichtungen – zementgebundene Abdichtungen – usw.	
	Elektrochemische Verfahren: – kathodischer Korrosionsschutz – (Chloridextraktion) – (Realkalisierung)	

Tab. 4.2 Gliederung der Schutzsysteme für Instandsetzungen; die zusätzlichen Schutzsysteme kommen auch bei Neubauten zur Anwendung. Je nach Fall müssen die Schutzsysteme mit Rissinjektionen ergänzt werden.

4.3 Alterungs- und Schädigungsmechanismen

4.3.1 Allgemeines

Die Aussage, dass Stahlbeton aus Beton und Stahlbewehrung besteht, ist an sich trivial. Sie beinhaltet aber, dass es sich dabei um eine Verbundbauweise handelt, deren Dauerhaftigkeit von den Eigenschaften der einzelnen Bestandteile und von deren gegenseitigem Zusammenwirken abhängt. Im weiteren darf nicht vergessen werden, dass auch der Beton selbst ein Verbundwerkstoff ist, der aus Zement, Zuschlagstoffen, Anmachwasser und Zusätzen (Zusatzmittel und Zusatzstoffe) besteht. In Abschnitt 2.3 sind allgemeine Hinweise zur Alterung und Schädigung enthalten, wobei vor allem die Unterscheidung in **äussere** und **innere** Einflüsse oder Belastungen wichtig ist. Auf den Stahlbeton bezogen heisst dies, dass dessen Bestandteile durch beide Arten altern oder Schaden erleiden können. Als Verbundbauweise ist es zudem wichtig, dass die Bestandteile in mannigfaltiger Hinsicht untereinander verträglich sind. Für weitere Informationen in bezug auf Zusammensetzung und Verhalten der Stahlbetonbestandteile sei auf die Fachliteratur verwiesen (z.B. in bezug auf Beton [4.8]).

Wenn nun im folgenden vor allem von der **Schädigung der Bewehrung durch Korrosion** die Rede ist, dann darum, weil Untersuchungen gezeigt haben, dass diese Art **kostenmässig den weitaus grössten Anteil** hat. Dabei dürfen die Schädigungsarten des Betons wie Frost, Frost-Tausalz, betonaggressive Wässer und Alkalireaktionen natürlich nicht ausser acht gelassen werden. Deren Behandlung würde aber den Rahmen dieser Dokumentation sprengen und es muss auf entsprechende Fachliteratur verwiesen werden (z.B. [4.7]).

Das Thema Korrosion löst bei uns Bauingenieuren meistens ein Unbehagen aus; dies vor allem darum, weil wir in der Regel Mühe haben, uns mit den elektrochemischen Vorgängen, welche der Korrosion zugrundeliegen, vertraut zu machen. Es ist aber trotzdem erforderlich, dass wir uns einige wichtige Grundlagen vor Augen halten. Im übrigen ist dazu auch für den Nichtkorrosionsspezialisten gut verständliche Literatur vorhanden [4.6, 4.7].

4.3.2 Korrosionsmechanismen und -risiken

Es ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für das Funktionieren des Stahlbetons, dass der Betonstahl normalerweise durch den umgebenden Beton geschützt ist. Damit es nun trotzdem zur Korrosion kommt, braucht es drei Bedingungen (siehe Bild 4.9). Diese sind:

- ein Elektrolyt muss vorhanden sein
- die Wirkung der Passivschicht muss aufgehoben sein und
- Sauerstoff ist bis zum Stahl vorgedrungen

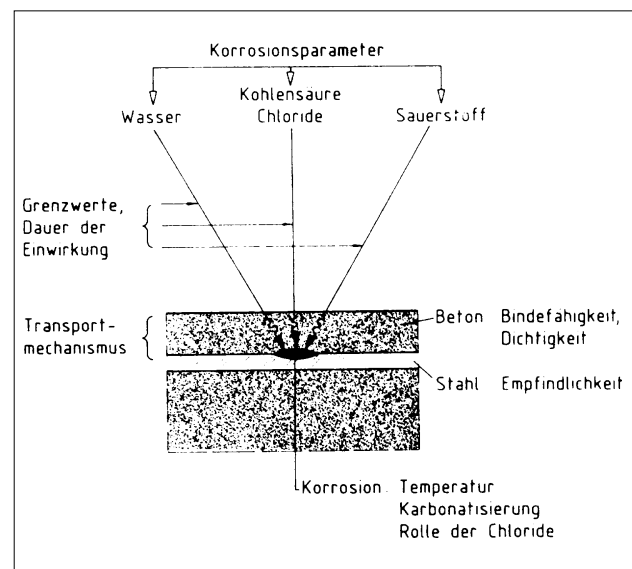


Bild 4.9 Einwirkungen, welche die Bewehrungskorrosion im Beton beeinflussen, aus [4.7]

Elektrolytbildung, nach [4.7]:

Ist der Beton feucht, dann ist die erste der genannten Voraussetzungen erfüllt. Da Feuchtigkeit auch über Kondensation von Wasserdampf aus der Luft in den Beton gelangen kann (Kapillarkondensation), muss zur Durchfeuchtung des Betons nicht unbedingt Wasser in flüssiger Form einwirken. Die Luftfeuchtigkeit von Innenräumen ist aber in der Regel zu gering, als dass sie genügend Feuchtigkeit für die Elektrolytbildung liefert. Im Freien dagegen ist das Feuchtigkeitsangebot im allgemeinen ausreichend, um einen Elektrolyten im Beton entstehen zu lassen. Der Feuchtigkeitsgehalt des Betons selbst wird in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen schwanken.

Verlust der Passivierung, nach [4.7]:

Die Passivschicht auf der Stahloberfläche kann

- aufgehoben werden durch Karbonatisierung des Betons (Bild 4.10) oder
- durchbrochen werden durch die Anwesenheit von korrosionsfördernden Substanzen, z. B. von Chloriden (Bild 4.11).

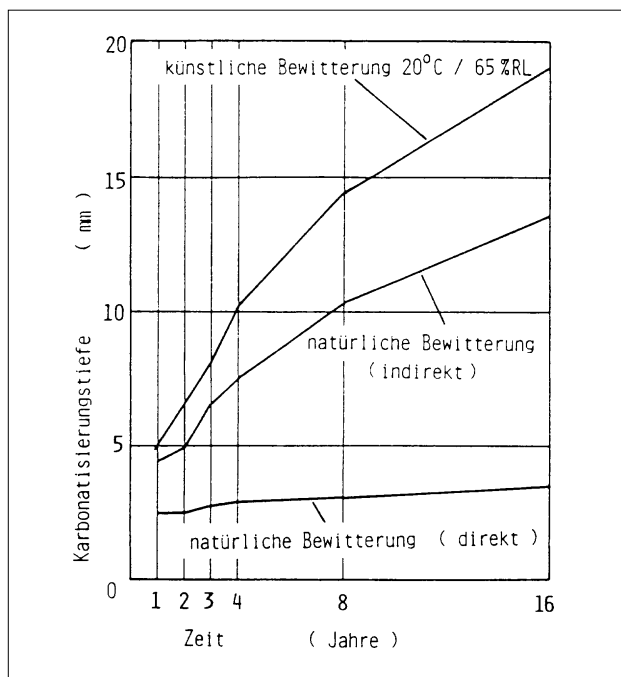


Bild 4.10 Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit der Zeit bei verschiedenen Bewitterungsverhältnissen, aus [4.6]
direkt: dem Regen ausgesetzt
indirekt: unter Dach
Bemerkung: Die im Diagramm gezeigten Resultate sind als Beispiel zu verstehen; in der Praxis können Abweichungen in beiden Richtungen sowohl bezüglich zeitlichem Verlauf, als auch bezüglich Karbonatisierungstiefe auftreten.

Die im erstgenannten Fall mögliche Korrosion kann «Karbonatisierungskorrosion» genannt werden, während es sich im zweiten Fall um «Chloridkorrosion» handelt, wenn man den auslösenden Faktor als Unterscheidungskriterium ansieht.

Bei der Karbonatisierung reagiert das CO_2 der Luft mit dem Kalziumhydroxid des Betons zu Kalziumkarbonat. Dabei wird Wasser freigesetzt.

Als korrosionsfördernde Substanzen zählen neben den Chloriden auch Schwefelverbindungen, insbesondere die Sulfate. Die Rolle der Chloride bei der Korrosion wird hier weiter behandelt, weil sie den grössten Anteil an den beobachteten Korrosionsschäden am Stahl haben. Bezüglich der Bedeutung der Sulfate wird auf weiterführende Literatur verwiesen, z. B. [4.8].

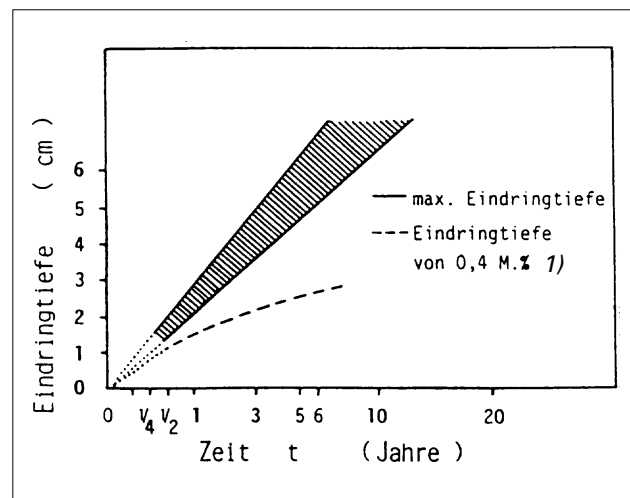


Bild 4.11 Chlorideindringtiefen in Abhängigkeit der Zeit, aus [4.3]

Bemerkung: Die im Diagramm gezeigten Resultate sind als Beispiel zu verstehen; in der Praxis können Abweichungen in beiden Richtungen sowohl bezüglich zeitlichem Verlauf, als auch bezüglich Karbonatisierungstiefe auftreten.

1) Diese Angabe bezieht sich auf den %-Anteil der Chloride auf die Zementmasse

Sauerstoff, nach [4.7]:

Sauerstoff und Kohlendioxid verhalten sich in ihrer Einwirkung unterschiedlich.

Da das Kohlendioxid beim Eindringen in den Beton gebunden wird, hängt die Eindringgeschwindigkeit der Karbonatisierungsfront auch vom Nachschub ab. Beim Sauerstoff liegen diese Vorausset-

zungen nicht vor. Seine Diffusionsgeschwindigkeit wird hauptsächlich von der Dichtigkeit und vom Feuchtigkeitsgehalt des Gefüges bestimmt. Deshalb kann Sauerstoff schneller als die Karbonatisierungsfront bis zur Stahloberfläche vordringen, sei es im gasförmigen Zustand oder in Wasser gelöst. Messungen des Sauerstoffgehaltes im Bereich der Stahloberfläche sind ausserordentlich schwierig. Massnahmen zur Verringerung des Sauerstoffgehaltes am Stahl, z.B. Beschichtung, sind erst dann von besonderem Interesse, wenn die Korrosion nicht durch die Beseitigung der anderen Korrosionsparameter gestoppt werden kann.

Damit sich die Voraussetzungen für die Korrosion an der Stahloberfläche einstellen können, müssen das Wasser, der Sauerstoff und die Chloride bzw. die Karbonatisierungsfront bis an den Stahl vorge drungen sein. Jeweils günstige Eindringvoraus setzungen werden jedoch bei unterschiedlichen Zuständen erreicht. So wird bei hohen Wasserge halten das Eindringen von Sauerstoff und Kohlen säure zunehmend gebremst, das der korrosions fördernden Substanzen, wie Cl^- , jedoch geför dert. Bei geringen Wassergehalten kann Sauer stoff leichter vordringen, jedoch wird dann die Karbonatisierungsreaktion gehemmt, da sie Feuchtigkeit benötigt. Bei Wassergehalten, die sich bei relativen Luftfeuchtigkeiten zwischen 40% und 60% im Beton einstellen, ist die Karbona tisierung am grössten. Bei diesen Luft feuchtigkeiten ist der Wassergehalt des Betons im allgemeinen zu gering zur Elektrolytbildung, so dass eine Korrosion nicht in Gang kommt. Diese gegenseitige Abhängigkeit ist schematisch in Bild 4.12 dargestellt. Daraus ist zu erkennen, dass es bei konstanten Lagerungsverhältnissen nur einen sehr engen Bereich gibt, in dem optimale Korrosi onsbedingungen vorliegen. Ausserhalb dieses Be reiches läuft die Korrosion nur sehr langsam bzw. überhaupt nicht ab. So besteht z.B. in trockenen Innenräumen trotz relativ hoher Karbonatisie rungsrate keine Korrosionsgefahr.

Zur Abschätzung des **Korrosionsrisikos** sind, neben den bereits in Abschnitt 4.2 diskutierten Einflüssen wie **Dicke** und **Dichtigkeit der Be tondeckschicht** und der obenstehend erläuterten Korrosionsparametern, weitere Informationen über die korrosionsauslösenden bzw. -fördernden Risikofaktoren notwendig. Hinweise dazu gibt Bild

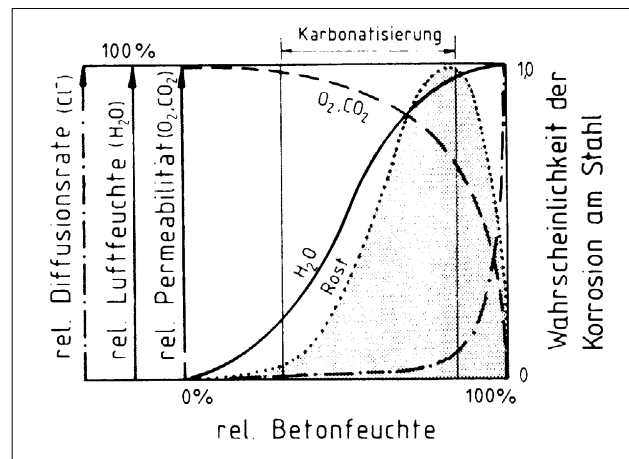


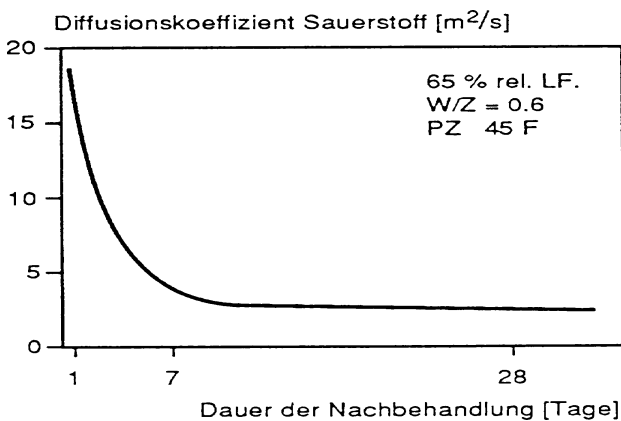
Bild 4.12 Zusammenwirken der Korrosionsparameter, aus [4.7]

4.12 und die nachfolgenden Bemerkungen nach [4.9]:

- **Chloride:** In voll alkalischem Beton besteht bei Chloridkonzentrationen $>0,4 \text{ \% } \text{Cl}^-/\text{Zementmasse}$ an der Bewehrung ein Korrosionsrisiko. Aus Bohrkernen kann ein Chlorid-Tiefenprofil ermittelt werden, das Aufschluss über akut gefährdete, potentiell gefährdete oder ungefährdete Bereiche der Bewehrung gibt.
- **Durchfeuchtung:** Durch visuelle Kontrollen oder durch Messung des elektrischen Widerstandes des Betons lassen sich Bereiche mit übermässig hoher Feuchtigkeit erfassen. Besondere Beachtung ist dabei der **Exposition des Bauteils** zu schenken, da insbesondere wechselnde Durchnässung/Austrocknung des Betons das Korrosionsrisiko (vor allem in Gegenwart von Chloriden) stark erhöht.
- **Karbonatisierung:** Für Stahl in karbonatisiertem, d.h. nicht mehr genügend alkalischem Beton kann bereits ein akutes Korrosionsrisiko bestehen. Dies allerdings nur dann, wenn weitere Korrosionsfaktoren gegeben sind. Das zeitliche Vordringen (und damit der Zeitpunkt der akuten Korrosionsgefährdung) kann **auf keinen Fall** nur unter Einbezug von Betonkenngrössen (z.B. W/Z-Faktor) und einem verallgemeinerten Gesetz vorausgesagt werden. Die Expositionsbedingungen (bewittert, vor Regen geschützt usw.) des betrachteten Bauteils sind ebenso wichtig.

Auf der Basis des experimentell erfassten Korrosionszustandes der Bewehrung, den Kenntnissen über die Risikofaktoren und deren Zusammenwirken, sowie den gegenwärtigen respektive zu erwartenden Nutzungsbedingungen des Bauwerks lässt sich das Korrosionsrisiko beurteilen. In Tabelle 4.3 sind in einer groben Einteilung einige typische Fälle zusammengestellt. In chloridhaltigem, nichtkarbonatisiertem Beton verlaufen die Korrosionsangriffe meist als Lochfrass.

Eine normgemässe Überdeckung der Bewehrung und ein dichter Beton verzögern das Eindringen von Schadstoffen und damit den Beginn der Korrosion stark, u.a. [4.2 und 4.10].



Tab. 4.3 Zu erwartendes Korrosionsrisiko (bzw. Wahrscheinlichkeit des Auftretens am Betonstahl in Beton als Funktion verschiedener Einflussgrössen, aus [4.9]:

- sehr klein
- + erheblich bis gross
- ++ sehr gross
- +++ immer Korrosion

1) Diese Angaben beziehen sich auf den %-Anteil der Chloride auf die Zementmasse

4.4 Instandsetzung von Beton und Bewehrung

4.4.1 Allgemeines

Was sind die Ziele der Instandsetzung?

Die Instandsetzungsmassnahmen dienen dazu, die Widerstandsfähigkeit von Betontragwerken gegen vorhandene Einwirkungen wiederherzustellen oder zu erhöhen. Dazu gehört beispielsweise der Ersatz von chloridverseuchtem Beton durch Beton oder Mörtel. Ist die Bewehrung korrodiert, so geht es um die Wiederherstellung eines ausreichenden Korrosionsschutzes. Um ein Tragsicherheitsproblem zu vermeiden, ist die Bewehrung bei starker Schädigung ggf. zu ersetzen.

Folgende Einzelmassnahmen sind möglich, nach [4.11]:

– Füllen von Rissen (Bild 4.15)

Das Füllen von Rissen dient je nach geplantem Sollzustand zur Abdichtung durchlässiger Bauteile, zur Verhinderung des Eindringens korrosionsfördernder Stoffe, zur Wiederherstellung eines monolithischen Bauteilverhaltens oder in Sonderfällen für den Korrosionsschutz der Bewehrung.

– Ausfüllen örtlich begrenzter Fehlstellen (Bild 4.16)

Diese Massnahme dient der Wiederherstellung der ursprünglichen Bauteiloberfläche (Reprofilierung). Sie kann in der Regel nur dann allein ausreichend sein, wenn der Schaden nicht durch korrodierende Bewehrung hervorgerufen wurde. Der Auftrag erfolgt von Hand, als Ort beton in Schalung oder bei grossen Mengen auch durch Spritzen. Es kommen zementgebundene Mörtel und Betone ohne oder mit Kunststoffmodifizierung sowie in Ausnahmefällen reaktionsharzgebundene Mörtel und Betone zur Anwendung.

– Grossflächiges Auftragen von Mörtel und Beton (Bild 4.17)

Diese Massnahme dient z.B. zur Vergrösserung der Betondeckung der Bewehrung, zur Herstellung eines neuen Oberflächenprofils oder zur Verstärkung des Betonquerschnitts. Der Auftrag erfolgt in der Regel als Ort beton (bei nicht horizontalen Flächen in Schalung) oder als Spritzbeton (z.B. an Wänden, Stützen und Untersichten).

Es kommen zementgebundene Mörtel oder Betone ohne oder mit Kunststoffmodifizierung zur Anwendung. Für grossflächigen Auftrag von Mörtel und Beton zur Erhöhung des Widerstandes gegen mechanische und chemische Angriffe können auch reaktionsharzgebundene Systeme verwendet werden.

– **Auftragen von hydrophobierenden Imprägnierungen** (Bild 4.18)

Als selbständige Massnahmen behindern hydrophobierende Imprägnierungen das kapillare Einsaugen von Wasser einschliesslich der dabei transportierten Schadstoffe.

Sie werden auch eingesetzt, um die längerfristige Haftung von filmbildenden Beschichtungen am Untergrund zu verbessern. Die Produkte müssen dazu aufeinander abgestimmt sein.

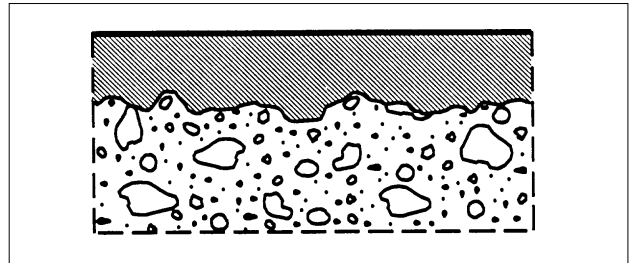


Bild 4.17 Grossflächiges Auftragen von Mörtel oder Beton
Bewehrung nicht dargestellt

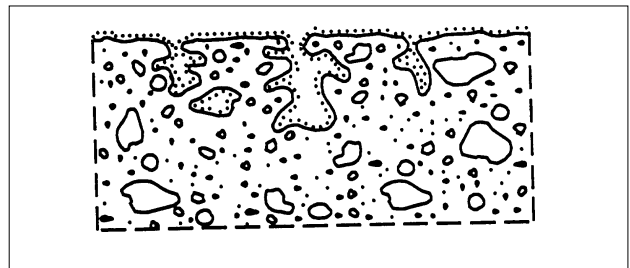


Bild 4.18 Auftragen von hydrophobierenden Imprägnierungen
Bewehrung nicht dargestellt

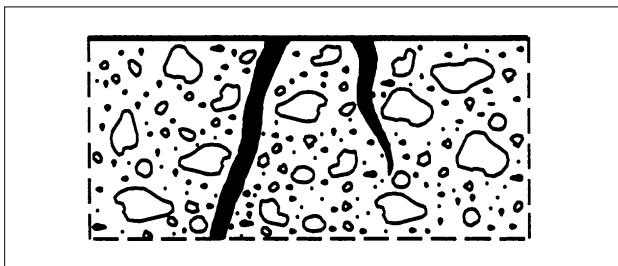


Bild 4.15 Füllen von Rissen mit Reaktionsharzen oder Zementleim
Bewehrung nicht dargestellt

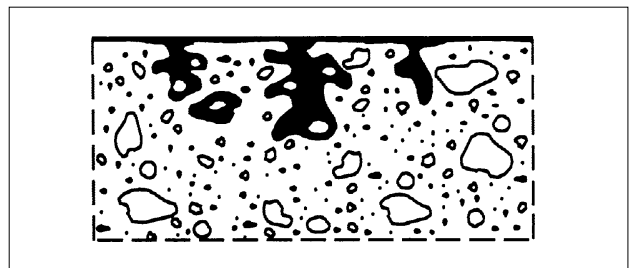


Bild 4.19 Auftragen von Versiegelungen (teilweise filmbildende)
Bewehrung nicht dargestellt

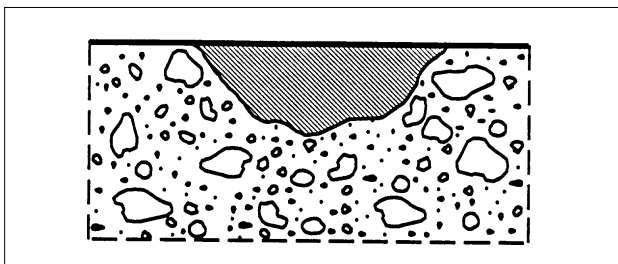


Bild 4.16 Ausfüllen von örtlichen Fehlstellen mit Mörtel oder Beton
Bewehrung nicht dargestellt

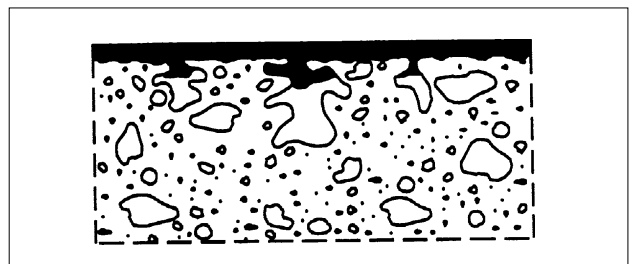


Bild 4.20 Auftragen von filmbildenden Beschichtungen
Bewehrung nicht dargestellt

– **Auftragen von Versiegelungen oder filmbildenden Beschichtungen** (Bilder 4.19 und 4.20)

Diese Massnahme dient dazu, das Eindringen flüssiger oder gasförmiger Stoffe in den Beton zu verhindern (für Sauerstoff gilt dies nur in kleinem Masse). Sie kann auch als Grundierung dienen, z.B. mit dem Ziel, die Festigkeit des Untergrundes oder die Haftung zur nächsten Schicht zu verbessern. Eingesetzt werden kunststoffgebundene Systeme.

Die vorstehende Darstellung der Einzelmassnahmen zeigt, wie viele Instandsetzungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Dazu kommen noch die **Abdichtungen** und die **elektrochemischen Verfahren**, die in späteren Abschnitten behandelt werden.

Es ist so, dass zu jeder der hier gezeigten Massnahme die verschiedensten Produkte angeboten werden.

Wie können in einem konkreten Fall die richtigen Massnahmen und Produkte gewählt werden?

Wichtig für den planenden Ingenieur sind **grundsätzliche Hinweise zum Schutz und zur Instandsetzung des Betons sowie zum Korrosionsschutz des Betonstahles**. Für die Beurteilung beispielsweise von Oberflächen (u.a. Eignung eines Betonuntergrundes für eine Neubeschichtung) und von Sanierungsprodukten sind **physikalische und chemische Zielgrössen** nötig, wie sie in den späteren Abschnitten genannt werden. Es sollte auch bekannt sein, wie sich solche Verfahren und Produkte über die Zeit verhalten, d.h. wie deren Lebensdauer unter gegebenen Bedingungen ist.

In vielen Ländern wird zu diesen Problemen geforscht und entwickelt. Vergleichende Untersuchungen zeigen, dass wir wohl einiges wissen, dass aber bis heute auch noch zahlreiche Fragen unbeantwortet geblieben sind.

Dies zeigt sehr gut der Forschungsbericht «Schutz und Sanierung von Stahlbetonbauwerken im Bereich von Strassen» von Böhni, u.a. [4.12]. Es werden die Resultate vergleichender Untersuchungen mit verschiedenen Produkten gezeigt. Die Erfahrungen mit gebräuchlichen Beschichtungen werden im Bericht wie folgt zusammengefasst:

«Die am häufigsten verwendeten Schutzbeschichtungen lassen sich vereinfacht in die nachstehend beschriebenen Typen einteilen. Die wichtigsten in den letzten Jahren gemachten Beobachtungen an diesen Beschichtungstypen können, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, etwa wie folgt zusammengefasst werden:

Die **relativ dünnen, sehr gut haftenden Anstriche aus Epoxiddispersionen** haben sich insbesondere als Tausalzschutz nicht bewährt. Sie sind spröde und deshalb nicht in der Lage, auch nur feine Risse zu überbrücken. Oft sieht man trotz Schutzanstrich die typischen Frostschäden an Betonoberflächen. Dies deutet auf zahlreiche Fehlstellen in der Beschichtung hin, was insbesondere beim Aufbringen des verhältnismässig dünnen Anstriches auf die poröse Betonoberfläche bei mangelhaftem Porenverschluss nicht zu vermeiden ist.

Kürzlich angestellte Untersuchungen an Beton unter Tunnelanstrichen zeigen zum Teil beträchtliche Chloridgehalte. Diese Resultate stellen die Schutzwirkung dünner Beschichtungen ebenfalls in Frage.

Kunststoffvergütete, zementgebundene Beschichtungen werden in einer Stärke von 2 bis 3 Millimetern aufgebracht. Die Applikation ist einfach und auch auf feuchtem Untergrund unproblematisch. Ein sorgfältiges Vornässen des Betons und eine wirksame Nachbehandlung ist erforderlich, da sonst die Gefahr von Wasserverlust und Schwindrissbildung besteht. Die Produkte können zum Teil beschränkt Risse überbrücken. Oft ist jedoch eine starke Abnahme der Verformungsfähigkeit bei tiefen Temperaturen vorhanden. Durch Einlegen von Geweben erhält man ein günstigeres Rissverhalten, d.h. es entstehen anstelle eines breiteren, mehrere feine Risse. Bisher sind wegen nicht überbrückten feinen Rissen keine sichtbaren Nachteile aufgetreten. Insbesondere wurden bis jetzt keine Abplatzungen an den feinen Rissufern, wie etwa bei Epoxiddispersionen und auch keine Unterwanderungen festgestellt. Dieser Typ ist auch weniger empfindlich gegen mechanische Beschädigungen (z.B. durch Schneepflüge).

Weiche thermoplastische Beschichtungen können auch bei geringer Schichtstärke Risse überbrücken. Auch hier kann je nach Art des verwendeten Kunststoffes mit abnehmender Tempe-

ratur eine starke Abnahme der Verformungsfähigkeit auftreten. Sie sind einfach aufzubringen und zu reparieren, neigen jedoch zur Verschmutzung und sind anfällig gegen mechanische Beschädigungen. Die Haftung ist eher gering, und es besteht die Gefahr der Unterwanderung durch Feuchtigkeit.

Harte thermoplastische Beschichtungen werden meistens auf eine Flächenspachtelung aufgebracht, um das Eindringen von Schadstoffen wie CO₂ oder Cl⁻ in den Beton zu reduzieren. Sie sind im allgemeinen dünn, spröde und nicht in der Lage auch nur feine Risse zu überbrücken. In einigen Fällen sind Abblätterungen aufgetreten, deren Ursache noch nicht geklärt ist.

Dünne Elastomerbeschichtungen (Stärke < 0,5 mm) aus vernetzenden Einkomponentenprodukten können beschränkt Risse überbrücken. Sie benötigen im allgemeinen einen Porenverschluss. Zur Erzielung der geringen Schichtstärke sind oft mehrere Arbeitsgänge mit Wartezeiten erforderlich. Die Dampfdurchlässigkeit ist eher gering. In der Praxis wird die Rissüberbrückung oft nicht erreicht. Die Produkte verlieren offensichtlich ihre Flexibilität, vermutlich durch Alterung oder durch nicht optimale Herstellungsbedingungen. Die Gewährleistung einer fehlerstellenfreien Schutzschicht ist bei der geringen Dicke nicht vorhanden. Es besteht die Gefahr der Unterwanderung durch Feuchtigkeit und der mechanischen Beschädigung.

Dicke Elastomerbeschichtungen, hier handelt es sich meist um Polyurethane oder Polyurethan-Epoxid-Kombinationen (zähelastische Duromere), sind in der Lage sich bewegendes Risse auch bei tiefen Temperaturen sicher zu überbrücken. Bei feuchtem Beton neigen sie bei der Applikation zu Blasenbildung. Als UV-Schutz ist eine zusätzliche Versiegelung notwendig. Auch hier besteht infolge der geringeren Haftung insbesondere bei schlecht ausgeführten Anschlussdetails die Gefahr der Unterwanderung. Bedingt durch die grössere Schichtstärke wird eine allfällige Zerstörung des Betons unter der Beschichtung erst später sichtbar.

Seit einigen Jahren werden in der Schweiz Beschichtungen mit **glasfaserverstärktem Polyester** ausgeführt. Die Verstärkung erfolgt durch eine Glasmatte. Die bis jetzt gemachten Erfahrungen sind mehrheitlich positiv.

Grundsätzlich fehlt bei allen Produkten eine echte Langzeiterfahrung. Die Ursache liegt einerseits in der ständigen Verbesserung und Neuentwicklung von Produkten und andererseits in der ungenügenden Kenntnis des Betons bei älteren Sanierungen. Eine zuverlässige Beurteilung wird zudem durch den Umstand erschwert, dass die Beanspruchung in den letzten Jahren durch die ausserordentlich milden Winter gering war. So können auch aus neueren Sanierungen, bei welchen systematisch alle Daten erfasst worden sind, noch keine endgültigen Schlüsse gezogen werden.

Bei allen Beschichtungstypen spielt jedoch die Vorbehandlung und der Feuchtigkeitszustand des Betons und die Ausführung der Arbeiten eine dominierende Rolle. Besondere Aufmerksamkeit ist der Lösung von Anschlussproblemen zu schenken.

Da insbesondere die dünnen und leicht verletzlichen Beschichtungen oft örtliche Undichtigkeiten aufweisen, ist die Verwendung von frost- oder besser sogar frosttausalzbeständigem Reparaturmörtel und Ausgleichspachtel unbedingt erforderlich. Im weiteren sollten mechanische Beschädigungen möglichst rasch und einfach repariert werden können.»

Die Schlussfolgerungen dieser Forschungsarbeit zeigen klar die noch bestehenden Unsicherheiten in bezug auf das Verhalten von verschiedenen Produktgruppen. Trotzdem ist der projektierende Ingenieur in der Praxis laufend gezwungen, sich für Massnahmen und Produkte zu entscheiden und dafür Anforderungen festzulegen. Da wir bis heute in unserem Land über keine umfassende Regelung verfügen (in [4.26] sind einige wenige Angaben enthalten), drängt sich ein Blick über die Grenzen auf, um zu sehen, was sich auf diesem Gebiet im Rahmen der **europäischen Harmonisierung** tut. Es ist zu erwarten, dass aufgrund der Bestimmungen der sogenannten **EG-Bauprodukte-richtlinie** die europäischen Festlegungen sich auch auf unser Land konkret auswirken werden (siehe dazu Abschnitt 2.1).

Bei CEN (**C**omité **E**uropéen de **N**ormalisation) befasst sich das Technische Komitee TC 104 in der Arbeitsgruppe 8 «Protection and repair of concrete

structures» und weitere Untergruppen mit der Ausarbeitung von Richtlinien für die Instandsetzung von Betonbauteilen. Auch Schweizer Fachleute arbeiten hier mit.

Die Arbeit wurde mit dem Ziel begonnen, Anforderungen an Produktgruppen, und die dazugehörigen Eignungsprüfungen und Qualitätskontrollen festzulegen. Dies sind die Bedingungen zur Erlangung des EG-Konformitätszeichens. Ist ein Produkt mit dieser Marke versehen, so kann es frei in allen Ländern des europäischen Binnenmarktes angewendet werden. Es wird nun allerdings noch einige Zeit dauern, bis die genannte Arbeitsgruppe ihre Arbeit abgeschlossen haben wird.

In der Zwischenzeit hat der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) die Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen veröffentlicht [4.11]. Hier ist erstmals versucht worden, die komplexe Thematik in einer Richtlinie zu regeln. Es ist anzunehmen, dass wesentliche Teile davon in eine zukünftige CEN-Norm aufgenommen werden.

Im weiteren ist es eine Tatsache, dass verschiedene, auch international ausgerichtete Produkthersteller dabei sind, ihre Produkte der Grundprüfung nach der DAfStb-Richtlinie zu unterziehen. Einige dieser Prüfungen sind auch bereits abgeschlossen und die Produkte auf dem Markt.

Aus dieser Sachlage heraus erscheint es sinnvoll, diese Richtlinie bei den weiteren Erläuterungen als wichtige Grundlage einzubeziehen. Sie besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze, August 1990
- Teil 2: Bauplanung und Bauausführung, August 1990
- Teil 3: Qualitätssicherung der Bauausführung, Februar 1991
- Teil 4: Lieferbedingungen und einheitliche Grundsätze für Ausführungsanweisungen (erscheint gegen Ende 1991); dieser Teil enthält die Prüfungsbeschreibungen und ist primär für die Prüfinstitute von Bedeutung

(Beuth Verlag GmbH, Berlin 30 und Köln 1, Vertriebsnummer 65014)

4.4.2 Grundsätze für Schutz und Instandsetzung von Beton

Es ist für den planenden Ingenieur wichtig zu wissen, wie er die Schutz- und Instandsetzungsziele in Anforderungen an die Produkte und Verfahren umsetzen kann.

Im Hinblick auf die technische Harmonisierung in Europa und auch in Übereinstimmung mit den Festlegungen in den neuen Konstruktionsnormen des SIA sollte unser Land dazu übergehen von Produkten und Verfahren systematisch Eignungsnachweise mittels erstmaligen Prüfungen oder Zulassungsversuchen zu fordern. **Eine solche Überprüfung soll zeigen, ob die folgenden Forderungen erfüllt sind** [4.11]:

- Die verwendeten Baustoffe und die geschützten bzw. instandgesetzten Bauteile müssen den Einwirkungen aus Umwelt und Gebrauch innerhalb einer angemessenen Nutzungsdauer widerstehen. Die Auslösung eines Angriffs in tieferen Schichten (z.B. infolge Unterwanderung) muss verhindert werden.
- Die Haftung der Schutz- oder Instandsetzungsbaustoffe am Beton bzw. am Stahl des Bauteils und die Haftung der verschiedenen Schichten untereinander muss ausreichend gross und dauerhaft sein. Sie darf z.B. durch die Alkalität des Betons oder durch den Einfluss von Feuchtigkeit im Laufe der Zeit nicht wesentlich gemindert werden.
- Die Schutz- bzw. Instandsetzungsbaustoffe dürfen auf den Untergrund infolge Temperaturdehnung, Schwinden oder Quellen keine Zwangsspannungen ausüben, die zur Ablösung oder zu schädlichen Rissen führen.
- Die Schutz- bzw. Instandsetzungsbaustoffe dürfen den Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl nicht beeinträchtigen.
- Die Produkte und Verfahren müssen baustellen-tauglich sein.

Je nach Produkteart sollen in den Versuchen die folgenden Eigenschaften geprüft werden:

- Festigkeit (Druck, Zug, Abrieb)
- Verformungsverhalten in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit
 - unter Last (Kurzzeit, Langzeit)
 - lastfrei (Schwinden, Quellen, Temperaturdehnung)

- Durchlässigkeit gegenüber
 - . Wasser
 - . Wasserdampf
 - . anderen Flüssigkeiten, Gasen, Ionen
- Widerstand gegen
 - . Frost oder ggf. Frost und Tausalz
 - . Feuchtigkeit
 - . von aussen einwirkende Schadstoffe in wässriger oder organischer Lösung
 - . Alkalität des Zementsteines
 - . UV-Strahlung
 - . Temperatur
 - . Beschädigungen
- Haftung am Beton und zwischen einzelnen Schichten
- Dauerhaftigkeit der o.g. Eigenschaften
- Reparierbarkeit, Ersetzbarkeit

Zusätzlich zu den Anforderungen beim Eignungsnachweis muss bei der Planung folgendes beachtet werden:

- Durch eine Beschichtung oder eine andere Instandsetzungsmassnahme dürfen im Beton der zu schützenden bzw. instandzusetzenden Bauteile keine bauphysikalisch und chemisch ungünstigen Verhältnisse geschaffen werden, die Folgeschäden verursachen können.
- Die vorgesehenen Baustoffe und Ausführungsverfahren sind auf die Eigenschaften des Untergrundes abzustimmen. Die geplante Vorbehandlung ist zu berücksichtigen. Die erforderlichen Oberflächenzugfestigkeiten hängen vom Einsatzbereich ab.
- Vor Beginn umfangreicher Instandsetzungsarbeiten soll am Objekt überprüft werden, ob alle Anforderungen des Instandsetzungsplanes unter den vorliegenden Ausführungsbedingungen sicher erreicht werden können.
- Schutz- und Instandsetzungsarbeiten dürfen nur ausgeführt werden, wenn die Temperaturen und die Feuchtigkeit des Bauteils sowie die Witterungsbedingungen bestimmte, in der Regel vom ProduktHersteller festgelegte Grenzwerte einhalten (siehe unter 4.4.4.2).

4.4.3 Grundsätze für den Korrosionsschutz der Bewehrung

4.4.3.1 Allgemeines

Das Verständnis für die in Abschnitt 4.3 beschriebenen Korrosionsmechanismen bildet die Grundlage bei der Planung von Instandsetzungsmassnahmen. Dabei muss vom **Istzustand** ausgegangen werden, der aufgrund einer fachgemässen Zustandsuntersuchung und -beurteilung bekannt sein muss. Im weiteren hat der planende Ingenieur in Absprache mit dem Bauherrn den nach der Instandsetzung geforderten Sollzustand festzulegen.

Die nachfolgend dargestellten Grundsatzlösungen oder Instandsetzungsprinzipien beziehen sich nur auf die normale, nicht vorgespannte Bewehrung; sie können sinngemäss auch für stählerne Einbauteile angewendet werden:

- **Korrosionsschutz durch Wiederherstellung des alkalischen Milieus (Instandsetzungsprinzip R)**
Das Prinzip beruht auf der erneuten Bildung einer Passivschicht auf der Stahloberfläche (Repassivierung) durch Auftragen zementgebundener Instandsetzungsstoffe.
Eine Beschichtung der Stahloberfläche, die eine Repassivierung verhindert, darf nicht aufgebracht werden.
- **Korrosionsschutz durch Begrenzung des Wassergehaltes im Beton (Instandsetzungsprinzip W)**
Das Prinzip beruht auf einer Absenkung des Wassergehaltes im Beton, die die elektrolytische Leitfähigkeit so stark reduziert, dass die Korrosionsgeschwindigkeit auf praktisch vernachlässigbare Werte gesenkt wird.
- **Korrosionsschutz durch Beschichtung der Bewehrung (Instandsetzungsprinzip C)**
Das Prinzip beruht auf einer Verhinderung der anodischen Eisenauflösung durch eine geeignete Beschichtung auf der Stahloberfläche.
- **Kathodischer Korrosionsschutz (Instandsetzungsprinzip K)**
Durch gezielte Beaufschlagung der Bewehrung mit Fremdstrom und/oder die Anordnung von Opfer- oder Inertanoden wird erreicht, dass die

gesamte Bewehrung kathodisch wirkt und ihre Korrosion auf diese Weise verhindert wird.

– **Zutritt von Sauerstoff zum Stahl behindern**

Die Korrosion kann auch dadurch behindert werden, dass der Zutritt von Sauerstoff zur Stahloberfläche durch vollständiges Beschichten des Betons reduziert wird. Dieses Prinzip darf jedoch **nicht** als Instandsetzungsmassnahme angewendet werden, da es baupraktisch nicht sicher beherrschbar ist.

Hat die Zustandsuntersuchung und -beurteilung ergeben, dass innerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer bei den vorliegenden Verhältnissen Bewehrungskorrosion zu erwarten ist, so ist zu prüfen, ob vorerst **vorbeugende Massnahmen** ergriffen werden können. Diese hängen ab von der potentiellen Ursache einer zukünftigen Korrosion. Die entsprechenden Parameter sind in Bild 4.12 gezeigt.

Vorbeugende Korrosionsschutzmassnahmen können sein:

- Verminderung des Wassergehaltes im Bauteil
- Verminderung des Eindringens von CO_2 , d.h. Erhöhung des Karbonatisierungswiderstandes («Karbonatisierungsbremse»), z.B. durch Aufbringen eines Oberflächenschutzsystemes oder Verkleidung des Bauteiles mittels eines geeigneten Materials.
- Verminderung des Eindringens von Cl^- , d.h. Erhöhung des Chlorideindringungswiderstandes.

Bei allen diesen Möglichkeiten sollten die Einwirkungen auf ein unschädliches Mass reduziert werden.

Oft wird davon gesprochen, dass es durch ein **intensives Spülen der Betonoberflächen** gelingt, bereits vorhandene Chloride wieder aus dem Beton zu entfernen. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass dies nicht der Fall ist. Wie Bild 4.21 zeigt, wird damit wohl der Chloridgehalt an der Oberfläche verringert; gleichzeitig erhöht dieser sich aber im Betoninnern. Mit Ausnahme eines Wegwaschens von Chloriden an der Oberfläche, wie dies auch bei berechneten Bauteilen geschieht, bleibt die Gesamtchloridmenge praktisch gleich.

Die Massnahme kann nicht empfohlen werden, denn sie führt dazu, dass damit das

Korrosionsrisiko im Bereich der Bewehrung ansteigt.

Es muss allerdings festgehalten werden, dass über die hier zugrundeliegenden Vorgänge noch wenig bekannt ist und systematische Untersuchungen fehlen.

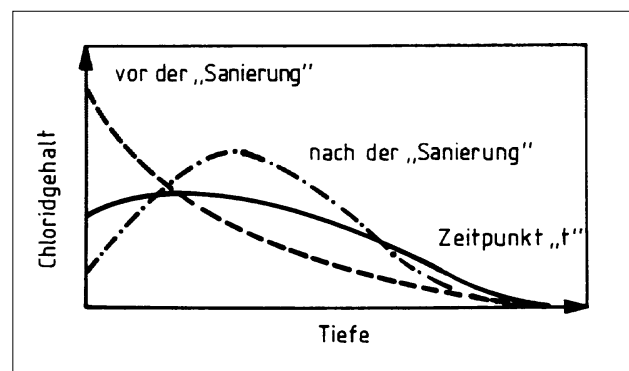


Bild 4.21 Veränderung der Cl^- -Konzentration im Beton vor und nach einer «Sanierung» mittels Wasserspülens der Betonoberfläche, aus [4.7]

Im übrigen ist bei der Wahl einer Schutzmassnahme auch immer zu überlegen, ob diese nicht im nachhinein, beispielsweise bei einer neuerlichen, umfassenderen Instandsetzung nicht schlechtere Voraussetzungen schafft. So kann durch eine entsprechende chemische Behandlung der Betonoberfläche die Haftzugfestigkeit für einen späteren Oberflächenschutz für lange Zeit verloren gehen.

4.4.3.2 Instandsetzungsmassnahmen bei Korrosion infolge Karbonatisierung des Betons

Als Grundlage dient die mit geeigneten Mitteln bestimmte Verteilung der Karbonatisierungstiefe gemäss der Empfehlung SIA 162/3 (1990), [4.14] über die Oberfläche eines Bauwerkteiles (siehe Bild 4.22).

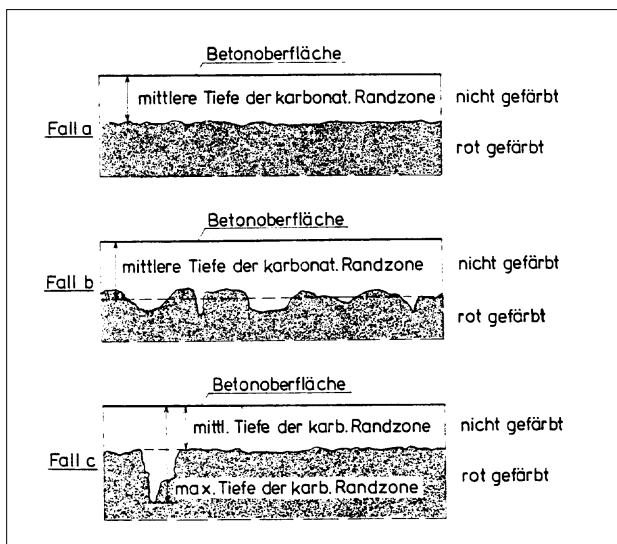


Bild 4.22 Möglicher Verlauf der Karbonatisierungsfrente im Beton, aus [4.7]

Folgende Lösungen sind grundsätzlich möglich:

a) **Wiederherstellung des alkalischen Milieus** je nach Fall als:

- **grossflächiges Auftragen** von Beton oder Mörtel (Instandsetzungsprinzip R1)

oder

- **örtliches Ausbessern** mit Beton oder Mörtel (Instandsetzungsprinzip R2)
- Denkbar ist auch die seit einiger Zeit erforschte und in der Praxis bereits angebotene **elektrochemische Realkalisierung** (Bild 4.23). Durch dieses Verfahren soll die Umgebung der Bewehrung wieder alkalisiert und der ursprüngliche Zustand mit dem schützenden Passivfilm wieder hergestellt werden. Im

Rahmen dieser Dokumentation wird dieses Verfahren hier nicht weiter diskutiert. Weitere aktuelle Informationen sind in [4.16] enthalten. Unter Experten ist man sich über die Wirkungsweise und Tauglichkeit dieser Methode noch nicht einig. Wie Bild 4.24 zeigt, ist der Wissens- und Anwendungsstand der drei elektrochemischen Verfahren sehr unterschiedlich.

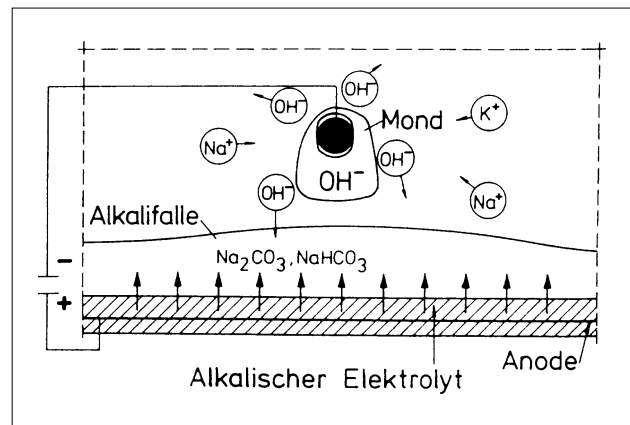


Bild 4.23 Elektrochemische Realkalisierung, aus [4.15]

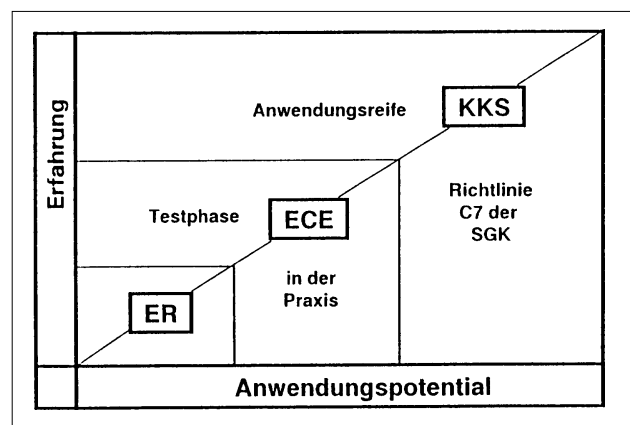


Bild 4.24 Wissens- und Anwendungsstand der elektrochemischen Verfahren, nach [4.17]
ER: Elektrochemische Realkalisierung
ECE: Elektrochemische Chloridextraktion (Abschnitt 4.4.3.3)
KKS: Kathodischer Korrosionsschutz (Abschnitt 4.4.3.4)

Nachfolgend wird näher auf die Realkalisierung mit neuem Beton oder Mörtel gemäss den nachstehend beschriebenen Instandsetzungsprinzipien R1 und R2 eingegangen.

Im übrigen sei darauf hingewiesen, dass bei den Instandsetzungsmassnahmen mit **Betonabtrag** abzuklären ist, ob dadurch die **Tragsicherheit** in unzulässigem Masse beeinträchtigt wird. Ist die vorhandene Bewehrung zu stark **korrosionsgeschädigt**, so ist sie zu **ersetzen**.

Es ist zudem zu entscheiden, ob für das Zusammenwirken von altem und neuem Beton eine Verdübelung erforderlich ist.

– **Grossflächiges Auftragen von Beton oder Mörtel – Instandsetzungsprinzip R1:** (R = Realkalisierung)

Bei diesem Verfahren ist die Schutzwirkung dadurch herzustellen, dass über die auszubessernden Bereiche und die gesamte Betonoberfläche eine Beschichtung aus zementgebundenem Beton oder Mörtel aufgebracht wird (siehe Bild 4.25). Die Beschichtung kann sowohl auf die ursprüngliche Betonoberfläche als auch auf grossflächig abgetragene Bereiche aufgebracht werden. Der Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel muss einen ausreichenden Karbonatisierungswiderstand haben, um sicherzustellen, dass eine dauerhafte Repassivierung der Bewehrung erreicht wird und dass ausserdem die Karbonatisierungstiefe im Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel am Ende der angestrebten Restlebensdauer kleiner bleibt als die Beschichtungsdicke.

Die günstige Wirkung von zusätzlichen Oberflächenschutzmassnahmen darf nicht in Rechnung gestellt werden. Wenn diese Bedingungen eingehalten werden, kann als sichergestellt gelten, dass karbonatisierte Bereiche des Altbetons durch Diffusionsvorgänge dauerhaft realkalisiert werden und dann für die Bewehrung wieder einen sicheren Korrosionsschutz bieten können.

Der Beton muss nur soweit abgetragen werden, wie er infolge Korrosion der Bewehrung gerissen bzw. gelockert ist. Der Sicherheitszuschlag s_2 soll ein hohlstellenfreies Einbringen des Instandsetzungsbetons bzw. -mörtels ermöglichen und ist auf die örtlichen Verhältnisse und die maschinelle Ausstattung abzustimmen.

Das Verfahren darf nur angewandt werden,

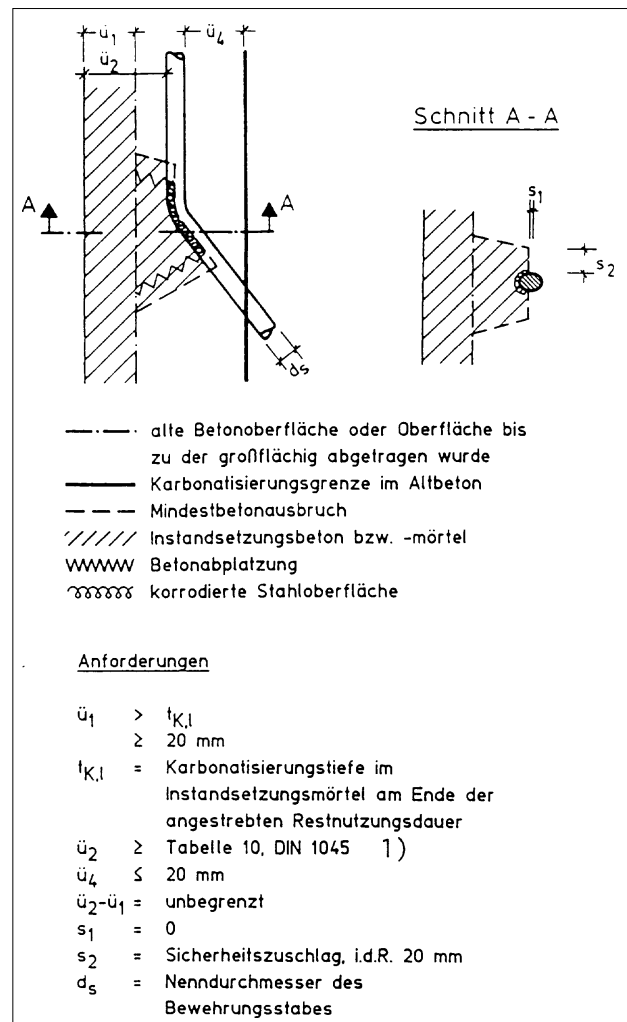


Bild 4.25 Instandsetzungsprinzip R1 – Schematische Darstellung der Grundsatzlösungen, aus [4.11]

1) gemäss SIA 162 (1989) oder nach Vorschriften des Bauherrn

wenn die mittlere Karbonatisierungstiefe um nicht mehr als 20 mm hinter die oberflächennächste Bewehrungslage vorgedrungen ist. In Bereichen, in denen die mittlere Karbonatisierungstiefe um mehr als 20 mm hinter die oberflächennächste Bewehrungslage vorgedrungen ist, ist der Beton bis zur Oberfläche der äusseren Bewehrungslage zu entfernen.

Die Bewehrung ist von Rostprodukten zu befreien.

Als Zement für Instandsetzungsbeton bzw. mörtel soll Portlandzement verwendet werden.

- **Örtliches Ausbessern mit alkalischem Beton oder Mörtel – Instandsetzungsprinzip R2:**

(R = Realkalisierung)

Bei diesem Verfahren wird eine Ausbesserung nur lokal vorgenommen (siehe Bild 4.26). Es kommt in erster Linie zur Anwendung, wenn in örtlich eng begrenzten Bereichen Korrosion aufgetreten ist, z.B. bei nur örtlich grossen Karbonatisierungstiefen bzw. kleinen Betondeckungen. Der Stahl neben der örtlichen Korrosionsstelle, der im karbonatisierten Bereich liegt, muss unabhängig von seinem Korrosionszustand freigelegt werden. Der Instandsetzungs- beton bzw. -mörtel muss eine ausreichende Alkalität aufweisen sowie ausreichend dicht und dick sein, um eine dauerhafte Repassivierung sicherzustellen.

In der Regel ist zur Verbesserung des Karbonatisierungswiderstandes die gesamte Betonoberfläche zu beschichten. Die begrenzte Dauerhaftigkeit dieser Massnahme ist im Instandhaltungsplan zu berücksichtigen. Auf diese Massnahme kann verzichtet werden, wenn die Anforderung $\ddot{u}_2 \geq \Delta t_{k,l}$ auch ausserhalb der örtlichen Instandsetzungsstelle ohne zusätzliche Oberflächenschutzmassnahme erreicht wird.

Das Verfahren R2 kann nur angewendet werden, wenn $\bar{u}_2$ grösser als 10 mm ist. Bei kleineren Betondeckungen ist die Grundsatzlösung C anzuwenden.

Die Sicherheitszuschläge s_1 und s_2 sollen ein hohlstellenfreies Einbringen des Instandsetzungsbetons ermöglichen, sie sind auf die örtlichen Verhältnisse und die maschinelle Ausstattung abzustimmen. Bei Betonstählen mit Durchmesser $d_s > 20$ mm ist s_1 auf mindestens 15 mm zu erhöhen.

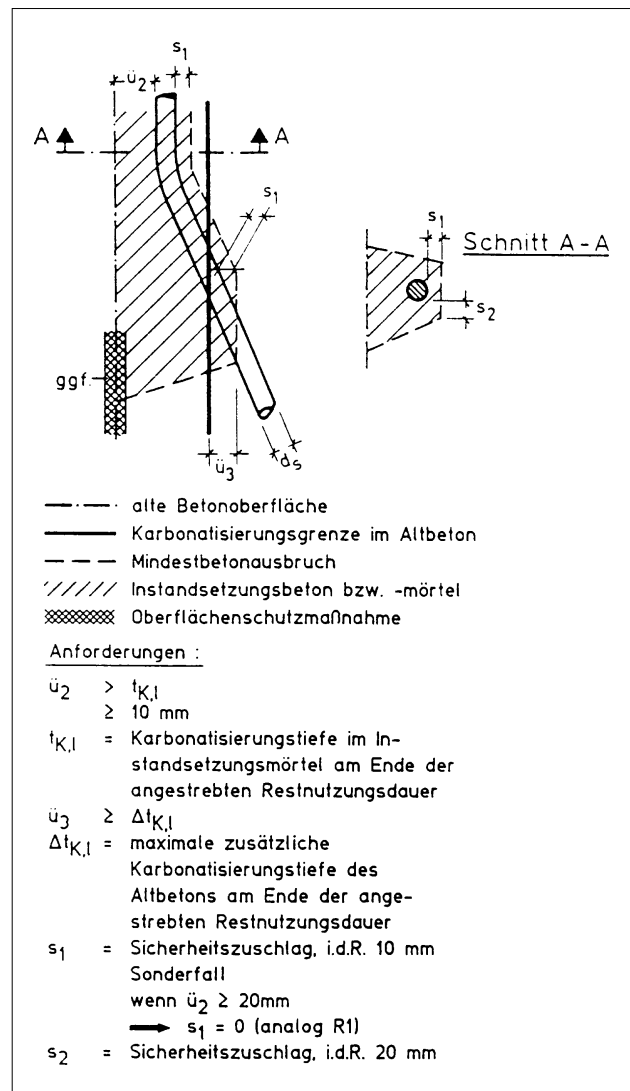


Bild 4.26 Instandsetzungsprinzip R2 – Schematische Darstellung der Grundsatzlösung, aus [4.11]

c) Beschichten der Bewehrung – Instandsetzungsprinzip C:

(C = Coating: Beschichtung)

Wenn der Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel bei dem Prinzip R keine dauerhafte Repassivierung gewährleisten kann, oder wenn bei der Grundsatzlösung R2 die Betondeckung nach der Instandsetzung kleiner als 10 mm ist, oder wenn das Prinzip W nicht gegeben oder anwendbar ist, muss die Bewehrung in all jenen Bereichen, die während der vorgesehenen Restnutzungsdauer depassiviert werden können, dauerhaft vor Korrosion nach den **Prinzipien des Stahlbaues** geschützt werden.

Das Verfahren kann ohne Kombination mit dem Verfahren W nur dann angewendet werden, wenn der Beton, wie im Bild 4.28 gezeigt, so weit abgetragen werden kann, dass im nicht instandgesetzten Bereich während der Restnutzungsdauer eine Depassivierung ausgeschlossen bleibt. Im Regelfall wird die gesamte Betonoberfläche zusätzlich mit einem Oberflächenschutzsystem zur Verbesserung des Karbonatisierungswiderstandes beschichtet. Darauf sollte nur verzichtet werden, wenn sichergestellt ist, dass der Korrosionsschaden nur auf eine örtliche Unterschreitung der Betondeckung zurückzuführen war. Die günstige Wirkung einer solchen Oberflächenschutzmassnahme darf berücksichtigt werden.

Es dürfen alle aufgeführten **Instandsetzungs-
betone bzw. -mörtel** verwendet werden. **Korrosionsschutzsysteme für den Bewehrungsstahl** müssen **Abschnitt 4.4.5** entsprechen.

Zur Einhaltung der Anforderung $\ddot{u}_3 \geq \Delta t_{k,l}$ kann eine Oberflächenschutzmassnahme des Betons nach Abschnitt 4.4.7 erforderlich sein. In diesen Fällen müssen zur regelmässigen Überprüfung und ggf. Erneuerung im Instandhaltungsplan Angaben gemacht werden.

Wird beim erforderlichen Betonabtrag gemäss Instandsetzungsprinzip C die Bewehrung freigelegt, so dass sie entfernt werden kann, dann ist sie durch **epoxidharzbeschichteten Betonstahl** zu ersetzen. Die Richtlinien des Bundesamtes für Strassenbau zur «Anwendung von epoxidharzbeschichteten Betonstählen» (1991) regeln verbindlich deren Anwendung bei Kunst-

bauten des National- und Hauptstrassennetzes [4.18].

Es kann auch Bewehrung aus **nichtrostenden** Betonstählen verwendet werden.

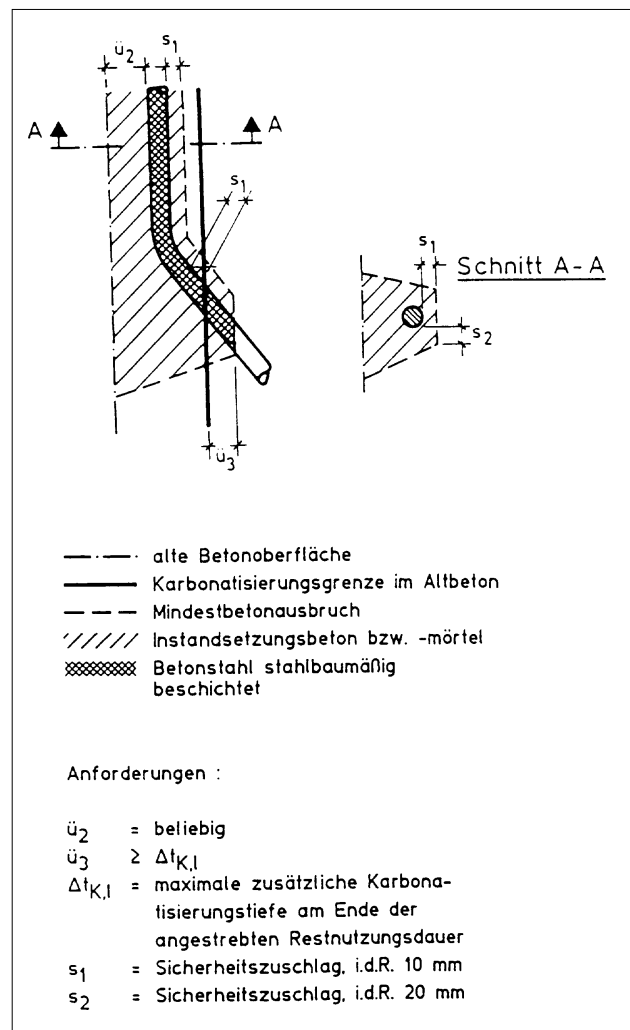


Bild 4.28 Instandsetzungsprinzip C – Schematische Darstellung der Grundsatzlösung, aus [4.11]

4.4.3.3 Instandsetzungsmassnahmen bei Korrosion infolge Chlorideinwirkung

Bei der Festlegung der Instandsetzungsmassnahmen ist von den in Abschnitt 4.3 diskutierten Schädigungsmechanismen durch Chlorideinwirkung auszugehen. Für den planenden Ingenieur ist es wichtig, durch die Bauwerksuntersuchung eine flächendeckende Aussage über das Ausmass der Chloridverseuchung auch im Tiefenprofil zu erhalten. Je nach Anwendungsfall erfolgt die Untersuchung **zerstörungsfrei** mittels der **Potentialmessung** [4.9, 4.19, 4.20] oder zerstörend mittels **Bohrkern- oder Bohrmehlentnahmen** bzw. **Sondieröffnungen** und anschliessender **Analyse im Labor** [4.21, 4.22].

Der **kritische Chloridgehalt** im Beton hängt von verschiedenen Faktoren ab (siehe Tabelle 4.2). Im weiteren ist es wichtig, die Resultate der Untersuchung je nach verwendeter Analysemethode korrekt zu interpretieren (siehe Bilder 4.29 und 4.30).

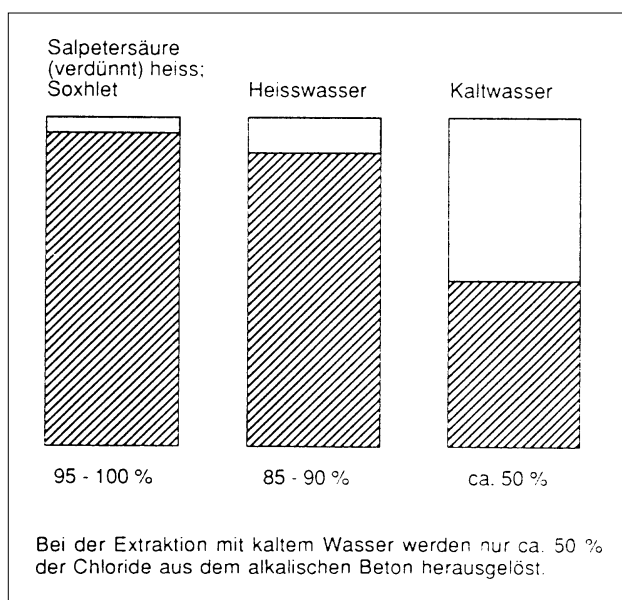


Bild 4.29 Bestimmung des Chloridgehaltes im Laborversuch: Verfahren und ihre Ausbeute an Chloriden, aus [4.22]
Die Kaltwasserextraktion ist gemäss [4.21] nicht empfohlen

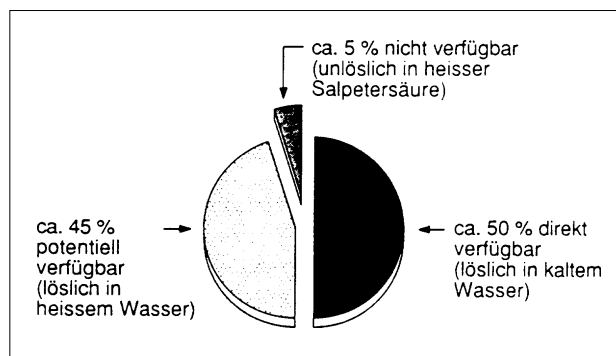


Bild 4.30 Aufteilung der Chloridmenge im Beton; bis zu 95% des Gesamtchloridgehaltes ist für die Korrosion direkt oder potentiell verfügbar, aus [4.22]

In der Fachliteratur und in Regelwerken werden unterschiedliche Chloridgrenzwerte angegeben. Auch wenn diese nur grobe Richtwerte darstellen, hat sich in der Praxis doch der Grenzwert von 0,4% Cl^- der Zementmasse eingebürgert. Wird in einem Bauteil im Bereich der Bewehrung dieser Grenzwert erreicht oder überschritten, so ist mit einem Korrosionsrisiko zu rechnen. Es muss aber erwähnt werden, dass über die Diffusionsvorgänge, welche die Chloride im Tiefenprofil hin und her transportieren können, noch wenig bekannt ist. Wenn erhöhte Chloridgehalte nicht ausgeschlossen werden können, sind sie im Bereich der Betondeckung der Bewehrung zunächst überschläglich zu prüfen. Werden hierbei Chloridgehalte über 0,2% der Zementmasse oder über 0,03% der Betonmasse festgestellt, so sind die Konzentrationsverteilungen über die Bauteildicke im Bereich der mit Chlorid beaufschlagten Bauteiloberflächen zu ermitteln. Wenn bei Stahlbetonbauteilen in der Betondeckungsschicht Chloridgehalte über 0,5% Cl^- bezogen auf die Zementmasse und bei Spannbetonbauteilen Werte über 0,2% Cl^- ermittelt werden, ist zur Beurteilung der erforderlichen Massnahmen ein sachkundiger Ingenieur einzuschalten. Dies gilt auch dann, wenn an der Betonoberfläche keine Anzeichen von Korrosion an der Bewehrung feststellbar sind. Bei unbekannter Betonzusammensetzung ist der Zementgehalt auf der sicheren Seite liegend abzuschätzen.

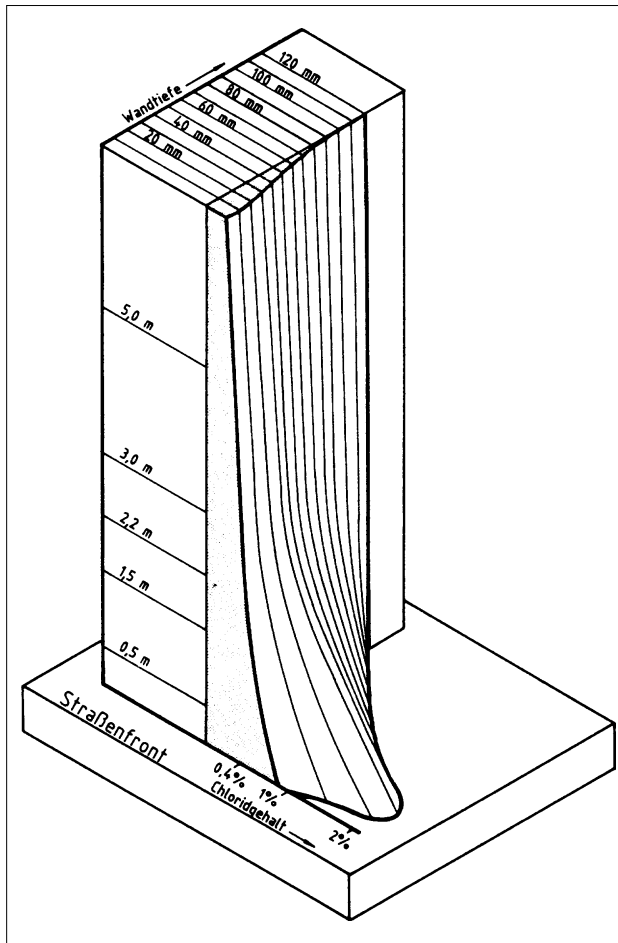


Bild 4.31 Chloridverteilung in einer Stützmauer im Bereich der Stadtautobahn Berlin, aus [4.7]

Folgende Instandsetzungsmassnahmen sind grundsätzlich möglich:

a) Wiederherstellung des alkalischen Milieus

In Analogie zu 4.4.3.2 a) ergeben sich folgende Lösungen:

Dickbeschichtung mit alkalischem Beton oder Mörtel – Instandsetzungsprinzip R1-Cl:

Eine Repassivierung depassivierter oder korrodierender Stahloberflächen mit Hilfe alkalischer Dickbeschichtungen ist nicht möglich, wenn die

Depassivierung auf die Einwirkung von Chloriden zurückzuführen ist. Eine direkte Übertragung der Grundsatzlösung R1 entsprechend Abschnitt 4.4.3.2. a) (Korrosion infolge Karbonatisierung des Betons) ist deshalb nicht zulässig. Der Beton muss entsprechend Bild 4.32 unabhängig von Korrosionserscheinungen an der Bewehrung überall dort bis zur Bewehrung, bzw. um einen Sicherheitszuschlag darüber hinaus, abgetragen werden, wo der für den jeweiligen Einzelfall massgebende korrosionsauslösende Chloridgehalt überschritten wird. Der Sicherheitszuschlag s_3 deckt Schwankungen der Chlorideindringtiefe ab und sollte bei stark unterschiedlichen Chlorideindringtiefen grösser als der in Bild 4.33 angegebene Regelwert sein.

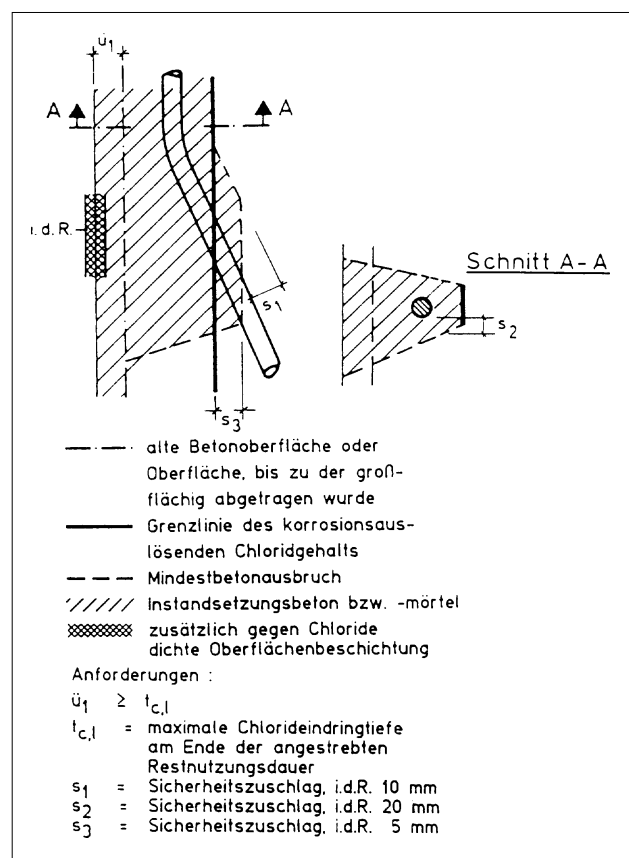


Bild 4.32 Instandsetzungsprinzip R1-Cl, Schematische Darstellung der Grundsatzlösung, aus [4.11]

Die Beschichtung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel (ggf. einschliesslich Oberflächenschutz-massnahme) muss sicherstellen, dass während der geplanten Restnutzungsdauer kein weiteres Chlorid in den Altbeton eindringt. Dazu muss in der Regel eine zusätzliche, gegen das Eindringen von Chloriden dichte filmbildende Beschichtung auf die Betonoberfläche aufgebracht werden. Die Zusammensetzung des Instandsetzungsbetons bzw. -mörtels muss sicherstellen, dass auch nach einer Umverteilung von Chloriden aus dem Altbeton der korrosionsauslösende Chloridgehalt im instandgesetzten Bereich nicht erreicht wird. Dies gilt als erfüllt, wenn der Nachweis nach Abschnitt 4.4.6 erbracht ist.

Örtliches Ausbessern mit alkalischem Beton oder Mörtel – Instandsetzungsprinzip R2 – Cl:

Grundsätzlich gelten die beim Instandsetzungsprinzip R2 genannten Anforderungen und Bedingungen. Die Karbonatisierungsgrenze in Bild 4.26 ist zu ersetzen durch die Grenze mit dem korrosionsauslösenden Chloridgehalt. Das Oberflächenschutzsystem muss ein weiteres Eindringen von Chloridionen verhindern.

b) Begrenzung des Wassergehaltes im Beton – Instandsetzungsprinzip W – Cl:

Chloride im Beton erhöhen die elektrolytische Leitfähigkeit des Betons. Die Wirksamkeit von Oberflächenschutzmassnahmen zur Absenkung und Vergleichmässigung des Wassergehaltes muss deshalb grösser sein als bei Korrosion durch Karbonatisierung. Da ausreichende und abgesicherte Erkenntnisse bislang nicht vorliegen, darf das Verfahren nur angewendet werden, wenn durch Probeinstandsetzungen an Referenzflächen bzw. -bauteilen vor Ausführung der Instandsetzungsmassnahme die Auswirkung der Massnahme auf den Korrosionsfortschritt der Bewehrung, z.B. durch Einbau geeigneter Korrosionsstrommessvorrichtungen, überprüft worden ist.

In der Regel gelten die beim Instandsetzungsprinzip W genannten Anforderungen und Bedingungen. Die Karbonatisierungsgrenze in Bild 4.27 ist zu ersetzen durch die Grenze mit dem korrosionsauslösenden Chloridgehalt.

Es dürfen alle in Abschnitt 4.4.6 aufgeführten Instandsetzungsbetone bzw. -mörtel verwendet werden. Das Oberflächenschutzsystem muss den Anforderungen in Abschnitt 4.4.7 entsprechen und ein weiteres Eindringen von Chloridionen verhindern.

c) Beschichten der Bewehrung – Instandsetzungsprinzip C – Cl:

Grundsätzlich gelten die beim Instandsetzungsprinzip C genannten Anforderungen und Massnahmen.

Die Karbonatisierungsgrenze in Bild 4.28 ist durch die Grenze des korrosionsauslösenden Chloridgehaltes zu ersetzen.

d) Chloridextraktion (auch Chloriddekontamination genannt)

Seit einigen Jahren arbeiten Forscher und Firmen daran, mittels der elektrochemischen Chloridextraktion die Chloridversalzung in einem Betonbauwerk auf zulässige Werte zu vermindern (siehe Bilder 4.33 und 4.34).

In verschiedenen Ländern liegen auch erste praktische Erfahrungen vor. In [4.16] ist der Stand der Technik dargestellt. Wie Bild 4.24 zeigt, befindet sich dieses Verfahren an der Schwelle zur Praxistauglichkeit, wobei allerdings noch Fragen offen sind.

Wenn solche Massnahmen ergriffen werden, muss im Einzelfall nachgewiesen werden, dass das Chlorid sicher extrahiert wird und dass Alkalität und Wassergehalt des Betons im Hinblick auf Korrosion langfristig nicht ungünstig verändert werden. Ausserdem muss überprüft werden, ob die Massnahmen nicht zu Sekundärschäden am Zementsteingefüge führen.

Wegen der Gefahr der Verschleppung von Chlorid in grössere Tiefen muss nach der Massnahme ein Chloridverteilungsprofil bei der Bewehrung und bis mindestens 5 cm dahinter ermittelt werden.

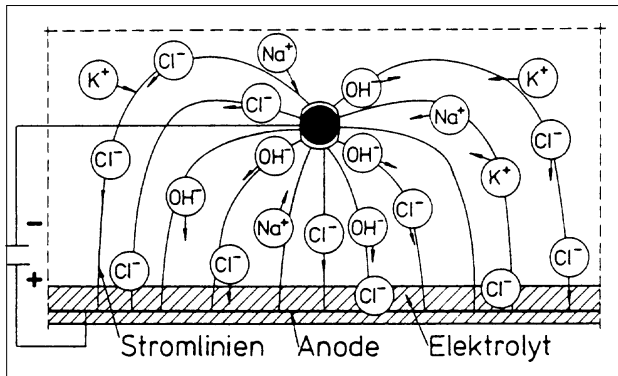


Bild 4.33 Elektrochemische Chloridextraktion, aus [4.16]

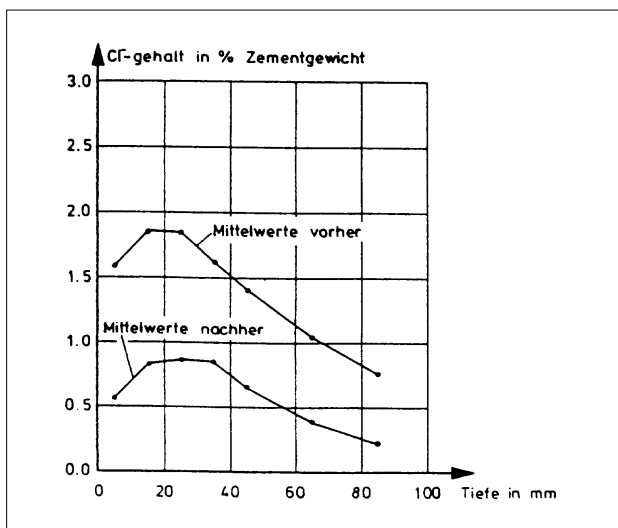


Bild 4.34 Beispiel für eine Chloridextraktion – Resultat der Entsalzung nach 3 Wochen, aus [4.16]

4.4.3.4 Kathodischer Korrosionsschutz – Instandsetzungsprinzip K

Das Prinzip des kathodischen Korrosionsschutzes ist schon lange bekannt und wurde auch schon seit vielen Jahren vor allem bei erdvergrabenen Rohrleitungen erfolgreich verwendet. Die Anwendung im Stahlbetonbau begann in den Siebzigerjahren in Nordamerika. Seit 1985 laufen in der Schweiz dazu Untersuchungen und Pilotprojekte [4.23, 4.24].

Beim kathodischen Korrosionsschutz wird durch kontrollierten Einsatz von Fremdstrom und/oder die Anordnung von Opfer- oder Inertanoden erreicht, dass die Bewehrung kathodisch wirkt, wodurch Korrosion nicht auftreten kann (Bild 4.35).

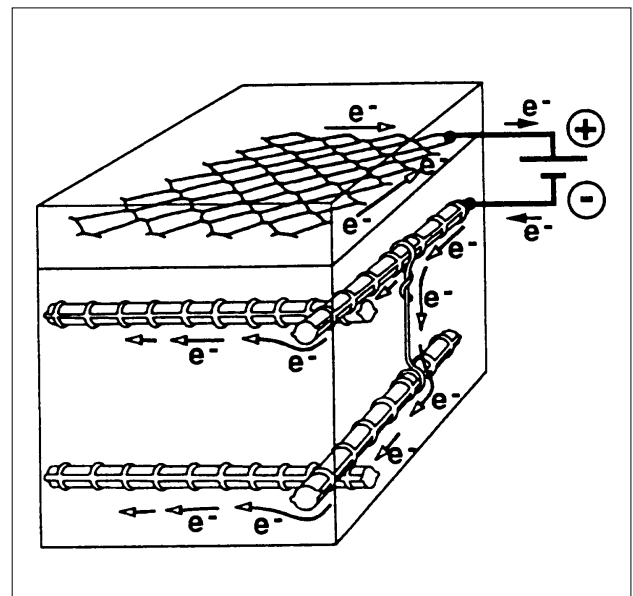


Bild 4.35 Prinzip des Kathodischen Korrosionsschutzes mit inerter Fremdstromanode und Gleichspannungsquelle, aus [4.23]

Die Erfahrungen mit dieser Schutzmassnahme, die auch bei hoch chloridverseuchten Bauwerken eingesetzt werden kann, sind bei fachgerechter Anwendung als positiv zu beurteilen. Die Korrosionskommission hat eine Richtlinie für die Projektierung, Ausführung und Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetontragwerken erarbeitet [4.25].

4.4.4 Betonuntergrund und Witterungsbedingungen

4.4.4.1 Allgemeines

Es wird oftmals vergessen, wie gross der Einfluss des **Betonuntergrundes** und der **Witterungsbedingungen** ist, wenn es darum geht neues Material auf einen bestehenden Bauteil aufzutragen. Der Beton muss an seiner **Oberfläche** und im **oberflächennahen Untergrund zu definierenden Eigenschaften** aufweisen. Die Dauerhaftigkeit kann vor allem durch eine unzureichende Haftfestigkeit entscheidend beeinträchtigt werden. Die Grenzfläche soll deshalb im nicht geschädigten Beton liegen und unter anderem keine Verunreinigungen aufweisen, welche den Verbund stören können.

In diesem Zusammenhang ist kurz auf eine interessante Forschungsarbeit an der ETH in Zürich hinzuweisen, welche u.a. das Problem der schubfesten Verbindung von Alt- und Neubauten untersucht. In praxisnahen Versuchen ist die Ausbildung der Kontaktfläche bzw. des Aufrauungsgrades, sowie die Wirkung verschiedener Arten der Verdübelung geprüft worden. Es hat sich gezeigt, dass die Wirkungsweise der Dübel durch den Grad der Aufrauung entscheidend beeinflusst wird. Ein Ziel der Arbeit besteht darin, für die Baustelle die Anforderungen an die Oberflächenrauigkeit zu definieren. Der Schlussbericht ist im Laufe dieses Jahres zu erwarten [4.13].

Auch in bezug auf die, während des Applizierens und während der Nachbehandlung der Schutzsysteme **tolerierbaren Witterungsbedingungen** sind je nach Instandsetzungsmassnahme Festlegungen zu treffen.

4.4.4.2 Anforderungen

Für die in den Abschnitten 4.4.6 und 4.4.7 behandelten Instandsetzungsbetone und -mörtel bzw. die Oberflächenschutzsysteme sind Anforderungen in bezug auf die folgenden Eigenschaften festzulegen:

– Oberflächenbeschaffenheit

Es kommt nicht nur auf die eigentliche Oberfläche an, sondern auch auf die Beschaffenheit der oberflächennahen Schicht (evtl. Risse beispielsweise durch Abtrag).

Für örtliche Ausbesserungen bzw. flächige Beschichtungen muss der Betonuntergrund

- frei sein von losen und mürben Teilen (z.B. auch von minderfesten Risskanten) und von sich leicht ablösenden arteigenen Schichten (z.B. Zementhaut) und darf nicht abmehlen oder absanden,
- frei sein von etwa parallel zur Oberfläche oder schalenförmig im oberflächennahen Bereich verlaufenden Rissen oder Ablösungen,
- frei sein von Graten; in zu begründenden Fällen können sie belassen werden,
- eine dem zu verwendenden Stoff angepasste Rauheit aufweisen,
- frei sein von artfremden Stoffen (wie Gummiabrieb, Trennmittel, ungeeigneten Altbeschichtungen, Ausblühungen, Öl, Bewuchs u.ä.).

Kiesnester und andere Hohlstellen sind sachgerecht auszubessern.

Hinsichtlich senkrecht zur Oberfläche verlaufender Risse siehe Abschnitt 4.4.8. Hinsichtlich der Oberflächenfeuchtigkeit siehe Abschnitt nächste Seite. Für Imprägnierungen gelten die Ausführungsanweisungen der Produkthersteller.

– Mechanische Eigenschaften

Hier geht es in erster Linie um die Betonzugfestigkeit im Oberflächenbereich. In bezug auf geforderte Werte und Art der Prüfungen sei auf die Fachliteratur verwiesen, z.B. [4.26, 4.7], sowie als Beispiel auf die Tabelle 4.4.

– Chemische Eigenschaften

Die Kriterien bezüglich chemischer Eigenschaften des Betonuntergrundes betreffen in erster Linie die Frage der Karbonatisierungsfront und des Verlaufes des kritischen Chloridgehaltes. Hinweise hiezu sind in Abschnitt 4.4.3 enthalten.

– Betonfeuchtigkeit

Unmittelbar vor dem örtlichen Ausbessern, dem Imprägnieren bzw. dem flächigen Beschichten müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

- Die meisten kunstharzgebundenen Betone bzw. Mörtel, Imprägnierungsmittel und filmbildenden Beschichtungsstoffe erfordern einen trockenen bis höchstens feuchten Betonuntergrund.
- Für das Aufbringen einer zementgebundenen Beschichtung oder Haftbrücke und für die

örtliche Ausbesserung mit zementgebundenem Beton/Mörtel ohne oder mit Kunststoffzusatz sowie für wasserdispergierbare filmbildende Kunststoffbeschichtungen muss der Betonuntergrund feucht sein.

- Beim Oberflächenschutzsystem OS 8 mit entsprechender Zusatzforderung darf der Betonuntergrund nass sein. (Die Oberflächenschutzsysteme sind in Tabelle 4.9 klassifiziert.)

Im Sinne der Richtlinie [4.11] bedeutet

- «trocken»: Eine rund 2 cm tiefe frisch hergestellte Bruchfläche darf (infolge Austrocknens) nicht augenscheinlich heller werden. In Zweifelsfällen gilt Beton als trocken, wenn er die Ausgleichsfeuchte für Klima 23/50 aufweist.
- «feucht»: Die Oberfläche hat ein mattfeuchtes Aussehen, darf aber keinen glänzenden Wasserfilm aufweisen; das Porensystem des Betonuntergrundes darf nicht wassergesättigt sein, d.h. aufgetragene Wassertropfen müssen eingesogen werden und nach kurzer Zeit muss die Oberfläche wieder matt erscheinen.
- «nass»: Das Porensystem des Betonuntergrundes darf wassergesättigt sein; die Betonoberfläche darf glänzend wirken, jedoch keinen tropfbaren Wasserfilm aufweisen.

Sofern stoffspezifisch (z.B. vom Hersteller) genauere Werte gefordert werden, sind die vorhandenen zu ermitteln und ggf. die geforderten herzustellen.

– Temperaturen

Die Tabelle 4.6 enthält Richtwerte für die Temperaturen des Betonuntergrundes und der angrenzenden Luftschicht die angewendet werden können, wenn keine anderen Angaben vorliegen. Dabei ist die Temperaturentwicklung wäh-

rend der Ausführung und auch während eines festzulegenden Zeitraumes danach zu beachten (z.B. Abkühlung in der Nacht, örtliche Besonderheiten).

Für kunststoffgebundene Materialien muss die Oberflächentemperatur des Betons und bei unterlagigen Beschichtungen diejenigen des jeweiligen Untergrundes immer mindestens 3 K über dem Taupunkt liegen.

– Andere Witterungsbedingungen

Sofern für die eingesetzten Materialien keine spezifischen Angaben des Herstellers vorliegen, können die Bestimmungen in Tabelle 4.7 zugrundegelegt werden.

– Bauwerkerschütterungen

Insbesondere im Brückenbau müssen die Instandsetzungsmassnahmen oft unter Verkehr durchgeführt werden, was zu Bauwerkerschütterungen führen kann. Dies gilt auch für Erschütterungen, die sich aus dem Baubetrieb ergeben können. Es ist zu prüfen, ob die verwendeten Materialien die zu erwartenden Erschütterungen schadlos ertragen können, oder ob diese ggf. auf ein zulässiges Mass reduziert werden müssen. In der Fachliteratur finden sich nützliche Hinweise [4.7, 4.27]. Die kritische Phase für den frischen Beton liegt im Zeitraum zwischen 3 und 14 Stunden nach dem Einbringen des Betons. Erschütterungen mit Schwinggeschwindigkeiten bis 20 mm/sec haben keine nachteiligen Folgen, solange die Wegamplitude unter 0.7 mm bleibt. Sobald eine Druckfestigkeit von 5–6 N/mm² erreicht ist, verursachen auch grössere Erschütterungen keine Beeinträchtigung. Der Bereich Schwinggeschwindigkeit mit Amplitude, bei welchem Schäden am abbindenden Beton entstehen können, ist selten erreicht.

	Schutz- bzw. Instandsetzungs- massnahme: Örtliche Ausbesserung bzw. flächige Beschichtung mit	Oberflächenzugfestigkeit ¹⁾		Sonstiges
		Mittelwert	kleinster Einzelwert N/mm ²	
	1	2	3	4
1	Zementbeton/-mörtel, auch kunststoffmodifiziert	≥ 1,5	≥ 1,0	Druckfestigkeit und E-Modul ermitteln ^{2), 3)}
2	Reaktionsharzbeton/-mörtel für nicht befahrbare Flächen	≥ 1,5	≥ 1,0	–
3	OS 2, OS 4 ⁴⁾	–	≥ 0,5	–
4	OS 3 ⁴⁾	–	≥ 1,0 ⁵⁾	–
5	OS 5 ⁴⁾	≥ 1,0	≥ 0,8	–
6	OS 6, OS 7, OS 9, OS 10, OS 11 ⁴⁾	≥ 1,5	≥ 1,0	–
7	OS 8, OS 12 ⁴⁾	≥ 2,0	≥ 1,5	–
¹⁾ die Oberflächenfestigkeit bezieht sich auf das Verfahren mit Vorbohren (vgl. DIN 1048, Teil 2) ²⁾ bei Anwendung im konstruktiven, statisch wirksamen Bereich ³⁾ über Anforderungen im Einzelfall entscheidet der sachkundige Planungsingenieur ⁴⁾ OS siehe Abschnitt 4.4.7 ⁵⁾ je nach Belastung				

Tab. 4.4 Mechanische Eigenschaften, aus [4.11]

Tab. 4.5 Behandlungsverfahren zum Erreichen der Anforderungen, aus [4.11] Forts.

Tab. 4.5 Behandlungsverfahren zum Erreichen der Anforderungen, aus [4.11] Forts.

	aufzubringender Stoff	Kleinstwert Grösstwert °C	
	1	2	3
1	zementgebundene Stoffe, auch mit Kunststoffzusatz	5	30
2	Reaktionsharze und Reaktionsharzmörtel/-betone (OS 3 und 6 bis 12) sowie Rissfüllstoffe	8	40
3	einkomponentige, lösemittelhaltige Oberflächenschutzsysteme: OS 1 und 2 ¹⁾ OS 4 ¹⁾	5 8	30 30
4	wasserdispersierbare Oberflächenschutzsysteme (OS 5) ¹⁾	10	40
¹⁾ OS s. Abschnitt 4.4.7			

Tab. 4.6 Grenztemperaturen des Betonuntergrundes und der unmittelbar überlagernden Luftschicht (Richtwerte), aus [4.11]

	Wetterelement	zementgebundene Stoffe, auch mit Kunststoffzusatz	kunststoffgebundene Stoffe
	1	2	3
1	relative Luftfeuchte	keine Forderung	so, dass die Betontemperatur $\geq 3K$ über dem Taupunkt liegt
2	Niederschlag	kein Regen	kein Regen oder Nebelnässen
3	Wind/Sonne	Austrocknung durch Wind (Forderung ≤ 3 Beaufort, entsprechend $\leq$ ca. 5 m/s) und/oder Sonneneinstrahlung muss vermieden werden	Staub muss ferngehalten werden

Tab. 4.7 Witterungsbedingungen ausser Temperatur, aus [4.11]

4.4.5 Vorbehandlung der Bewehrung

4.4.5.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf Betonstähle gemäss den Normen SIA 162 und 162/1 und gelten sinngemäss auch für stählerne Einbauteile. Sind bei einem zu sanierenden Bauteil verzinkte oder kunststoffbeschichtete Betonstähle oder auch Spannstähle vorhanden, so ist es ratsam, einen Fachmann zur Beurteilung zuzuziehen. Hinweise zur Vorbehandlung der Bewehrung sind unter anderem in [5.6] und [4.11] enthalten.

4.4.5.2 Entrosten der Stahloberflächen

Es wird manchmal die Auffassung vertreten, dass korrodierte Stahloberflächen nicht entroestet werden müssen, wenn es sich um einen schwachen Korrosionsgrad handelt. Dieser Auffassung kann nicht zugestimmt werden. Eine Ausnahme bildet die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes (Instandsetzungsprinzip K gemäss Abschnitt 4.4.3.4). Bei diesem Schutzverfahren kann auf eine Entfernung von ggf. vorhandenen Rostschichten verzichtet werden.

Die freigelegten Betonstähle sind mit mechanischen Verfahren zu entroesten. Das Verwenden von sogenannten Rostumwandlern und Roststabilisatoren auf eine rostige Oberfläche anstelle der in Abschnitt 4.4.3 genannten Instandsetzungsprinzipien ist zu unterlassen.

Die Anforderungen an die Entrostung hängen davon ab, welches Instandsetzungsprinzip zur Anwendung gelangt. In [4.11] wird folgendes festgelegt:

- Instandsetzungsprinzipien R und W:
Nicht zu beschichtende Stahloberflächen sind so zu behandeln, dass im gesamten freigelegten Bereich mindestens ein Normreinheitsgrad St 2 oder Sa 2 erreicht wird. Als Verfahren sind vor allem Handentrostung, Strahlentrostung mit trockenem oder feuchtem Strahlmittel und Hochdruckwasserstrahlen (≥ 600 bar) geeignet. Die Entrostung mit Hochdruckwasserstrahl ist dem Reinheitsgrad St 2 gleichwertig, auch wenn das optische Bild nicht den fotografischen Vergleichsmustern in DIN 55 928 Teil 4 entspricht. Bei chloridinduzierter Korrosion ist mit Hochdruckwasserstrahl vorzubehandeln.

- Instandsetzungsprinzip C:

Zu beschichtende Stahloberflächen müssen nach der Behandlung mindestens den Normreinheitsgrad Sa 2 1/2 aufweisen. Dazu ist Strahlentrostung mit trockenem oder feuchtem Strahlmittel erforderlich. Bei Feuchtstrahlen gelten die Anforderungen unmittelbar nach dem Absetzen der Strahldüse. Die Reinheitsanforderungen müssen in allen zu beschichtenden Stahlbereichen, auch auf den der Strahlrichtung abgewandten Oberflächenbereichen und im Kreuzungsbereich von Bewehrungsstäben, eingehalten sein. Um dies zu ermöglichen, sind die in den Abschnitten 4.4.2 und 4.4.3, genannten Regelanforderungen an den Betonausbruch ggf. verfahrensspezifisch zu verändern. Bei chloridinduzierter Korrosion ist mit Hochdruckwasserstrahl vorzubehandeln.

4.4.5.3 Beschichten der Stahloberflächen

Das Beschichten des Betonstahles ist dann erforderlich, wenn durch andere Massnahmen kein dauerhafter Korrosionsschutz erzielt wird. Wie die nachfolgenden und nebenstehenden Bemerkungen zeigen, handelt es sich hier um eine **baupraktisch problematische Massnahme**, die **nur im Sonderfall** gewählt werden sollte.

Wie bereits in Abschnitt 4.4.3.2 erwähnt, können beim integralen Ersatz der geschädigten Betonstähle, werksmässig epoxidharzbeschichtete Bewehrung gemäss [4.18] verwendet werden.

Bei der am Bauwerk zu beschichtenden Bewehrung können die Prinzipien des Oberflächenschutzes im Stahlbau gemäss [5.6] befolgt werden, wobei allerdings die spezifischen Belange des Stahlbetons zu beachten sind (siehe dazu auch die nachstehenden Hinweise). Dazu gehört in erster Linie die mögliche **Änderung des Verbundverhaltens** bei beschichteten Stählen. Je nach Fall kann es erforderlich sein, das Haftvermögen mittels Prüfung Nr. 35 in der Norm SIA 162/1 (1989) zu bestimmen.

Als Beschichtungsmaterial kommen reaktionshärtende Systeme und kunststoffmodifizierte Zementschlämme in Frage.

Die Verarbeitung muss nach den Ausführungsanweisungen des Herstellers erfolgen. Dort angegebene Grenzwerte für Temperatur und Feuchte dürfen nicht unter- bzw. überschritten werden. Im übrigen gelten die Angaben in Abschnitt 4.4.4.

Die systembedingte Mindestschichtdicke muss bei einschichtigem Auftrag bei reaktionshärten- den Systemen mindestens 300 µm dick sein.

Die Schichtdicke bei kunststoffmodifizierten Ze- mentschlämmen muss mindestens 1'000 µm be- tragen. Die Beschichtung ist in wenigstens 2 Ar- beitsschritten aufzutragen. Ein Besanden ist nicht erforderlich. Darüber hinausgehende Anforderun- gen sind den Ausführungsanweisungen des Her- stellers zu entnehmen.

Der Übergangszone zwischen dem zu be- schichtenden und dem im Untergrundbeton be- findlichen Stahl muss besondere Aufmerksamkeit gelten. Alle losen Teile sind besonders sorgfältig zu entfernen. Die Beschichtung soll einige Millime- ter auf den angrenzenden Beton übergreifen. Eine weitergehende Betonbeschichtung ist zu vermei- den.

Eine ausreichende Haftung des Instandsetzungs- betons auf der Beschichtung muss sichergestellt sein. Die Beschichtungsstoffe müssen gegen die Alkalität des Zementsteines beständig sein. Sie müssen in Verbindung mit dem Applikationsver- fahren einen dauerhaften Korrosionsschutz sicher- stellen.

4.4.6 Instandsetzungsbetone und -mörtel

Für Instandsetzungen werden folgende Betone und Mörtel eingesetzt:

– **Beton gemäss Normen SIA 162 und 162/1 (1989)**

Es sind die Anforderungen der genannten Nor- men zu beachten. Diese sind aber nicht ausrei- chend und es sei auf die in Abschnitt 4.2 aufge- führten Erfordernisse beispielsweise in bezug auf den W/Z-Faktor hingewiesen.

– **Spritzbeton**

In unserem Land ist bis heute die Anwendung von Spritzbeton in den Normen nicht umfas- send geregelt. In [4.28] sind Bestimmungen ent- halten, welche für den Untertagbau gelten. Es handelt sich dabei allerdings um einen Ver- nehmlassungsentwurf.

Im Ausland sind in verschiedenen Ländern Nor- men und Richtlinien vorhanden. So beispiels- weise in Deutschland DIN 18 551 [4.29]. Hinwei- se zu weiteren Normen und umfassend zum

Thema Spritzbeton sind in [4.30] gegeben.

Im weiteren sei auch auf die Resultate von Un- tersuchungen am Institut für Bauplanung und Baubetrieb der ETH Zürich verwiesen [4.27, 4.31, 4.32, 4.33].

– **Zementmörtel**

Für Zementmörtel können die Bestimmungen für Beton sinngemäss angewendet werden.

– **Kunststoffmodifizierter Zementbeton und -mörtel**

Hiezu ist in der Schweiz keine Regelung der Pro- dukteanforderungen vorhanden. In [4.26] heisst es, dass alle wesentlichen Angaben zur erfolg- reichen Durchführung in den Merkblättern der Produktehersteller enthalten sein müssen.

– **Reaktionsharzbeton und -mörtel**

Hiezu gelten die obenstehenden Bemerkungen gleichermassen.

Reaktionsharzbeton und -mörtel werden für Schutz- und Instandsetzungsmassnahmen nur dann eingesetzt, wenn

- sehr hohe chemische Widerstandsfähigkeit, verbunden mit mechanischer Abriebfestig- keit gefordert ist
- eine sehr schnelle Aushärtung erforderlich ist
- die für zementgebundenen Beton bzw. Mörtel (mit oder ohne Kunststoffzusatz) erforderli- chen Nachbehandlungsmassnahmen nicht durchführbar sind
- die für zementgebundenen Beton bzw. Mörtel (mit oder ohne Kunststoffzusatz) in Tabelle 4.8 genannten Richtwerte für Schichtdicken bei grossflächigem Auftrag ($\geq 1\text{m}^2$) unterschrit- ten werden sollen.

Weitere Angaben zur Verwendung von Reak- tionsharzbeton und -mörtel finden sich in den Merkblättern der Produktehersteller und in [4.11].

– **Bemerkung**

Es ist zu prüfen, ob nicht der Zeitpunkt gekom- men ist, auch bei uns die im neuen Normenwerk des SIA eingeführten **Qualitätssicherungs- schritte** der **erstmaligen Prüfung**, der **Eigen- überwachung beim Hersteller** und der **Fremdüberwachung durch eine Prüfstelle** systematisch einzuführen. Dazu sind jedoch die

Spielregeln und Anforderungen klar festzulegen. Bis zur Einführung einer entsprechenden CEN-Norm (siehe Abschnitt 4.4.1) kann die Richtlinie des DAfStb [4.11] zugrundegelegt werden. Diese Bemerkung gilt gleichermassen für die Produkte, die in den Abschnitten 4.4.7 und 4.4.8 behandelt werden.

Beton- bzw. Mörtelart	Grösst- korn- durch- messer mm	Schichtdicke	
		unterer Richtwert	oberer Richtwert
1	2	3	4
Beton	>4	30	–
Zementmörtel	≤4	20	40
kunststoff- modifizierter	Beton	>4	30
	Mörtel	≤4	10 ¹⁾
reaktions- harzgebundener	Beton	>4	15
	Mörtel	≤4	5

Tab. 4.8 Richtwerte für Schichtdicken bei grossflächigem Auftrag, nach [4.11]

¹⁾ Zum Wiederherstellen der alkalischen Umgebung für den Korrosionsschutz durch kunststoffmodifizierten Beton bzw. Mörtel beträgt die Mindestdicke im Falle des Instandsetzungsprinzips «R 1» (siehe Abschnitt 4.4.3.2): $\bar{u}_1 = 20 \text{ mm}$

4.4.7 Oberflächenschutzsysteme

Heute sind eine fast unüberblickbare Zahl von Produkten und Systemen auf dem Markt. Es gelten hier die gleichen Bemerkungen, wie sie in Abschnitt 4.4.6 zu den kunststoffmodifizierten Betonen und den Reaktionsharzbetonen gemacht wurden. Auch hier ist man in Projektierung und Ausführung auf die Angaben der Produktehersteller angewiesen. Die Vergleichsmöglichkeit unter den Produkten sowie systematisch festgelegte physikalische und chemische Zielgrössen fehlen weitestgehend.

Bis zur Einführung einer europäischen Norm erscheint es als sinnvoll, sich auf [4.11] abzustützen, zumal einige namhafte Hersteller die darin verlangten Grundprüfungen bereits erfolgreich bestanden haben.

In Tabelle 4.9 sind die Oberflächenschutzsysteme in 12 Klassen von Anwendungsbereichen eingeteilt. Dazu sind die systemspezifischen Mindestdicken und die in der Regel verwendeten Bindemittelgruppen angegeben.

Die Richtlinie enthält zudem zu jeder der 12 Klassen Hinweise und detaillierte Anforderungen zu folgendem:

- Aufbau der Systeme
- Kennwerte der Stoffe und Systeme
- Rissüberbrückende Eigenschaften
- Betonuntergrund
- Ausführung

Für weitere Informationen wird auf [4.11] verwiesen. Damit hat der projektierende Ingenieur die Möglichkeit, ein dem vorliegenden Anwendungsfall entsprechendes Oberflächenschutzsystem zu wählen und auszuschreiben. Die Anbieter müssen dann den Nachweis der Grundprüfung erbringen. Im weiteren kann in bezug auf die Qualitätssicherung in der Ausführung [4.34] zugrundegelegt werden.

Gemäss dem aktuellen Stand der Arbeiten wird bei CEN ein ähnlicher Weg beschritten, wobei zur Vereinfachung angestrebt wird, die Anzahl der Klassen zu reduzieren.

Kurzbeschreibung	Richtwerte für systemspezifische Mindestschicht- dicke	Hauptbindemittel- gruppen
1	2	3
OS 1 Hydrophobierende Imprägnierung	–	Silan, Siloxan, Silikonharz
OS 2 Versiegelung für nicht befahrbare Flächen	50 µm	AY
OS 3 Versiegelung für befahrbare Flächen	50 µm	EP, AY, PUR
OS 4 Beschichtung für nicht befahrbare Flächen	80 µm	AY, PUR-AY
OS 5 Beschichtung für nicht befahrbare Flächen mit mindestens sehr geringer Rissüberbrückung	a) 300 µm b) 2000 µm	AY-Dispersion Propionat-Copolymere Dispersion Dispersion-Zement- Schlämmen
OS 6 Chemisch widerstandsfähige Beschichtung für mechanisch gering beanspruchte Flächen	500 µm	EP, PUR
OS 7 Beschichtung unter bituminösen Dichtungsschichten bei Brücken und ähnlichen Bauwerken	1 mm	EP
OS 8 Chemisch widerstandsfähige Beschichtung für befahr- bare, mechanisch stark belastete Flächen	1 mm	EP
OS 9 Beschichtung für nicht befahrbare Flächen mit mindestens erhöhter Rissüberbrückung	1 mm	PUR
OS 10 Beschichtung als Dichtungsschicht unter bituminösen oder anderen Schutz- und Deckschichten mit sehr hoher Rissüberbrückung	2 mm	PUR
OS 11 Beschichtung für befahrbare Flächen mit mindestens erhöhter Rissüberbrückung	3–5 mm	EP-PUR
OS 12 Beschichtung mit Reaktionsharzbeton bzw. -mörtel für befahrbare, mechanisch stark belastete Flächen	5 mm	EP

Tab. 4.9 Oberflächenschutzsysteme, aus [4.11]

OS: Oberflächenschutzsysteme, AY: Acrylate, EP: Epoxide, PUR: Polyurethane

4.4.8 Füllen von Rissen

Das Füllen von Rissen gehört auch zu den Schutzmassnahmen im Betonbau. Zur Rissproblematik ist in den letzten Jahren viel veröffentlicht worden. Auf eine Wiedergabe im vorliegenden Rahmen wird verzichtet. Es sei dazu unter anderem auf [3.2, 3.3, 4.2, 4.5] verwiesen.

Bevor Risse injiziert werden, ist deren Ursache(n) zu bestimmen und der Einfluss auf Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit zu beurteilen.

Die Rissinjektion ist dann vorzunehmen, wenn eines oder mehrere der folgenden Ziele erreicht werden müssen:

- **Schliessen:**
Hemmen oder Verhindern des Eindringens von korrosionsfördernden Substanzen durch Risse in dem Bauteil
- **Abdichten:**
Beseitigen von rissebedingten Undichtigkeiten des Bauteils
- **Dehnfähiges Verbinden:**
Herstellen einer begrenzt dehnbaren Verbindung beider Rissufer
- **Kraftschlüssiges Verbinden:**
Herstellen einer schub- oder druckfesten Verbindung beider Rissufer zur Wiederherstellung der Tragfähigkeit.

Zur Planung und Ausführung von Rissverfüllungen sei auf die Fachliteratur verwiesen, unter anderem [4.7, 4.26, 4.35, 4.36]. Weitergehende Angaben auch mit Materialzielgrössen finden sich in [4.11] und [4.34].

4.5 Abdichtungssysteme

4.5.1 Allgemeines

Seit Beginn des Bauens wird versucht, Bauwerke dauerhaft abzudichten. Währenddem in früheren Jahrhunderten im wesentlichen nur die natürlichen Dichtstoffe wie Naturasphalt, Teer und Pech zur Verfügung standen, kennen wir heute eine Vielzahl von Produkten und Verfahren.

Im Sinne der in Abschnitt 4.2 festgelegten Gliederung der Schutzsysteme sind Abdichtungssysteme auf die **Betonoberfläche aufgebrachte Materialien**, welche das Eindringen und Durchdringen von Medien – primär von Wasser – verhindern können (Bild 4.36). Dazu gehören entsprechende Lösungen für Fugen, **Randanschlüsse und Durchdringungen**.

Währenddem im Kapitel 3 planerische Hinweise gegeben sind, ob bei einem bestimmten Bauwerkstyp eine monolithische Betonkonstruktion genügt, oder ob ein zusätzliches Schutzdispositiv notwendig ist, sollen hier die Abdichtungssysteme und die Möglichkeiten zu deren Erhaltung behandelt werden.

Bei der heute vorhandenen Bausubstanz im Tief- und Ingenieurbau sind über die Jahrzehnte eine Vielzahl von Materialien und Systeme angewendet worden. Das Wissen darüber ist teilweise bereits verloren gegangen. Eine seriöse, kontinuierliche Aufarbeitung der Erfahrungen in diesem breiten Fachgebiet durch geeignete Instanzen würde sicher mithelfen, Kosten zu sparen und Schäden zu vermeiden.

Obwohl die nachfolgenden Abschnitte sich auf die Abdichtungssysteme im Betonbau beziehen, können sie auch für andere Bauweisen gelten, bei denen solche zur Anwendung gelangen (z.B. die Abdichtung von vorgespannten Holzfahrbahnplatten im Brückenbau).

Weitere Analogien ergeben sich teilweise zur Abdichtung von Flachdächern im Hochbau. Diese betreffen allerdings nur die Funktion des Dichtens, währenddem weitere bauphysikalische Funktionen wie die Wärmedämmung bei Tief- und Ingenieurbauten in der Regel keine Bedeutung haben. In dem Sinne wird für die Anwendung bei Flachdächern im allgemeinen auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen [4.37] bis [4.40].

4.5.2 Arten von Abdichtungssystemen sowie Normen und Richtlinien

Eine allgemein gültige **Gliederung** scheint nicht vorhanden zu sein. Immerhin ist durch das Normenwerk des SIA und der VSS in bezug auf die verwendeten Materialien eine gewisse Ordnung gegeben. So enthält die Empfehlung SIA 272, Ausgabe 1980, Grundsätze und Hinweise für die Planung, Bemessung, Konstruktion und Ausführung von Grundwasserabdichtungen mit bahnenförmigen Materialien sowie Abdichtungen mit wasserundurchlässigem Zementmörtel [4.41]. Dies bedeutet eine Grobgliederung in **flexible** und **starre** Abdichtungen wie dies Bild 4.36 zeigt.

Unter den bahnenförmigen Materialien wird in der Empfehlung folgendes verstanden:

- Bitumen-Dichtungsbahnen (BDB)
- Kunststoffmodifizierte Dichtungsbahnen, heute Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen genannt (PBD)
- Kunststoffdichtungsbahnen (KDB)

Die Norm SIA 281, Ausgabe 1983, legt für Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen eine Gruppeneinteilung fest (siehe Tabelle 4.10).

Tabelle 4.11 zeigt eine Gliederung der verschiedenen Abdichtungssysteme.

Weitere Hinweise, insbesondere zu den Anforderungswerten und zur Materialprüfung sind in [4.42] bis [4.45] enthalten.

Für die **Abdichtung von Fahrbahnplatten im Brückenbau** liegen neben der Norm SN 640 490, Brückenabdichtungen und Brückenbeläge der VSS die Richtlinie für konstruktive Einzelheiten von Brücken des Bundesamtes für Strassenbau [4.46], und die Weisung für die Ausbildung beschotterter Brücken der SBB vor [4.47].

In [4.46] ist noch besonders darauf hingewiesen, dass sich die gemachten Angaben vor allem auf die Sanierung schadhafter Brückenabdichtungen und -beläge ausgerichtet sind. In Tabelle 4.12 ist eine Übersicht und Beurteilung der Systeme gegeben.

Im übrigen enthalten [4.46] und [4.47] auch wichtige Hinweise zu den Bereichen Entwässerung, Fugen, Randabschlüssen und Durchdringungen.

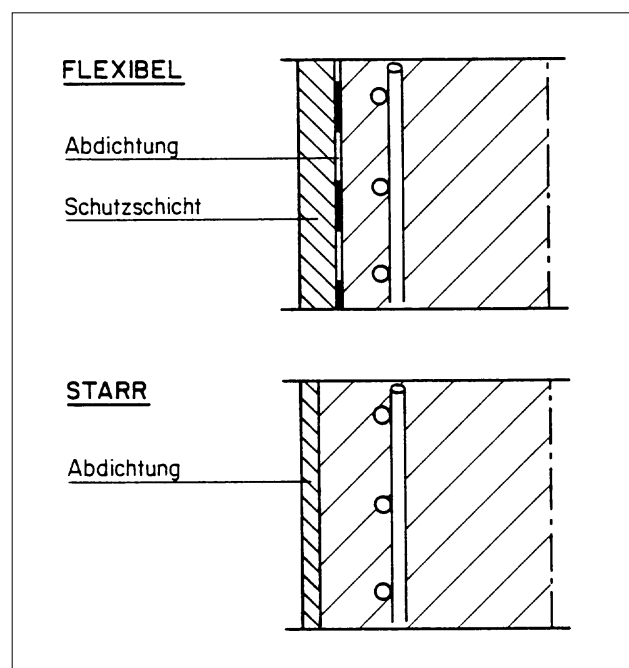
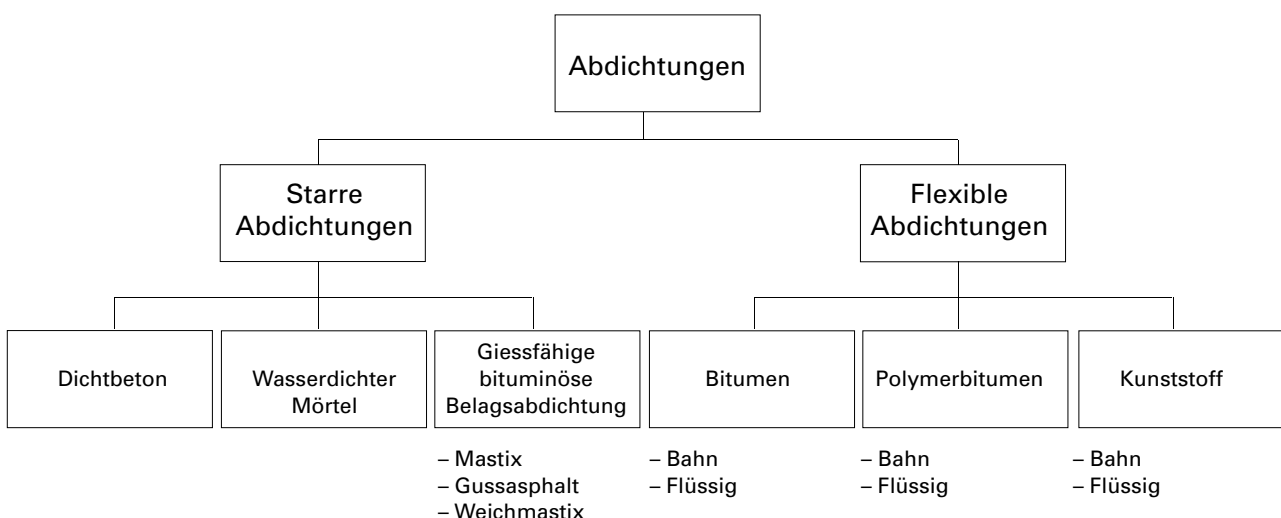


Bild 4.36 Schematische Darstellung der Abdichtungsarten flexibel und starr

Gruppe A	Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen in Flachdach-Abdichtungen A1 Verlegung unter Schutz- und Beschwerungsschicht, lose verlegt oder mit der Unterlage teilweise oder vollständig verklebt/verschweisst, die einzelnen Lagen untereinander verklebt/verschweisst A2 Verlegung ohne Schutz- und Beschwerungsschicht, der Witterung ausgesetzt, mechanisch befestigt oder sturmsicher auf eine dazu geeignete Unterlage (evtl. Wärmedämmung) aufgeklebt oder aufgeschweisst
Gruppe B	Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen als Unterterrain-Abdichtung gegen drückendes oder nicht drückendes Wasser. nicht dem Temperaturwechsel ausgesetzte, mit dem Untergrund verklebte oder auf diesen aufgeschweisste Abdichtung gegen drückendes oder nicht drückendes Wasser
Gruppe C	Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen als Abdichtung von Ingenieurbauwerken, vollflächig auf den Untergrund aufgeschweisst und mit Heissmischbelag abgedeckt
Spezielle Zuordnungen: Umkehrdächer – vollflächig aufgeklebt oder geschweisst – lose verlegte Abdichtung Aufbordungen und Randabschlüsse der Witterung ausgesetzt	
	Gruppe B Gruppe A1 Gruppe A2

Tab. 4.10 Gruppeneinteilung der Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen nach Anwendungsgebieten, aus [4.43]



Tab. 4.11 Gliederung der Abdichtungsarten

Abdichtung		Schwimmende Abdichtung				Geklebte Abdichtungen					
		Gussasphalt		Mastix		Weichmastix	Bitumen-Dichtungsbahnen		Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen		Kunststoff 1) 2)
Belag		Asphaltbeton (AB, HMT)	Gussasphalt	Asphaltbeton (AB, HMT)	Gussasphalt	Asphaltbeton (AB, HMT)	Asphaltbeton (AB, HMT)	Gussasphalt	Asphaltbeton (AB, HMT)	Gussasphalt 3)	Gussasphalt
Aspekte											
Allgemein	Mehrfachabdichtung	●	○	●	○	●	●	○	●	○	○
	Wasserunterläufigkeit	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○
	Blasenbildung	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●
	Alterungsbeständigkeit	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Möglichkeit einer geringen Bauhöhe	●	○	●	○	●	●	●	●	●	○
Untergrund und Belag	Geringe Anforderungen an die Betonoberfläche	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Rissüberbrückungsvermögen	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
	Schubfeste Verbindung zwischen Betonoberfläche und Abdichtung					○	○	○	○	○	○
	Schubfeste Verbindung zwischen Abdichtung und Belag (Schuttschicht)	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●
	Verschleissfestigkeit des Belages	●	○	●	○	●	●	○	●	○	○
Einbau	Beanspruchung der Betonoberfläche durch Wärme beim Einbau	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
	Verletzungsgefahr durch eindringende Belagskörner	○	○	○	●	●	●	○	●	○	○
	Aufwand bei Anschlüssen	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○
Kosten	Kosten Abdichtung und Belag	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●

Legende: ○ sehr günstig ● günstig ● Vorsicht, weniger günstig ● ungünstig

1) Auf Elastomerbasis, flüssiger Zustand, kalte Verarbeitung

2) Beurteilung aufgrund eines einzigen Produktes

3) Die Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen müssen mit GA verträglich sein

Tab. 4.12 Beurteilung der Systeme. Abdichtung und Belag für Brückenfahrbahnplatten, aus [4.46]

Bemerkung: Die in der Tabelle vorgenommene Beurteilung, dass bei bituminösen Abdichtungen die Schubverbindung sehr günstig sei, ist zu relativieren (siehe auch SIA Norm 272)). Unter Dauerlasten können diese keine Kräfte parallel zur Abdichtungsebene aufnehmen. Dies ist im Fall der Brückenabdichtungen in der Regel unproblematisch. Hingegen können beispielsweise bei Galeriedächern mit hohen Dauerlasten und starken Dachneigungen schwere Schäden auftreten, wenn keine konstruktiven Schubsicherungsmaßnahmen getroffen werden.

Für die Abdichtung von Strassentunnels liegt keine aktuelle Richtlinie vor. Hingegen sind in [4.48] die Überlegungen des Bundesamtes für Strassenbau zusammenfassend dargestellt. Diese zeigen, dass in vielen Fällen eine flexible Abdichtung vorgesehen wird.

Weitere Unterscheidungsmerkmale sind:

- **lose verlegte** oder **vollflächig verklebte** Abdichtungen
- **druckwasser-** oder **nicht druckwasserhaltende** Systeme
- Abdichtungssysteme **ersetzbar** oder **nicht ersetzbar** (evtl. mit unverhältnismässig grossem Aufwand ersetzbar)
- Arten der Applikation (siehe Tabelle 4.13).

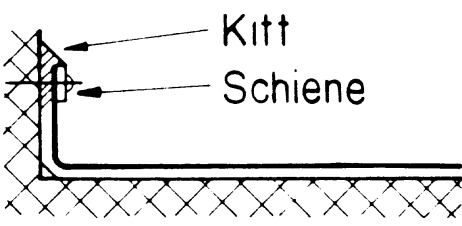
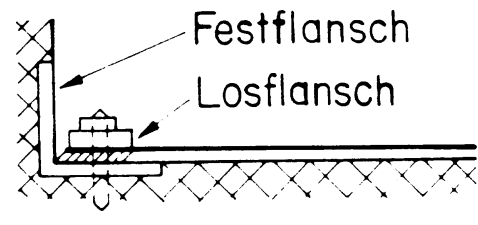
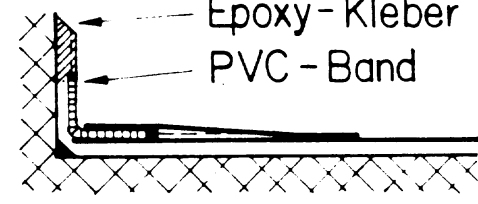
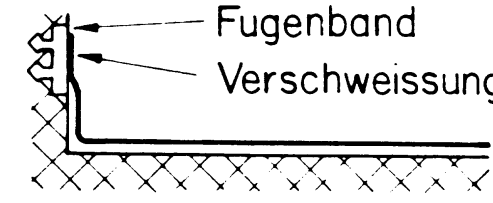
Im Hinblick auf die Erhaltung von Abdichtungssystemen ist besonders das Unterscheidungsmerkmal von grosser Bedeutung. Nicht ersetzbare oder nur mit unverhältnismässig grossem Aufwand ersetzbare Systeme müssen demnach so konzipiert sein, dass sie mindestens während der für das Bauwerk festgelegten Nutzungsdauer funktionsfähig bleiben.

Bei den **starren** Abdichtungen wird die Tatsache genutzt, dass Beton wasserundurchlässig sein kann. In der Anwendung beispielsweise bei Grundwasserwannen („weisse Wannen“ genannt), Tunnels, Galerien und Behältern kann der Stahlbetonbaukörper selbst neben der Lastabtragung auch die Funktion der Abdichtung übernehmen. Der Baukörper als Ganzes muss so geplant, bemessen, konstruktiv durchgebildet und sorgfältig ausgeführt werden, dass er die Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit sicher erfüllt. Gegen das Ein- und Durchdringen von Wasser sind ein dichter Beton und kleine Rissweiten von Bedeutung. Weitergehende Hinweise finden sich beispielsweise in [4.62] bis [4.64].

In bezug auf die Ausbildung von **Fugen, Randabschlüssen** und **Durchdringungen** ist die Vielzahl von Konzepten und Systemen wo möglich noch grösser als bei der «flächigen» Abdichtung. Darauf näher einzugehen ist in diesem Rahmen nicht möglich. Es sei auf [4.49] verwiesen, welches dazu als Standardwerk gelten kann. Im weiteren gibt Tabelle 4.14 einen Überblick über Randanschlüsse bei Kunststoff-Bahnen.

	Gussasphalt/Mastix	Bitumen-Dichtungsbahn (BD)	Polymerbitumen-Dichtungsbahn (PBD)	Kunststoff-Dichtungsbahn (KDB)	Flüssig-Kunststoff (FLK)
Grundwasserwannen <i>Nichthaftend:</i> – Lose aufliegend (Nähte geschweisst, mit Randbefestigung) <i>Vollflächig haftend:</i> – Heissbitumen – Flämmen – Kaltkleber (Nähte geschweisst) – Spritzen – Rollen, Streichen		X	X	X	
Tunnel – Lose aufliegend (Nähte geschweisst, mit mech. Befestigung)				X	
Brücken <i>Nichthaftend:</i> – Schwimmend (mit Randverklebung) <i>Vollflächig haftend:</i> – Heissbitumen – Flämmen – Spritzen – Rollen, Streichen	X	X X	X X		X X
Flachdach <i>Nichthaftend:</i> – Schwimmend (mit Randverklebung) – Lose aufliegend (Nähte geschweisst, mit Randbefestigung) <i>Vollflächig haftend:</i> – Heissbitumen – Flämmen – Kaltkleber (Nähte geschweisst) – Spritzen – Rollen, Streichen	X	X X X	X X X	X X	 X X

Tab. 4.13 Arten der Applikation von Abdichtungen

Typ	Detail	Anwendung		
		Grund- wasser- wannen	Tunnel	Galerien
A Kittschiene		○	●	●
B Klemmschiene		●	●	○
C Klemmflansch		●	○	○
D PVC-Fugen- dichtungsband		●	●	●
E Fugenband		○	●	○

Tab. 4.14 Randabschlüsse bei Abdichtungen mit Kunststoffbahnen
○ möglicher Einsatzbereich ● typischer Einsatzbereich

4.5.3 Dauerhaftigkeit und Lebensdauer

Zur wichtigen Frage der Dauerhaftigkeit und der Lebensdauer von Abdichtungssystemen gibt es leider nur bei einzelnen Anwendungsarten mehr oder weniger gesicherte Erkenntnisse.

Neben der natürlichen Alterung der verwendeten Materialien bestimmen die folgenden Risikofaktoren die Lebensdauer von Abdichtungen:

- Systemart, Güte des Systems, Art der Unterkonstruktion und der Schutzschicht
- Konstanz der Materialqualitäten
- Qualität der Ausführung
- Art und Intensität der Einwirkungen aus Nutzung und Umwelt
- Unterhalt (nur in Einzelfällen möglich).

Wie komplex die Verhältnisse sind, zeigt die in der Tabelle 4.15 gezeigte Schwachstellenanalyse für Abdichtungen von Flachdächern.

Im übrigen ist festzuhalten, dass in der Regel die Probleme bei den Fugen, den Randabschlüssen und den Durchdringungen beginnen.

In [4.50] wird zur Frage der Lebensdauer folgendes angegeben:

«Eine unvoreingenommene Schätzung der natürlichen **Lebensdauer** einer nach dem heutigen Stand der Technik zu erstellenden Abdichtung für ein bekieses Flachdach, das normalen Lebensbedingungen unterworfen ist, wird **Mittelwerte von 30 bis 40 Jahren** ergeben, mit vermutlich unwesentlichen Unterschieden zwischen bituminösen Abdichtungen und Kunststoffabdichtungen.»

In [4.57] wird die Lage weniger optimistisch beurteilt, indem dort eine Lebensdauer von 20 Jahren bereits als Ausnahme bezeichnet wird. Die meisten Flachdachabdichtungen müssten bereits nach 7 bis 17 Jahren ersetzt oder erneuert werden, was im Verhältnis zum Preis und zu den gemachten Versprechungen ungenügend ist.

Um etwas über das Verhalten von **Abdichtungen bei Grundwasserwannen bei Untergeschossen von Hochbauten** und bei **erdüberschütteten Bauwerken** in Erfahrung zu bringen, hat sich die Arbeitsgruppe Technologien von IP-Bau mit einigen Firmen mit grossem Immobilienbesitz in Verbindung gesetzt. Das Resultat dieser Umfrage kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Undichtigkeiten, unter anderem aus unsachgemässer Ausführung von Abdichtungen, treten rasch nach Beginn der Wassereinwirkung auf. Behebung durch Injektionen; in Einzelfällen auch durch natürliche Versinterung der Risse; Einbau geeigneter Fugen.
- über Langzeitschäden an fachgemäss konzipierten und ausgeführten Abdichtungen ist nichts bekannt. Hingegen treten später öfters an permanenten Bewegungsfugen Undichtigkeiten auf. Es sind dazu keine statistisch relevante Aussagen vorhanden. Die Analogie zu den Resultaten der Untersuchung an Fugen von Strassengalerien mit einem Ansteigen der Schadenshäufigkeit nach einem Fugenalter von 10 bis 15 Jahren ist allerdings nicht zu übersehen (siehe Bild 3.16).

Im **Brückenbau** ist die Abdichtung ersetzbar. Mit weiterhin steigenden Verkehrsdichten wird der Ersatz zu einer volkswirtschaftlich teuren und technisch anspruchsvollen Angelegenheit. In der Schweiz kann gemäss [4.53] mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von 25 Jahren gerechnet werden. Nach neueren Erkenntnissen liegt diese allerdings eher bei 20 Jahren. In Deutschland wurde eine mittlere Lebensdauer von 15 Jahren ermittelt. Die Probleme gehen meistens von den Randabschlüssen aus und dort können Schäden bereits viel früher auftreten. Bei voll – oder teilweise mit der Fahrbahnplatte verklebten Abdichtungen bleiben die schädlichen Auswirkungen lokal begrenzt. Bei schwimmenden oder lose verlegten Abdichtungen ist dies naturgemäss nicht der Fall.

Potentielle Schwachstellen	Wo	Vorbeugung und Abhilfe
Überbeanspruchung der Abdichtung über den Fugen von Hartschaumplatten	BDB	– Trennlage – Massnahmen an der Wärmedämmung (Stoffwahl; vollflächiges Aufkleben usw.)
Mechanische Verletzungen der Abdichtung während der Bau- oder Nutzungsphase	KDB + BDB + PBD	– Wahl einer Abdichtung mit erhöhter Perforationssicherheit – Schutzschichten – Beläge auf Gleitlagen, mit genügenden Randfugen – Kontrollen – Achtung bei nachträglichen Installationen!
Blechverwahrungen – Korrosion – Nahtverbindungen – Thermische Bewegungen – Kittfugen	BDB	– Aufbordungen mit Polymerbitumendichtungsbahnen statt Winkelblechen – Materialwahl, Korrosionsschutz – Unterlagspappen – Fügetechnik (Messerschnittkorrosion) – Kontrollen – Richtige Anzahl, richtige Platzierung und richtige Ausbildung von Dilatationskonstruktionen – Materialwahl – Periodische Kontrollen und Erneuerungen
Durchwurzelung	BDB	– Wurzelfeste Abdichtungen (Polymerbitumen oder Kunststoff) – Schutzschicht ohne Sand – Durchgehendes Gefälle zur Vermeidung von stehendem Wasser – Unterhalt
Formänderung der Abdichtung (Verkürzung)	KDB	– Wahl einer Abdichtung, welche die Normprüfung 'Formänderung in der Wärme' erfüllt und kein unzulässiges Alterungsschrumpfen erleidet – Verträglichkeit mit angrenzenden Materialien – Verlegung ohne Vorspannung – Aufbordung mechanisch sichern
Dachentwässerung	BDB + PBD + KDB	– Durchgehendes Gefälle – Min. zwei Abläufe bzw. Ablauf und Notüberlauf – Durchmesser der Ablaufrohre min. 80 mm – Rückstausichere Einläufe – Keine geschleppten Leitungen – Nutzschichten, die nicht weggespült und nicht ausgelaugt werden können – Unterhalt (z. B. Laub entfernen)
BDB: hauptsächlich bei Bitumendichtungsbahnen PBD: hauptsächlich bei Polymerbitumendichtungsbahnen KDB: hauptsächlich bei Kunststoffdichtungsbahnen		

Tab. 4.15 Schwachstellenanalyse für Abdichtungssysteme bei Flachdächern, aus [4.50]

Die Problematik der Wurzeldurchwachsung besteht ebenfalls bei Abdichtungen aus Polymer-Bitumen- und Kunststoff-Dichtungsbahnen. Für diese Materialien ist der Nachweis der Wurzelbeständigkeit als Dichtungsschicht gemäss Norm SIA 280 und SIA 281 empfehlenswert.

Für die Prüfung der Abdichtungssysteme sieht die sich in Revision befindliche Norm SIA 281 das Verfahren nach FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung, Landschaftsbau e.V., Bonn) vor (siehe Entwurf N 5276-13* der Norm SIA 281).

In Deutschland wurde eine umfangreiche Untersuchung an Fahrbahnabdichtungen auf Betonbrücken durchgeführt [4.54]. Zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit dort gebräuchlicher Abdichtungsarten wurden diese an 99 Brücken untersucht. In der Tabelle 4.16 ist das Programm dargestellt. Der grössere Teil der Bauwerke waren Autobahnbrücken mit mangelfreier Erstaussführung des Belags und einem Alter zwischen 6 und 10 Jahren. Die Abdichtungssysteme waren ein- und zweilagige bituminöse Dichtungsbahnen, Sandasphalt, Flüssigkunststoffabdichtungen aus Polyurethan, Asphaltmastix in verschiedenen Varianten und Metallbänder auf Lochglasvliesbitumenbahnen. Zu dieser Auswertung aus Deutschland, die herangezogen wird, da vorläufig vergleichbare schweizerische Untersuchungen fehlen, sind einige einleitende Bemerkungen notwendig. Die deutschen Varianten «zweilagige Bitumen-Dichtungsbahn», «Metallriffelbänder auf Lochglasvliesbitumenbahnen» und «Sandasphalt» sind in der Schweiz vermutlich nie eingesetzt worden. Die Auswertung dieser Varianten ist daher in der Resultatzusammenfassung weggelassen worden. In der Schweiz wurden bis zum Aufkommen der Polymer – Bitumen – Dichtungsbahnen mehrheitlich Brückenabdichtungen aus Weichmastix, Teer-epoxidbeschichtungen oder schwimmendem Gussasphalt mit Randverguss ausgeführt. Der Weichmastix entspricht etwa dem deutschen «Mastix mit hohem Bindemittelgehalt», die schwimmende Gussasphaltabdichtung dem «Mastix mit normalem Bindemittelgehalt». Nach dem Aufkommen der Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen in der Schweiz wurden Brücken und ähnliche Objekte überwiegend mit diesem Material abgedichtet. Daneben gab und gibt es untergeordnet auch Abdichtungen aus Flüssigkunststoff, metallkaschierten Bitumen-Dichtungsbahnen oder schwimmendem Gussasphalt mit Randverklebung. Die Abdichtungen mit Polymer-Bitumen- und metallkaschierten Dichtungsbahnen können etwa mit der deutschen «einlagigen bit. Schweissbahn» verglichen werden.

Bauart der Abdichtung	unter-suchte Brücken
Einlagige bit. Schweissbahnen – bisherige Normalausführung – auf mit Reaktionsharz behandelter Betonoberfläche	21 6
Zweilagige Bitumendichtungsbahnen – bisherige Normalausführung – auf mit Reaktionsharz behandelter Betonoberfläche	13 2
Mastix mit normalem Bindemittelgehalt – auf Trennschicht (Glasvlies), mit Randverstärkung – auf Trennschicht (Glasvlies), ohne Randverstärkung – auf Glasfasergittergewebe und bituminösem Voranstrich, mit Randverstärkung – auf Glasfasergittergew., ohne bituminösem Voranstrich, mit Randverstärkung – auf mit Reaktionsharz behandelter Betonoberfläche, ohne Trennschicht (Glasvlies) – auf mit Reaktionsharz behandelter Betonoberfläche, mit Trennschicht (Glasvlies)	4 7 0 6 1 9
Mastix mit hohem Bindemittelgehalt – auf Glasfasergittergewebe und bituminösem Voranstrich, mit Randverstärkung – auf Glasfasergittergewebe und bituminösem Voranstrich, ohne Randverstärkung	0 4
Metallriffelbänder auf Lochglasvliesbitumenbahnen – Edelstahl – Kupfer	5 8
Sandasphalt – bisherige Normalausführung – auf mit Reaktionsharz behandelter Betonoberfläche	7 0
Flüssigkunststoff – Polyurethan – Sonstiges	4 2
Summe	99

Tab. 4.16 Untersuchte Brückenabdichtungssysteme, aus [4.54]

Die Resultate dieser Untersuchung werden in [4.54] wie folgt zusammengefasst:

«Die flächig mit der Betonoberfläche verklebten Abdichtungsbauarten aus **ein- oder zweilagigen bituminösen Dichtungsbahnen**, untersucht auf 42 Bauwerke, erwiesen sich als zuverlässig abdichtend. Bei den mit Gussasphaltschutzschicht kombinierten einlagigen, aluminiumkaschierten Schweissbahnen auf bituminösem Voranstrich des Betons wurden jedoch bei der Mehrzahl der Entnahmestücke flache Bläschen («Näpfchen») in der Klebmasse beobachtet. Der dadurch verursachten Schwächung der Dichtungsschicht und des Haftverbundes zur Unterlage kann aber wirkungsvoll mit einer Grundierung, Versiegelung oder Kratzspachtelung der Betonoberfläche mit Reaktionsharzen auf Epoxidharzbasis begegnet werden.

Die untersuchten **Flüssigkunststoffabdichtungen** aus Polyurethan schützen wirksam vor Feuchtigkeit und aggressiven Medien und sollten künftig vermehrt ausgeführt werden. Verbunden damit wird die Empfehlung, den Anteil extrahierbarer Bestandteile aus dem Polyurethan eng zu begrenzen, um langfristig nicht abzuschätzende Auswirkungen der Anlösungen des Gussasphaltes zu vermeiden. Zudem sollte der Hohlraumgehalt der ausgeführten Dichtungsschicht nicht grösser als etwa 10–15 % sein.

Die schon seit längerem bekannte Schadensanfälligkeit von Abdichtungsbauarten mit einer Trennschicht zur Dampfdruckentspannung wurde auch in dieser Untersuchung bestätigt. Gänzlich unbefriedigend waren die Ergebnisse der Bauart mit **Asphaltemastix auf Trennschicht** (meist Glasvlies). An 6 von 7 untersuchten Belägen wurden Undichtigkeit, Unterläufigkeit und hohe Chloridgehalte des Betons festgestellt. Eine Ursache für die Unterläufigkeit von Asphaltemastix auf Trennschicht ist das Abreißen des Mastix am Übergang zu den Kappen. Deshalb wurden zehn Beläge mit Mastix auf Trennschicht (Glasvlies oder Glasfasergittergewebe) untersucht, die an dieser Randfuge mit einer Einlage aus Kupferriffelband in der Ebene der Dichtungsschicht verstärkt waren, um so die Auswirkungen dieser Modifizierung beurteilen zu können. Das Abdichtungsverhalten war besser als das der entsprechenden Bauart ohne Randverstärkung, Fremdchloride waren dennoch nachzuweisen. Die Schadensanfälligkeit an den Randfugen

ist durch die Randverstärkung verringert; Undichtigkeiten, z.B. durch die immer wieder vorkommenden Risse im Belag, führen dennoch zur Unterläufigkeit.

Unterläufigkeit des Asphaltemastix auf Glasvlies als Trennschicht trat folgerichtig auch bei einer Bauartvariante auf, wo vorsorglich die Betonoberfläche mit Epoxidharz versiegelt war. Aus der Häufigkeitsverteilung der Chloridgehalte war zu schliessen, dass die Versiegelung zum Schutz des Betons beiträgt, die grundlegenden Mängel der Dichtungsschicht aber nicht beseitigt. Diese Bauart mit allen Varianten sollte nicht mehr ausgeführt werden.

Signifikante Einflüsse von Bauarten der Dichtungsschicht auf das Verhalten des Belages konnten nicht festgestellt werden. Gussasphalt hatte fast ausnahmslos dichtes Gefüge. Asphaltbeton zeigte als Schutzschicht gelegentlich Gefügestörungen in Form von Porosität, Bindemittelablösung bis hin zur teilweisen Auflösung. Die Kombination von Asphaltbetonschutzschicht und Gussasphaltdeckschicht führte häufig zu markanter Blasenbildung an der Belagsoberfläche.

Aufgrund des Untersuchungsergebnisses wird empfohlen, dass von den derzeit noch gebräuchlichen Abdichtungsbauarten vorrangig und in der Regel die einlagigen Schweissbahnen mit einer Schutzschicht aus Gussasphalt und die zweilagigen Bitumendichtungsbahnen mit einer Schutzschicht aus Asphaltbeton fallweise ausgewählt werden sollten. Anwendungsvoraussetzung wäre dabei in beiden Fällen je nach Oberflächenzustand der Betonfahrbahntafel eine Grundierung, Versiegelung oder Kratzspachtelung mit Reaktionsharzen auf Epoxidharzbasis. Elektrische Widerstandsmessungen der versiegelten Unterlage sind entbehrlich. Als dritte Abdichtungsart sollte auch die Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff mit einer Schutzschicht aus Gussasphalt künftig vermehrt in Betracht gezogen werden.

Abdichtungen aus Mastix mit hohem Bindemittelgehalt auf Glasfasergittergewebe mit Verkleben zur Unterlage sollten nur noch im Einzelfall dann in Betracht gezogen werden, wenn die Dichtungsschicht in nachprüfbar gleichmässiger Dicke mit einwandfrei identifizierbarem Material ausgeführt werden kann; als Schutzsschicht sollte auf der Dichtungsschicht nur Gussasphalt verwendet werden.

Von allen Abdichtungsbauarten mit Trennschicht sollte Abstand genommen werden. Mastixabdichtungen auf Trennschicht ohne Voranstrich bieten nur geringe Schutzwirkung und sollten zur Bestandssicherung der Brückenbauwerke frühzeitig erneuert werden.»

Über die Erfahrungen mit Brückenabdichtungen in der Schweiz bestehen, wie schon erwähnt, keine umfassenden Untersuchungen. Aufgrund Aussagen von Einzelpersonen ergeben sich jedoch gewisse Erfahrungswerte für die Eignung der schweizerischen Varianten von Brückenabdichtungen:

- Die früher eingesetzten «Weichmastix», «Teer-epoxidbeschichtung» und «schwimmender Gussasphalt mit Randverguss» zeigten uneinheitliches Verhalten, d.h. es gab sowohl dichte als auch undichte Bauwerke.
- Metallkaschierte Bitumen-Dichtungsbahnen wurden nur bis zum Aufkommen der gussasphaltbeständigen PBD während einigen Jahren als Abdichtungen unter Gussasphalt eingesetzt. Die damit gemachten Erfahrungen sind vergleichbar mit [4.54].
An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die Entwicklung in Deutschland ebenfalls hin zur gussasphaltbeständigen PBD geht, wobei allerdings unabhängig von Art der Dichtungsschicht der Einsatz einer Kratzspachtelung aus Epoxidharz auf die Betonunterlage gefordert wird.
- Abdichtungen aus Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen ergaben weitgehend gute Ergebnisse, wobei sich allerdings die Anschlüsse am Brückenrand, Fahrbahnübergang oder anderen Einbauten als potentielle Schwachstellen herausstellten. Sinngemäss gilt dies auch für Abdichtungen aus «schwimmendem Gussasphalt mit Randverklebung».
Aufgrund dieser Erkenntnis entstanden aus privaten und öffentlichen Entwicklungsarbeiten einige Varianten für mechanische oder klebtechnische Fixationen der Abdichtung im Randbereich. Obwohl einige davon zum Teil schon seit einigen Jahren ausgeführt werden, steht ihnen die langjährige Bewährung noch bevor.
- Flüssigkunststoffe als Brückenabdichtung werden in der Schweiz seit mehr als 10 Jahren eingesetzt. Heute sind diese Flüssigkunststoffe überwiegend Polyurethane (PUR). Die Erfahrun-

gen mit diesen Materialien bezüglich Schutz- und Dichtfunktion sind in der Regel positiv. Als eine potentielle Schwachstelle der Flüssigkunststoffe ist die Wasserdampfdurchlässigkeit zu bezeichnen, die zusammen mit einer Blasenkeimbildung beim Gussasphalteinbau zu einer späteren Blasenbildung im dampfdichten Gussasphalt führen kann.

In der Schweiz läuft seit einigen Jahren ein praxisbezogenes **Untersuchungsprogramm für Randanschlüsse** von Brückenabdichtungen aus Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen PBD [4.55]. Die Prüfung verschiedener Anschlüsse bei Aufbordungen und Rändern, Fahrbahnübergängen und an Schächte und Einlaufkonstruktionen erfolgt an ausgewählten Brückenobjekten. Nach Abschluss der geplanten Untersuchungen im Jahre 1992 sollen konkrete Aussagen über die Eignung der verschiedenen Anschlussdetails bei neuen und bestehenden Abdichtungen gemacht werden.

Die Abdichtungen im **Tunnelbau** sind in der Regel **nicht ersetzbar**. Es lohnt sich deshalb, genügend Mittel in die Planung und Ausführung derselben zu investieren. In [4.56] wird festgestellt, dass auch hochwertige Abdichtungen bei den Gesamtkosten keine wesentliche Rolle spielen; deren Anteil beträgt normalerweise 2–4 Prozent. Die Sanierungskosten eines bestehenden Bauwerkes bei mangelhafter oder fehlender Abdichtung können hingegen bis zu 50 Prozent der Gesamtkosten ausmachen.

Die Tabelle 4.17 zeigt am Beispiel von Tunnelabdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen die Zusammenhänge zwischen Mängeln, deren Behebung und der Zuständigkeit der Beteiligten.

In [4.48] wird die Problematik von Schäden bei Tunnels im Nationalstrassenbau behandelt. Es ist allerdings zu bedauern, dass über Erfahrungen und Schäden bei Tunnelabdichtungen in der Schweiz keine umfassende Untersuchung vorliegt. Ein solcher Bericht könnte dazu beitragen, aus den gemachten Fehlern zu lernen.

Bei Tagbautunnels, die vollumfänglich mit einem flexiblen Abdichtungssystem ausgerüstet sind, haben Setzungen der Hinterfüllung in einigen Fällen zu einem Abreißen der Folien und Bahnen an den Seitenwänden geführt. Aus diesem Grund werden beispielsweise in Deutschland die Wandabdichtungen mittels Vormauerungen vor solchen Verletzungen geschützt.

Möglicher Mangel	Behebung	Zuständigkeit
Herstellung		
Fabrikationsfehler (Wellen, Lunkern, Delaminieren)	Fabrikationskontrolle Laborkontrolle	Hersteller Prüfinstitut
Perforation bei zu rauhem Untergrund	Abnahme des Untergrundes	Abdichtungsfirma
Zugbeanspruchung bei stark unebenem Untergrund	Verlegen der KDB in Vertiefungen, evtl. Ausgleichen der Vertiefungen mit Spritzbeton	Abdichtungsfirma Unternehmer
Schweisssfehler	Schweisssnahtprüfung auf Baustelle – Prüfprotokolle erstellen	Abdichtungsfirma Bauleitung
Baustellenbedingte Gegebenheiten		
Beschädigung beim Abschalen des Innenrings	Schutzstreifen aus KDB	Unternehmer
Beschädigung beim Einbau von Bewehrungen	Einbau von Schutz- und Signalschicht	Abdichtungsfirma
Beschädigung beim Einbringen des Betons	Kein Unterprofil, vor allem im Bereich Auflager, Zwischendecke und Luftpfefen	Unternehmer
Abreissen der KDB bei Wassersackbildungen	Aufschneiden und unmittelbar vor dem Betonieren wieder schweissen	Abdichtungsfirma
Beschädigung nach dem Betonieren bei sehr grossen Hohlräumen (Abreissen der KDB durch Wassersäcke)	Sofort nach dem Betonieren des Innenrings Hohlräume vollständig ausinjizieren	Unternehmer Bauleitung
Perforation durch Druck- und Schubkräfte infolge Gebirgs-, Wasser- und Betondruck	Ausreichend dimensionierte Ausgleichsschicht und Dichtungsbahn	Planer
Langzeiteinwirkungen		
Langzeitverhalten der KDB	Laborkontrollen nach SIA- und DIN-Normen	Prüfinstitut
Versintern und Verstopfen der Flächendrainage hinter der KDB	Ausreichend dimensionierte Ausgleichsschicht mit maximaler Langzeit-Drainagewirkung	Planer
Versintern und Verstopfen der Drainageleitungen	Ausreichend dimensionierte Drainageleitung mit maximaler Eintrittsöffnung, Kontroll- und Reinigungsschächte in kurzem Abstand anordnen Drainageleitungen periodisch spülen	Planer Unterhaltungsdienst

Tab. 4.17 Mängel / Behebung / Zuständigkeiten am Beispiel von Tunnelabdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen, aus [4.56]

4.5.4 Überwachung und Unterhalt

Es fällt auf, dass die in anderen Bereichen der Bautechnik seit einigen Jahren üblichen Überlegungen und Strategien zum Thema Überwachung und Unterhalt bei Abdichtungssystemen in der Regel noch wenig Eingang gefunden haben. Es ist anzunehmen, dass sich dies in den nächsten Jahren vor allem im Bereich der Verkehrsbauten ändern wird.

Das nachstehende Zitat aus [4.56] zur Frage der Garantie zeigt eine Situation, welche nicht befriedigt:

«Oft wird im Verkaufsgespräch mit dem Garantie-begriff operiert. Dabei muss sich der Bauherr darüber im klaren sein, dass eine eigentliche Garantieerfüllung im Sinne der SIA-Normen für Abdichtungen bei Ingenieurbauwerken nur in den seltensten Fällen möglich ist. Das Werk des Abdichtungsunternehmers ist in den meisten Fällen nicht mehr zugänglich, ein Schaden lässt sich nur anhand von Infiltrationserscheinungen vermuten. Behoben werden kann dieser nicht direkt, eine Garantieleistung, nämlich die Instandstellung des Werkes, ist nur indirekt erfüllbar, da die hierfür in der Regel notwendigen Aufbrucharbeiten zur vollständigen Zerstörung des Werkes führen würden. Entsprechend vorsichtig ist demzufolge mit dem Garantie-begriff zu verfahren, wenn man kostspielige technische und juristische Nachspiele vermeiden will.»

Man kann sich deshalb fragen, ob sich in Zukunft nicht Systeme aufdrängen werden, welche zusätzlich zu einer auf die Vermeidung von Mängeln ausgerichtete Qualitätssicherung einerseits eine **Erfolgskontrolle während der Ausführung bis zur Abnahme, Inbetriebnahme und während der gesamten Nutzungsdauer ermöglichen, und andererseits Strategien einschliessen, die bei später auftretenden Undichtigkeiten deren Behebung erlauben.** Insbesondere bei Fällen mit drückendem Wasser wären solche Strategien von grossem Nutzen. Ein Ansatz in dieser Richtung zeigt ein Prüf- und Injektionsverfahren, das bei zweilagigen Kunststoffdichtungsbahnen mit flächiger Vakuumprüfung arbeitet und deren abgeschottete Hohlräume bei Bedarf mit einer Dichtmasse ausgepresst werden können [4.56].

In bezug auf die **Überwachung** bzw. **Untersuchung** bestehender Abdichtungen finden sich Angaben unter anderem in [4.58] und [4.59]. Neben der visuellen Überprüfung bieten sich vor allem die Infrarot-Thermographie und das Georadarverfahren an.

In [4.60] wird eine neue Methode zum Aufsuchen von Lecks in Brückenabdichtungen erläutert. Diese Methode zur Ortung von Schadstellen verwendet das Tracergas SF_6 , welches noch in geringsten Spuren nachweisbar ist. Sie wurde an verschiedenen Probeplatten und einer Brücke entwickelt und erprobt (Bilder 4.37 und 4.38). Das Prüfgas wird in Risse an der Brückenunterseite gedrückt, aus denen Wasser austritt. Das Gas dringt durch die Leckstellen in der Abdichtung und breitet sich von diesen durch Diffusion in der Fahrbahndecke aus.

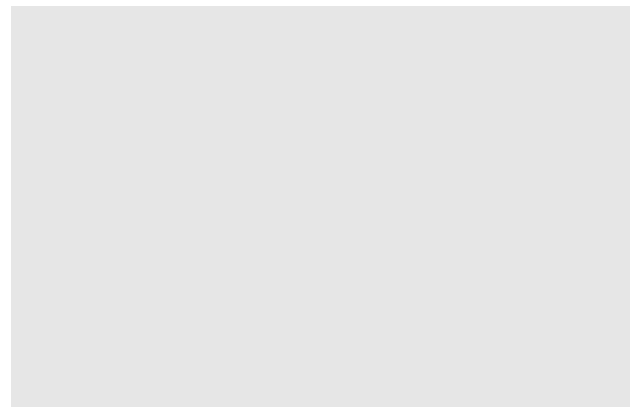


Bild 4.37 Leckortung mit Tracergas, aus [4.60]

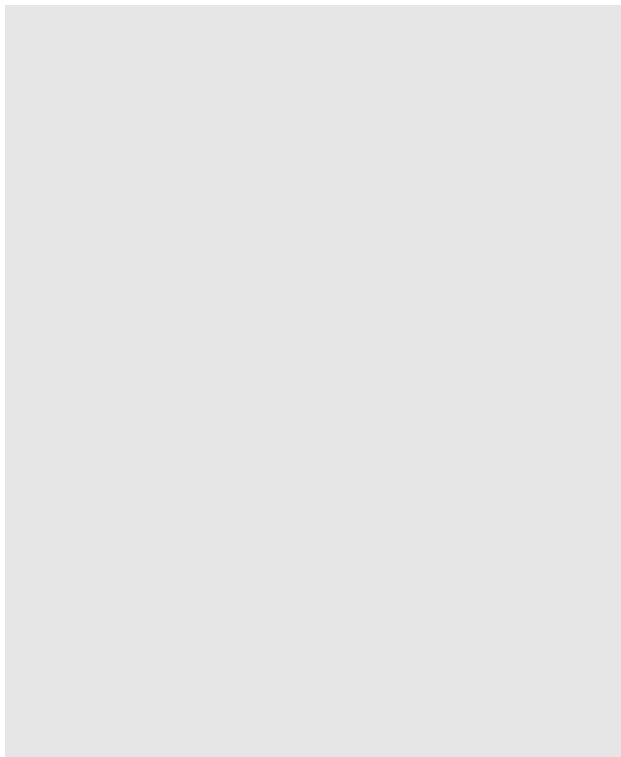


Bild 4.38 Fahrbarer Probenehmer, aus [4.60]

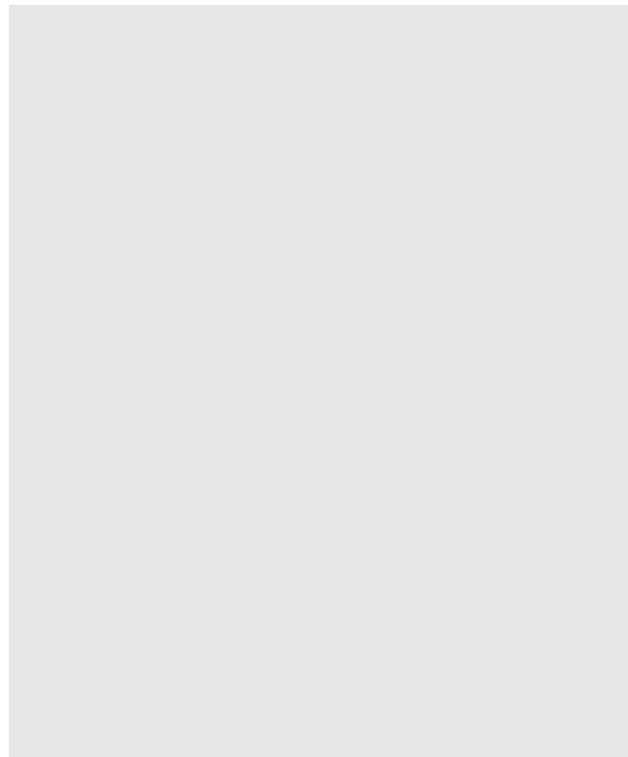


Bild 4.39 Eingebaute Plexiglas-Röhren zur visuellen Überwachung von Wasseraustritten bei undichten Brückenabdichtungen, aus [4.55]

An der Oberfläche wird eine Konzentrationsverteilung des Prüfgases gemessen, wobei bei einigermaßen homogenem Material ein Konzentrationsmaximum über der schadhaften Stelle erhalten bleibt.

Durch Einschränkung der zu sanierenden Bereiche des Brückenbauwerkes durch eine Leckortung mit dem Tracergas SF_6 und einer Reparatur der Lecks ohne Abtrag der Fahrbahndecke durch Kunstharzinjektionen können teure Sanierungsarbeiten und langandauernde Verkehrsbehinderungen vermieden werden.

Auch durch einfache Mittel lässt sich überprüfen, ob die Abdichtung und die Abdichtungsanschlüsse funktionstüchtig sind. An Tiefpunkten der

Brückenplatte werden Kontrollöffnungen durch Einlage eines Kunststoffrohres in die Schalung oder durch eine Kernbohrung geschaffen, durch die das an einer Schadstelle eindringende Wasser austreten kann. Durch einen Rohrbogen aus Plexiglas, der in die Kontrollöffnung eingebaut wird, kann die visuelle Überwachung erleichtert werden (Bild 4.39). Auch die Bindlöcher der Schalung können für Kontrollzwecke verwendet werden. Wasseraustritte an Bindlöchern sind klare Zeichen dafür, dass die Abdichtung oder deren Anschlüsse schadhaft sind und bei verklebten Abdichtungen auch Hinweise, dass die BD- oder PBD-Bahnen unterläufig sind.

Im Bereich des **betrieblichen und baulichen Unterhaltes** sind die Möglichkeiten für Überwachung und Unterhalt in den Fällen eingeschränkt, bei denen die **Abdichtungssysteme nicht mehr zugänglich** sind.

Ist eine Entwässerung vorhanden, so müssen deren Leitungen periodisch gespült und die Einlauföffnungen gereinigt werden. Dies gilt naturgemäss auch bei zugänglichen Abdichtungssystemen.

Kommt es bei nicht mehr zugänglichen, d.h. nicht ersetzbaren Abdichtungssystemen zu Schäden, so sind diese trotz grossem wirtschaftlichem Aufwand **oft kaum zu beheben**, dies vor allem dann, wenn **drückendes Wasser** vorhanden ist.

Gelingt es nicht, den Wasserzutritt zu verhindern, so bleibt in der Regel als einzige Ausnahme das Aufbringen eines Dichtungssystems auf der Bauwerksinnenseite.

Das **Schliessen von wasserführenden Rissen mit konstanter Breite** im Beton und **anderen durchlässigen Stellen** kann durch Injektionen und Verspachtelungen erfolgen.

Undichte Arbeitsfugen mit und ohne vorhandenen Fugenbändern werden wie wasserführende Risse injiziert (siehe Abschnitt 4.4.8).

Risse mit variierender Breite aufgrund äusserer Lasten und Temperatureinwirkungen können meistens **nicht dauerhaft** abgedichtet werden. Das Bild 4.40 zeigt dazu drei Möglichkeiten. Solche Instandsetzungen sind im allgemeinen sehr kostenaufwendig.

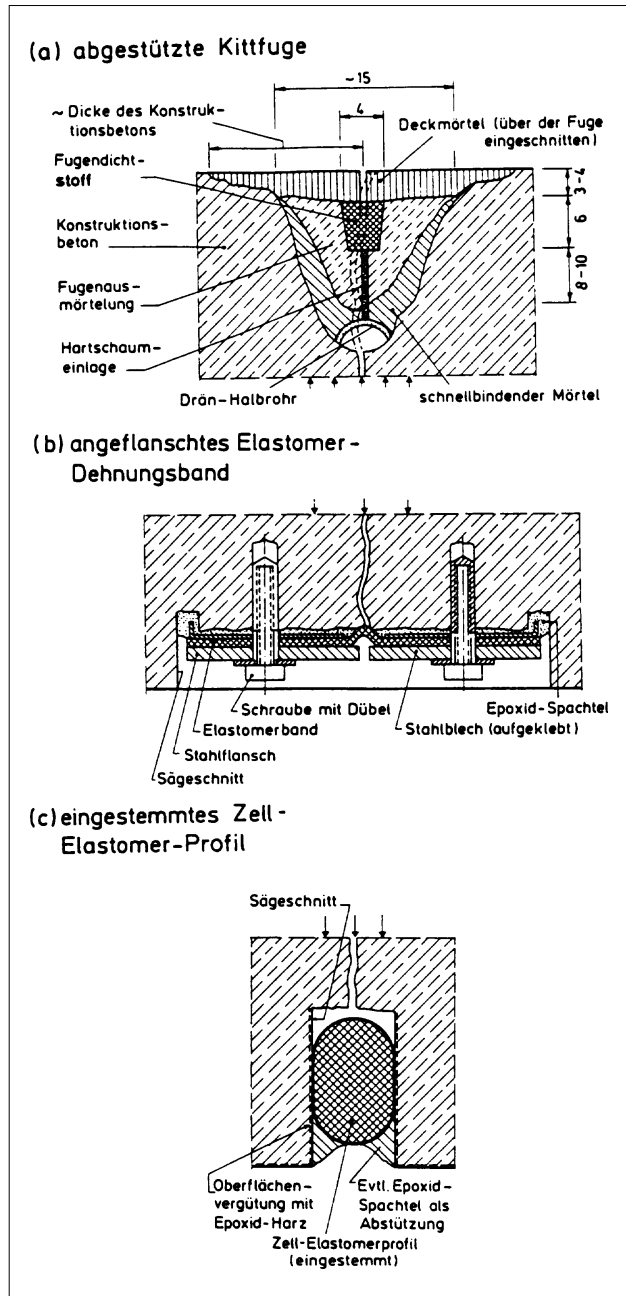


Bild 4.40 Möglichkeiten zur Abdichtung eines nachträglich entstandenen Risses mit variierender Breite, aus [4.49]

Das **nachträgliche Abdichten von Bewegungsfugen** kann aufgrund der folgenden Fehlerursachen nötig werden, [4.49]:

1. Mangelhaft verdichteter, poröser Beton im Bereich des Fugenbandes,
2. Mangelhaft einbetonierte Fugenbänder infolge schlechter Fixierung in der Schalung (umgeschlagene Bandlappen) oder verformter Rippen, z.B. bei aussenliegenden Fugenbändern und anderen,
3. Beschädigte Fugenbänder, z. B. durch den Baubetrieb oder durch Überbeanspruchung (zu grosse Bewegungen, zu grosser Wasserdruck).
4. Unbeständige Fugenmaterialien.

Im **ersten Fall** wird man versuchen, den schlecht verdichteten Beton im Bereich des Fugenbands durch Injektion abzudichten. Möglich ist ein Verfahren gemäss Bild 4.41. Hierfür wird die Fugeneinlage an der Luftseite entfernt und die Fuge auf ganzer Länge mit einem Kunststoffschlauch verschlossen. Durch den schlauchartigen Fugenverschluss werden Injektions- und Entspannungsröhrchen eingesetzt und das ganze mit Schnellzement oder Epoxidharzmörtel so gesichert, dass der notwendige Injektionsdruck aufgenommen werden kann. Anschliessend wird der Fugenraum mit Polyurethan- oder Acrylharz injiziert. Bei ringförmig umlaufenden Bewegungsfugen ist die Abdichtung mit dem eingesetzten Schlauch verhältnismässig einfach auszuführen (Bild 4.41a). Andernfalls muss der eingesetzte Schlauch ausserhalb des Sanierungsbereichs in die Nähe des Fugenbands geführt und dort provisorisch zum Fugenband hin abgedichtet werden, um eine Kammerbildung zu erreichen und den Injektionsdruck aufbauen zu können (Bild 4.41b). Wichtig bei dieser Abdichtungsmassnahme ist ein verformbar aushärtendes Harz, damit die Bewegungsmöglichkeit der Fuge nicht zu stark eingeschränkt wird. Im **zweiten Fall** kann die vorgeschilderte Abdichtungsmassnahme in vielen Fällen auch noch zu einer dauerhaft dichten Fuge führen. Ist das Fugenband jedoch umgeklappt, so dass es gar nicht mehr in den Beton einbindet, oder ist es beschädigt (Fall 3), muss es repariert oder es muss von innen eine zweite Dichtung in der Fuge eingebaut werden.

Eine Reparatur des Fugenbands ist nur möglich, wenn der Wasserdruck vermindert und das Fugenband freigelegt werden kann. Die Ausbesserung des Bands erfolgt durch Schweissen (Thermoplast) oder Kleben (Elastomer). Der umgebende Beton wird mit Zement- oder epoxidharzgebundenem Mörtel wiederhergestellt.

Kann der beschädigte Fugenbandbereich nicht freigelegt werden, oder ist das Fugenband durch Überbeanspruchung zerstört, ist es in der Regel einfacher, eine zweite Fugenbandsperre in der Fuge einzubauen. Je nach Beanspruchung durch Wasserbelastung und Fugenbewegung werden hierzu Konstruktionen nach Bild 4.42 eingesetzt. Für die Fugenbandreparatur bzw. den Einbau der zweiten Dichtung muss das Leckwasser in der Fuge provisorisch abgedichtet bzw. entspannt werden. Unter Umständen wird auch eine Wasserhaltungsmassnahme ausserhalb des Bauwerks im Fugenbereich hierfür erforderlich.

In einzelnen Fällen kann es auch erforderlich sein flächenhafte Beschichtungen, beispielsweise als Dichtungsschlämme auf Zementbasis oder neuerdings als in den Poren kristallisierendes Produkt ebenfalls auf Zementbasis einzusetzen. Den Besonderheiten und Begrenzungen dieser Beschichtungsverfahren ist gebührend Rechnung zu tragen.

Diese Instandsetzungsbeispiele zeigen die Problematik des nachträglichen Abdichtens. Es ist deshalb für zukünftige Bauwerke darauf zu achten, dass bereits in der Planungsphase an die **Notwendigkeit einer späteren Sanierung** gedacht wird und **geeignete Konzepte entwickelt und eingebaut werden**.

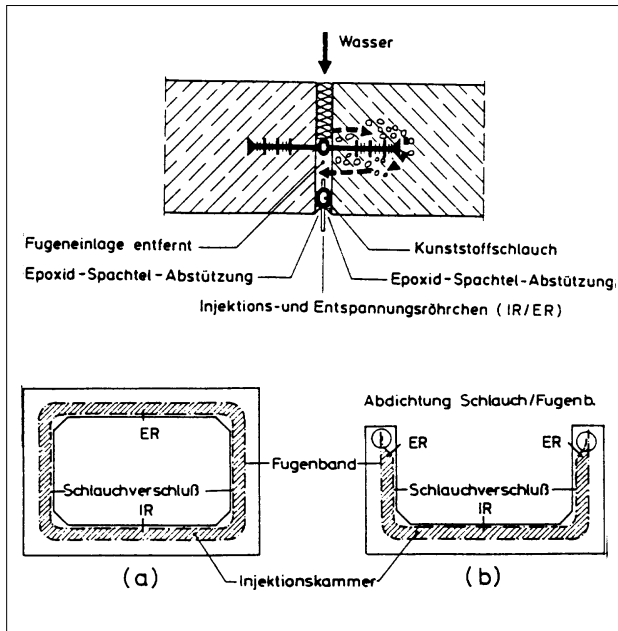


Bild 4.41 Nachträgliche Abdichtung einer Bewegungsfuge mit einem innenliegenden Fugenband durch Injektionen, aus [4.49]

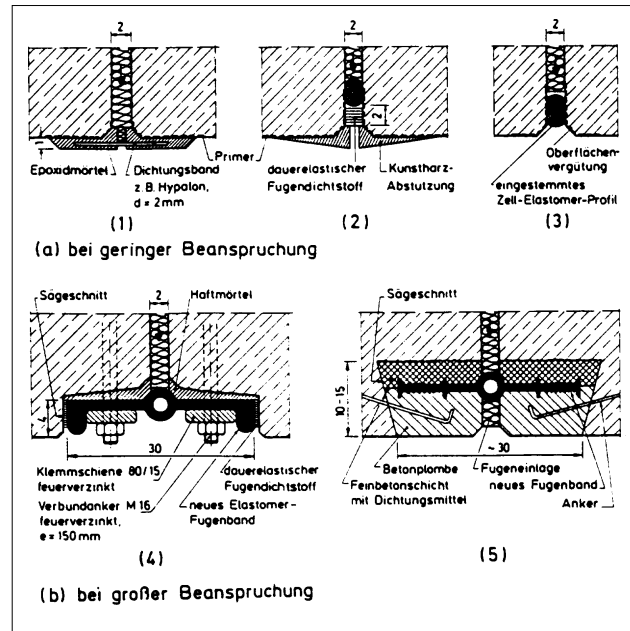


Bild 4.42 Möglichkeiten für die nachträgliche Abdichtung von Bewegungsfugen, wenn das einbetonierte Fugenband beschädigt ist (schematisch), aus [4.49]

- (1) Aufgeklebtes Fugenband
- (2) Dichtung mit dauerelastischer, abgestützter Fugenmasse
- (3) Eingestemmes Zell-Elastomerprofil
- (4) Angeklemmtes Elastomerfugenband
- (5) In Betonplombe eingesetztes Fugenband

Neben dem bereits erwähnten Verfahren zum flächenmässigen, nachträglichen Abdichten von Dichtungsbahnen wird nachfolgend auf die verschiedenen Möglichkeiten zur Injektion von potentiellen Schwachstellen wie Arbeits- und Bewegungsfugen hingewiesen, wobei diese in der Regel nur bei Neubauten zum Zuge kommen können.

1. Injektionskanäle aus Moosgummiprofilen, [4.49]:
An den Schwachstellen werden in der Betonkonstruktion Moosgummiprofile, meist mit

rechteckigem Querschnitt (z.B. 20/10 mm) aus geschlossenzelligem Material mit Injektionsröhrchen im Abstand von 3 bis 5 m eingebaut. Nach dem Erhärten des Betons wird durch die Röhrchen Injektionsmaterial eingepresst. Der Verpressdruck bewirkt ein Zusammendrücken des Moosgummiprofils. Es bildet sich dabei ein Kanal, durch den das Injektionsmaterial alle mit ihm in Verbindung stehenden Risse, Kiestester oder Hohlräume erreichen kann. Ein Anwendungsbeispiel dieses Systems in Verbindung mit einem Fugenband zeigt Bild 4.43.

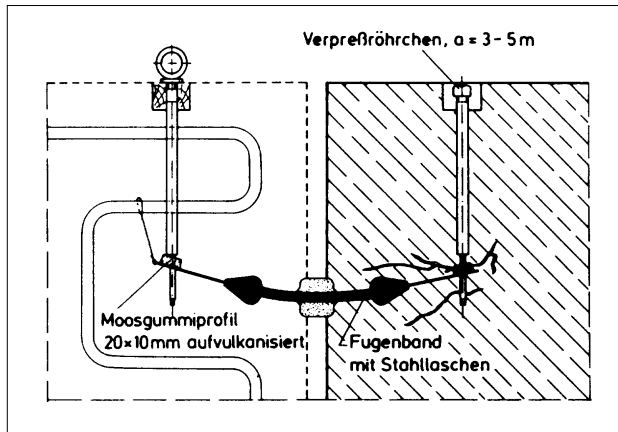


Bild 4.43 Beispiel eines Fugenbandes mit Stahlflaschen und Injektionskanälen aus Moosgummi, aus [4.49]

2. Injektionsschläuche, [4.49]:

Injektionsschläuche gemäss Bild 4.44a bestehen aus:

- einer Stützspirale, die den hydrostatischen Druck des Frischbetons übernimmt und ein Zerquetschen des Schlauchs verhindert
- einer inneren Gewebehülle aus geklöppelten Kunststoffäden, die die darüberliegende Membrane trägt
- einer Vliesmembrane mit Kunstharzimprägnierung, die das Eindringen von Frischbetonteilen in den Schlauch verhindert und bei der Injektion aufreiss
- einer kräftigen äusseren Gewebehülle aus Kunststoffäden als Schutz für den inneren Aufbau. Durch die Struktur der äusseren Gewebehülle werden kleine Hohlräume geschaffen, die dem Injektionsmaterial den Weg zu den Betonfehlstellen offenhalten.

Auf dem Markt befinden sich auch zahlreiche andere Systeme von Injektionsschläuchen. Bei der Auswahl ist darauf zu achten, dass sie den Austritt des Injektionsharzes auf der gesamten Oberfläche und nicht nur punktwise ermöglichen. Ausserdem müssen sie vom Aufbau her sicherstellen, dass keine Frischbetonteile eindringen oder der Injektionskanal durch den Betondruck zusammengedrückt wird.

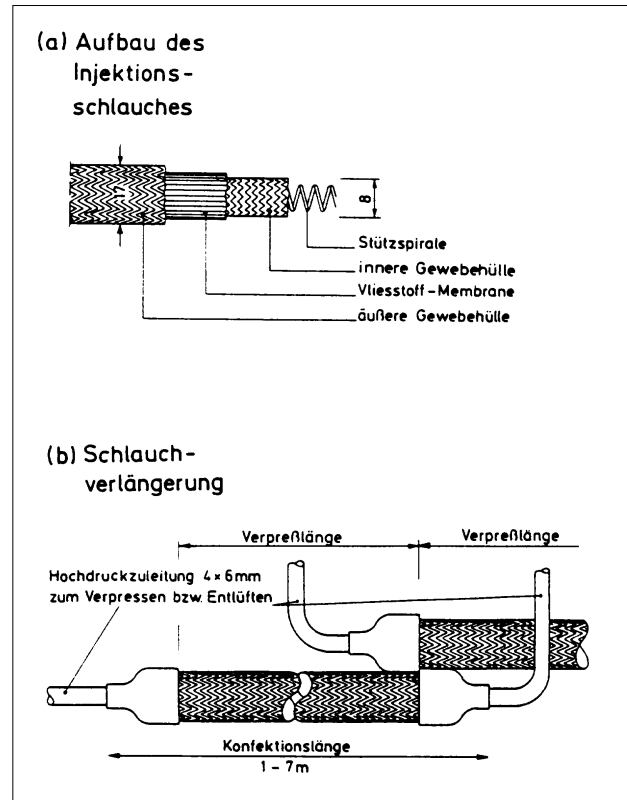


Bild 4.44 Injektionsschlauch, aus [4.49]

Die Injektionsschläuche werden je nach baulicher Situation in Längen von 1 bis 7 m gefertigt. An den beiden Enden sind Hochdruckzuleitungen für Füllung und Entlüftung angebracht, die an gut zugänglichen Stellen aus dem Beton herausgeführt werden. Die Schlauchkopplung erfolgt durch direkten Schlauchkontakt z.B. gemäss Bild 4.44b oder durch enges Zusammenführen (5 bis 10 cm) der Schläuche.

3. Manschettenrohre, [4.49]:

Ein speziell für Schlitzwandfugen entwickeltes Injektionssystem, das aber auch anderweitig einsetzbar ist, stellt das in Bild 4.45 wiedergegebene Manschettenrohr dar. Hierbei handelt es sich um biegesteife Kunststoffrohre (Aussen-Durchmesser 33 mm, Innen-Durchmesser 25 mm) mit besonderen Verpressventilen im Abstand von 30 cm, aus denen Injektionsmaterial austreten kann. Im Gegensatz zu normalen

Manschettenrohren, wie sie für Baugrundinjektionen verwendet werden, weisen die weiterentwickelten Manschettenrohre Verpressventile auf, die auch im einbetonierten Zustand voll funktionsfähig sind. Dies wird durch die zusätzliche äussere Manschette aus weichelastischem Material erreicht.

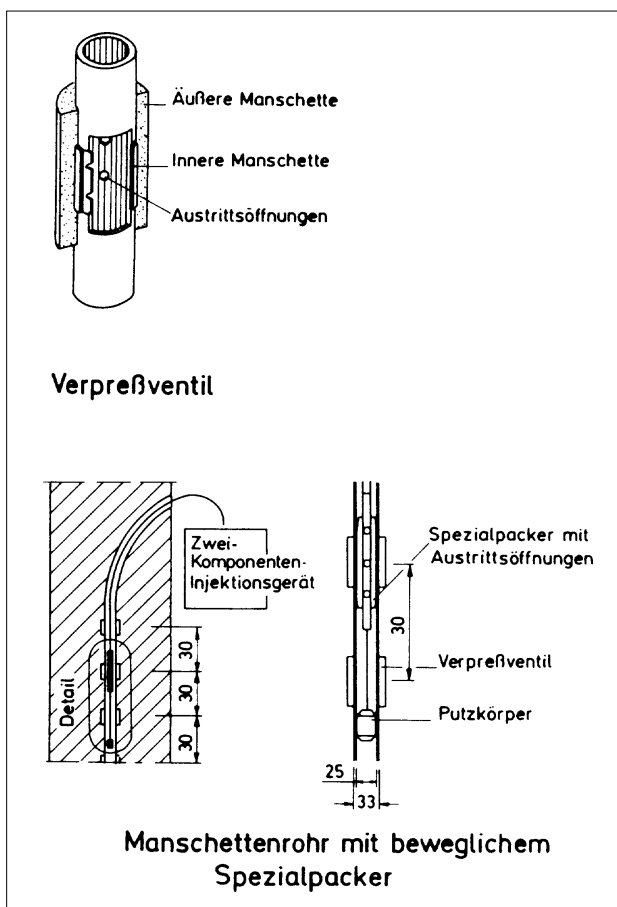


Bild 4.45 Manschettenrohr, aus [4.49]

Die Verpressung erfolgt über einen in das Manschettenrohr eingeführten Hochdruckschlauch mit einem beweglichen Spezialpacker. Damit werden die Verpressventile einzeln und nacheinander angefahren und örtlich verpresst. Die Verpressrohre selbst bleiben dabei frei von Verpressmaterial. Es ist somit sowohl eine bereichsweise Verpressung als auch eine Nachverpressung zu einem späteren Zeitpunkt möglich.

Wesentliche Vorteile dieses Systems sind:

- Örtliche Fehlstellen und Lecks können in mehreren Etappen mit jeweils begrenzter Injektionsmenge nach und nach abgedichtet werden.
- Der Verpressdruck wirkt jeweils nur über ein Verpressventil auf die Riss- bzw. Fugenfläche. Ein Aufweiten der Risse oder Fugen auch bei hohem Verpressdrücken ist so praktisch ausgeschlossen.

4. Wasserquellfähiges Elastomer-Fugenbandprofil, [4.49]:

In Japan werden zur Dichtung von Tübbing-Fugen quellfähige Elastomer-Fugenbandprofile eingesetzt (Bild 4.46). Das Material ist ein Chloropren-Kunstkautschuk, das mit einem bei Wasserzutritt quellenden Harz kombiniert ist. Durch Absorption von Wasser nimmt das Bandvolumen bis zum 10fachen zu und dichtet so die Fuge durch Anpressung an die Fugenflanken. Untersuchungen der STUVA haben ergeben, dass dieses Band im wesentlichen nur bei ständiger Lage im Wasser zufriedenstellend dichtet. Bei einer durch die Fugenkonstruktion begrenzten Volumenänderung erzeugt das Quellverhalten eine Dichtwirkung, die unter Laborbedingungen für Drücke bis zu 10 bar nachgewiesen wurde.

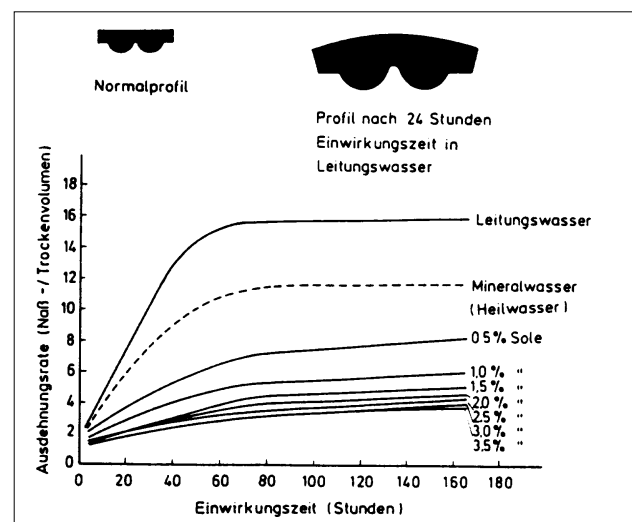


Bild 4.46 Ausdehnungsraten von Quell-Fugenbändern in wässrigen Lösungen in Abhängigkeit von der Einwirkzeit, aus [4.49]

4.5.5 Ersatz

Der Ersatz von Abdichtungssystemen ist möglich und üblich bei **Brückenfahrbahnplatten und funktionsähnlichen Konstruktionen wie Parkdecks**. Anhand einer Zustandsbeurteilung ist zu entscheiden, ob nur ein Teilersatz (z. B. Ersatz der Randabschlüsse) oder ein Gesamtersatz erforderlich ist.

Im übrigen ist auch der Hinweis wichtig, dass Abdichtungen oft beim Ersatz des Belages verletzt werden und deshalb ersetzt werden müssen.

Ein Teilersatz bringt in der Regel nur dann den Erfolg, wenn die vorhandene Abdichtung vollflächig oder zumindest teilweise verklebt ist. Bei schwimmenden Abdichtungen bringt eine teilweise Sanierung oft nicht das gewünschte Resultat, weil das eingedrungene Wasser sich grossflächig ausgebreitet haben kann, und die mitgeführten Tausalze bereits Schäden im Tragwerksbeton bewirkt haben können.

Die Planung des Ersatzes eines Abdichtungssystems ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, denn normalerweise müssen solche Arbeiten «unter Verkehr» durchgeführt werden. In [1.1] sind dazu entsprechende Hinweise vorhanden.

Auch in technologischer Hinsicht sind viele Gesichtspunkte zu beachten. Neben den Normanforderungen finden sich Hinweise dazu in [4.46] und [4.53].

Aufgrund von Korrosionsschäden an der Bewehrung von befahrenen Stahlbetondecken bei Einstellhallen und Parkhäusern zeigt sich seit einiger Zeit die klare Tendenz, solche Bereiche abzudichten. Dies drängt sich vor allem bei den Anlagen auf, die einen häufigen Fahrzeugwechsel und damit eine verstärkte Beaufschlagung mit Chloriden aufweisen. Hinweise zur Planung und Ausführung solcher Abdichtungen finden sich unter anderem in [4.61].

Der Ersatz von Abdichtungssystemen bei **erdüberschütteten Tragwerken** wie beispielsweise **Dächer von Einstellhallen, Galerien und Tagbautunnels** ist möglich, aber meistens mit recht grossem Aufwand verbunden. Gelingt es allerdings nicht, den Wasserzutritt von der zugänglichen Innenseite zu verhindern, dann bleibt dies die einzige Massnahme.

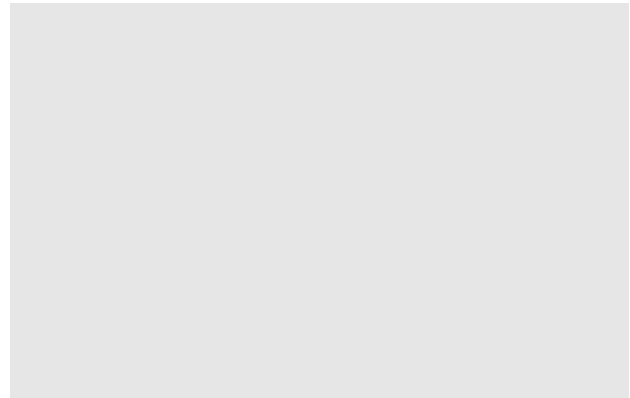


Bild 4.47 Ausführung eines neuen Randabschlusses bei einer Brückensanierung (Abdichtung PBD)

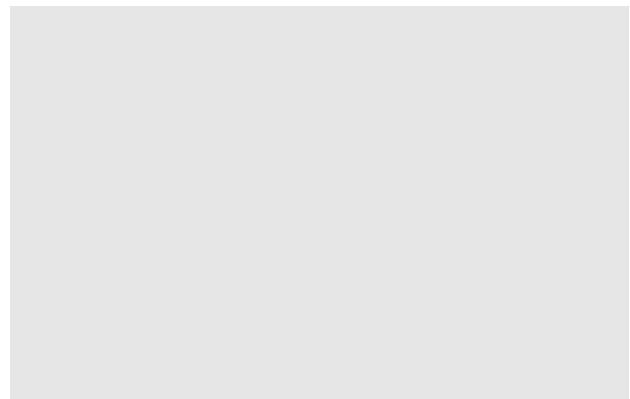


Bild 4.48 Ausführung einer neuen Brückenabdichtung (PBD)

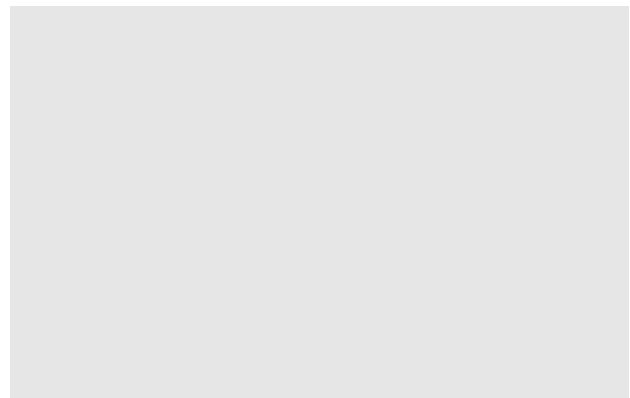


Bild 4.49 Ausführung einer neuen Brückenabdichtung mit Flüssigkunststoff (FLK)

5 Stahlbau

5.1	Allgemeines	102
5.2	Alterungs- und Schädigungsmechanismen	105
5.3	Arten von Korrosionsschutz	109
5.4	Überwachung und Unterhalt	114
5.5	Erneuerung	114

5 Stahlbau

5.1 Allgemeines

Die Stahlbauweise ist im Tief- und Ingenieurbau seit langer Zeit bekannt. So wurde in den Jahren 1777 bis 1779 die älteste eiserne Brücke, die gusseiserne Bogenbrücke über den Severn bei Coalbrookdale, England, erbaut, die noch heute ihren Dienst versieht (Bild 5.1), [5.1].

In der Folge gelangten auch in unserem Land unter anderem für den Bau von Brücken (Bild 5.2), Behälter, Hallenkonstruktionen die verschiedenartigsten Eisen- und Stahlsorten zur Anwendung:

- Gusseisen
- Schweisseisen (bis ca. 1890/92), auch Puddeleisen genannt (Achtung: trotz des Namens ist Schweisseisen nicht schweisssbar)
- «altes» Flusseisen, Thomas-Stahl
- Elektrostähle (Siemens/Martin, usw.)
- «neues» Flusseisen, «beruhigte» Stähle (St. 37.1, 37.2, 37.3)
- Stahlguss
- heutige Feinkornstähle (optimale Schweissbarkeit)
- Spezialstähle:
 - . sog. «wetterfeste» Baustähle (Typ «Corten», «Patinax», und ähnliche)
 - . nichtrostende Stähle [5.2]

Seit der Verwendung von Eisen und Stahl hat es sich gezeigt, dass dieser Werkstoff ohne besondere Massnahmen korrodiert [5.3]. Kohlenstoffreiche Arten wie Schweisseisen und Grauguss sind dabei weniger korrosionsanfällig.

Vor allem mit dem Zeitalter des Eisenbahnbaues kam das Bedürfnis nach Korrosionsschutzbeschichtungen auf. Die damals aus genieteten Guss- und Schweisseisen gebauten Brücken mussten vor Rost geschützt werden. So wurde bereits 1790 in England die erste Lackfabrik erstellt. Als aussichtsreichster Beschichtungsaufbau wurden lange Zeit ein oder zwei Grundanstriche aus Leinöl-Bleimennige, gefolgt von zwei oder mehr Deckbeschichtungen aus Leinöl-Graphit angesehen. Einen weiteren Markstein in der Geschichte des Korrosionsschutzes setzten die Engländer im Jahre 1940 mit der Entwicklung der ersten organischen Zinkstaubbeschichtung. Weil diese nur auf einer durch Sandstrahlen mechanisch gereinigten und aufgerauhten Stahloberfläche gut haften, schrieb kurz darauf die Royal Navy das Strahlen als universelle Oberflächenvorbereitung vor [5.4].

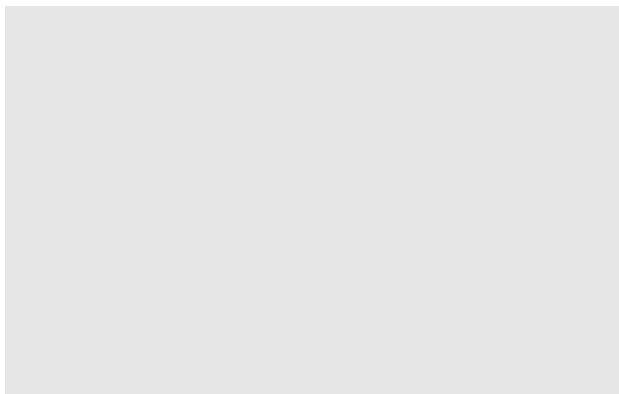


Bild 5.1 Gusseiserne Bogenbrücke über den Severn bei Coalbrookdale – Spannweite 30 m, aus [5.1]

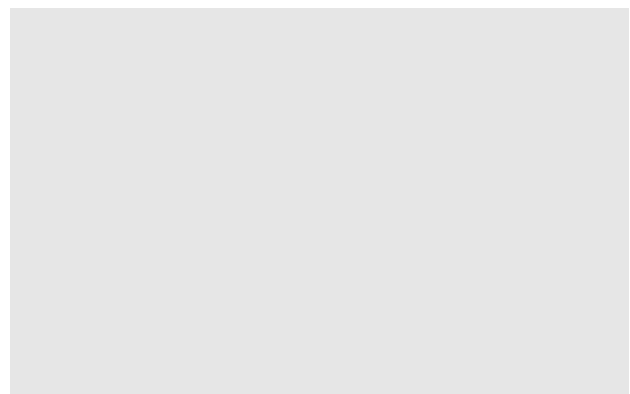


Bild 5.2 Kirchenfeldbrücke in Bern, vor kurzem instandgesetzt und teilerneuert

Auch in der Schweiz war Leinöl, versetzt mit den Pigmenten Bleimennige im Grund- und Eisenglimmer im Deckanstrich, während langer Zeit das verwendete Bindemittel. Es handelte sich dabei um eine einfache Lösung, die von jedem Maler ausgeführt werden konnte. Mit dem Auftauchen von neuen Beschichtungsstoffen auf dem Markt wurde der Oberflächenschutz von Stahl komplexer. Dies betraf vor allem die Untergrundvorbehandlung und die Härtingsbedingungen bei Zinkstaubgrundierungen.

Im Stahlbau ist die Notwendigkeit von Erhaltungsmassnahmen, insbesondere im Bereich des Korrosionsschutzes, frühzeitig erkannt worden. Bei allen der Witterung und andern schädigenden Einflüssen ausgesetzten Stahlkonstruktionen ist die Instandhaltung von grosser Bedeutung. Bei monumentalen Bauwerken wie beispielsweise dem Eiffelturm in Paris oder der Golden Gate Brücke in San-Francisco sind Arbeitsteams permanent damit beschäftigt. Beim letztgenannten Bauwerk wird der Korrosionsschutz zumindest seit den Vierzigerjahren kontinuierlich instandgehalten (Bild 5.3). Im Jahr 1968 wurde entschieden, die ursprüngliche Beschichtung aus Bleimennige durch eine anorganische Zinkstaubbeschichtung zu ersetzen. Es wurde ermittelt, dass das permanent eingesetzte Arbeitsteam von 39 Mann ungefähr 25 Jahre braucht, bis die alte Beschichtung vollständig ersetzt ist [5.5].

Während bei Stahlbetonbauwerken die Erkenntnis, dass diese Bauwerke auch unterhalten werden müssen, erst jüngeren Datums ist, hat also die Instandhaltung im Stahlbau bereits Tradition. Trotzdem ist auch hier ein technologischer Wandel festzustellen, unter anderem ausgelöst durch neue gesetzliche Bestimmungen zur Umweltverträglichkeit der verwendeten Materialien.

Die erste Empfehlung der Schweizerischen Zentralstelle für Stahlbau (SZS) zu diesem Thema erschien 1969 mit einem Umfang von 4 Seiten. Eine neu überarbeitete, B3 genannte Empfehlung mit total 31 Seiten Umfang gab die Zentralstelle im Jahre 1982 heraus. Bereits 8 Jahre später ist die neue **B3** als **SN Norm Nr. 555 001** erschienen [5.6]. Der Umfang mit Anhang und Stichwortverzeichnis beträgt 53 Seiten (Bild 5.4).

Diese stellt den aktuellen Stand der Technik dar. Sie trägt den Entwicklungen der Korrosionsschutztechnik im vergangenen Jahrzehnt sowie dem er-

weiterten Produktangebot Rechnung (z.B. feuchtigkeithärtende Polyurethane auf 1-Komponentenbasis, welche auch bei sehr ungünstigen Witterungsbedingungen aufgebracht werden können). Auch haben die Forderungen des Umweltschutzes und der Arbeitshygiene darin Eingang gefunden.

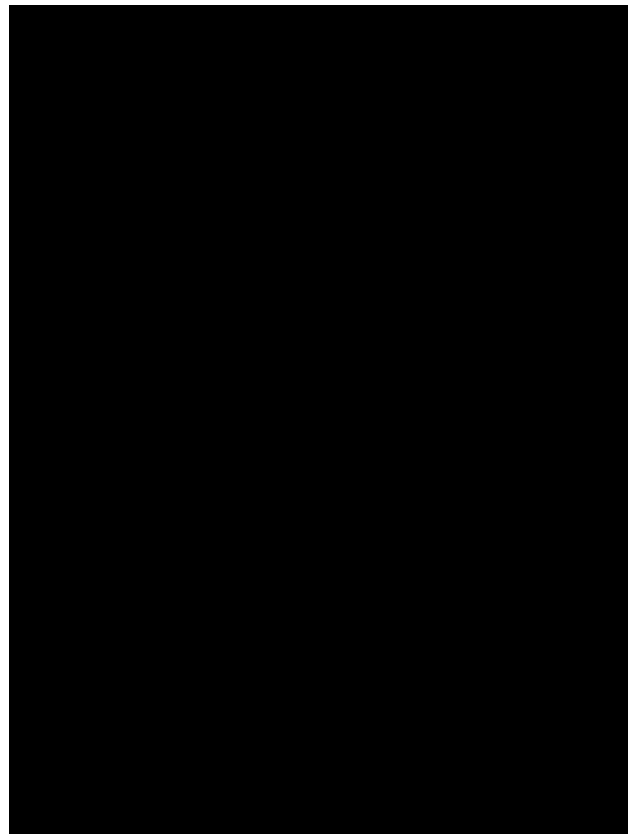


Bild 5.3 Golden Gate Brücke – Arbeiter mit dem Beschichten der Hängeseile beschäftigt, aus [5.5]

Schweizer Norm Norme suisse Norma svizzera Bauwesen 555 001	
INCE TRAGENE NORMA DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTREE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION	
B3	Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen
Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Überzüge Herausgegeben von der TK-SZS	
Inhaltsverzeichnis	
1. Einleitung	Seite
1.1 Geltungsbereich	5
1.2 Verständigung	5
2. Planung	Seite
2.1 Umwelteinflüsse und Belastung	11
2.2 Konstruktive Massnahmen	12
2.3 Bauprogramm	13
2.4 Gebräuchliche Beschichtungen und Überzüge	14
2.5 Verträglichkeit	16
2.6 Chemisch-physikalische Eigenschaften von Beschichtungen und Überzügen	18
2.7 Funktion und Aussehen der Oberfläche	20
2.8 Kosten und Unterhalt des Oberflächenschutzes	21
3. Ausführung und Prüfung	Seite
3.1 Vorbereitung der Metalloberfläche	23
3.2 Qualität der Beschichtungsmaterialien und Überzugsmaterialien	25
3.3 Applikation von Beschichtungen und Überzügen	25
3.4 Schichtdicke, Haftfestigkeit, Porenfreiheit	28
3.5 Ausbesserungen	31
4. Leistung und Lieferung	Seite
4.1 Empfehlungen für Vertrags- und Lieferbedingungen	33
4.2 Abnahme und Mängelrügen	35
5. Erneuerung	Seite
5.1 Zustandsüberprüfung	39
5.2 Entscheidungskriterien	39
5.3 Ausführung	40
5.4 Spezialprobleme	40
5.5 Erneuerung von metallischen Überzügen und Duplex-Systemen	41
6. Anhang	Seite
6.1 Normen und Richtlinien	43
6.2 Stichwort-Verzeichnis	48
1990	Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau Seefeldstrasse 25, 8034 Zürich, Telefon 01/261 89 80

Bild 5.4 Titeltitel und Inhalt der neuen Schweizer Norm SN 555 001, B3

Im Geltungsbereich dieser Norm, die für den planenden und ausführenden Ingenieur zu den Arbeitsmitteln gehört, steht folgendes:

«Die vorliegende Norm ist als Einführung in das Gesamtthema des Oberflächenschutzes von Stahlkonstruktionen und als Anleitung für ein angemessenes Vorgehen zu verstehen. Der zweckmässige Oberflächenschutz kann aufgrund dieser Norm durch die am Bau Beteiligten festgelegt werden, wobei Anforderungen, Schutzdauer und allenfalls ästhetische Funktionsdauer mit dem Nutzungsplan gemäss Norm SIA 160 übereinstimmen müssen. Die vorliegende Norm dient den Bauplanern und den Unternehmern auch als Grundlage zur Vertragsaufbereitung.

Die vorliegende Norm dient zur Sicherung der funktionsbedingten Qualität des Oberflächenschutzes. Die Qualitätssicherungs-Massnahmen sind in den einzelnen Kapiteln aufgeführt.

Im Stahlbau weniger häufig angewendete Oberflächenschutzbehandlungen, z.B. kontinuierliche Verfahren zur Herstellung von metallischen Überzügen, elektrolytische Verfahren, Pulverbeschichtungen, Einbrennbehandlungen, Thermospritzverfahren und Dickschichtsysteme, sind hier nicht oder nur am Rande berücksichtigt.»

Da die B3 überdies auch das Thema der Erneuerung des Oberflächenschutzes behandelt, kann sich die vorliegende Dokumentation darauf beschränken, in den nachfolgenden Abschnitten zusätzliche Information wiederzugeben. Wenn im Einzelfall hier Teile aus der Norm aufgenommen wurden, so mit dem Ziel, die Lesbarkeit dieses Abschnittes zu gewährleisten.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass die B3 Oberbegriffe verwendet, die zum Teil von denjenigen der Empfehlung SIA 169 (1987) abweichen. Die Unterschiede sind in Bild 5.5 dargestellt.

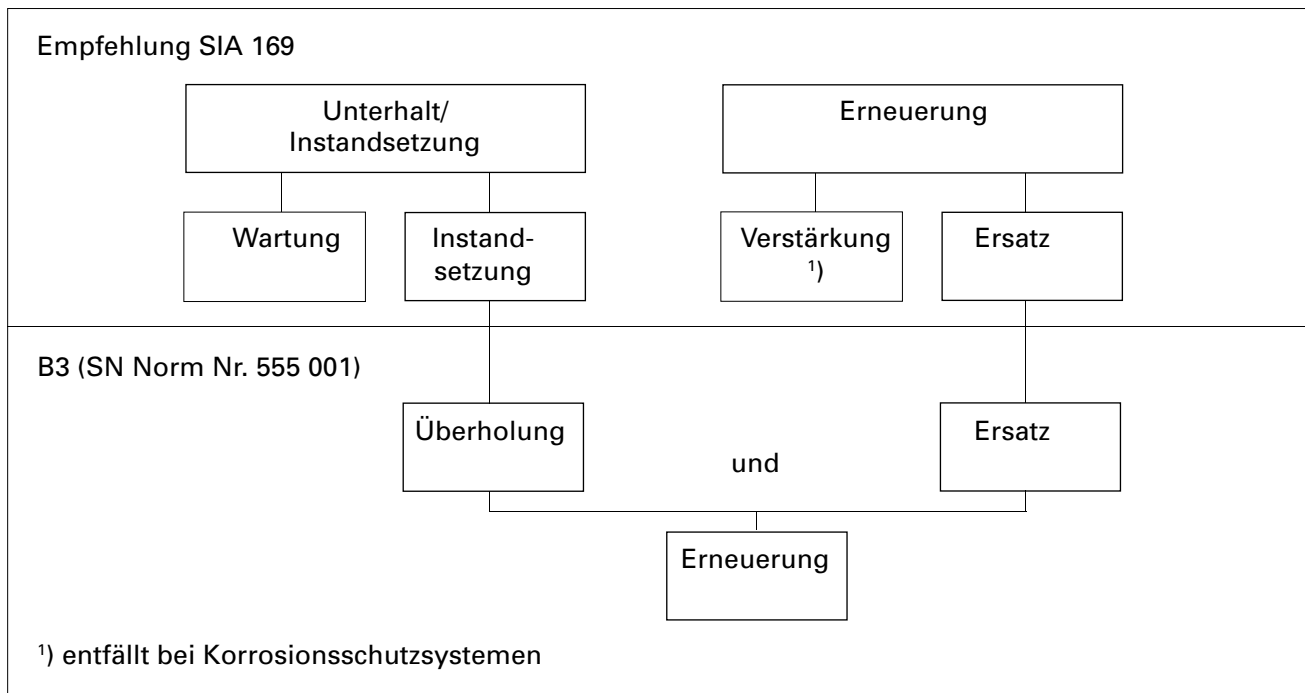


Bild 5.5 Unterschiede in den Oberbegriffen zwischen der Empfehlung SIA 169 (1987) und der B3 (1990) angewendet auf den Korrosionsschutz

5.2 Alterungs- und Schädigungsmechanismen

Die grundsätzlichen Hinweise zu den Alterungs- und Schädigungsmechanismen, wie sie für alle Baustoffe gelten, sind in Abschnitt 2.3 enthalten. Zur Korrosion von Stahl braucht es Wasser und ein Oxydationsmittel. In neutralen bis alkalischen Angriffsmitteln wirkt der Sauerstoff als Oxydationsmittel (Bild 5.6).

In Abwesenheit von Sauerstoff und/oder Wasser findet keine Korrosion statt. Dagegen kann Stahl in Kontakt mit sauren Angriffsmitteln auch ohne Luft-Sauerstoff korrodieren.

Wie das Bild 5.7 zeigt, beginnt die Korrosion von Stahl bei relativen Luftfeuchtigkeiten um 60%, in

Gegenwart von Chloriden schon bei tieferen Werten.

Eine ständig trockene Stahloberfläche korrodiert praktisch nicht. Je länger eine Oberfläche feucht bleibt und je mehr aggressive Bestandteile im Kondenswasserfilm vorhanden ist, desto rascher korrodiert der Stahl. Hygroskopisch wirkende Salze oder kondensierende Luftfremdstoffe fördern die Bildung eines solchen Films. Auch Wärmebrücken haben diese Wirkung. Typische Beispiele für Schadstoffe sind Schwefelsäure bzw. Sulfat aus Rauchgasen sowie Chloride aus Tausalzen.

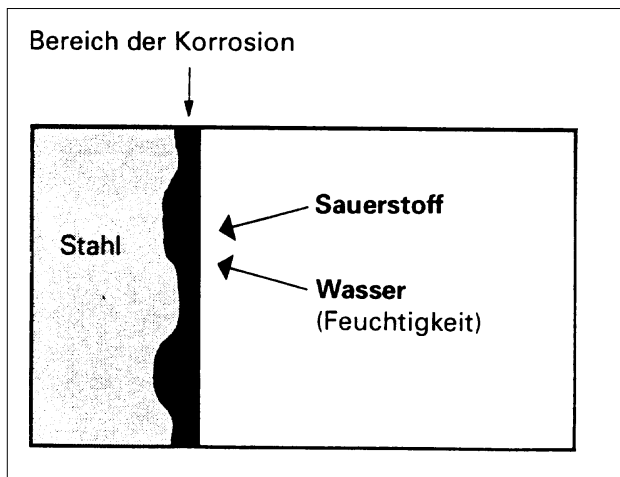


Bild 5.6 Korrosion durch Wasser und Sauerstoff, aus [5.6]

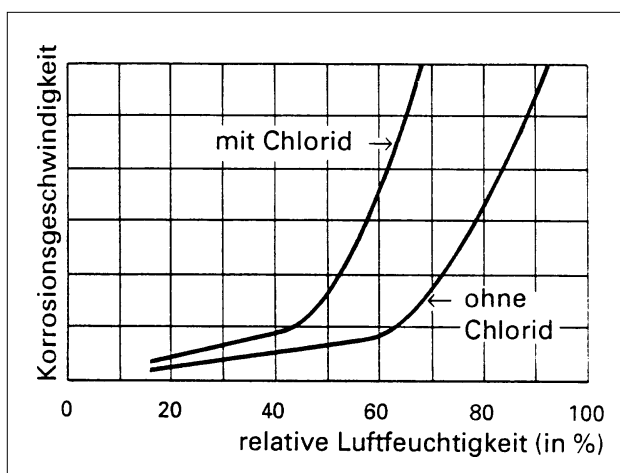


Bild 5.7 Korrosionsgeschwindigkeit von Stahl in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit und der Anwesenheit von Chloriden, aus [5.6]

Bei aktiven Metallen, wie Stahl und verzinktem Stahl, findet die Korrosion auf der ganzen exponierten Metalloberfläche statt. Der Abtrag verläuft mehr oder weniger flächenhaft.

Passive Metalle, wie beispielsweise Chromnickelstahl und Aluminium, sind üblicherweise durch eine passivierende Schicht vor Korrosion geschützt. Die Korrosion beginnt erst, wenn diese Schicht örtlich zerstört ist, zum Beispiel durch Chloride. Der Korrosionsangriff erfolgt in der Regel nur an wenigen Stellen der Metalloberfläche und kann unbemerkt zum Versagen eines Tragelements führen. Für den Einsatz von nichtrostenden Stählen siehe [5.2]. Das unterschiedliche Verhalten ist in Bild 5.8 dargestellt.

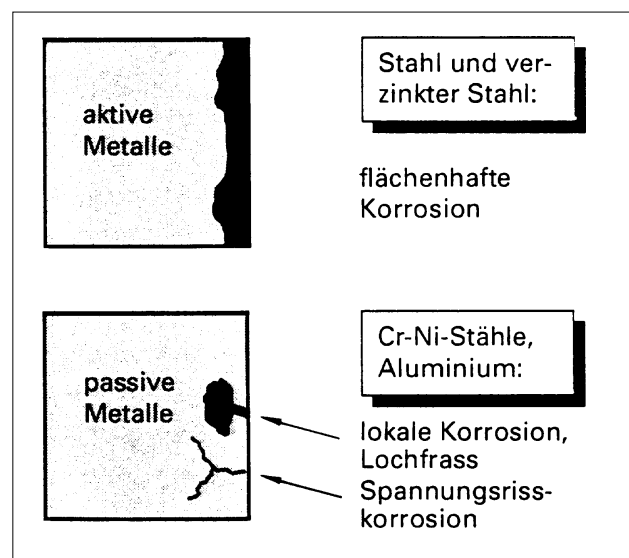


Bild 5.8 Unterschiedliches Korrosionsverhalten von aktiven und passiven Metallen, aus [5.6]

Zur Definition der Umwelteinflüsse wird zwischen **Orts- und Kleinklima** unterschieden.

Als **Ortsklima (Makroklima)** wird die Art der Atmosphäre am Standort des Bauwerks bezeichnet. Dabei werden die zwei Haupttypen, normale und aggressive Atmosphären unterschieden.

Die Korrosivitätsklasse eines Ortsklimas wird durch jährliche Abtragsraten an freibewitterten Metallwendeln nach DIN 50917 festgelegt. Für Eisen und Zink gelten dabei die Werte der Tabelle 5.1.

Korrosivitätsklasse	1	2	3	4	5
Abtragsrate Eisen	≤ 20	≤ 40	≤ 60	≤ 80	> 80
in $\mu\text{m}/\text{Jahr}$ Zink	$\leq 1,25$	$\leq 2,25$	$\leq 3,25$	$\leq 4,25$	$> 4,25$

Tab. 5.1 Definition der Korrosivitätsklassen des Ortsklimas
Die Messwerte aus sieben ländlichen und städtischen Standorten der Schweiz (Sitten bis Basel) ergeben jährliche Abtragsraten von 18...37 μm Eisen und 1,15...2,65 μm Zink (Stand 1989).

Die Tabelle 5.2 dient dem Verständnis der Definition des Ortsklimas.

Haupttyp	Korrosivitätsklasse	Beschreibung	bisheriger Atmosphärentyp
normale Atmosphäre	1 und 2	Geringe Korrosionsbelastung: Atmosphäre ohne nennenswerten Gehalt an Schwefeldioxid und anderen Schadstoffen: z. B. ländliche Gebiete und Kleinstädte.	Land
	2 und 3	Mässige Korrosionsbelastung: Atmosphäre mit mässigen Gehalten an Schwefeldioxid und anderen Schadstoffen: z. B. dichtbesiedelte Gebiete ohne starke Industrieansammlungen.	Stadt
aggressive Atmosphäre	3 bis 5	Starke Korrosionsbelastung: Atmosphäre mit hohen Gehalten an Schwefeldioxid und anderen Schadstoffen: z. B. Ballungsgebiete der Industrie und Bereiche, die in der Hauptwindrichtung solcher Gebiete liegen.	Industrie
	4 und 5	Sehr starke Korrosionsbelastung: Atmosphäre durch besonders korrosionsfördernde Schadstoffe (z. B. Chloride) verunreinigt und/oder mit ständig hoher Luftfeuchtigkeit: z. B. über dem Meer und im unmittelbaren Küstenbereich.	Meer

Tab. 5.2 Zuordnung von Ortsklima und Atmosphärentyp

Die Abtragsraten für Eisen und Zink in Tabelle 5.1 sind der Norm DIN 50917 entnommen. Seit 1985 werden in der Schweiz im Rahmen des Projekts «Nabel» (**N**ationales **B**eobachtungsnetz für **L**uft-fremdstoffe) an sieben ländlichen und städtischen Standorten systematisch die Abtragsraten von fünf Metallen registriert. Dabei kommen regionale Unterschiede bereits deutlich zur Geltung. So sind die Abtragsraten bei den Standorten Basel, Lugano und Zürich einiges grösser als bei den ländlichen in Payerne und Tänikon. Die tiefsten Werte werden in Sitten festgestellt; der Grund dafür liegt im Trocknungseffekt des Windes im Rhonetal. Gemäss Stand 1989 variieren die jährlichen **Abtragswerte für Eisen von 18 bis 37 μm und für Zink von 1.15 bis 2.65 μm** . Sie entsprechen damit den Korrosivitätsklassen 1 und 2/3 nach DIN, d.h. **geringe oder mässige Korrosionsbelastung**.

Mit diesen gemessenen Werten stehen dem projektierenden Ingenieur erstmals regionale Werte zur Verfügung, die eine Berechnung der Lebensdauer bzw. der Nutzungsdauer möglich macht. Die Dauer bis zum totalen Abtrag einer Verzinkungsschutzschicht von beispielsweise 100 mm Dicke beträgt bei gleichbleibenden äusseren Bedingungen und ohne örtlich erhöhte aggressive Einflüsse:

in Sitten $\frac{100 \mu\text{m}}{1.15 \mu\text{m}} = \text{ca. 70 Jahre}$

in Basel $\frac{100 \mu\text{m}}{2.65 \mu\text{m}} = \text{ca. 39 Jahre}$

Die errechneten Werte sind nicht mit der Lebensdauer der Schutzschicht gleichzusetzen; der Korrosionsvorgang beginnt bereits früher, weshalb eine wirkungsvolle Erneuerung beispielsweise für städtische Bereiche nach ungefähr 2/3 der angegebenen Zeitspannen erforderlich wird. Im übrigen erscheint die für städtische Gebiete errechnete Zeitspanne von ca. 39 Jahren erfahrungsgemäss als zu optimistisch. Erfahrungen aus Zürich lassen eher auf 20 bis 30 Jahre schliessen.

Als **Kleinstklima (Mikroklima)** werden die Einflüsse bezeichnet, die im Nahbereich einer Stahlkonstruktion oder unmittelbar am einzelnen Bauteil wirksam sind.

Das Kleinstklima wird durch folgende Faktoren bestimmt:

- Relative Luftfeuchtigkeit, Luft- und Oberflächen-temperatur
- Bewitterung (direkt bewittert oder vor der Bewitterung geschützt)
- Örtlich erhöhte aggressive Einflüsse.

Örtlich erhöhte aggressive Einflüsse mit entsprechender Korrosionsbelastung sind beispielsweise in folgenden Bereichen zu beachten:

- Untersicht einer Brücke über einem Gewässer
- Bereich der Kondenswasserbildung an Wärmebrücken
- Spritzwasserzonen
- Bereich des von Betonbauteilen abfliessenden Regenwassers
- Bauwerke mit Salzsprühbeanspruchung
- Nahbereich einer Heizerei
- Zonen mit Ablagerungen von schädlichen Stoffen (Luftverschmutzung, Chemikalien, Exkremente usw.)
- Stellen mit elektrochemischen Einflüssen (Potentialdifferenzen, Streuströme).

Die Einflüsse des jeweiligen Mikroklimas sind bei der Planung der Bauteile zu berücksichtigen, was guter Detailkenntnisse bedarf.

Abschliessend sei erwähnt, dass in der Schweiz die Stahlkorrosion nach Schätzung von Fachleuten jedes Jahr ungefähr fünf Milliarden Franken kostet. Der Anteil des Stahlbaus an dieser Summe ist allerdings sehr klein.

5.3 Arten von Korrosionsschutz

Wie in Bild 5.9 dargestellt, bestehen folgende Möglichkeiten um den Stahl vor Korrosion zu schützen:

- Oberflächenschutz
- Legieren des Stahls
- Ändern der Umwelteinflüsse

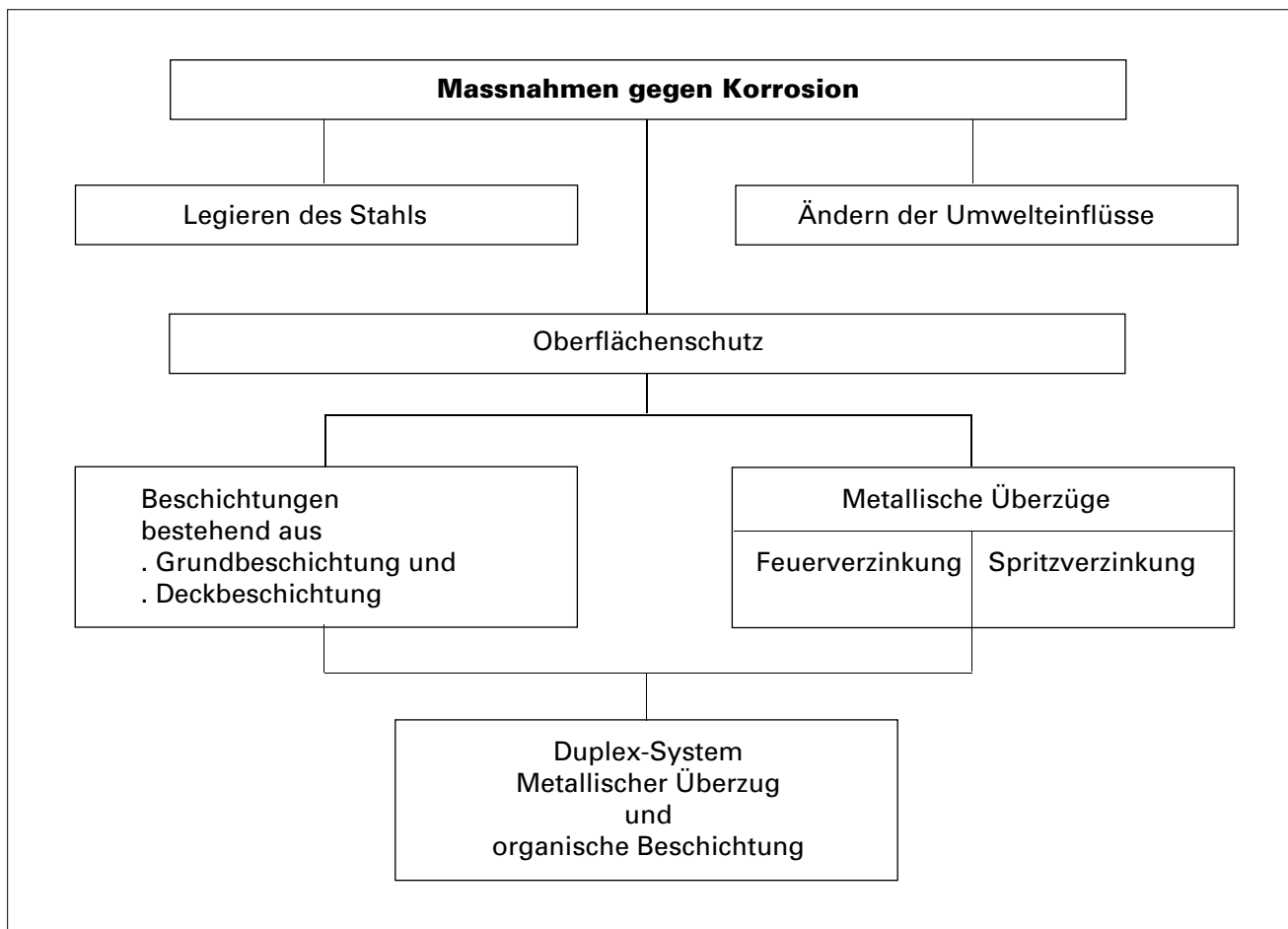


Bild 5.9 Gliederung der Massnahmen gegen Korrosion des Stahls

Oberflächenschutz

Als Grundlage für den üblichen Oberflächenschutz von Stahlkonstruktion dient die erwähnte Norm B3. Daraus ist nachfolgend die Tabelle der gebräuchlichen Beschichtungen und Überzüge wiedergegeben (Tabelle 5.3). Bei den Beschichtungen wird unterschieden zwischen der Grundbeschichtung, welche als Verbindung zwischen dem Untergrund und der darüberliegenden Deckbeschichtung sowie als eigentlicher Korrosionsschutz dient, und der Deckbeschichtung, die auf die darunterliegenden Schichten abgestimmt sein muss und dem Beschichtungsaufbau die geforderten Oberflächeneigenschaften, wie Farbton, Glanzgrad, Struktur und Beständigkeit gegen äussere Einflüsse gibt.

Die in Tabelle 5.3 aufgeführten Grundbeschichtungen und Überzüge sind mit ihren «Codes» gekennzeichnet. Diese entsprechen den folgenden Produkten:

P1	1K-Zinkphosphat-Grundbeschichtung
P2	2K-Zinkphosphat-Grundbeschichtung
M1	1-K-Bleimennige- oder Bleisilikochromat-Grundbeschichtung
M2	2K-Bleimennige-Grundbeschichtung
Z1	1K-Zinkstaub-Grundbeschichtung
Z2	2K-Zinkstaub-Grundbeschichtung
ZS	Zinkstaub-Silikat-Grundbeschichtung
F	Feuerverzinkungs-Überzug
S	Spritzverzinkungs-Überzug

Die «Codes» für die Bindemitteltypen sind wie folgt:

1K	Einkomponenten-(Bindemittel)
2K	(Zweikomponenten-(Bindemittel)
FH	feuchtigkeithärtend (Luftfeuchtigkeit als zweite Komponente)

Fussnoten zu Tabelle 5.3:

- (2) *Aus Gründen des Umweltschutzes sind bleihaltige Grundbeschichtungen auf jene Fälle zu beschränken, wo Oberflächenvorbereitung, Verträglichkeit und Applikationsmöglichkeiten keine Alternativprodukte erlauben. Der Spritzauftrag von bleimennigen Grundbeschichtungsstoffen ist zu vermeiden.*
- (3) *Bei örtlich zu erwartender Kondenswasserbildung ist eine Deckbeschichtung in den davon betroffenen Zonen notwendig.*
- (4) *Oberflächen-Vorbereitungsgrad Sa 1/2 erforderlich.*
- (5) *Die erforderliche Rauheit und Struktur der Stahloberfläche ist in der Regel nur mit mineralischem Strahlmittel erreichbar. Die Rauheit der gestrahlten Oberfläche wird nach ISO 8503-2 bestimmt. Empfohlen wird eine Rauheit gröber als Segment 1 aber weniger grob als Segment 4, entsprechend der Einteilung «mittel» bis «grob».*
- (6) *Die Mindestschichtdicke von 60 µm für ZS-Beschichtungen ist ausreichend. Die Maximalschichtdicke von 130 µm sollte wegen Rissgefahr nicht überschritten werden.*
- (7) *Mindestdicken nach SN 237 240.*
- (8) *Je nach der gewünschten Schutzdauer und der zu erwartenden Abtragsrate sind, unter Berücksichtigung der Erneuerungsaufwendungen, Deckbeschichtungen erforderlich. Bei bewitterten Konstruktionen beträgt die jährliche Abtragsrate 1...5 µm für die Korrosivitätsklassen 1 bis 3.*
- (9) *Reinigung nur mit mineralischem Strahlmittel zulässig.*
- (10) *Porenverschluss und zusätzliche Beschichtung erforderlich.*
- (11) *Hierzu werden üblicherweise Dickbeschichtungen eingesetzt. Gewisse Dickschichtsysteme können auch ohne eigentliche Grundbeschichtung direkt auf die gereinigte Stahloberfläche appliziert werden.*

Grundaufbau			Einsatzbereich			
Code	Mindestschichtdicke	Oberflächen-vorbereitungsgrad	A Innen, trocken, unter 70 % rel. Feuchtigkeit, ohne Kondens- wasser	B Innen, feucht, mit gelegent- licher Kondens- wasserbildung, oder aussen unter Dach	C Aussen, bewittert	D Innen und aussen, dauernd wasserbelastet
P1 und P2 (2)	30 µm	Sa 2				
P1 und P2 (2)	60 µm	Sa 2	3			
M1 (2)	60 µm	Sa 2 oder St 3				
M2 (2)	60 µm	Sa 2 oder St 3				4
Z1	30 µm	Sa 2 1/2	3			
Z1	60 µm	Sa 2 1/2				
Z2	30 µm	Sa 2 1/2	3			
Z2	60 µm	Sa 2 1/2				
ZS	60 µm	Sa 2 1/2 (5)		6	6	
F	(7)	Beizen	3	8	8	
S	50 µm	Sa 3 (9)		10	10	10
Mindestschichtdicke der Gesamtbeschichtung			30 bzw. 60 µm	90 µm	120 µm	300 µm (11)

Deckbeschichtung erforderlich

Deckbeschichtung nicht erforderlich

Unüblich oder ungenügend

Tab. 5.3 Gebräuchliche Beschichtungen und Überzüge bei Korrosivitätsklasse 1...3 (normale Atmosphäre ohne örtlich erhöhte aggressive Einflüsse, aus [5.6])

Die Fussnoten (2) bis (11) befinden sich nebenstehend, aus [5.6]

Neben einem guten Oberflächenschutz sind auch konstruktive Massnahmen wichtig, um eine ausreichende Dauerhaftigkeit zu erzielen. Auch dazu enthält die B3 die zu beachtenden Grundsätze, beispielsweise auch zum Korrosionsschutz der Verbindungsmittel. Dieser hat in seiner Qualität dem Korrosionsschutz der Konstruktion zu entsprechen. Elektrolytisch verzinkte Verbindungsmittel sollten eine zusätzliche Beschichtung erhalten, bei feuerverzinkten Verbindungsmitteln kann fallweise darauf verzichtet werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung nichtrostender Stähle.

Legieren des Stahles

Durch das Legieren des Stahles wird das baustoffeigene Schutzvermögen gegen Korrosion erhöht. Es sind folgende Möglichkeiten vorhanden:

- nichtrostende Stähle (Chrom, Nickel) und
- sogenannter wetterfester, gekupferter Stahl (Typ «Corten», «Patinax» usw.)

Die nichtrostenden Stähle sind teuer und kommen im Stahlbau in der Regel nur bei den Verbindungsmitteln zur Anwendung.

Der sogenannte wetterfeste Stahl ist in der Schweiz vor allem im Brückenbau zur Anwendung gekommen. In bezug auf Erfahrungen sei auf die Literatur verwiesen, z.B. [5.12].

Ändern der Umwelteinflüsse

Es ist in der Regel nicht möglich, die schädigenden Umwelteinflüsse zu ändern. Im Einzelfall kann allerdings das Mikroklima günstig beeinflusst werden. Wie in Abschnitt 5.2 gezeigt, tritt bei ständig trockenen Stahloberflächen keine Korrosion auf. Dieses einfache Prinzip kann aus verständlichen Gründen in unseren Breitengraden mit meistens hoher relativer Luftfeuchtigkeit und den üblichen Konstruktionsarten nur in Sonderfällen angewendet werden. Auf einen solchen Fall sei nachfolgend kurz hingewiesen. Es handelt sich um die Stahlüberbauten der insgesamt über 3 km langen Farø-Brücken in Dänemark (Bild 5.10). Hier haben sich die Überlegungen zum Korrosionsschutz und zu dessen Erhaltung vor allem in bezug auf die Kosten mitentscheidend für die Querschnittswahl des

Überbaues ausgewirkt [5.10]. Die Kosten für den Korrosionsschutz sind bei Stahlbrücken ein wesentlicher Teil der Gesamtkosten. Sie belaufen sich in der Regel auf ungefähr 10 Prozent der Überbaukosten. Bei den Erhaltungskosten des Überbaus beträgt der Kostenanteil der Korrosionsschutzmassnahmen bis zu 50 Prozent.

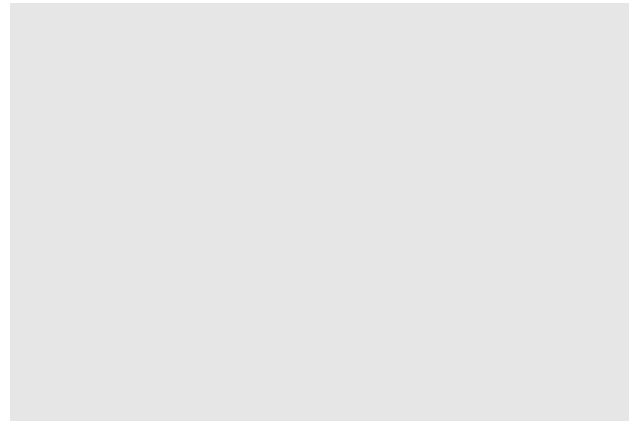


Bild 5.10 Luftaufnahme der Farø-Brücken, aus [5.11]

Wie in Bild 5.11 gezeigt, erweist sich der Kastenträger als kostengünstig, wenn die Innenflächen mit den unzähligen Aussteifungsblechen **ungestrichen** bleiben können und wenn der Korrosionsschutz mittels kontinuierlicher **Luftentfeuchtung** gewährleistet wird.

Dieses untraditionelle Konzept wurde im übrigen erstmals 1970 bei der Hängebrücke über den Kleinen Belt ebenfalls in Dänemark angewendet. Die bisherigen Erfahrungen sind überaus positiv.

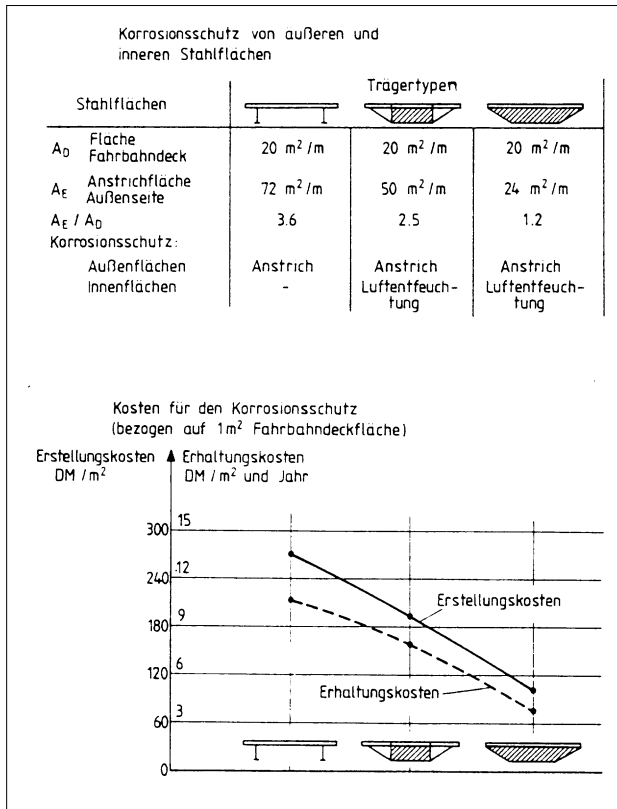


Bild 5.11 Korrosionsschutz von äusseren und inneren Stahlflächen bei verschiedenen Querschnittstypen: Stahlflächen und Kosten. Der letzte Querschnitt wurde für die Farø Brücken gewählt. Von den insgesamt 400'000 m² Stahloberfläche liegen ca. 320'000 m² im Kasteninnern und werden mittels Luftentfeuchtung korrosionssgeschützt; nur die restlichen 80'000 m² Aussenflächen erfordern einen Anstrich. Im Diagramm sind die Kosten für den Korrosionsschutz bei der Erstellung und im Betrieb über eine lange Periode von 50 bis 100 Jahren angegeben, bezogen auf 1 m² Brückenfahrbahnfläche, aus [5.10].
Bemerkung: Die Resultate sind nicht direkt auf andere Fälle übertragbar. Insbesondere ist damit die Wirtschaftlichkeit der in der Schweiz üblichen Verbundbauweise nicht in Frage gestellt.

Auch bei den Farø-Brücken wurde diese Lösung gewählt. Während die Aussenflächen mittels einer Grundbeschichtung aus Zinkethylsilikat und 3 bis 4

Chlorkautschukbeschichtungen traditionell geschützt sind, zirkuliert im ungestrichenen Kasteninnern entfeuchtete Luft (Bild 5.12). Die Luftentfeuchtung erfolgt durch hygroskopische Filter. Frische Luft wird nur in dem Umfang neu eingeführt, als es der Druckausgleich zwischen Aussen- und Innenatmosphäre erfordert, sowie im Falle einer Inspektion zur Verbesserung der Luftqualität im Kasten.

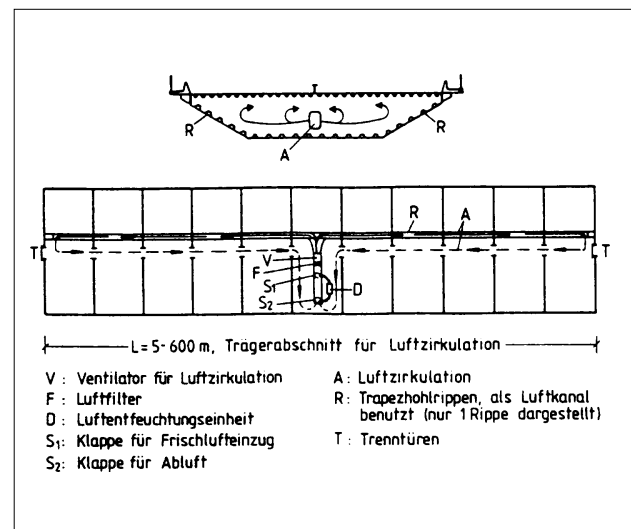


Bild 5.12 Entfeuchtungs- und Zirkulationssystem im Kasteninnern, aus [5.10]

Im gesamten Trägerbereich sind 6 Entfeuchtungsanlagen eingebaut. Die Stahlkästen in den Pylonköpfen der Schrägseilbrücke, welche die Verankerungen der Schrägseile aufnehmen, sind ebenfalls durch kleine Entfeuchtungsanlagen im Innern korrosionssgeschützt.

Dieses innovative Konzept wird in Sonderfällen auch angewendet für den temporären und permanenten Korrosionsschutz von Spanngliedern. Im übrigen ist dessen Anwendung auch im Stahlbetonbau bei der Entfeuchtung von Hohlräumen und damit zur Verhinderung weiterer Korrosion der Bewehrung möglich.

Kathodischer Korrosionsschutz

Dieses Verfahren wird in unserem Land unter anderem bei erdverlegten Rohrleitungen und Behältern zum Transport und Lagerung von sicherheits- und umweltgefährdenden Medien angewendet. Auf eine eingehende Behandlung dieser Schutzart wird hier verzichtet. Weitergehende Angaben finden sich in der Literatur und in Richtlinien [5.7 bis 5.9].

Abschliessend zu diesem Abschnitt sei noch auf die in den letzten Jahren stark gestiegene Bedeutung der **Farbgebung von Stahloberflächen** hingewiesen. Wie in Bild 5.12 dargestellt, erhält der Oberflächenschutz damit eine doppelte Funktion. Dies beinhaltet die Gewährleistung des Korrosionsschutzes und der **ästhetischen Anforderungen**, und je nach dem, sprechen wir von der **Schutzdauer** und von der **ästhetischen Funktionsdauer**.

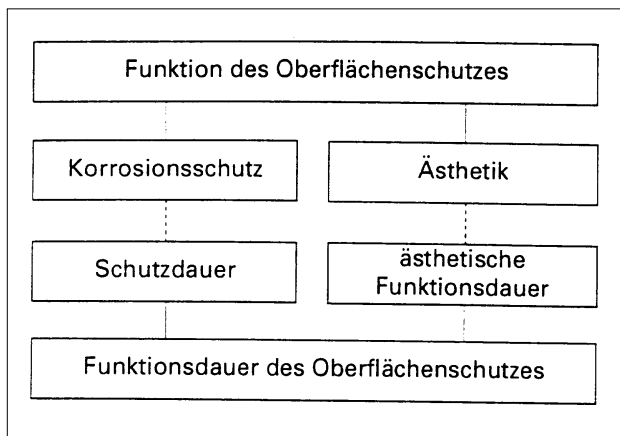


Bild 5.12 Funktionen des Oberflächenschutzes, aus [5.6]

Bei einem Stahlbauteil, der weitgehend oder ausschliesslich eine ästhetische Funktion erfüllt, wie beispielsweise sichtbare Stahlteile bei einem Geschäftshaus, ist die Funktionsdauer des Anstriches massgebend. Diese ist in der Regel dann beendet, wenn mit blossen Auge von einem typischen Beobachtungsabstand die ersten störenden Veränderungen an der Oberfläche zu erkennen sind. Die ästhetische Funktionsdauer eines Oberflä-

chenschutzes ist meist wesentlich kürzer als seine Schutzdauer (für weitere Angaben siehe [5.6]).

Die gestiegenen Ansprüche an das Aussehen von Stahlkonstruktionen haben neben andern Gründen zur Entwicklung des Duplex-Systemes geführt, bei der die Feuerverzinkung mit einer organischen Beschichtung von gewünschter Farbe ergänzt wird. Diese Beschichtung hat zudem zur Folge, dass dadurch der Abtrag der Zinnschicht verzögert wird. Hellere Farben bedeuten dabei in der Regel kürzere Funktionsdauer als bei dunklen Farben. Mit andern Worten: für die gleiche Funktionsdauer muss bei helleren Farben die Schichtdicke erhöht werden (z.B. von 80 µm auf 150 µm).

5.4 Überwachung und Unterhalt

Insbesondere bei bewitterten und bei aggressiven Einflüssen ausgesetzten Stahlbauteilen, ist der Oberflächenschutz periodisch zu überwachen und zu unterhalten. Die Überwachungsintervalle sind dem Alter des Oberflächenschutzes, der Beanspruchung und dem Risiko beim Versagen der Schutzfunktion anzupassen. Bei normaler Belastung soll eine Überprüfung alle 5 bis 6 Jahre vorgenommen werden.

Systematische Überwachung und Unterhalt (z.B. Reinigen) verlängern die Schutzdauer. Die damit betrauten Fachleute müssen in der Lage sein, Schwachstellen aus Planung, Ausführung und örtlich erhöhter Belastung zu erkennen und zweckmässige Massnahmen zu treffen.

Detaillierte Hinweise zu Untersuchungstechniken und zur Zustandsüberprüfung sind in [1.2] und in der B3 enthalten.

5.5 Erneuerung

Es liegen die folgenden ungefähren Erfahrungswerte für die Erneuerungsperioden der Oberflächenschutzsysteme vor:

- Konstruktion im Freien (z.B. Brücken):
20 bis 25 Jahre
- überdeckte Konstruktionen (z.B. offene Hallen, Perrondächer):
30 bis 40 Jahre

- Konstruktionen im Inneren:
bis zu 50 Jahre und mehr

Wie Bild 5.5 zeigt, wird bei der Erneuerung im Stahlbau zwischen **Überholung** und **Ersatz** unterschieden, wobei diese in beiden Fällen sowohl örtlich als auch vollflächig erfolgen können.

Die B3 definiert die beiden Begriffe wie folgt:

- **Überholung:** auf den bestehenden Beschichtungen wird eine Ergänzung durch neue Beschichtungen vorgenommen.
- **Ersatz:** die alten Beschichtungen werden bis auf die Stahloberfläche entfernt und nach deren Vorbehandlung werden neue Beschichtungen aufgebracht.

Der Entscheid zwischen Überholung und Ersatz sowie zwischen örtlicher oder vollflächiger Behandlung bedingt ein sorgfältiges Abwägen der nachstehenden Kriterien:

- Geplantes Unterhaltskonzept
- Ergebnisse der Zustandsüberprüfung
- Unumgängliche Massnahmen, z.B. Entfernen von Ablagerungen, Entfernen loser Einzelbeschichtungen, Ersetzen des Schichtdickenverlustes, örtlicher oder vollflächiger Ersatz
- Planungsgrundsätze, z.B. hinsichtlich Korrosionsbelastung, konstruktiver Massnahmen, Bauprogramm, Verträglichkeit, chemisch-physikalischer Eigenschaften, Aussehen und Kosten
- Umweltbelastung durch die vorgesehenen Verfahren und Produkte.

Bei der **Überholung** muss darauf geachtet werden, dass die bestehende und die neue Beschichtung zueinander verträglich sind. Neben Laboruntersuchungen haben sich auch Zustandsüberprüfungen an Musterfeldern (Referenzflächen) über einen Jahreszyklus bewährt. Bei mehrmaliger Überholung können so grosse Gesamtdicken entstehen, dass die Beschichtung reisst.

Im übrigen gelten für die Überholung von sogenannten wetterfesten Stählen dieselben Grundsätze wie beim Korrosionsschutz von unbeschichtetem Baustahl.

Bei **metallischen Überzügen**, die **ersetzt** werden müssen, ist ein anderes Schutzsystem zu wählen, sofern der Ersatz des Überzuges in der Werkstatt nicht möglich ist. Dies bedeutet, dass der

Ersatz einer Feuerverzinkung nur in der Verzinkerei vorgenommen werden kann.

Kommt es zum **Ersatz einer Beschichtung**, so wird die Frage der Umweltbelastung primär beim Entfernen des vorhandenen Korrosionsschutzes durch Strahlreinigung immer wichtiger. Es empfiehlt sich eine frühzeitige Kontaktnahme mit den zuständigen Amtsstellen, sodass bereits bei der Planung und bei der Ausschreibung der Arbeiten die entsprechenden Umweltschutzmassnahmen berücksichtigt werden können. Dazu gehören insbesondere:

- Vermeiden von Staubimmissionen als Folge der Strahlreinigung, z.B. durch «Einpacken» der zu reinigenden Konstruktionen mit Kunststoff-Folien.
- Auffangen des verunreinigten Strahlmittels. Bei der Ablagerung von verunreinigten Strahlmitteln oder von Beschichtungspartikeln, insbesondere von solchen mit toxischen Schwermetallpigmenten, in Grasflächen und Gewässern besteht Vergiftungsgefahr für Tiere.
- Beim Ablaugen anfallende Abwässer und Rückstände dürfen nicht in Gewässer und Kanalisationen oder in den Boden gelangen; dies gilt auch für das Abwasser von Hochdruckwasserstrahl-Reinigungen.
- Sachgerechte Entsorgung der Abwässer und Abfälle.

Mit den vorstehend angesprochenen toxischen Schwermetallpigmenten ist das Blei in Bleimennige angesprochen. Trotz der vorhandenen Umweltschutzvorschriften ist beim heutigen Sachstand eine weitere Verwendung von Bleimennige oder Bleisilicochromat als Korrosionsschutz in bestimmten Fällen unumgänglich. Die Stahlkonstruktionen, die vor den Jahren 1955 bis 1960 erstellt wurden, weisen in der Regel eine Grundbeschichtung auf Bleimennigebasis auf. Bei Bauwerken, mit einem fast dauernd vorhandenen Publikumsverkehr, wie die älteren Bahnhofs- oder Peronhallen beispielsweise in Lausanne, Olten oder Zürich, ist es praktisch nicht möglich, die alten Schichten abzustrahlen. Auch mit den besten Abdeckungsmassnahmen ist das Staubproblem nicht in den Griff zu bekommen. Beim heutigen Stand der Korrosionsschutztechnik kann in diesen Fällen nur eine Überholung auf der Basis von Bleimennige oder Bleisilicochromat erfolgen.

Wo das Strahlreinigen zur Entfernung von alter, schwermetalliger Beschichtung möglich ist, sind die Arbeitsbereiche so einzupacken, dass nur geringe Staubmengen nach aussen dringen können. Die Gerüstböden sind abzudichten und die Gerüste sind mit Kunststoff-Folien zu versehen. Bei grösseren Windgeschwindigkeiten kann es erfor-

derlich sein, die Arbeiten einzustellen. Die Arbeiter sind mit Atemschutzgeräten auszurüsten, die auch für Frischluftzufuhr sorgen. Die Staubabfälle müssen eingesammelt werden und sind in eine dafür eingerichtete Deponie zu bringen.

Weitere Hinweise zur Erneuerung des Oberflächenschutzes sind in [5.6] enthalten.

6 Holzbau

6.1	Allgemeines	118
6.2	Alterungs- und Schädigungsmechanismen	119
6.2.1	Allgemeines	119
6.2.2	Einwirkung durch Wasser	119
6.2.3	Befall durch holzerstörende Pilze	121
6.3	Bauteile	123
6.4	Schutzmassnahmen und Schutzwirkungen	126
6.4.1	Bauliche Gestaltung	126
6.4.2	Detailkonstruktion	126
6.4.3	Verarbeitung	128
6.4.4	Oberflächenschutz	128
6.4.5	Chemischer Schutz	130
6.5	Überwachung, Unterhalt und Erneuerung	131

6 Holzbau

6.1 Allgemeines

Die Verwendung von Holz als Baustoff, hat eine sehr lange Tradition. Obwohl Holz sich dadurch auszeichnet, dass es bei unzweckmässiger Anwendung besonders rasch auf schädigende Einwirkungen reagiert, und deshalb manchmal als wenig dauerhaft eingestuft wird, zeigen doch zahlreiche, mehrere hundert Jahre alte Bauwerke in unserem Lande, dass dieser Ruf ungerechtfertigt ist (Bild 6.1). Gerade auch beim Holz ist eine gute Planung mit sorgfältiger konstruktiver Durchbildung des Tragwerks und eine fachgerechte Ausführung von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Tatsache, dass das Holz besonders rasch auf falsche Anwendungen «reagiert» und damit einen klaren «feedback» liefert, hat schon vor vielen Jahrhunderten zu einer ausgefeilten Schutztechnik geführt. Die entsprechende Erfahrung ist während einiger Zeit teilweise verloren gegangen. Heute werden aber die verschiedenen Möglichkeiten wieder mit Erfolg eingesetzt. Gegenüber früher steht heute zudem auch eine wesentlich grössere Vielfalt von Materialien von hoher Qualität zur Verfügung, so z.B. Dichtungsprofile, Dichtungsmassen, Anstrichmittel, Imprägniermittel, Folien,

widerstandsfähiges Holz, korrosionsfreie oder -geschützte Metalle, wodurch sich auch die Palette der Schutzmassnahmen erheblich erweitert hat (Bild 6.2).

Mit den Schutzmassnahmen oder Schutzsystemen – im Holzbau wird in der letzten Zeit von einem «integralen Holzschutz» gesprochen – wird eine Optimierung der Dauerhaftigkeit von Bauteilen angestrebt. Eine geläufige Definition der Dauerhaftigkeit besagt, dass Dauerhaftigkeit die «Sicherstellung der langfristigen Funktionstüchtigkeit bei angemessenem Unterhalt» bedeutet. Dies weist darauf hin, dass zur Bautätigkeit auch der Unterhalt gehört. Wenn auch Überwachung und Unterhalt nicht eigentliche Schutzmassnahmen sind, gehören sie doch zwingend in deren näheres Umfeld.

Die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks, d.h. auch die Schutzmassnahmen, Überwachung und Unterhalt (ebenso wie die Erneuerung) sind primär Planungsaufgaben. Als Beispiel ist auf die Zugänglichkeit von Bauteilen hinzuweisen, die nicht selbstverständliche Voraussetzung für Überwachung, Unterhalt und Erneuerung ist.

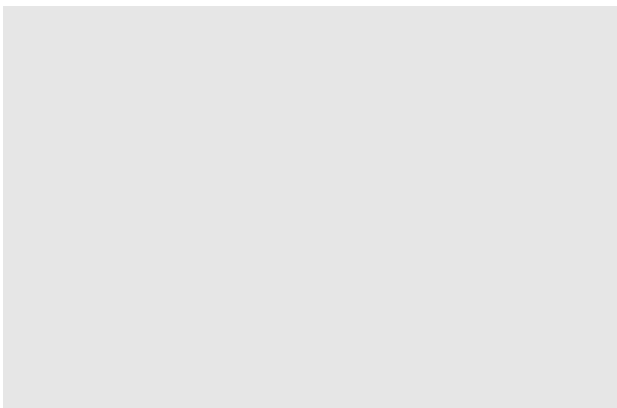


Bild 6.1 Kapellbrücke in Luzern, erstellt 1333, aus [7.2]

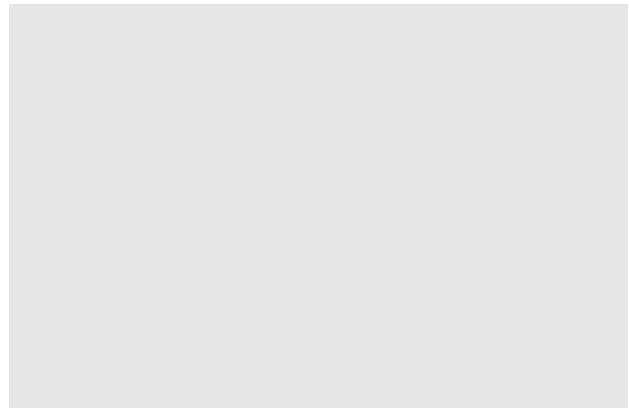


Bild 6.2 Ingenieurbauwerk aus jüngster Zeit mit sorgfältig geplantem baulich-konstruktivem Holzschutz

6.2 Alterungs- und Schädigungsmechanismen

6.2.1 Allgemeines

Die grundsätzlichen Hinweise zu den Alterungs- und Schädigungsmechanismen und zu den Einwirkungen, wie sie für alle Baustoffe gelten, sind in Abschnitt 2.3 enthalten.

Mechanische, klimatische und chemische Einwirkungen sind in der Regel von untergeordneter Bedeutung. Bei den klimatischen Einwirkungen ist allerdings eine gute konstruktive Durchbildung wichtig.

Gegenüber Chemikalien ist Holz im allgemeinen ziemlich resistent und ist deshalb besonders dort ein geschätzter Baustoff, wo eine korrosive Atmosphäre für andere Materialien Probleme bietet. Es muss hier allerdings auf die metallischen Verbindungsmittel hingewiesen werden, die korrodieren können. Dabei ist zu erwähnen, dass Schutzimprägnierungen von Holz die Korrosionsgeschwindigkeit beeinflussen können. Weiter ist zu beachten:

- die ausschlaggebende Bedeutung der Feuchte für den Korrosionsprozess
- das Gefährdungspotential bei der Anwesenheit von verschiedenen Metallen im Holz
- die korrosive Wirkung von Salzen als eventuelle Bestandteile von Flammschutzmitteln, von fungiziden Schutzmitteln, von Meersalz, usw.
- die transkristalline Spannungsrisskorrosion von «rostfreien» Stählen (austenitische Chrom-Nickel-Stähle) in chlorhaltiger Atmosphäre

Detailliertere Angaben hiezu finden sich in [6.1] bis [6.3].

Bei den biologischen Einwirkungen ist in unserem Land der Befall von Holzbauten durch Insekten von mässiger Bedeutung, wobei die Gefährdung von der Art der Konstruktion und des Bauteils abhängt. Die grösste Bedeutung hat der Befall durch **holzzerstörende Pilze**, der jedoch nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen auftreten kann, wie in den Abschnitten 6.2.2 und 6.2.3 gezeigt wird.

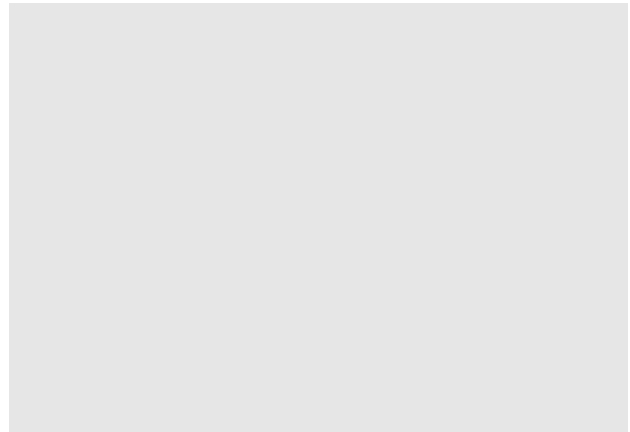


Bild 6.3 Frühzeitige Zerstörungen durch Pilzbefall an einer Brücke ohne Schutzkonzept

6.2.2 Einwirkung durch Wasser

Im Gegensatz zu einer verbreiteten Meinung übt **Wasser** direkt keine schädigende Wirkung auf das Holz aus. Allerdings gibt es auch keine Eigenschaft des Holzes, die nicht durch das Wasser, bzw. die Holzfeuchte beeinflusst würde. Besonders gross ist der Einfluss im sogenannten hygroskopischen Holzfeuchtebereich, d.h. zwischen dem absolut trockenen Holz mit einer Holzfeuchte von 0% (Verhältnis zwischen der Masse des Wassers im Holz und der Masse des absolut wasserfreien Holzes) und der Fasersättigung mit der Holzfeuchte von – je nach Holzart – 27% bis 35% (Bild 6.4). In diesem Bereich werden sämtliche mechanischen und physikalischen Eigenschaften erheblich verändert. Oberhalb der Fasersättigung, d.h. in jenem Holzfeuchtebereich, in dem die zusätzliche Feuchte als flüssiges Wasser in den Zellhohlräumen eingelagert wird, verändert sich das Eigenschaftsbild nunmehr geringfügig. Das wichtigste Merkmal dieses Bereiches ist, dass Holz von Pilzen abgebaut werden kann (d.h. bei einer Holzfeuchte unterhalb der Fasersättigung ist dies nicht möglich). Viele bauliche Massnahmen sind deshalb darauf ausgelegt, zu verhindern, dass das

Holz über längere Zeit feucht bzw. nass bleibt. Dies ist naheliegenderweise sehr davon abhängig, wo ein Holzbauteil eingebaut ist (siehe Tabelle 6.1).

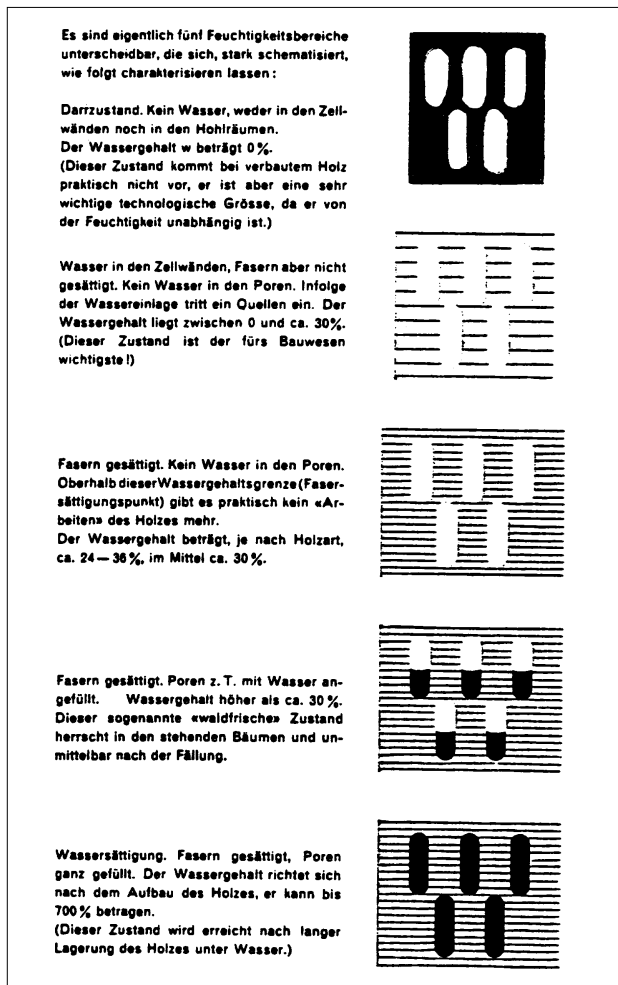


Bild 6.4 Feuchtigkeitsbereiche

Holzbauteile stehen mit der Umgebung in einer dauernden dynamischen Beziehung des Feuchte-austausches vor allem im hygroskopischen Bereich. Die Luftfeuchte und die Lufttemperatur ändern sich dauernd und das Holz folgt diesen Veränderungen indem es danach trachtet seine Feuchte auf die Umgebungsverhältnisse einzustellen (Holzfeuchte-Gleichgewicht, Bild 6.5). Eine solche Gleichgewichtsfeuchte lässt sich nur unter Laborbedingungen erreichen, wo die Umgebungsbedingungen künstlich konstant gehalten

werden. Entsprechend der ständigen Veränderung der Umgebungsfeuchte unter praktischen Bedingungen ist auch die Holzfeuchte sehr variabel und zwar zeitlich wie örtlich (innerhalb eines Bauteils). Der Einbauort ist deshalb von ausschlaggebender Bedeutung für die Feuchte und Feuchteänderungen im Holz (siehe Tabelle 6.1).

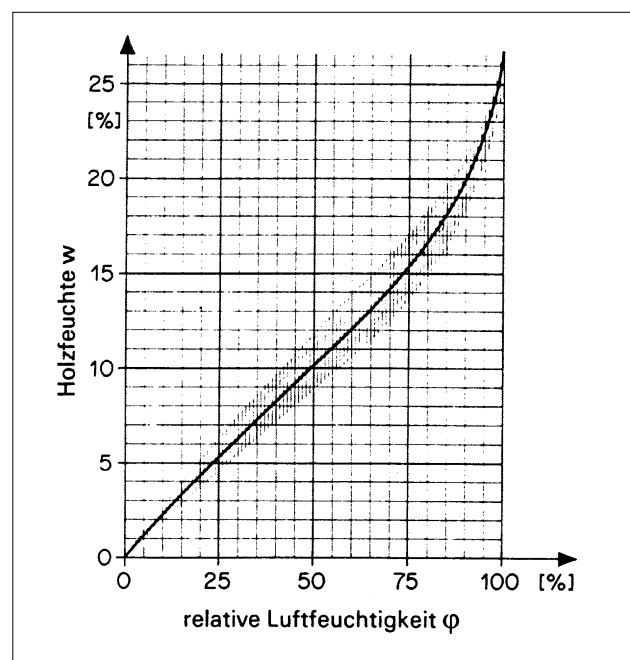


Bild 6.5 Mittleres Holzfeuchte-Gleichgewicht w und Streubereich in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit φ im Temperaturbereich von 0..20°C

Der hier angesprochene Feuchtehaushalt umfasst nicht nur den hygroskopischen Bereich, sondern auch Feuchtigkeiten oberhalb der Fasersättigung. Allerdings sind in der Baupraxis übers Gesamte gesehen nur wenige Holzbauteile den Einwirkungen von flüssigem Wasser ausgesetzt, was eine Voraussetzung ist für Holzfeuchtigkeiten oberhalb der Fasersättigung. Tropfbares Wasser tritt auf bei Niederschlägen (beregnete Bauteile), bei Kondensation (Abkühlung der Umgebung) und bei Wasserzutritt von benachbarten Bauteilen bzw. -bereichen (z.B. Kontakt des Holzes mit durchfeuchtetem Mauerwerk oder Bodenkontakt). Eine Anreicherung mit Wasser ist nicht nur eine Frage der Wasserzufuhr, sondern auch der Aus-

trocknung. Die Förderung einer raschen Austrocknung ist eine wichtige Holzschutzmassnahme. Auf eine andauernd **hohe Holzfeuchtigkeit** und somit eine **Pilzgefährdung** resp. bereits vorhandener Pilzbefall, wie sie insbesondere im Tiefbau auftreten, können folgende Anzeichen hinweisen:

- Dunkelfärbung der Oberfläche (intensiver Oberflächenbewuchs mit dunkelgrauen Schimmelpilzen)
- Korrosionsverfärbungen von Verbindungsmitteln
- Bewuchs mit Moos oder Flechten, Algen (Bild 6.6)
- Wuchs von Gräsern und anderen Pflanzen (meist in Verbindung mit Schmutzansammlungen auf dem Bauwerk)
- Quellerscheinungen des Holzes
- weiche Oberfläche
- Wasseraustritt beim Einstechen bzw. Einschlagen von spitzen Gegenständen (Messer, Nägel)

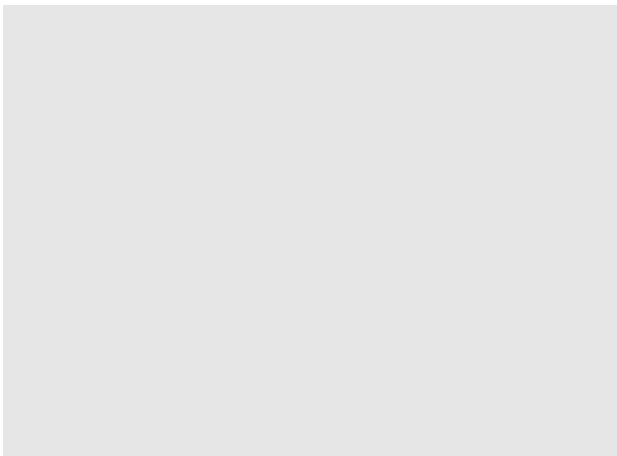


Bild 6.6 Der Wuchs von Pflanzen ist meist ein sicheres Zeichen von Ansammlungen von Schmutz und Feuchtigkeit und einer Gefährdung der Holzbauteile durch Pilze

6.2.3 Befall durch holzerstörende Pilze

Die Verhinderung eines Befalls durch holzerstörende Pilze ist eine der wichtigsten Aufgaben des Holzschutzes.

Der Abbau des Holzes durch Pilze ist mit einem allmählichen Masse- und Festigkeitsverlust verbunden. Verschiedene Pilzarten sind in der Lage, Holz zu zerstören: Sogenannte Braunfäule-, Weissfäule- und Moderfäulepilze. Diese sind zu unterscheiden von den lediglich holzverfärbenden Pilzen, z.B. Schimmelpilze, die die sogenannte Verblauung des Holzes bewirken, was nur eine ästhetische Beeinträchtigung ist (Bild 6.7).

Wie bereits erwähnt ist für ein Pilzwachstum eine Holzfeuchte oberhalb der Fasersättigung unerlässlich. Für eine Pilzinfektion ist eine längerdauernde Durchfeuchtung notwendig (Wochen). Bei einer Wassersättigung des Holzes, z.B. bei Bauten die permanent im Wasser stehen, ist kein Pilzwachstum möglich (deshalb sind Holzpfähle unterhalb des Grundwasserspiegels äusserst langlebig). Erhöhte Temperaturen beschleunigen die Pilzentwicklung erheblich; die besten Wachstumsbedingungen liegen zwischen 15°C und 35°C. Temperaturen unter dem Gefrierpunkt schaden den Pilzen nicht, auch wenn sie das Wachstum dann unterbrechen.

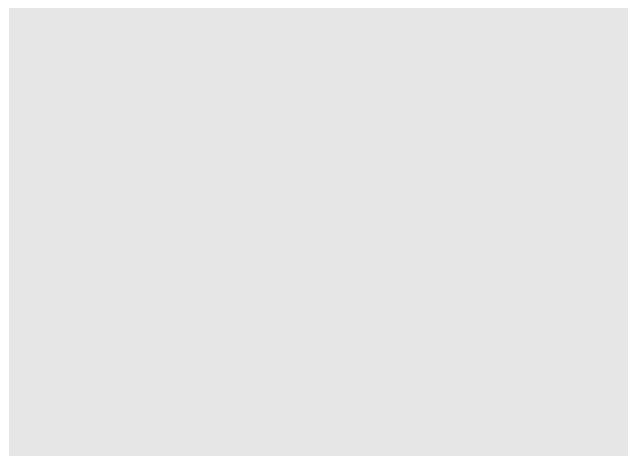


Bild 6.7 Schimmelpilze an der Oberfläche oder im Holz (Verblauung) führen nicht zu einer Schwächung des Holzes

Bei der Überwachung, als eine zum Holzschutz ergänzende Massnahme, geht es einerseits darum, Stellen erhöhter Holzfeuchte und damit Pilzgefährdung oder andererseits Zonen aufzudecken, wo bereits eine Pilzinfektion erfolgte. Die Holzfeuchte kann lokal mit elektrischen Holzfeuchtemessgeräten (Messung des elektrischen Widerstandes) verhältnismässig einfach gemessen werden (Bild 6.8).

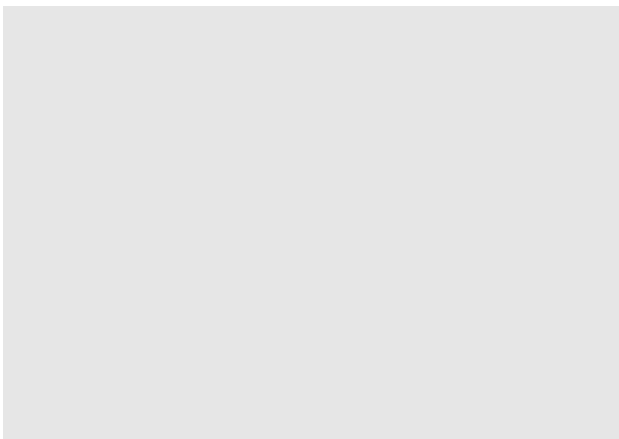


Bild 6.8 Holzfeuchte-Messgerät

Messungen von Holzfeuchten über 22% weisen bereits auf ein hohes Pilzrisiko hin, da eine Messung nur mit geringer Wahrscheinlichkeit an der feuchtesten Stelle erfolgt. Da die gefährdeten Zonen hoher Holzfeuchte meist nur beschränkte Ausdehnung haben, ist es wichtig, diese Bereiche zu finden und auszumessen. Holzfeuchte-Messgeräte mit längeren Elektroden sind zu bevorzugen, da sie eine Messung in grösserer Tiefen erlauben. Bei einem fortgeschrittenen Pilzbefall sind auf der Holzoberfläche Pilzfruchtkörper zu erkennen. In einem früheren Entwicklungsstadium ist das Erkennen eines Pilzbefalls schwierig und braucht einige Erfahrung. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass sich in den meisten Fällen der Pilz im Inneren des Bauteils entwickelt (Innen-

fäule), während die Oberfläche noch weitgehend intakt ist. Neben den bereits unter 6.2.2 erwähnten Anzeichen für hohe Holzfeuchte weisen folgende äussere Erkennungsmerkmale auf einen Pilzbefall hin:

- leichtes Einfallen der Oberfläche (Volumenverminderung)
- typischer Geruch
- dumpfer, hohler Klang beim Klopfen mit einem Hammer

Eine verminderte Festigkeit des Holzes lässt sich wie folgt feststellen:

- Axt einschlagen und lokalen Bruch erzeugen
- Nägel einschlagen (vermorschtes Holz gibt nur sehr geringen Widerstand)
- Loch bohren, feststellen des Bohrwiderstandes, Beurteilung des Bohrgutes
- Kernbohrung (mit Zuwachsbohrer), feststellen des Bohrwiderstandes, Beurteilung der Bohrkern

Weitere Methoden bedingen einen grösseren technischen Aufwand bzw. spezielle Geräte.

Bei den Untersuchungen ist darauf zu achten, dass nicht zusätzliche Eintrittsöffnungen für Wasser geschaffen werden (es empfiehlt sich z. B., von unten zu bohren). Testlöcher sind zu schliessen, am besten mit einem imprägnierten Dübel. Bei Pfosten, die in der Erde eingegraben sind, ist das Erfassen des Erhaltungszustandes unter der Erdoberfläche wichtig. Ein Ausgraben der obersten 20–40 cm unter dem Bodenniveau erleichtert die Beurteilung.

6.3 Bauteile

Der für das Pilzwachstum ausschlaggebende Feuchtehaushalt ist wesentlich von der Art, der Grösse, der Lage und der Exposition eines Bauteils abhängig (Bild 6.9). In den Normen und Richtlinien finden sich deshalb viele Hinweise über Beanspruchungen bzw. Beanspruchungsklassen von verschiedenen Bauteiltypen [6.2, 6.3]. Im Tiefbau kommen allerdings nur die stark exponierten Bauteilklassen 2–5 vor:

- 2: Aussenbauteile unter Dach bzw. vor Niederschlag geschützte Bauteile
- 3: Aussenbauteile, wetterbeansprucht
- 4: Bauteile im Erdbereich bzw. in Bodennähe
- 5: Bauteile unter Wasser

Detailliertere Angaben hiezu finden sich in der Tabelle 6.1.

Für unsere Zielsetzung lassen sich Bauteile aus zwei unterschiedlichen Perspektiven betrachten. Die erste betrifft die klimatische Beanspruchung der verschiedenen Bauteile: Naheliegenderweise sind die der Bewitterung entzogenen Bauteile – insbesondere jene unter Dach – wesentlich weniger der Alterung unterworfen, als solche mit einer direkten Wetterexposition, die über eine komplexe Wirkungskette von Beanspruchungen beeinträchtigt werden kann [6.6, 6.7].

Der zweite Gesichtspunkt betrifft die Empfindlichkeit der verschiedenen Bauteile auf klimatische Einwirkungen. Auch unabhängig von den diversen Schutzmassnahmen einschliesslich des Einsatzes von dauerhaften Holzarten oder imprägniertem Holz sind die Bauteile von sehr unterschiedlicher Empfindlichkeit. Wenig empfindlich sind kleinformatige, vertikale Bauteile, die derart montiert sind, dass die feuchteänderungsbedingten Schwind- und Quellsbewegungen nicht behindert werden (Bild 6.10). Solche Bauteile haben eine geringe Tendenz zu Rissbildung, verursachen keine Zwängspannungen und trocknen rasch nach, weil selbst bei intensiver Beregnung und Benetzung das Wasser rasch abfliessen kann. Besonders ungünstig sind direkt bewitterte grossformatige, markhaltige, horizontale Bauteile, die bei starker Strahlung obenliegende Risse entwickeln, in denen sich Niederschlagswasser ansammeln, stagnieren und zu intensiven lokalen Durchfeuchtungen führen kann.

Durch die Vortrocknung und Homogenisierung des Materials neigt Brettschichtholz wesentlich weniger zur Rissbildung als Massivholz. Allerdings werden mit Brettschichtholz grossformatige Bauteile hergestellt, die hinsichtlich Rissgefährdung und Feuchtehaushalt weniger günstig sind. Ausserdem besteht die Gefahr von Delaminationen (Öffnen von Leimfugen), insbesondere falls die Verleimung nicht ganz optimal ist (Bild 6.11). Zu beachten ist die Tatsache, dass eine Vorimprägnierung der Brettschichtholzlamellen zu Schutzzwecken eine besonders sorgfältige Verleimung verlangt [6.6].

Besonders «feuchteempfindlich» sind die Verbindungen im Holzbau und zwar nicht nur hinsichtlich der Korrosion der Verbindungsmittel, sondern vor allem auch infolge der «geometrischen Voraussetzungen» (Löcher, ungeschützte Schnittflächen, usw.) in die das Wasser eindringen und allenfalls stagnieren kann (Bilder 6.12 und 6.13).

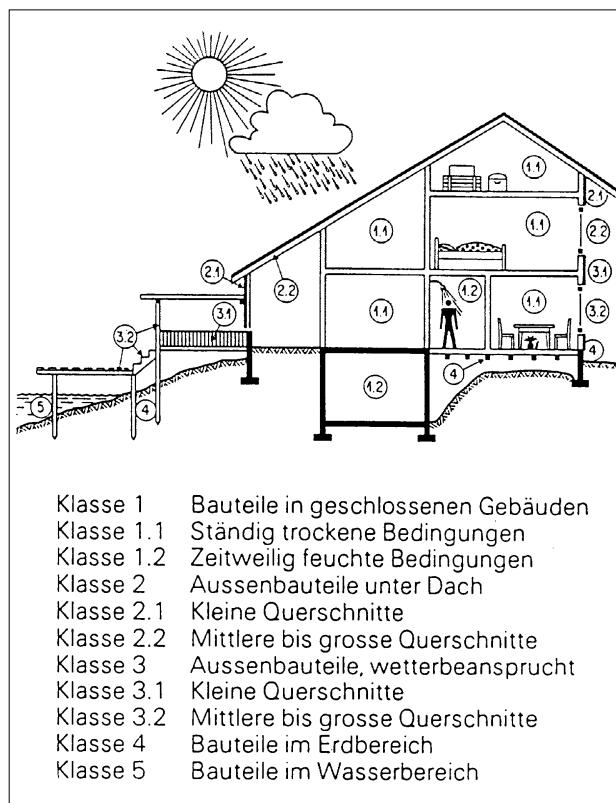


Bild 6.9 Beanspruchungsklassen bei Holzbauteilen

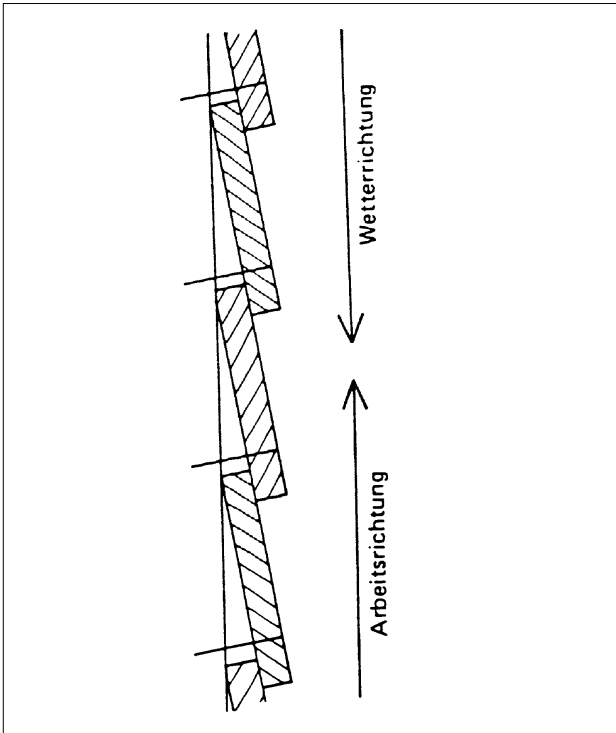


Bild 6.10 Aussenschalung, die freie Schwind- und Quellbewegungen sowie den ungehinderten Wasserablauf ermöglicht

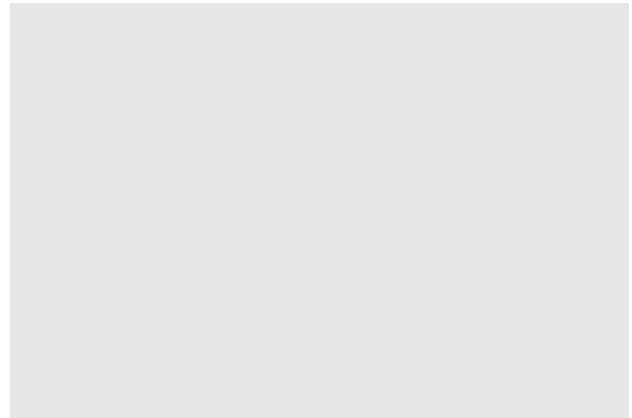


Bild 6.11 Intensiv bewittertes Brettschichtholz, das infolge ungenügender Verleimung weitgehend delaminiert ist

Klasse	Beanspruchung	Durchschnittliche Holzfeuchte (%)*	Typische Anwendung im Tiefbau	Gefährdung	Mögliche Schutzmassnahmen
2	Vor direkter Wettereinwirkung geschützte Bauteile		Brückenteile unter Dach oder gut abgedeckt	Schwindrisse, evtl. Delaminationen bei Brettschichtholz keine Fäulnisgefahr	evtl. Oberflächen-schutz
a)	bis ca. 1 cm Querschnittstiefe	15 ± 5			
b)	im Innern mittlerer bis grosser Querschnitte	14 ± 2			
3	Direkt bewitterte Bauteile		Ungeschützte Brückenkonstruktionsteile		
a)	lokal möglich	bis 25			
b)	kleine Querschnitte	16 ± 7	Deckschalungen	Verwitterung, Vergrauung, Rissbildung, Geringe Fäulnisgefahr wenn Wasser abfliessen kann.	Umfassendes Schutzkonzept (siehe 6.4)
c)	mittlere bis grosse Querschnitte		Tragelemente	Verwitterung, Rissbildung, Fäulnisgefahr	Umfassendes Schutzkonzept (siehe 6.4)
	Oberflächenbereich	16 ± 7			
	Im Innern	17 ± 3			
4	Bauteile im Erdbereich oder in Bodennähe	> 25	Landschaftsverbau Schwellen Mastenfüsse Brückenaufleger	Fäulnis	Druckimprägnierung
5	Bauteile im Wasser	> 25	Flussverbau Landschaftsverbau Pfähle	Fäulnis nur wenn nicht ganz im Wasser	evtl. Druckimprägnierung

Tab. 6.1 Bauteilklassen, Beanspruchung und Schutzmassnahmen

* (Mittelwert/Schwankungsbreite)

6.4 Schutzmassnahmen und Schutzwirkungen

Im praktischen Holzbau stehen eine Reihe von traditionelleren und neueren Massnahmen zur Verfügung, mit denen langfristig die Funktionsfähigkeit der Bauteile sichergestellt werden soll und kann. In der Übersicht sind dies:

- Bauliche Gestaltung
- Detailkonstruktion
- Verarbeitung
- Oberflächenschutz
- Chemischer Schutz, Tiefschutz, Druckimprägnierung

Der kombinierte Einsatz sämtlicher möglicher Massnahmen wird als integraler Holzschutz bezeichnet.

6.4.1 Bauliche Gestaltung

Durch eine geeignete bauliche Gestaltung kann eine zu starke Beanspruchung (z.B. durch Niederschläge, Sonneneinstrahlung oder Bodenfeuchte) verringert oder gar weitgehend vermieden werden. Dies setzt aber eine Berücksichtigung der Umgebungseinflüsse, einschliesslich der lokalklimatischen Gegebenheiten, bereits in der frühen Entwurfsphase voraus. Ziel der gestalterischen Massnahmen ist es, das Holz den Feuchte- und Witterungseinwirkungen möglichst zu entziehen, beispielsweise durch die Wahl eines wenig gefährdenden Standortes, durch die Verwendung von Bauteilen aus Beton im Bodenbereich sowie durch eine geeignete Formgebung und Ausgestaltung des Bauwerkes mit Abdeckungen, Vordächer, usw.

6.4.2 Detailkonstruktion

Erfahrungsgemäss ist die konstruktive Durchbildung für die Lebensdauer des Bauteils oder des Bauwerkes von ausschlaggebender Bedeutung. Ziel des konstruktiven Holzschutzes ist es:

- tropfendes Wasser vom Holz möglichst fernzuhalten, insbesondere auch das Eindringen von Wasser in die Konstruktion zu verhindern,
- für rasches Abfließen von eingedrungenem Wasser zu sorgen. Besonders kritisch sind:

Bodenkontaktbereich; Spritzwasserbereich; Schwindrisse, besonders auf oberen Horizontalflächen; Stirnholz; Kontaktflächen (kapillarer Feuchtetransport) (Bild 6.13).

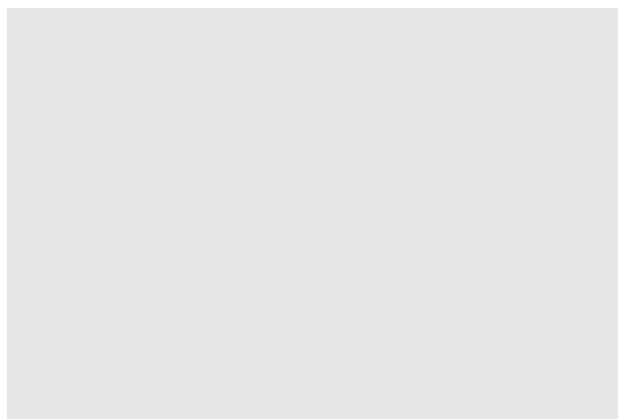


Bild 6.12 Die bauliche Gestaltung ist ein erster wichtiger Schritt zur Optimierung des Schutzkonzeptes. Offene, nicht überdeckte Fachwerkkonstruktionen schliessen viele «heikle» Details mit ein, die nur schwer geschützt werden können (insbesondere Knotenpunkte)

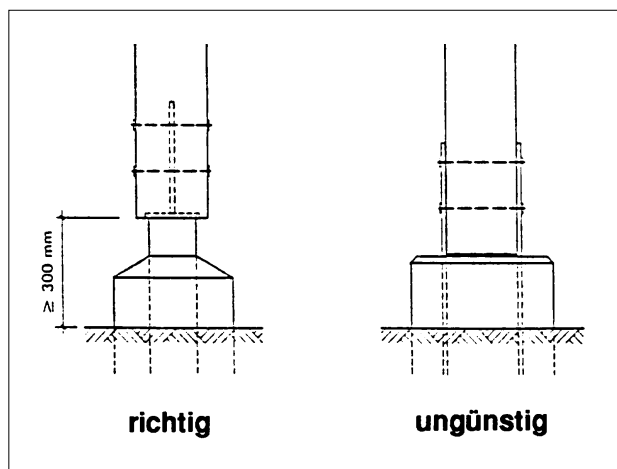


Bild 6.13 Durch eine geeignete Ausbildung von Stützenfüssen im Freien kann eine übermässige Aufnahme von Niederschlagswasser auf den Stirnholzflächen verhindert werden

Zu den detailkonstruktiven Massnahmen gehören unter anderem:

- alle Arten von Drainagemassnahmen (Bilder 6.14 und 6.15)
- Abdecken von exponierten Oberflächen
- Anordnung von «Feuchtebarrieren» (z.B. Folien) zur Unterbindung des Feuchtetransportes
- Vermeidung von ungeschützten, «heiklen» Details wie z.B. Knotenpunkte von Fachwerkträgern (Bild 6.16)
- Massnahmen, die verhindern, dass sich Schmutz ansammeln und sich dadurch Feuchtigkeit einlagern kann
- Anordnung der Konstruktion derart, dass Bauteile gut kontrolliert und unterhalten werden können
- Anordnung der Konstruktion derart, dass die in ihrer Dauerhaftigkeit gefährdeten und dem Verschleiss unterworfenen Bauteile möglichst leicht ausgewechselt werden können.

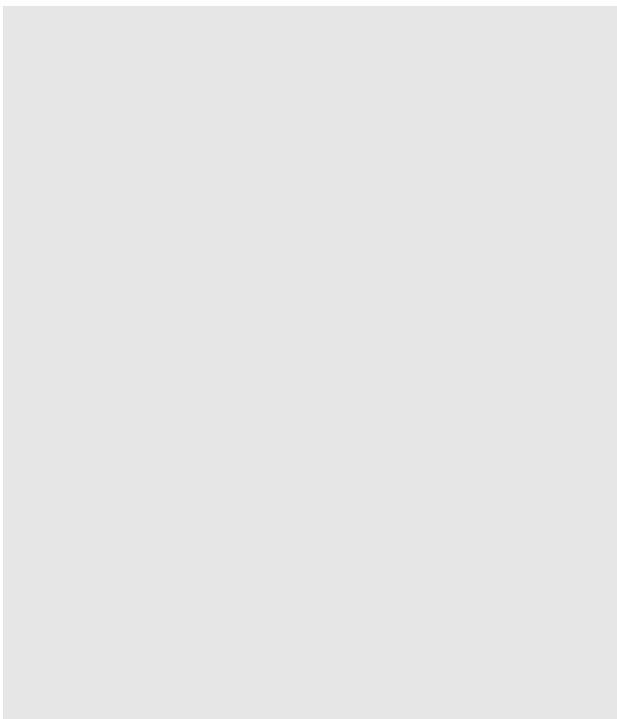


Bild 6.14 *Durch eine geeignete konstruktive Ausbildung des Auflagers kann dieser an sich feuchteexponierte Bauteil trocken gehalten werden, so dass die Pilzgefährdung nicht grösser ist als bei anderen Teilen der Konstruktion*

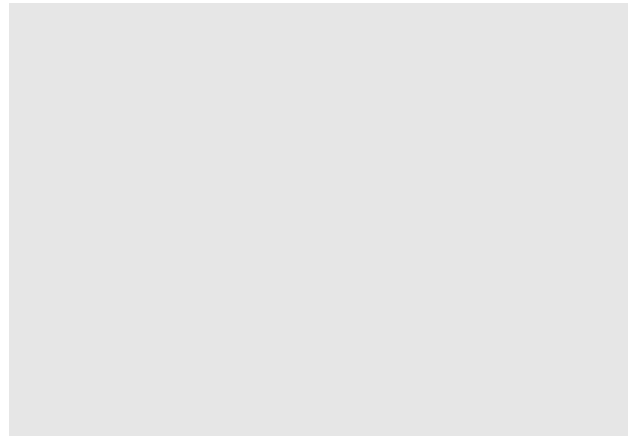


Bild 6.15 *Siehe Erläuterung zu Bild 6.14*

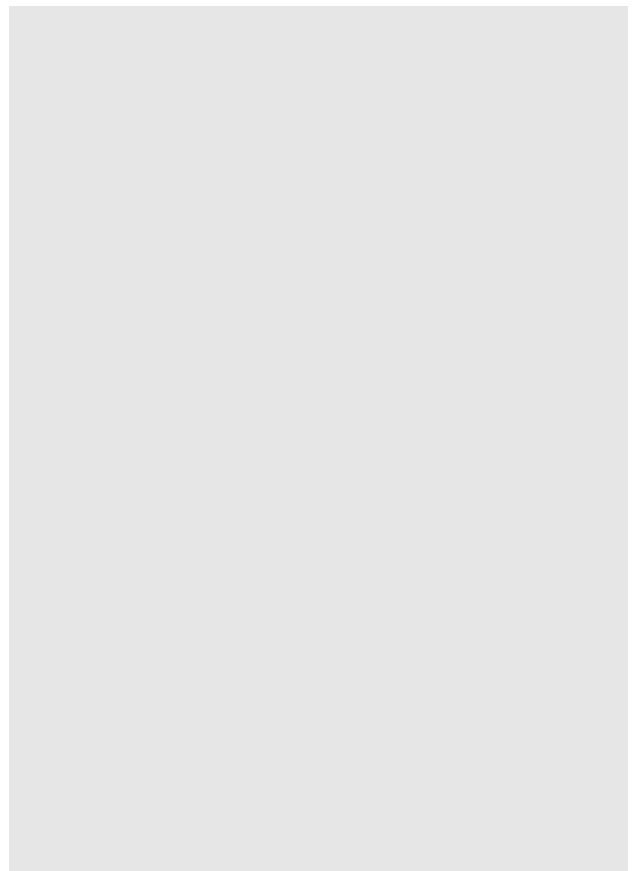


Bild 6.16 *Ungünstiger wetterexponierter Konstruktionsteil, wo Niederschlagswasser kapillar eindringen und stagnieren kann*

6.4.3 Verarbeitung

Zu den verarbeitungstechnischen Massnahmen gehören:

- Verwendung von widerstandsfähigen Holzarten für besonders gefährdete Bauteile: Kernholz von Eiche, Kastanie, Robinie, Lärche
- Verwendung von gesundem Holz (ohne Pilz- und Insektenbefall)
- Verwendung von Holz, das wenig zur Rissbildung neigt: markfreies oder mindestens markdurchschnittenes Holz (Bild 6.17), kleine brettartige Querschnitte, bereits vorgetrocknetes Holz, Brettschichtholz, Querschnitte mit «Entlastungsnut», usw.
- Verwendung von imprägniertem Holz (siehe Abschnitt 6.4.5)

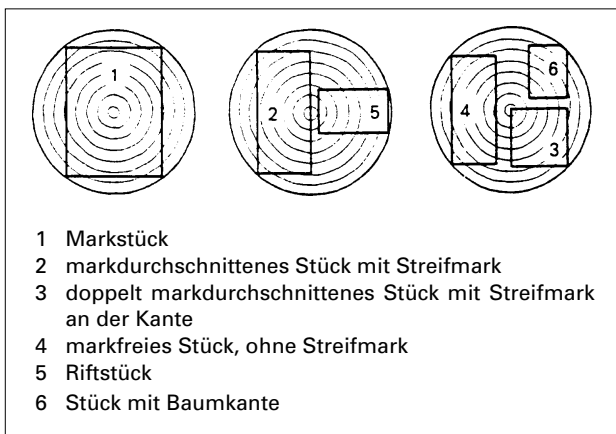


Bild 6.17 Schnittarten für Kantholz und Latten

6.4.4 Oberflächenschutz

Oberflächenbehandlungen haben drei Aufgaben:

- Farbgebung
- Schutz der Oberfläche vor Verwitterung
- Verminderung der Feuchteaufnahme und -abgabe

Diese letztere Schutz Aufgabe sollte dem gestalterischen Effekt (Farbgebung) nicht untergeordnet werden. Sie ist umso wichtiger, je empfindlicher ein Bauteil ist und je masshaltiger er sein muss (z.B. bei bestimmten Verbindungen). Auch in Be-

reichen ohne direkte Wetterbeanspruchung (z.B. grossformatige Querträger aus Brettschichtholz unter einer geschlossenen Brückenplatte) haben Oberflächenbehandlungen zur Regulierung des Feuchtehaushaltes eine wichtige Schutz Aufgabe.

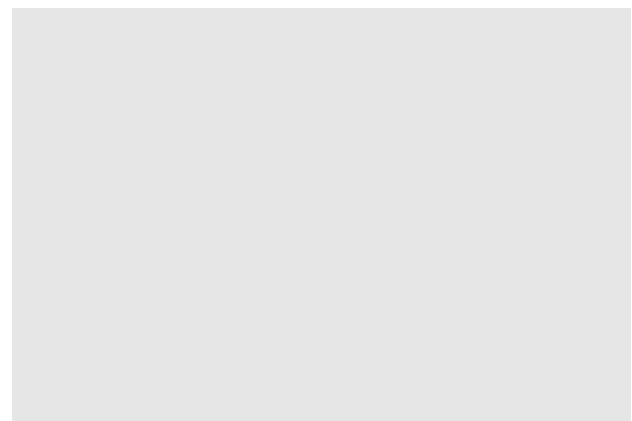


Bild 6.18 Mikroskopische Aufnahme eines Querschnittes durch eine Holzoberfläche mit einem Imprägnieranstrich. Dieser ist leicht zu erneuern, weist aber nur eine geringe Schutzwirkung und eine sehr beschränkte Lebensdauer auf

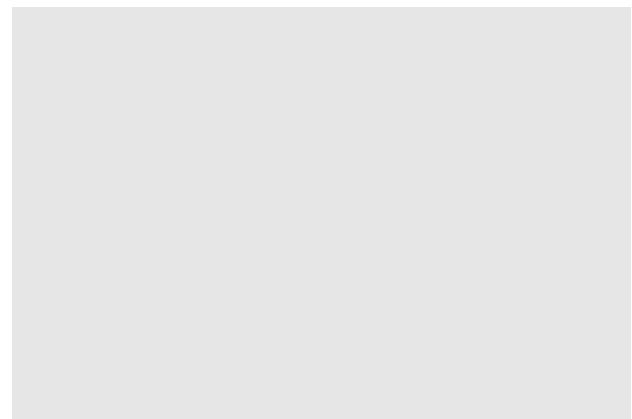


Bild 6.19 Mikroskopische Aufnahme eines Querschnittes durch eine Holzoberfläche, die durch einen deckend pigmentierten Lackanstrich gut geschützt ist. Ein solcher Anstrich hat eine lange Lebensdauer; der Aufwand bei einer Erneuerung ist allerdings gross

Je dicker eine Oberflächenbehandlung ist, umso grösser ist die Schutzwirkung – insbesondere auch der diffusionshemmende Effekt – die Lebensdauer, aber auch der Aufwand bei einer Erneuerung. Für die notwendige dampfbremsende Wirkung muss eine Oberflächenbehandlung eine Mindestschichtdicke von 0,05 mm aufweisen. In der Schweiz ist folgendes Anstrichsystem geläufig, welches als Dickschicht-Lasur bezeichnet wird, meist aus Alkydharzen aufgebaut ist und die Holzstruktur durchschimmern lässt: – Grundierung eventuell mit Pilzschutz- und wasserabweisenden Mitteln)

- Kräftig pigmentierter Zwischenanstrich (UV-Schutz)
- Dicker Deckanstrich, der zusammen mit den ersten beiden Anstrichen einen deutlichen Film bildet

Brettschichtholz, das bereits aus verarbeitungstechnischen Gründen eine tiefe Holzfeuchte aufweist, muss bereits im Werk einen Schutzanstrich erhalten, um die Feuchteaufnahme während Transport, Zwischenlagerung und Montage möglichst gering zu halten (Bild 6.20).

Die Lebensdauer von Oberflächenschutzbehandlungen hängt wesentlich ab von der Schichtdicke und der Intensität der Beanspruchung. Währenddem ein deckend pigmentierter Lackanstrich ein bis mehrere Jahrzehnte überdauern kann (Bild 6.19), beträgt die Lebensdauer eines Imprägnieranstriches (Bild 6.18) unter den gleichen Umständen lediglich 2 bis 10 Jahre (der obere Wert an geschützten Stellen).

Detaillierte Angaben über Anstrichstoffe und deren Einsatz finden sich in [6.5]. Mehr als bei den anderen Arten von Schutzmassnahmen ist bei den Oberflächenbehandlungen eine regelmässige Instandhaltung und Erneuerung unerlässlich, um die vorgesehenen Schutzaufgaben zu erfüllen.

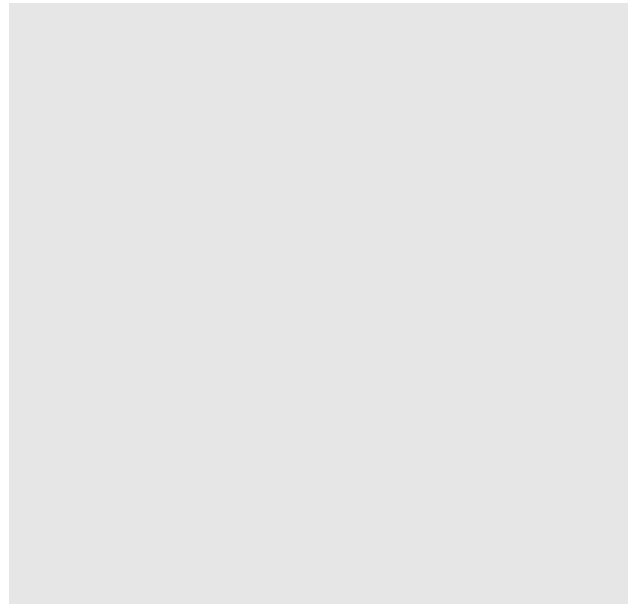


Bild 6.20 Brettschichtholzträger, durch wasserabweisenden Imprägnieranstrich gegen Wasseraufnahme während des Bauzustandes geschützt

6.4.5 Chemischer Schutz

Auch beim optimalen Ausschöpfen des gestalterischen und konstruktiven Schutzes des Holzes sowie der verarbeitungstechnischen Möglichkeiten lässt sich bei vielen im Tiefbau üblichen Konstruktionen nur eine beschränkte Lebensdauer erzielen. Ausserdem scheitert der Einsatz von widerstandsfähigen Holzarten (Eiche, Kastanie, Robinie, Nussbaum oder gar tropischen Holzarten) oft am Preis oder an der Verfügbarkeit. Unter diesen Umständen ist ein chemischer Holzschutz der gängigen Holzarten in Erwägung zu ziehen. Der chemische Holzschutz ist stets als Ergänzung und nicht als Alternative zu anderen Schutzmassnahmen zu betrachten.

Chemische Schutzbehandlungen von befriedigender Wirksamkeit lassen sich nur mit **grosstechnischen Verfahren** der Druckimprägnierung erzielen (siehe Bild 6.21). Es empfiehlt sich, Produkte mit Lignum-Gütezeichen zu verwenden (Bilder 6.22 und 6.23), [6.9].

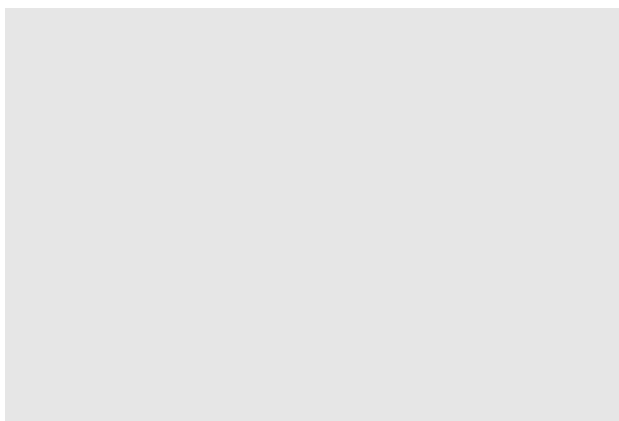


Bild 6.21 Grosstechnische Anlage zur Druck-Vakuum-imprägnierung von Holz

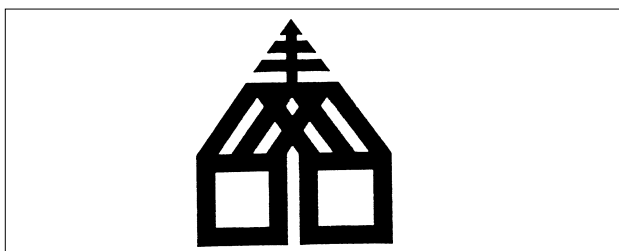


Bild 6.22 Signet des Lignum-Gütezeichens für Holzschutzmittel

Für Holzimprägnierungen sind in der Schweiz drei Arten von Schutzmitteln gebräuchlich:

- Wässrige Schutzsalzlösungen auf der Basis von CFK (Chrom, Fluor, Kupfer)- und von CKB (Chrom, Kupfer, Bor)-Verbindungen. Diese Salze verfärben das Holz grünlich, falls nicht zusätzlich dunkelfarbige Pigmente beigegeben werden. Die Schutzsalze werden seit vielen Jahrzehnten mit Erfolg zum Schutz von PTT- und EW-Stangen verwendet.
- Sehr wirksam ist auch Steinkohlenteeröl, mit dem heute vor allem Eisenbahnschwellen imprägniert werden. Die eher beschränkte Anwendung ist vor allem auf hygienische Gesichtspunkte und die oft unerwünschten Geruchsimmissionen zurückzuführen.
- Nur für Spezialanwendungen üblich sind ölige Holzschutzimprägnierungen, bei denen die Wirkstoffe mit Lösungsmitteln eingebracht werden.

Die Wahl der Holz- und Schnittart, die Bearbeitung und der optimale Fabrikationsablauf haben eine ausschlaggebende Bedeutung für die Qualität und Dauerhaftigkeit von druckimprägnierten Bauteilen.



Bild 6.23 Signet des Lignum-Gütezeichens für druckimprägniertes Holz

Die **Schuttmittelaufnahme** hängt unter anderem von der Holzart ab, wobei im allgemeinen der Splint wesentlich besser zu imprägnieren ist als der Kern. Besonders schlecht zu imprägnieren ist der Kern der Kernholzarten; dies gilt aber auch für die Fichte (Rottanne) als gängigstes Bauholz. Von mittlerer Durchlässigkeit und Imprägnierbarkeit ist Weisstannenholz. Gut zu imprägnieren sind Buchenholz und der Splint der Kernholzarten. Eine Imprägnierung ist demnach umso besser, je mehr Splintholz der Bauteilquerschnitt aufweist, vor allem bei Rundholz. Allerdings reisst dieses beim Trocknen sehr stark auf, wobei die Risse tiefer als der gut imprägnierte Splint gehen. Die Rissbildung kann wesentlich vermindert und die Imprägnierung verbessert werden, wenn das Rundholz mit einem radialen Sägeschnitt bis in die Nähe des Marks versehen wird (Entlastungsnut).

Für eine **optimale Behandlung** werden die Bauteile erst nach der vollständigen Bearbeitung mit sämtlichen Schnitten und Löchern imprägniert. Im Fall von nachträglichen Bearbeitungen sind die Schnittstellen mit Schutzmitteln nachzubehandeln, wobei die Schutzwirkung solcher Oberflächenbehandlungen weit geringer ist.

Die Wirkungskdauer von Imprägnierungen hängt stark ab von deren Qualität und dem Mass der Auswaschung. Für Salz- und Teerölimprägnierungen kann mit einer Wirkungskdauer von einem bis mehreren Jahrzehnten gerechnet werden.

Eine wichtige Bedingung für eine gefahrlose Handhabung der imprägnierten Produkte ist die Beachtung einer genügenden Fixierzeit der Schutzsalze, während der die Salze am Holz fixiert werden und – chemisch bedingt – den grössten Teil ihrer Giftigkeit verlieren. Hohe Temperaturen beschleunigen die Fixierung, die je nach Lagertemperatur 3 bis 8 Wochen dauert. Nach der Fixierung sind die Schutzsalze nur noch in unbedeutenden Mengen auswaschbar.

Detailliertere Angaben zur Imprägnierung finden sich in [6.5].

6.5 Überwachung, Unterhalt und Erneuerung

Sicherheit und dauernde Benutzbarkeit sind nur durch eine regelmässige Überwachung und einen

angemessenen Unterhalt zu gewährleisten. Die Bauwerke sind derart zu planen, dass der Unterhalt möglichst gering und einfach ist. Dazu gehören in erster Linie Massnahmen, welche die Dauerhaftigkeit einer Konstruktion fördern. Zudem sollen Verschleissteile so konzipiert werden, dass sie mit geringem Aufwand ersetzt werden können.

Hauptauslöser für Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten an Holzbauten im Tief- und Ingenieurbau sind:

- Vermorschung
- Korrosion von metallischen Bauteilen
- mechanische Schädigung durch natürliche Einwirkungen (Rutschungen, Unterspülungen, Erddruck, Schneedruck, Frost, Umfallen von Bäumen, Steinschlag, usw.)
- menschliche Einflüsse (Gebrauch, Abnutzung, Vandalismus)
- verminderte Befahr- und Begehrbarkeit, insbesondere glitschige Gehflächen
- beeinträchtigte Ästhetik (z.B. Farbanstrich teilweise abgeblättert)

Optimale Überwachungs- und Unterhaltsarbeiten erfordern sorgfältige Vorbereitung und ein systematisches Vorgehen. Um die Kontinuität in der Erhaltung zu gewährleisten, ist das Führen von bauwerksbezogenen Dokumentationen wichtig.

In einem **Überwachungsplan** ist festzuhalten, was, wann, wo und wie oft kontrolliert werden muss. Die Häufigkeit der Kontrollen hängt von den lokalen Umständen ab: je nach Zustand und Empfindlichkeit der Konstruktion und je nach Beanspruchungsintensität sind Überwachungsintervalle zwischen 2 und 5 Jahren angezeigt.

Ein Überwachungsplan kann beispielsweise folgende Punkte umfassen:

- feuchte oder nasse und damit pilzgefährdete Stellen
- Pilzbefall
- Insektenbefall
- Festigkeit von Geländern
- äussere Beschädigungen (auch durch mechanische Einwirkungen)
- Schwingungsanfälligkeit
- Verformungen / Verschiebungen des gesamten Tragwerks oder von Teilen davon
- Sitz von Verbindungsmitteln

- Korrosion von metallischen Verbindungsmitteln
- Verschmutzungen, Ansammlungen von Bodenmaterial, Erde, Laub, usw.
- Griffigkeit der Gehfläche
- Oberflächenbehandlungen von Holzbauteilen
- Nutzungsänderungen

Das möglichst frühzeitige Erfassen von stagnierender Feuchtigkeit, von pilzgefährdeten oder gar pilzbefallenen Stellen ist von grosser Bedeutung, um grössere Schäden zu verhindern.

Hinweise zur Erfassung solcher Stellen finden sich unter 6.2.2 und 6.2.3.

Systematische Erhebungen sollen verhindern, dass bei den Kontrollarbeiten «etwas übersehen wird». Hilfsmittel hierfür sind Checklisten, Tabellen, vorbereitete Protokolle, Kombinationen von Checklisten und Registrierblättern etc. Diese erleichtern auch die systematische Kontrolle der Wirksamkeit von Unterhaltsmassnahmen.

Die laufenden **kleineren Arbeiten** des Unterhalts umfassen vor allem im Hinblick auf den Holzschutz und die Dauerhaftigkeit folgende Punkte:

- Reinigen, wo das Ansammeln von Erde, Laub, usw., schädliche Auswirkungen haben kann (z.B. Glitschigwerden der Gehfläche, Ansammlung von Feuchtigkeit in der Nähe von Holzbauteilen und Verbindungsmitteln aus Metall)
- Überprüfen und evtl. ausbessern von Dichtungsmassnahmen und Abdeckungen
- Nachziehen von losen Verbindungsmitteln
- Verbessern der Gehfläche, ausebnen, erneuern von Gleitschutzmassnahmen
- Erneuern von Korrosionsschutzmassnahmen
- Ersetzen von kleineren defekten Teilen
- Erneuern der Oberflächenbehandlungen von Holz
- Zurechtrücken von deformierten und verschobenen Bauteilen
- Reinigen und ausbessern von Entwässerungsleitungen

Bei **Pilzgefährdung und -befall** können sich folgende Massnahmen aufdrängen:

bei Stellen mit andauernd hoher Feuchte und geringem Pilzbefall:

- Wasserzutritt, wenn möglich unterbinden
- Austrocknung fördern

- Versetzen von Borpatronen als chemischen Holzschutz

bei intensivem Pilzbefall:

- Ersatz der vermorschten Teile, bevorzugterweise mit imprägniertem oder pilzresistentem Holz
- Stelle konstruktiv verbessern

Eine Sperrung des Bauwerkes oder eines Teils davon kann notwendig sein, wenn ein intensiver Pilzbefall an einer kritischen Stelle eines Tragwerks auftritt.

Aus den vorstehenden Erläuterungen ist zu entnehmen, dass im Holzbau die **Prävention** von primärer Bedeutung ist. Trotzdem kann es erforderlich sein, Teile des Schutzsystems zu **erneuern**.

Der **Oberflächenschutz** ist in der Regel erneuerbar. In Abschnitt 6.4.4 finden sich dazu einige Hinweise. Die Verträglichkeit zwischen alten und neuen Schutzmitteln ist sicherzustellen. Der **chemische** Schutz kann im Bauwerk nicht erneuert werden.

Im weiteren können im Holzbau geschädigte Bauteile verhältnismässig einfach **verstärkt** oder ersetzt werden. Auch die konstruktiven Schutzdispositive wie Abdeckungen (Dächer), Abdichtungen und Entwässerungen sind ersetzbar.

7 Natursteinmauerwerksbau

7.1	Allgemeines	134
7.2	Naturstein- und Mauerwerksarten	135
7.3	Alterungs- und Schädigungsmechanismen	141
7.4	Überwachung	144
7.5	Unterhalt und Erneuerung	145

7 Natursteinmauerwerksbau

7.1 Allgemeines

Die ältesten, heute noch bestehenden Bauwerke wurden in Naturstein erstellt, und einige von ihnen sind inzwischen mehrere tausend Jahre alt geworden. Dazu gehört beispielsweise die Zhaozhou Brücke in China, die vor fast 2600 Jahren gebaut wurde und eine ebensolange Nutzungsdauer aufweist (Bild 7.1).

Der Pont du Gard bei Nîmes in Südfrankreich ist in den Jahren 63–13 v. Chr. entstanden. Dieser kühne, 275 m lange römische Aquädukt ist damit über 2000 Jahre alt (Bild 7.2). Die Nutzungsdauer betrug mehrere hundert Jahre. Im letzten Jahrhundert wurde ernsthaft erwogen, den Aquädukt instandzusetzen und wiederzuverwenden. Die unterste Brückenebene für den Strassenverkehr kam erst im 18. Jahrhundert dazu [7.2].

Auch in der Schweiz verfügen wir über sehr viele bemerkenswerte Brücken und andere Tief- und Ingenieurbauten aus Naturstein (Bilder 7.3 und 7.4).

Leonhardt sagt zu den alten Steinbrücken, dass deren «schönheitlicher und kultureller Wert unbestritten ist, und dass diese unsere Hochachtung und Pflege verdienen. Die Gewölbe und Pfeiler haben Jahrtausende überdauert, wenn hartes Gestein verwendet wurde und die Fundamente auf festem Grund gebaut waren. Mit Naturstein kann man Brücken schön und dauerhaft bauen. Die Herstellungskosten für Natursteinbrücken sind

nur leider sehr gestiegen. Auf lange Sicht könnten Natursteinbrücken vielleicht die billigsten sein, wenn sie sorgfältig geplant und einwandfrei ausgeführt werden, weil sie sehr lang halten und über Jahrhunderte fast keine Unterhaltung erfordern, wenn extreme Luftverschmutzung ausgeschlossen ist», [7.3].

Mit der Einführung der Betonbauweise haben die Natursteine für tragende Teile immer mehr an Bedeutung verloren. In diesem Jahrhundert wurde hauptsächlich noch Verkleidungsmauerwerk ausgeführt. Auch diese Anwendungsart ist heute weitgehend verschwunden (im Kreis III der SBB wurde die letzte Verkleidung in den Jahren 1967/68 ausgeführt); dies vor allem, weil bis anhin meistens nur die reinen Erstellungskosten verglichen werden, und die späteren Erhaltungskosten nicht in die Vergleichsrechnung eingehen.

Ein weiteres Problem der Natursteinbauweise ist heutigentags das Fehlen von Fachleuten und erfahrenen Arbeitern. Seit einiger Zeit werden allerdings in verschiedenen Alpenkantonen wieder vermehrt Stützmauern aus roh anfallenden, wenig bearbeiteten Bruchsteinen mit entsprechend unregelmässig breiten Mörtelfugen erstellt. Dies ist vielleicht ein Hinweis darauf, dass diese Bauweise, bei Anwendung aufwandsparender Methoden, wieder ihren berechtigten Platz einnehmen könnte.

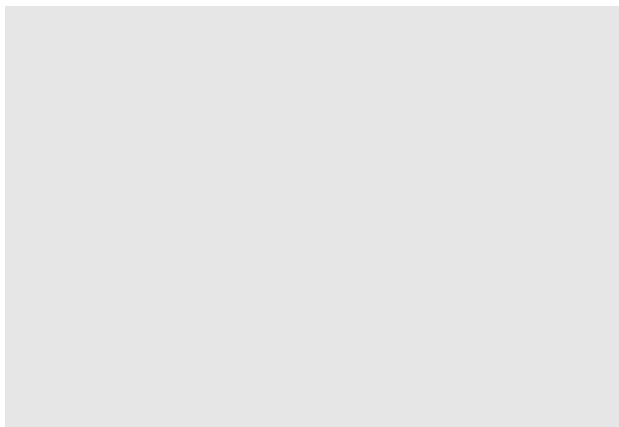


Bild 7.1 Zhaozhou Brücke bei Zhaoxian in der Hebei Provinz, China, Spannweite 37.02 m, aus [7.1]

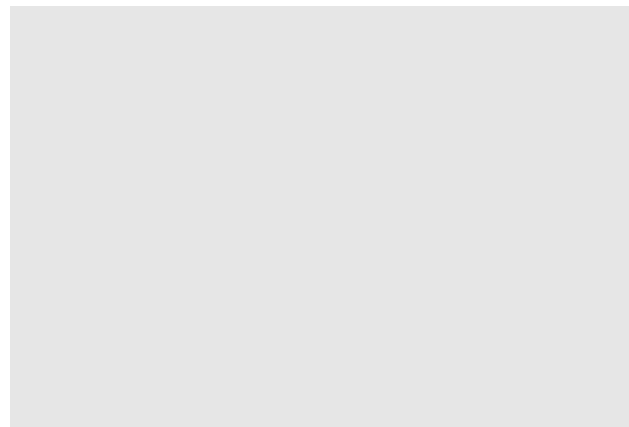


Bild 7.2 Pont du Gard bei Nîmes, Aquädukt und Strassenbrücke, aus [7.3]

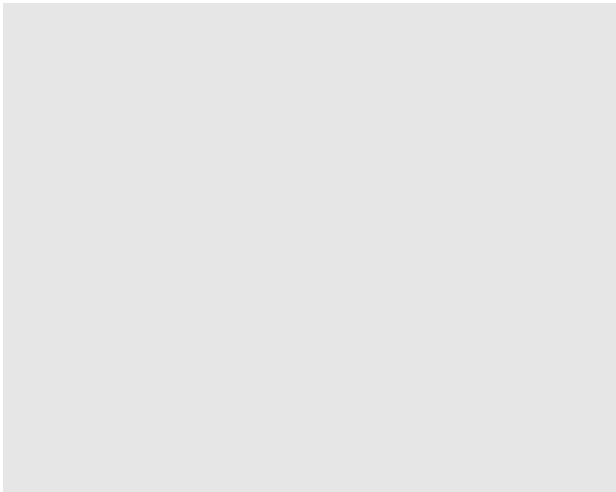


Bild 7.3 Fussgängerbrücke über die Verzasca bei Lavertezzo im Tessin, aus [7.3]

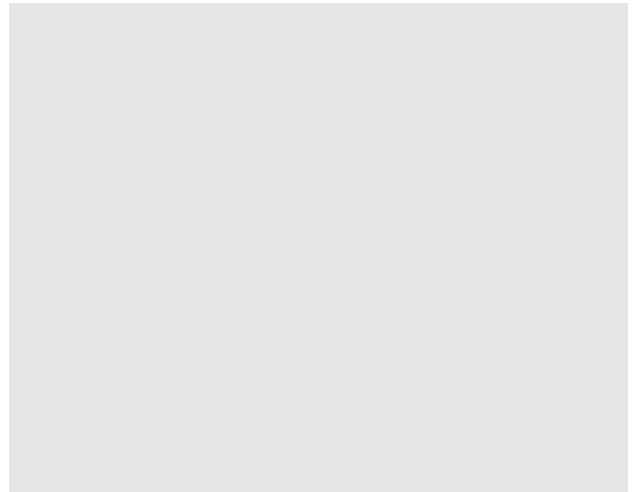


Bild 7.4 Stützmauer der Münsterplattform in Bern

7.2 Naturstein- und Mauerwerksbau

Die Dauerhaftigkeit von Natursteinbauten hängt in erster Linie von den Eigenschaften der Natursteine selbst ab. Im Zusammenhang mit der Frage der Erhaltung solcher Bauwerke ist es deshalb wichtig, diese zu kennen.

Über die in unserem Land verwendeten Arten von Natursteinen gibt es im Schweizer Normenwerk nur wenige Angaben. So enthält die Norm SIA 178, Ausgabe 1980, Naturstein-Mauerwerk, [7.4], nichts Wesentliches zum Gesteinsmaterial selbst und dessen Eignung als Baustoff.

Es fällt auch auf, dass sich diese Norm in erster Linie mit neu zu projektierenden und zu erstellenden Bauwerken befasst, obwohl zum Zeitpunkt ihrer Erarbeitung kaum noch solche gebaut wurden. Demgegenüber ist **der Bereich der Erhaltung der unzähligen bestehenden Bauten aus Naturstein nicht behandelt. Diese Lücke müsste in absehbarer Zukunft geschlossen werden.**

In bezug auf die **Dauerhaftigkeit** wird immerhin erwähnt, dass **wetterbeständige Steine und**

ein frostbeständiger, möglichst wasserdichter Mörtel zu verwenden sind, wobei die letztere Empfehlung nicht in allen Fällen richtig ist.

So ist der Rückgriff auf ältere Unterlagen erforderlich. Dazu gehören in erster Linie die Standardwerke von de Quervain [7.5, 7.6].

In [7.7] sind wichtige Hinweise beispielsweise zu den Bindemitteln für die Mörtelfugen und vor allem zur Ausführung von Natursteinbauten enthalten, die teilweise immer noch den Stand der Technik darstellen. Diese Bestimmungen der SBB aus dem Jahre 1924 basieren im übrigen auf den Vorschriften für den Bau der Gotthardbahn, wo der Natursteinbau eine seiner Blütezeiten erlebte.

Die Tabelle 7.1 aus [7.7] mit Angaben zu den Bindemitteln der Mörtelfugen mag aus der Optik der damaligen Verfasser vollständig gewesen sein. Aus heutiger Sicht hingegen fehlen darin die Weiss- und Puzzolankalke (Trasskalke), welche im Natursteinbau nicht mehr wegzudenken sind. Angaben zu diesen Bindemitteln finden sich unter anderem in [7.8, 7.9].

Bindemittel	Hydraulische Kalke		Schnellbindende Zemente (Art Grenoble)	Portlandzemente		Schlackenzemente		Gemischte Zemente		
	Erzeugnisse, welche aus Kalk- mergeln oder Kieselkalen durch Brennen <i>unterhalb</i> der Sintergrenze, Hydratisierung und Zerkleinerung auf Mehlf- feinheit gewonnen werden.			Erzeugnisse, welche aus künstlichen innigen Mi- schungen von Tonkiesel- säure und kalkhaltigen Materialien, in bestimm- ter Zusammensetzung durch Brennen <i>bis zur</i> Sinterung und Zerklei- nerung auf Mehlfineinheit gewonnen werden.		Fabrikmäßig erzeugte Mischungen pulverfor- miger Kalkhydratre mit staubfein zerkleinertem Zuschlag von getrockne- ter, gepulverter, basi- scher Hochofenschlacke. Nur im Einverständnis mit der Bauleitung verwend- bar für langsam fort- schreitende Arbeiten unter Wasser oder in feuchter Atmosphäre.		Erzeugnisse mechanisch her- gestellter Mischungen ver- schiedener Bindemittel oder eines Bindemittels mit zweck- entsprechend gewählten Stof- fen. Sie gehören nicht in die Liste der anerkannten und definierten Bindemittel und können nur im Einverständ- nis mit der Bauleitung ver- wendet werden, wenn ein besonderer Zweck damit erreicht werden soll.		
	Leichte h. Kalke	Schwere h. Kalke		Zug kg/cm ²	Druck kg/cm ²	Zug kg/cm ²	Druck kg/cm ²	Zug kg/cm ²	Druck kg/cm ²	
Festigkeit des erdfeucht eingeramten Normal- mörtels (1 Gewichtsteil Bindemittel auf 3 Ge- wichtsteile Normalsand) soll in der maßgebenden 28tägigen Probe bei Wasserlagerung minde- stens betragen:	6	40	8	80	Zug kg/cm ²	Druck kg/cm ²	15	120	—	—
Feinheit der Mahlung Auf einem Sieb von 900 Maschen auf 1 cm ² und 0,1 mm Drahtstärke darf der Rückstand nicht mehr betragen als:	15 %	15 %	5 %		2 %		1 %		—	
Volumengewicht, im Einlieferungszustande los eingefüllt, ist anzu- nehmen:	kg/lit. —	kg/lit. 1,05	kg/lit. —		kg/lit. 1,15		kg/lit. —		kg/lit. —	

Einige Jahre später erarbeitete der Schweiz. Bau-
meisterverband unter Mitwirkung der SBB weiter-
gehende Richtlinien [7.9]. Darin sind Angaben bei-
spielsweise zu den Mauerwerksarten enthalten.
Die Bilder 7.5 bis 7.7 sind hier wiedergegeben, weil
sie mithelfen können, bestehende Bauwerke zu
beurteilen.

Weiter hilfreich für die Beurteilung bestehender
Natursteinbauwerke sind die folgenden Hinweise
zum Steinmaterial, aus [7.10]:

«Die Anwendung und die Verarbeitung von Natur-
steinen zu Mauerwerk richten sich nach den ver-
schiedensten Eigenschaften des Steinmaterials, so-
wie nach den Gewinnungsmöglichkeiten und
Transportverhältnissen.

Die wichtigsten Eigenschaften, die bei der Verwen-
dung von Natursteinen beachtet werden müssen,
sind folgende:

- Die **Festigkeit**, wobei im allgemeinen die
Druckfestigkeit in kg je cm² angegeben wird.
- Die **Wetterbeständigkeit**, die ausschlag-
gebend ist für die Dauerhaftigkeit einer Mauer.
Bauteile, die nicht unter Dach oder sonstwie der
Feuchtigkeit und dazu dem Frost ausgesetzt
sind, dürfen nur aus wetterfesten Steinen er-
stellt werden. Den entscheidenden Anhalts-
punkt über die Wetterbeständigkeit gibt die
Wasseraufnahmefähigkeit des Gesteins.
Steine, die Wasser aufsaugen, werden durch
den Frost zerstört, weil das Wasser beim Gefrie-
ren sich ausdehnt und dadurch den Stein
sprengt.
- Das **Raumgewicht** ist das Gewicht einer Raum-
einheit, des Gesteins wie es ist.
- Das **spezifische Gewicht** dagegen ist das Ge-
wicht des Baustoffes, wenn er vollständig dicht,
ohne Poren und Hohlräume gerechnet wird.
Wenn das Raumgewicht sehr viel kleiner ist als
das spezifische Gewicht, ist dies ein Zeichen,
dass das Gestein viel Hohlräume enthält. Man
sagt, das Gestein habe eine geringe Dichte.
Solches Gestein nimmt im allgemeinen viel
Wasser auf und ist daher nicht wetterbeständig
(siehe Tabelle 7.2).

Für die Verarbeitung des Steines sind die folgen-
den Eigenschaften von Bedeutung:

- **Lagerhaft** nennt man ein Gestein, das in einer
Richtung sich besser spalten lässt, als in ande-

ren. Gesteine, die in keiner Richtung anders
spaltbar sind, heissen **massig**. Im allgemeinen
besitzen die Steine quer zum Lager eine grö-
ssere Druckfestigkeit als parallel dazu.

Aus lagerhaften Steinen können Mauersteine
leicht durch **spalten** hergestellt werden. Massi-
ge Steine lassen sich zum Teil gut mit dem
Hammer richten; andere sind schwerer zu bear-
beiten und müssen **behauen** werden. Weichere
Steine, wie Sandsteine, lassen sich schroten.
Für besondere Zwecke werden die Steine auch
gesägt.»

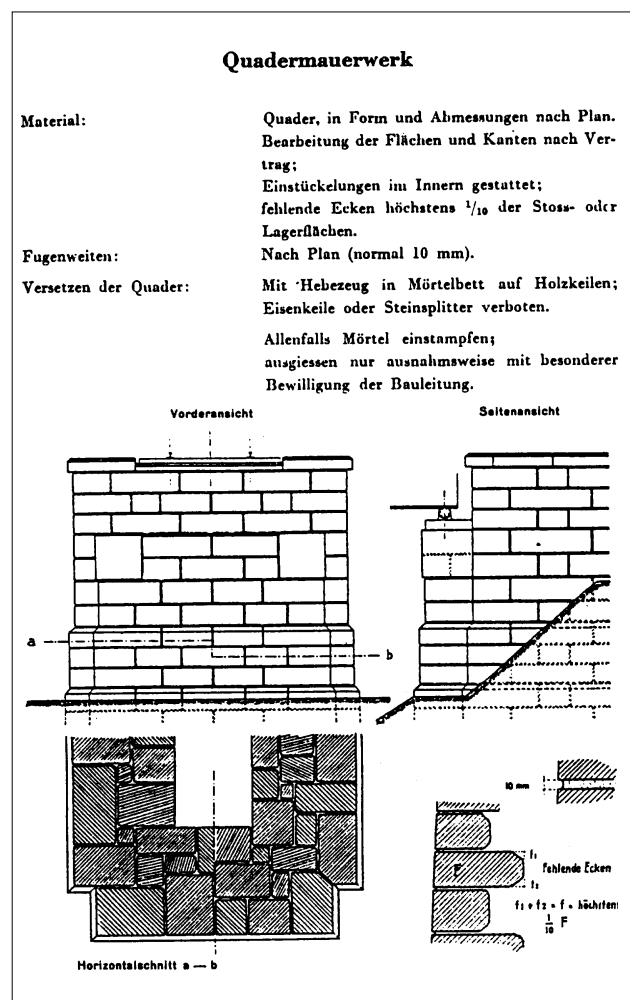


Bild 7.5 Quadermauerwerk, aus [7.10]

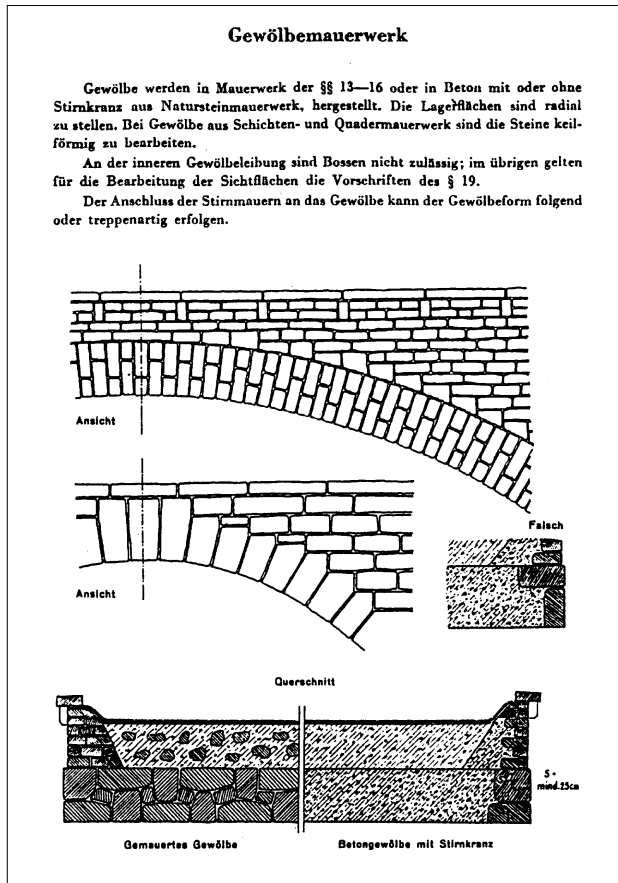


Bild 7.6 Gewölbemauerwerk, aus [7.10]

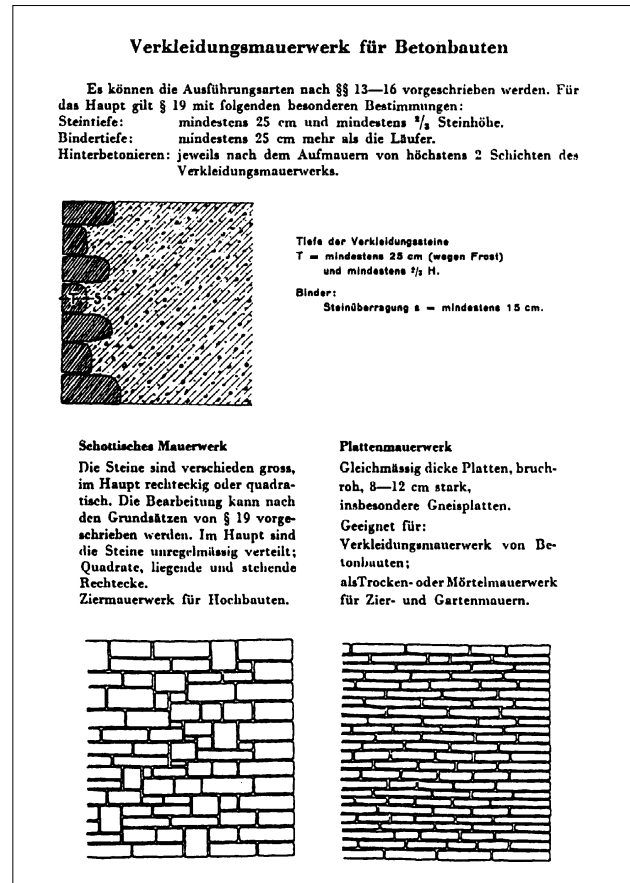


Bild 7.7 Verkleidungsmauerwerk für Betonbauten, aus [7.10]

Das vorstehende Zitat ist aus heutiger Sicht wie folgt zu kommentieren:

- Die Meinung, dass generell nur frostfeste Gesteine verwendet werden dürfen, ist nicht richtig. Die Frostgefährdung besteht nur bei fast wassergesättigten Gesteinen, was im Mauerwerk allenfalls im Sockelbereich der Fall sein kann.
- Der Begriff «Raumgewicht» ist gemäss der Empfehlung SIA 381/1 (1980), Baustoffkennwerte, durch «Rohdichte» ersetzt.
- Die Schlussfolgerung, dass ein Gestein mit grosser Wasseraufnahme nicht wetterbeständig ist, muss relativiert werden. So ist beispielsweise der Kalktuff trotz grosser Wasseraufnahmefähigkeit (Porenvolumen 20 bis 40%) ein für gewisse Anwendungszwecke ein sehr guter Baustein.

Die Tabelle 7.2 gibt eine Übersicht über die damals wichtigsten Naturbausteine der Schweiz. Die darin enthaltenen Angaben können zur Beurteilung alter Bauwerke nützlich sein, wobei aus heutiger Sicht nicht alle Angaben ohne weitere Überprüfung übernommen werden sollten.

Wenn es heute darum geht, im Rahmen von Erneuerungsmassnahmen Natursteine bei einem Bauwerk zu ersetzen, so ist natürlich von der heutigen Situation betreffend deren Verfügbarkeit auszugehen. Eine aktuelle Übersicht ist leider noch nicht vorhanden. Immerhin kann auf eine Dissertation hingewiesen werden, welche 1983 erschienen ist und eine Liste der Schweizer Steinbrüche sowie Angaben zu den gewonnenen Materialien enthält [7.11].

Übersicht der wichtigsten Natur-Bausteine der Schweiz

Art	Bezeichnung im Handel	Hauptsächliche Gewinnungs-Gebiete und -Orte	Äusseres Gefüge (Textur)	Inneres Gefüge (Struktur)	Farbe	Druckfestigkeit trocken kg / cm ²	Raumgewicht kg / dm ³	Spezifisches Gewicht kg / dm ³	Wasser-aufnahme Gewichts-%	Bearbeitbarkeit
Granit	Gotthardgranit	Uri: Gurtellen, Wassen, Göschenen	massig	körnig	weiss } schwarz grünl. } gefleckt	1600—2400	2,4—2,7	2,56—2,7	0,2—0,55	in verschied. Richtungen gut spaltbar
	Urnergranit	Graubünden: Ander								
Gneis	Anderergranit	Wallis: Monthey, Martigny								
	Tessinergranit	Tessin: Rodi, Faido, Chiggiogna, Lavorgo, Bodio, Personico, Follegio, Busca, Iragna, Osogna, Lodrino, Cresciano, Claro	lagerhaft bis plattig	körnig-linsig	weiss } schwarz grünl. } gestrich.	1300—2100	2,55—2,64	2,62—2,71	0,21—0,72	nach dem Lager sehr gut spaltbar in dünne ebene Platten
Kalkstein	Verzascanergranit	Brione-Verzasca								
	Bevolu	Maggial: Ponte-Brolla, Cevio, Somo								
Kieselskalk	Alpenkalk	St. Gallen: Oberriet-Rheintal, Quinten, Weesen	meist massig	feinkörnig	dunkelblaugrau	2000—2700	2,62—2,67	2,66—2,73	0,04—2,8	gut zu richten
	Blauer Kalkstein	Glarus: Näfels, Mollis Vierwaldstättersee: Brunnen, Seewen, Matt, Kehrsiten, Hergiswil, Rotzloch Thunersee: Balmbühl Brienzersee: Ringgenberg								
Dichter Kalkstein	Lägerstein	Schaffhausen: Hemmental								
	Jura	Läger: Dielsdorf, Baden Jura: Laufelingen, Solothurn, Biel, Reuchenette, Neuveville, Valengin, Chaux-de-Fonds Waadt: St-Triphon Jura: Laufen, Brislach, Muttetenz, Balsthal	meist massig	fast körnig	hellgelblich weiss, hellgelb grau dunkel (wird hellgrau)	1600—1750 1400—2000 1000—1500 1100—1500	2,58—2,68	2,70—2,74	0,2—3,2 0,1—2,6	gut zu richten und zu behauen
Poröser Kalkstein	St-Triphon-Marmor									
	Laufenstein									
aus Kalk-tier-Ab-lagerungen (Echinodermen-Kalk)	Hauterivestien	Neuenburg: Hauterive, St-Blaise	massig	porös	gelb, dunkelgelb	1100—1600			0,6—5,5	leicht zu behauen
		Waadt: Villeneuve (Arvel), Bex Wallis: Collombey	massig	fast körnig	hell, gelbgrau	1800—2100 1100—1800			0,1—3,4	gut zu richten und zu behauen

Tab 7.2
Übersicht über die wichtigsten Naturbausteine der Schweiz, Stand um 1930, aus [7.10]
Die Angaben entsprechen dem damaligen Stand und können damit die Grundlage zur Beurteilung bestehender Bauten bilden. In der Zwischenzeit sind im Natursteingewerbe grosse Veränderungen eingetreten. Bei Neuanwendungen ist deshalb der aktuelle Stand festzustellen. Angaben dazu sind in [7.11] enthalten. Im weiteren sei in bezug auf die Gesteinsarten auf [7.5, 7.6] verwiesen.

Art	Bezeichnung im Handel	Hauptsächliche Gewinnungs-Gebiete und -Orte	Äusseres Gefüge (Textur)	Inneres Gefüge (Struktur)	Farbe	Druckfestigkeit trocken kg / cm ²	Raumgewicht kg / dm ³	Spezifisches Gewicht kg / cm ³	Wasser-aufnahme Gewichts-%	Bearbeitbarkeit
Sandstein Granitisch Sandstein (Zuger Sandstein)	St. Margrethert.	St. Gallen: Margrethen	massig	feinkörnig	grau-bläulich	500—800	2,44	2,67	1,7—3,5	leicht zu behauen
	Buchberger-Bolinger-Sandstein	Obersee: Buchberg, Bollingen, Jona, Scherikon, Uznaberg	massig	feinkörnig	gelblich-grau	500—1900	2,35—2,51	2,64—2,69	2,5—6,0	
	Zuger-Sandstein	Zug: Menzingen, Lottenbach	massig	feinkörnig	grünlich-bläulich	800—1100	2,45	2,66—2,72	1,0—2,5	leicht zu Platten zu spalten
Kalksandstein plattig	Rorschacherstein	St. Gallen: Saad-Rorschach	plattig	feinkörnig	grünlich-bläulich	800—1100	2,45	2,66—2,72	1,0—2,5	leicht zu Platten zu spalten
	Rooterstein	Luzern: Renggloch, Root, Rooterberg	plattig	feinkörnig	grünlich-bläulich	800—1100	2,45	2,66—2,72	1,0—2,5	leicht zu Platten zu spalten
	Stockernsandstein	Bern: Stockern, Ostermundigen, Krauchthal, Oberburg	massig	feinkörnig	grünlich-grau	250—400	2,15—2,26	2,61—2,72	5,5—7,6	leicht zu schneiden und leicht zu behauen
Kalkreich (Appenzeller)	Ostermündiger-Sandstein	Bern: Stockern, Ostermundigen, Krauchthal, Oberburg	massig	feinkörnig	grünlich-grau	250—400	2,15—2,26	2,61—2,72	5,5—7,6	leicht zu schneiden und leicht zu behauen
	Sandapachstein	Freiburg	massig	feinkörnig	grünlich-grau	250—400	2,15—2,26	2,61—2,72	5,5—7,6	leicht zu schneiden und leicht zu behauen
	Grès d'Attalens	Appenzell: Waldstatt, Teufen	massig	feinkörnig	grünlich-grau	250—400	2,15—2,26	2,61—2,72	5,5—7,6	leicht zu schneiden und leicht zu behauen
Quarz-sandstein (Flysch u. andere)	Grès de Corbières	Obersee: Ebnat, Krumenau	massig	feinkörnig	bläulich-grau	1100—1700	2,66—2,67	2,73—2,78	0,3—1,0	gut zu behauen
		Appenzell: Waldstatt, Teufen	massig	feinkörnig	bläulich-grau	1100—1700	2,66—2,67	2,73—2,78	0,3—1,0	gut zu behauen
		Obersee: Ebnat, Krumenau	massig	feinkörnig	bläulich-grau	1100—1700	2,66—2,67	2,73—2,78	0,3—1,0	gut zu behauen
Muschel-sandstein	Seclaffe	Glarus: Matt (Sernftal)	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
	Müggelwilerstein	Uri: Attinghausen	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
	Muscheikalkstein	Obwalden: Guber (Alpnach)	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
Nagelfluh feinkörnig	Appenzeller-Granit	Bern: Mitholz (Kandersteg), Schwarzenburg-Gurnigel	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
		Freiburg: Plasselb	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
		Wallis: Massongex, St-Gingolph	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
grob	Appenzeller-Granit	St. Gallen: Buchserberg, Sevelen	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
		Nidwalden: Beckenried	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
		St. Gallen: Thal (Rorschach)	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
grob	Appenzeller-Granit	Aargau: Müggelwil, Würenlos, Othmarsingen	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
		Freiburg: Seiry (Estavayer)	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
		St. Gallen: Thal (Rorschach)	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
grob	Appenzeller-Granit	Appenzell: Herisau (Schachen)	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
		St. Gallen: Degersheim	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
		Zürich: Rüti	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
grob	Appenzeller-Granit	Schwyz: Goldau (Bergsturz)	massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
			massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten
			massig	feinkörnig	grünlich-grau	1600—2700	2,60—2,69	2,66—2,75	0,05—0,20	gut zu richten

Tab 7.2 Forts.
Übersicht über die wichtigsten Naturbausteine der Schweiz, Stand um 1930, aus [7.10]
Die Angaben entsprechen dem damaligen Stand und können damit die Grundlage zur Beurteilung bestehender Bauten bilden. In der Zwischenzeit sind im Natursteingewerbe grosse Veränderungen eingetreten. Bei Neuanwendungen ist deshalb der aktuelle Stand festzustellen. Angaben dazu sind in [7.11] enthalten. Im weiteren sei in bezug auf die Gesteinsarten auf [7.5, 7.6] verwiesen.

7.3 Alterungs- und Schädigungsmechanismen

Die grundsätzlichen Hinweise zu den Alterungs- und Schädigungsmechanismen, wie sie für alle Baustoffe gelten, sind in Abschnitt 2.3 enthalten. Auch für Natursteinmauerwerk gilt, dass **äussere** und **innere** Einwirkungen Schäden zu verursachen vermögen. Dabei können diesen sowohl **natürliche**, als auch **anthropogene**, dass heisst von Menschen bewirkte Einflüsse zugrundeliegen. Die Natursteine verwittern aufgrund von **mechanisch-physikalischen**, **chemischen** und **biologischen** Prozessen [2.12, 7.12, 7.13].

Die **inneren** Faktoren hängen von der jeweiligen Gesteinsart ab, wie sie von der Natur angeboten werden. Sie sind ausschlaggebend für die **Widerstandsfähigkeit** oder **Dauerhaftigkeit** eines Steines bei gleicher Einwirkung.

Die mineralogische Zusammensetzung gibt Hinweise vor allem auf das **chemische Verhalten**. Der Gefügebau in Form von Schieferung, Mineralienorientierung und vor allem der Porosität bedingt das **physikalische Verhalten** des Gesteins. Wichtig ist auch die **gegenseitige Beeinflussung verschiedener Materialien** im Mauerwerk, wobei das Ausmass oft vom Grad der Durchfeuchtung abhängt. So vertragen sich beispielsweise Beton bzw. Portlandzement und Sandstein schlecht. Es ist bekannt, dass die mechanische Härte der Zementmörtel weichere Baustoffe in der Umgebung schädigt, und dass Salze aus den Zementmörteln angrenzende Sandsteine und Kalkmörtel zerfressen [7.14].

Für das Langzeitverhalten von Naturstein ist auch die **Wetterexposition** von Bedeutung, d.h. ob ein Bauteil **berechnet** oder **nicht berechnet** wird. In bodennahen Bereichen wirken sich beispielsweise die **Grundfeuchte** und **Hangwasser** aus, wobei auch immer Salze mittransportiert werden können.

Die häufigsten Schadensformen im Gestein sind:

- Absanden
- Abblättern
- Schalenbildung
- Ausblühungen, Krusten und Steinversalzung
- Zerbröckelung z.B. von Kalkstein

Die Bilder 7.8 bis 7.12 zeigen verschiedene Schadensbilder.

Die Schäden können verstärkt auftreten, wenn die Steinoberflächen ursprünglich unsachgemäss bearbeitet wurden.

Zur Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit eines Natursteinmauerwerks ist der **Zustand der Mörtelfugen** ebenfalls von Bedeutung. Diese können vor allem durch dauernde Durchfeuchtung und Frostbildung Schaden erleiden. Besonders gefährdet ist hier der «alte» reine Kalkmörtel (aus Löschkalk).

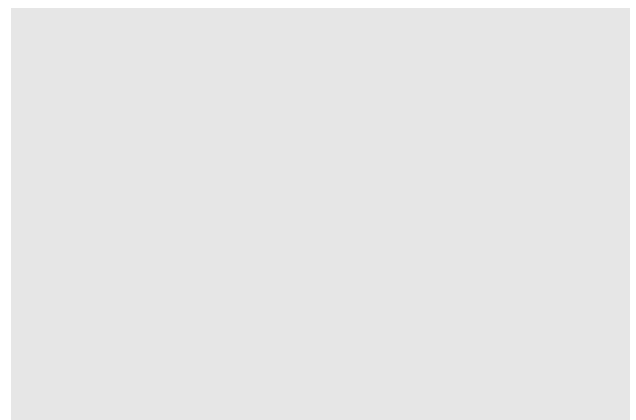
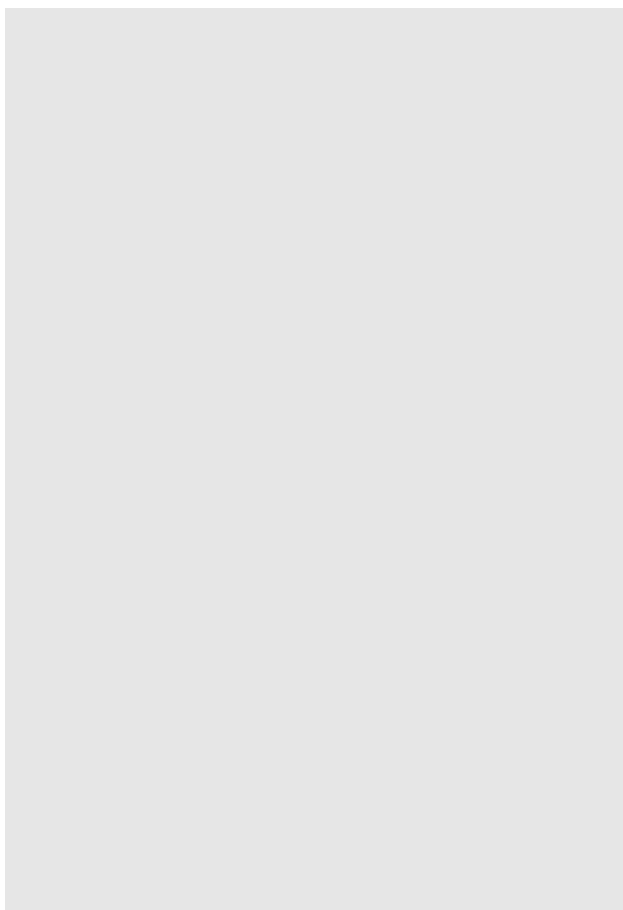
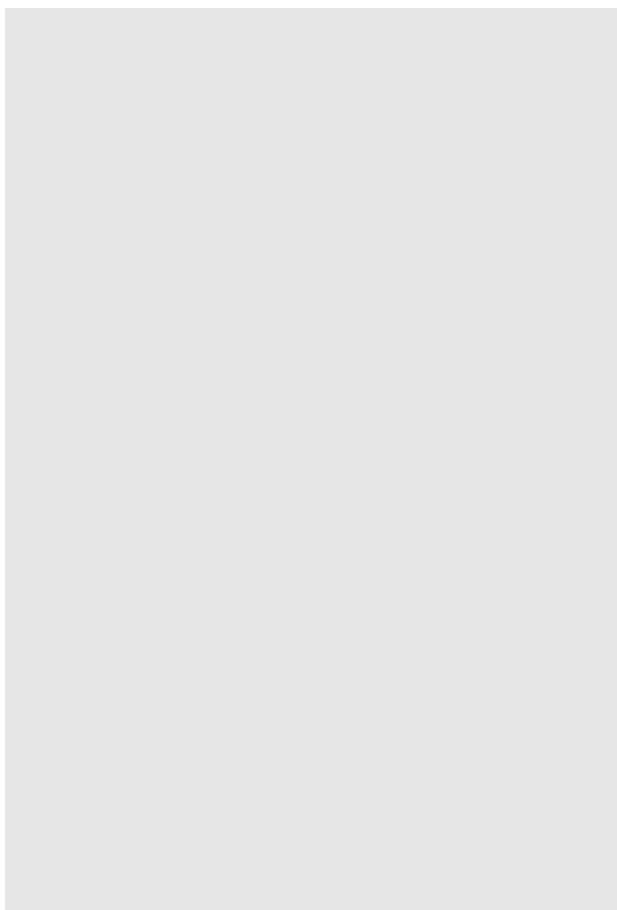


Bild 7.8 Typisches Absanden des Berner Sandsteins an der Bundesterrasse in Bern



*Bild 7.9 Schadenssituation an der Nydeggbücke;
Wasser von oben bewirkt starkes Absanden
durch Salzkristallisation*



*Bild 7.10 Schalenbildung im Sandstein an einer
Stützmauer in Zürich*

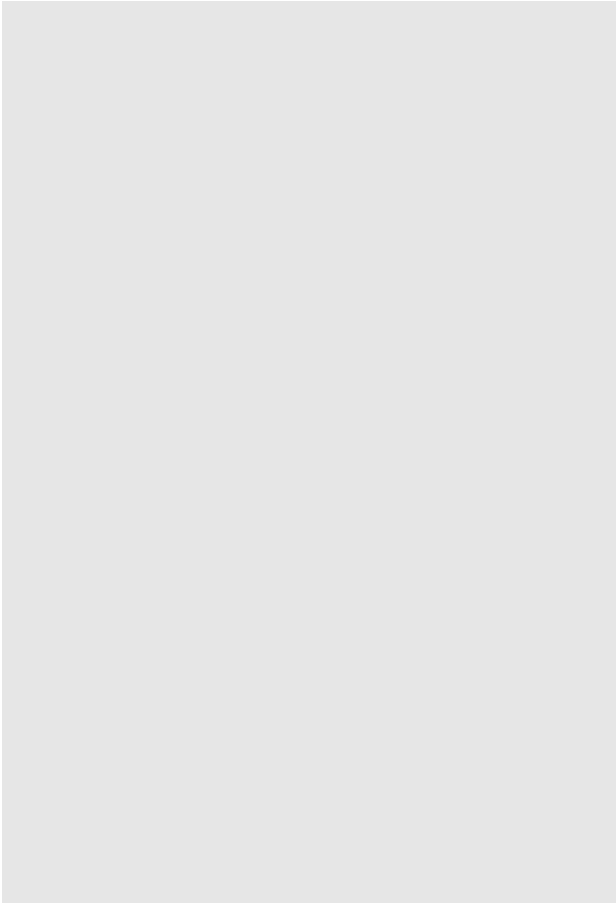


Bild 7.11 Wurzelsprengung durch Birke an der «Holzbrücke» in Olten

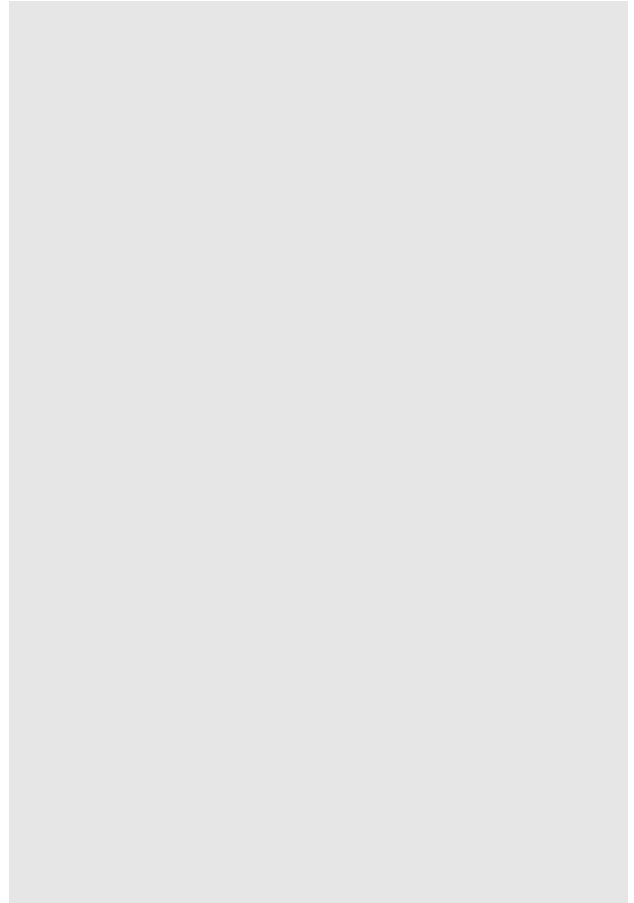


Bild 7.12 Schadenssituation an der Stützmauer der Münsterplattform in Bern; Feuchte mit Salzen aus der Hinterfüllung drang nach aussen und hat den Sandstein tief «zerfressen»

7.4 Überwachung

In bezug auf die Überwachung, zu der die Bauwerksuntersuchung (Schadensaufnahmen) und die Beurteilung gehört, ist zu unterscheiden zwischen **reinen Nutzbauwerken aus Naturstein wie Strassen- und Eisenbahntunnels und solchen, die neben ihrer funktionalen Aufgabe im Sinne der Denkmalpflege einen kulturellen Wert aufweisen**. Zu den letzteren können beispielsweise markante, gut gestaltete **Brücken und Stützbauwerke** sowie **Fassadenkonstruktionen von Natursteingebäuden** gehören.

Der Unterschied liegt zunächst darin, dass bei Natursteinbauten mit Denkmalcharakter auch bei der Untersuchung am Bauwerk sehr sorgsam

vorgegangen werden muss. Eine rein technologisch orientierte Vorgehensweise kann beispielsweise bereits durch übermässige Bohrkernentnahmen zu einer unzulässigen Beeinträchtigung des Erscheinungsbildes führen.

Aus diesem Grunde bietet sich für die Schadensaufnahme in erster Linie die **visuelle Inspektion** an [1.2]. Gemäss [7.18] soll die Schadensaufnahme üblicherweise auf steingerechtem Plan unter Verwendung einer normalisierten Legende erfolgen (siehe Bild 7.13). Zur Ergänzung dienen Fotografien, die in der Regel vor dem Erstellen des Gerüstes zu machen sind.

Wenn erforderlich, können weitergehende Untersuchungen an Gesteinsproben im Labor erfolgen.

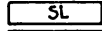
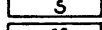
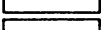
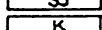
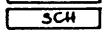
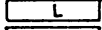
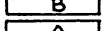
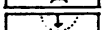
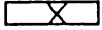
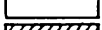
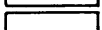
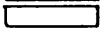
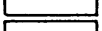
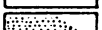
<u>Verwitterungsformen/ Schäden</u>		<u>Steinarten / Material</u>	
	Intakter Naturstein		Granit
	Leichtes Sanden		Dichter Kalkstein
	Sanden		Berner Sandstein A
	Starkes Sanden		Berner Sandstein B
	Krustenbildung		Vierung
	Schalenbildung		Mergelinschlüsse
	Auflockerung		Zementmörtel-Flicke
	Bröckeln		Kunststein
	Ausblühungen		Verputz
	Wasserläufe		
	Flechten, Algen		
	Risse		
<u>Sanierungsmassnahmen</u>			
	Reinigen: Abbürsten / Saugen / Wässern		
	Verfestigung		hellgrün
	Ueberarbeitung: leichtes Ueberhobeln / Ueberarbeiten		
	Aufmodellierung Kalk-Trass		gelb
	Aufmodellierung Epoxyd		orange
	Natursteinersatz		rot
	Vierung		rot
	Kunststeinersatz (Zementgebunden)		blau
	Hydrophobierung		dunkelgrün
	Flickarbeit Verputz		

Bild 7.13 In der Stadt Bern gebräuchliche Legende für die Dokumentationen der Steinarten, Schäden und Sanierungsmassnahmen, aus [7.18]

Im Falle der reinen Nutzbauwerke, wie beispielsweise Tunnelauskleidungen in Naturstein, steht auch die **visuelle Inspektion** im Vordergrund. **Thermographische Aufnahmen** können zusätzliche Hinweise über den Zustand der Auskleidung und das Ausmass vorhandener Durchfeuchtung oder wasserführender Bereiche geben [1.2, 7.15]. Es ist überdies denkbar, dass, bei entsprechender Weiterentwicklung, die Methoden wie Georadar und Ultraschall praktisch einsetzbar werden. Hinweise dazu, wie auch zu den Untersuchungstechniken **Kernbohrung** (mit anschließenden Laboruntersuchungen) und **Endoskopie** (Inspektion von Hohlräumen hinter der Verkleidung) sind in [1.2] enthalten.

7.5 Unterhalt und Erneuerung

Die in Abschnitt 7.4 gemachte **Unterscheidung zwischen reinen Nutzbauwerken und Natursteinbauten mit Denkmalcharakter** ist auch sinnvoll für die Planung und Ausführung von Unterhalts- und Erneuerungsmassnahmen.

Bei bestehenden **Nutzbauwerken, wie Strassen- und Eisenbahntunnels**, geht es in erster Linie darum, einen tragfähigen und, je nach Anforderung auch einen hinreichend wasserundurchlässigen Mauerwerksausbau zu erzielen. Je nach Einwirkung, beispielsweise durch Tausalze oder andere aggressive Medien, können die Steinoberflächen und Fugen mehr oder weniger verwittert oder zersetzt sein.

Mangelhafte Fugen werden sorgfältig ausgekratzt oder ausgespitzt. Die Fugen sind mittels Sand- oder Druck-Wasserstrahl zu reinigen. Bei diesen Arbeiten kann es notwendig sein, die einzelnen Steine durch provisorische Holzkeile zu sichern. Das Neuverfugen geschieht meist in zwei Arbeitsgängen (siehe Bild 7.14). Im Arbeitsgang 1 wird die Fuge im hinteren Bereich mit einem geeigneten Mörtel gefüllt. Es ist abzuklären, ob Portlandzement im Einzelfall brauchbar ist, oder ob sich Zemente besser eignen, welche den Kalk binden (z.B. Trasszemente). Das Prinzip, dass den Fugenmörtel weicher sein muss als das Gestein, ist bei der Materialwahl zugrunde zu legen. Im Arbeitsgang 2 wird ein wasserdichter Zementmörtel mit

erhöhter Zementmenge und ggf. einem Zusatzmittel zur Erhöhung der Wasserdichtigkeit eingebracht und mit einem Fugeneisen geglättet. Alle Holzkeile sind wieder zu entfernen.

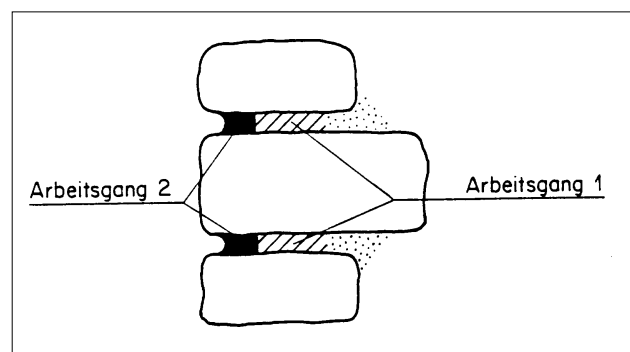


Bild 7.14 Neuverfugen von Mauerwerk

Es ist auch möglich, die Fugen grösserer Bereiche mit Zementsuspension oder Zementmörtel zu verpressen. Dabei ist zu kontrollieren, ob Hohlräume zwischen Mauerwerk und Fels ohne negative Folgen verfüllt werden können. Bei nur schwach wasserführendem Gebirge ist diese Massnahme in der Regel unbedenklich. Bei stark wasserführendem Gebirge hingegen dürfen die natürlichen Wasserläufe hinter dem Mauerwerk nicht verstopft werden, da sich aufbauender Wasserdruck nachteilig auf die Standsicherheit des Ausbaus auswirken kann.

Einzelne schadhafte Steine oder kleinere schadhafte Mauerwerksbereiche können mittels **Ersatzsteinen** saniert werden. Dies ist allerdings ein kostspieliges Verfahren. Deshalb wird üblicherweise mit **Beton ersetzt**. Als gute Alternative für den Ersatz schadhafter Mauerwerksbereiche im Tunnelbau hat sich die **Instandsetzung mit Spritzbeton** erwiesen; dies vor allem dort, wo grössere Leibungsflächen saniert werden müssen [4.30]. Das schadhafte Mauerwerk ist bis auf den gesunden Kern abzustemmen, der Fugenmörtel ist zu entfernen und ggf. vorhandene Risse sind zu erweitern. Die freigelegten Oberflächen sind mit Sandstrahl, Wasserstrahl und Druckluft zu reinigen und aufzurauben. Die Auftragsflächen müssen

feucht sein, damit eine gute Haftung erreicht und dem frischen Beton nicht zuviel Wasser für den Abbindevorgang entzogen wird. Je nach zukünftiger Einwirkung und örtlichen Gegenden können die Dicke und die Bewehrung gewählt werden (Bild 7.15).

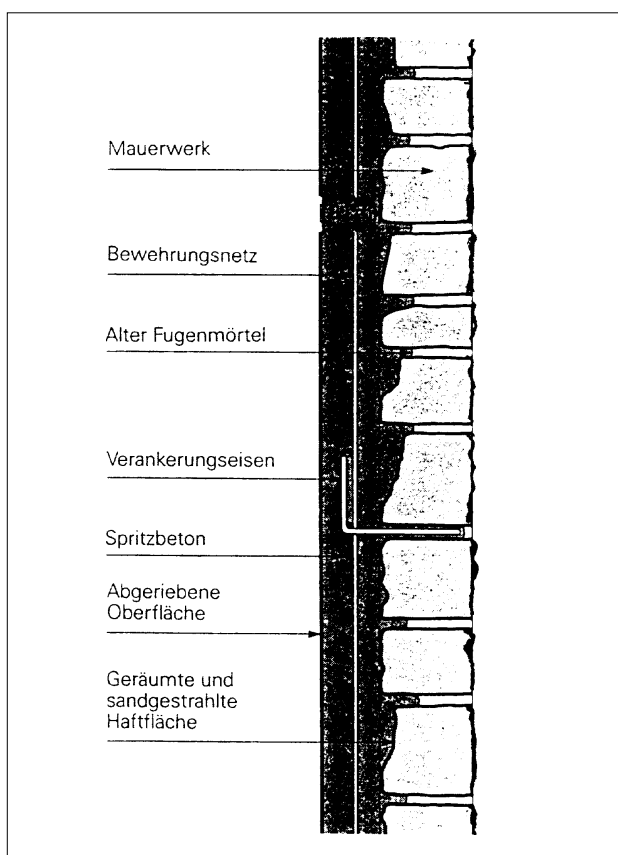


Bild 7.15 Neue Spritzbetonschicht auf Natursteinmauerwerk, aus [4.30]

In [7.16] und [7.17] finden sich wertvolle Hinweise zur technologisch und organisatorisch sehr anspruchsvollen Planung und Ausführung von Erhaltungsmaßnahmen im Tunnelbau unter Betrieb. Bei permanent **durchnässtem Mauerwerk** muss versucht werden das Wasser abzufangen und abzuleiten. Bei **Stützbauwerken aus Natursteinen** führt normalerweise nur das Auspacken auf der Erdseite, dem Verlegen einer Sickerleitung

und einem Hinterbetonieren zum Erfolg (Bild 7.16). Es wird oft vergeblich versucht, das Problem der Durchfeuchtung durch Injektionen hinter der Mauer oder durch Aufbringen einer Schutzschicht auf der Luftseite zu lösen. Im letzteren Fall wird die «Dichtschicht» relativ bald abgestossen.

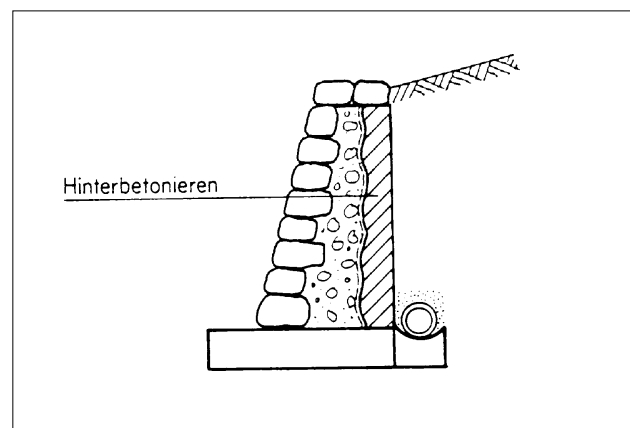


Bild 7.16 Sanierung von permanent durchfeuchtetem Mauerwerk mittels Auspacken, Verlegen einer Sickerleitung und Hinterbetonieren

Die Erhaltung von schutzwürdigen Natursteinbauten ist in der Baufachwelt mit der in den 70er Jahren begonnenen Restaurierung historischer Bauten wieder ein Thema geworden [7.18]. Das ehemals blühende Steinhauergewerbe war zu diesem Zeitpunkt mancherorts jedoch weitgehend verschwunden. So wurden in einer ersten Phase Methoden und Produkte entwickelt, die sich weniger an den Bedürfnissen der Natursteinbauweise orientierten, sondern vielmehr von der anlaufenden Betonsanierungswelle mit den unzähligen Chemieprodukten beeinflusst wurde.

Aufgrund erster Erfahrungen wie auch als Folge unsachgemässer Instandsetzungen hat **die Vereinigung der Schweizer Denkmalpfleger an ihrem Kolloquium am 14. November 1986 zum Thema «Umgang mit geschädigten Steinen» die folgende Resolution verabschiedet:** «Die Vereinigung der Schweizer Denkmalpfleger ist tief besorgt über die zu beobachtenden, rasch fortschreitenden Schäden, die an allen der Ausenluft exponierten Baumaterialien zu beobachten sind. Betroffen sind in besonderem Masse die an

historischen Gebäuden oft verwendeten Natursteine, vor allem die Sandsteine. Bisherige Untersuchungen, die gegenwärtig ergänzt werden, bestätigen den ursächlichen Zusammenhang von Steinerfall und Luftverschmutzung. Die sich aufdrängenden quantitativ zunehmenden Wiederherstellungsmassnahmen, die mit grossem finanziellem Aufwand verbunden sind, vermögen nicht darüber hinwegzutäuschen, dass die Werke unserer Vorfahren mehr und mehr Gefahr laufen, nur noch als blosse Kopien überliefert zu werden. Die Vereinigung der Denkmalpfleger der Schweiz weist eindringlich darauf hin, dass unsere Denkmäler nur dann wirksam geschützt werden können, wenn die in der Luft vorkommenden Schadstoffe rasch und drastisch reduziert werden.

Die Vereinigung der Schweizer Denkmalpfleger hat sich, gestützt auf die breiten Erfahrungen aus der täglichen Praxis, mit den Massnahmen befasst, die hier und jetzt an geschädigten Steinen zu treffen sind. Sie erinnert daran, dass einerseits jedem Denkmal der Charakter eines Originalen zukommt und andererseits nur das historisch überlieferte Werk als Original gelten kann. Das originale Werkstück, die originale Form in ihren Details bis hin zu den Bearbeitungsspuren machen das Denkmal aus, zu welchem auch die Spuren seines Alters gehören. Oberstes Ziel jeder Pflegemassnahme ist die Erhaltung und Sicherung des überlieferten historischen «Originals».

Die Vereinigung der Schweizer Denkmalpfleger hält aus diesem Grund fest, dass, wo immer möglich, die Steine an historischen Bauten in ihrer originalen Substanz zu erhalten sind. Dabei kommt dem allgemeinen Gebäudeunterhalt, der das Werk vor dem Eintreten eines Schadens präventiv schützt, grosse Bedeutung zu. Auch an bereits geschädigten Steinen hat die Erhaltung des originalen Werkstückes Priorität. Primäres Ziel jeder Restaurierung ist die Verlangsamung des weiteren Zerfalls und nicht die Wiederherstellung einer quasi neuen, «schönen» Oberfläche. Das Ausmass der Eingriffe ist möglichst klein zu halten; für Massnahmen späterer Generationen ist ein breiter Spielraum offen zu halten (minimaler Eingriff – maximale Reversibilität).

An Materialien für Konservierung und Ergänzung sind hohe Ansprüche zu stellen in bezug auf genaue Kenntnis der Zusammensetzung, Verträglichkeit mit dem Werkstein, Bearbeitbarkeit, Lang-

zeiterfahrung – vor wenig erprobten Wundermitteln ist nachdrücklich zu warnen. Nur gründlich geschulte und mit den Eigenschaften des Steins genau vertraute Handwerker sollen mit Aufgaben auf diesen Gebieten betraut werden. Für den Umgang mit historischen Bauwerken aus Stein sind Kenntnisse notwendig, die über die überlieferten Handwerkstraditionen der Stein- und Bildhauerberufe hinausgehen. Die Vereinigung der Schweizer Denkmalpfleger fordert daher die Einrichtung der heute fehlenden, geeigneten Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten für Steinrestaurationen in unserem Lande.»

Bei der Instandsetzung von Natursteinbauten mit Denkmalcharakter, zu denen neben Gebäudefassaden auch Brücken und Stützbauwerke gehören können, ist ein sorgsames Vorgehen geboten. Wichtige Hinweise dazu sind in [7.18] enthalten. Diese gehen zwar in erster Linie von den Gegebenheiten bei den Sandsteinbauten der Stadt Bern aus; sie lassen sich aber in weiten Teilen auch auf andere Natursteine übertragen. Der Autor weist mit allem Nachdruck darauf hin, dass die gemachten Empfehlungen nicht als Rezepte missverstanden werden dürfen, dessen Anweisungen unreflektiert übernommen werden; ausschlaggebend sei immer die Situation beim zu beurteilenden Bauwerk.

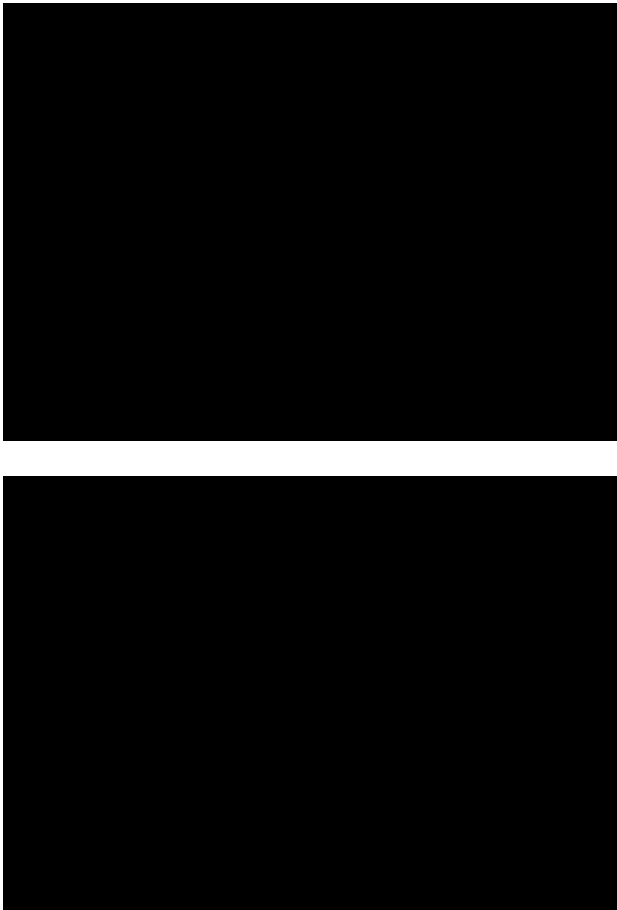


Bild 7.17 Während die, bis auf den «gesunden Grund» zurückgearbeitete Fassade mit neuen Fugen starr und neubauartig-maschinell wirkt (oberes Bild), bleiben aus der lediglich gereinigten, nach Notwendigkeit ausgefugten Partie, die Bearbeitungs- und Altersspuren lesbar (unteres Bild), aus [7.18]

Im einzelnen sind die **Stufen der möglichen Interventionen** wie folgt:

Reinigung

Eine sorgsame und zurückhaltende Reinigung ist durch den Steinspezialisten vor der definitiven Festlegung der Massnahmen vorzunehmen. Oft werden gute Resultate durch eine Trockenreinigung mit weichen Bürsten und Staubsauger oder bei langdauernder Berieselung mit reinem Leitungswasser erreicht (feste Installation, kein Druckwasser, keinerlei chemischen Mittel, keine

harten Bürsten oder andere mechanische Mittel; Vorsicht bei offenen Fugen und bei Fensteranschlüssen). In seltenen Fällen kommt (nur nach Absprache mit der Denkmalpflege) auch der Einsatz eines Mikrosandstrahl- oder eines Dampfgewässers in Betracht.

Fugenreparatur

Nur diejenigen Fugen, die ausgebrochen oder lose sind, sollen ersetzt werden. Beim Entfernen des Fugenmaterials darf die Fugenbreite nicht ausgeweitet werden. Das neue Fugenmaterial muss weicher als das Steinmaterial sein – in der Regel Kalkmörtel – und soll in Farbe und Körnung dem zur Bauzeit verwendeten Mörtel entsprechen (Bemusterung). Intakte oder nur Haarrisse aufweisende Fugen sind – auch wenn ihr Material den vorstehenden Erfordernissen nicht entspricht – zu belassen.

Konservierung

Quader, die oberflächliche Verwitterungen zeigen, können durch geeignete Massnahmen soweit verbessert werden, dass ihre Verwitterung stark verlangsamt wird. Solche Massnahmen dürfen niemals generell angewendet werden; sie setzen eine genaue Kenntnis des Steinzustandes (gegebenenfalls durch Laboruntersuchungen) voraus. In manchen Fällen haben sich Verfestigungen bewährt (allerdings nicht immer), sofern sie von erfahrenen Handwerkern appliziert wurden (verwendet werden vorab Kieselsäureester); Hydrophobierungen sollten nur mit Zurückhaltung bei Vorliegen besonderer Verhältnisse vorgenommen werden.

Steinüberarbeitung

Jede Überarbeitung von Quadern bedeutet einen Substanzverlust und die Tilgung der Spuren von Bearbeitung und Alter. Weder am Fassadengrund noch an Gliederungselementen wie Gesimsen, Fenstereinfassungen usw. lassen sich solche Verluste in der Regel vertreten. Sollen ausnahmsweise Überarbeitungen vorgenommen werden (beispielsweise bei bereits früher vorgenommenen, nachweislich unkorrekten Überarbeitungen, allenfalls bei Bauten des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts), so sind sie vorgängig mit der Denkmalpflege abzusprechen und genau zu dokumentieren. Jedenfalls darf die Überarbeitung nicht flächig, sondern muss quadergerecht erfolgen; die

frühere Bearbeitung muss in Machart und Aussehen genau übernommen werden.

Aufmörtelung

Kleinere Beschädigungen können mit einem geeigneten Mörtel aufgebaut werden. Nach den bisher gemachten Erfahrungen eignen sich dafür vor allem rein mineralische Mörtel auf der Basis von Kalk-Trass-Zement (möglichst geringer Anteil an salzarmem Zement); Aufmörtelungsarbeiten sollten so terminiert werden, dass die Nachttemperaturen während vier Wochen nach der Ausführung nicht unter 2°C fallen. Verschiedene Mörtel auf der Basis von Kunststoffen, die im Handel sind, weisen Probleme auf (Volumenbeständigkeit, Haftung, Farbbeständigkeit, Reversibilität usw.). Für Aufbaumörtel sind die genaue Zusammensetzung (Materialspezifikation) und Referenzobjekte (Nachweis der erfolgsentscheidenden Qualifikation der Verarbeiter) zu belegen.

Nicht mit den hier angesprochenen Aufmörtelungen zu verwechseln sind Beschichtungen oder Überzüge aus kunststoffgebundenen Materialien; diese sind in jedem Fall strikte abzulehnen, da sie den vorstehend dargelegten Zielen von Massnahmen am Stein diametral widersprechen.

Quaderersatz

Bei bedeutenden Beschädigungen, die eine Reparatur durch Aufmörtelung nicht zulassen oder die an stark der Witterung ausgesetzten Bauteilen wie Fensterbänken oder Gurtgesimsen entstanden sind, ist ein Ersatz mit Quadern oder Vierungen unumgänglich. Das Ersatzmaterial sollte dabei dem umliegenden Stein entsprechen (Naturstein, in Struktur und Farbe angepasst). Die heute erhältlichen Kunststeine – zement- oder kunstharzgebundene Ersatzmaterialien – befriedigen langfristig weder in technologischer (Versalzung, Volumenbeständigkeit) noch in ästhetischer Sicht (Korngrösse, Farbe, Alterungsbeständigkeit). Die Ersatzstücke aus Naturstein sind genau den vor dem bestehenden Profilierungen nachzuhauen. Die Stärke der Ersatzstücke sollte mindestens 12 cm betragen; bei Ersatz von Fensterbankplatten kann dieses Mass unterschritten werden. Besonderes Augenmerk ist auf die Übereinstimmung der Fugen zwischen Mauerwerk und neuen Stücken zu richten. Der Versetz- und Vergussmörtel soll kalkgebunden sein (Wasserdiffusionsfähigkeit; Mörtel

weicher als Stein); Zement ist wegen seiner Härte und der enthaltenen Salze zu vermeiden.

Bauplastische Arbeiten

Die Erfordernis von möglichst weitgehender Wahrung der Substanz gilt für Bildhauerarbeiten in besonderem Mass. Bei fraglichem Erhaltungszustand können als Vorarbeit zu Reinigung, Festigung und Ergänzung in Mörtel Sicherstellungsabgüsse in Gips hergestellt werden, die bei der Denkmalpflege eingelagert werden können. Kopien von bauplastischen Arbeiten sind nur in zwingenden Fällen vertretbar.

Mechanischer Schutz

In besonderen Fällen kann eine Abdeckung besonders der Witterung ausgesetzter Bauteile von Vorteil sein. Hier sind in Absprache mit der Denkmalpflege die Lösungen festzulegen.

Abschliessend sei noch auf die übrige, im Verzeichnis aufgeführte Fachliteratur hingewiesen.

8 Literaturverzeichnis

8 Literaturverzeichnis

zu Kapitel 1: Einleitung

- [1.1] IP-Bau: Erhaltung von Hochleistungsstrassen unter Verkehr, Nr. 724.452 d, 1991
- [1.2] IP-Bau: Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, Nr. 724.453. d, 1991
- [1.3] Wolff A.: Zur Technologie der Substanzerhaltung am Kölner Dom, Tiefbau, Ingenieurbau, Strassenbau, 6/83, S. 356-364
- [1.4] SIA Dokumentation D 031: Anker und Spannkabel, 1989
- [1.5] SIA Dokumentation D 055: Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Befestigungssystemen, 1990

zu Kapitel 2: Grundlagen

- [2.1] Empfehlung SIA 169, Ausgabe 1987, Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken
- [2.2] Norm SIA 160, Ausgabe 1989, Einwirkungen auf Tragwerke
- [2.3] Norm SIA 162, Ausgabe 1987, Betonbauten
- [2.4] Norm SIA 162/1, Ausgabe 1987, Betonbauten – Materialprüfung
- [2.5] Norm SIA 161, Ausgabe 1990, Stahlbauten
- [2.6] Norm SIA 161/1, Ausgabe 1990, Stahlbauten – Qualitätssicherung, usw.
- [2.7] SIA Dokumentation D 041: Einführung in die Norm SIA 160 «Einwirkungen auf Tragwerke»
- [2.8] SIA Dokumentation D 042: Einführung in die Norm SIA 162 und 161/1 «Betonbauten», 1989
- [2.9] SIA Dokumentation D 069: Einführung in die neuen Normen SIA 161 und 161/1 «Stahlbauten», 1991
- [2.10] SIA Dokumentation D 072: Die Rolle des Architekten in den neuen Tragwerksnormen, 1991
- [2.11] Weber H.: Steinkonservierung in Deutschland, Bautenschutz – Bausanierung, 1/1987, S. 6–8
- [2.12] Arnold A.: Auswirkungen der Luftschadstoffe auf Kulturgüter, Vortrag anlässlich der Informationstagung der SVA vom 14./15.5.1984 in Zürich
- [2.13] Triptet I., Wiederkehr P.: Etude du problème des précipitations acides en Suisse, Dissertation, EPFL, März 1983
- [2.14] BUWAL: Zur Lage der Umwelt in der Schweiz, Umweltbericht 1990, EDMZ, 3000 Bern, Bestell-Nr. 319.402 d
- [2.15] Meyer H.G.: Qualitätssicherung – eine neue Aufgabe im Bauwesen?, Bautechnik, Heft 7, Juli 1986, S. 217 – 223
- [2.16] SIA Dokumentation D 062: Qualitätssicherung im Bauwesen – Eine Forderung unserer Zeit, 1990
- [2.17] Rechsteiner P.: Die Bauprodukterichtlinie, Referat anlässlich des SBG-Workshops «Der EG-Binnenmarkt und Ihr Unternehmen», 16./17. und 28./29. Januar 1990

zu Kapitel 3: Anforderungen an Schutzsysteme und Grundsätze zur Wahl

- [3.1] Arbeitsgruppe Galerien: Fugenschäden, Schweizer Ingenieur und Architekt, 19/91, S. 426–428
- [3.2] Darwin D., Manning D. G., Hognestad E. et al: Debate: Crack width, cover and corrosion, Concrete International, May 1985, S. 20–35
- [3.3] Käser M., Menn Ch.: Dauerhaftigkeit von Stahlbetontragwerken; Auswirkungen der Rissbildung, Institut für Baustatik und Konstruktion ETH Zürich, April 1988, Bericht Nr. 160

zu Kapitel 4: Betonbau

- [4.1] Menn C.: Stahlbetonbrücken, Springer-Verlag, Wien New York, 1986
- [4.2] Keller T.: Dauerhaftigkeit von Stahlbetontragwerken – Transportmechanismen – Auswirkung von Rissen, Institut für Baustatik und Konstruktion, Bericht Nr. 184, ETH Zürich, Dezember 1991
- [4.3] SIA Documentation D 068, Bétons à hautes performances (BHP), 1991
- [4.4] Martinola M.: Anwendungen von Hochleistungsbeton mit Microsilica in Brücken und Hochbau, Seminar in Konstanz, 1991
- [4.5] Schiessl P.: Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen, DAfStb, Heft 255, Berlin, 1986
- [4.6] Böhni H.: Korrosion und Korrosionsschutz von Stahl in Beton, SIA Dokumentation D 020, 1988
- [4.7] Jungwirth D. u.a.: Dauerhafte Betonbauwerke, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1986
- [4.8] Bonzel J., Hilsdorf H.K.: Beton, Betonkalender 1990, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [4.9] Elsener B.: Elektrochemische Methoden zur Bauwerksüberwachung, SIA Dokumentation D 020, 1988
- [4.10] Peter G. u.a.: Bedeutung des Betons für den Korrosionsschutz, SIA Dokumentation D 020, 1988
- [4.11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 1 und 2, August 1990, Beuth Verlag, Berlin und Köln
- [4.12] Böhni H. u.a.: Schutz und Sanierung von Stahlbetonbauwerken im Bereich von Strassen, Forschungsbericht 212, Bundesamt für Strassenbau, Auftrag 9/83, März 1991
- [4.13] Menn C., u.a.: Zustandsermittlung, Zustandsbeurteilung und Verstärkungsmassnahmen bei Stahlbetonbrücken (Arbeitstitel), Forschungsauftrag Nr. 82/90 des ASB, erscheint 1992
- [4.14] Empfehlung SIA 162/3, Ausgabe 1990, Bestimmung der Karbonatisierungstiefe in Beton
- [4.15] Jungwirth D.: Elektrochemische Schutzverfahren aus der Sicht der Praxis unter besonderer Berücksichtigung der Realkalisierung, SIA Dokumentation D 065, 1990
- [4.16] SIA-Dokumentation D 065, Elektrochemische Schutzverfahren für Stahlbetonbauwerke, 1990
- [4.17] Schmalz P.: Zusammenfassung und Ausblick, SIA Dokumentation D 065, 1990
- [4.18] Bundesamt für Strassenbau: Richtlinien zur Anwendung von epoxidharzbeschichteten Betonstählen, Bern, 1991
- [4.19] IP-Bau: Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, Nr. 724.453 d, 1991

- [4.20] Hunkeler F.: Bauwerksinspektion mittels Potentialmessung, Schweizer Ingenieur und Architekt, 12/91, S. 272–278
- [4.21] Empfehlung SIA 162/2, Ausgabe 1990, Bestimmung des Chloridgehaltes in Beton
- [4.22] Theiler F.P.: Chemische Analysen, SIA Dokumentation D 020, 1988
- [4.23] Böhni H.: Grundlagen der Korrosion und des elektrochemischen Korrosionsschutzes, SIA-Dokumentation D 065, 1990
- [4.24] Hunkeler F.: Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz an der Fahrbahnplatte im Strassentunnel San Bernardino, SIA Dokumentation D 065, 1990
- [4.25] Korrosionskommission: Richtlinie für Projektierung, Ausführung und Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken, C7d, Ausgabe 1991
- [4.26] Merkblatt SIA 2002, Ausgabe Oktober 1990, Inspektion und Instandsetzung von Bauteilen aus Beton
- [4.27] Kruse M.: Einfluss von Verkehrserschütterungen auf die Spritzbeton-Qualität bei Brückensanierungen, IBETH-Projekt 048/86, August 1987, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich
- [4.28] SIA 198, Untertagbau, Vernehmlassungsentwurf, Dezember 1990
- [4.29] DIN 18 551, Spritzbeton, Herstellung und Güteüberwachung, Entwurf März 1990, Berlin
- [4.30] Teichert P.: Spritzbeton, Herausgeber E. Laich SA, 6670 Avegno, 1991
- [4.31] Ammon C.: Spritzbeton und seine Eigenschaften – Wiederverwendung von Rückprall und Einfluss der Liegezeit des Trockengemisches auf die Qualität des Spritzbetons, IBETH-Projekt 037/83, März 1984
- [4.32] Ammon C.: Haften von Spritzbeton am Fels, Beton und Tunnelsteinen, IBETH-Projekt 042/84, März 1985
- [4.33] Hodel N.: Einfluss von tiefen Temperaturen auf die Qualität des Spritzbetons, IBETH-Projekt 046/85, März 1986
- [4.34] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Bauteilen, Teil 3: Qualitätssicherung der Bauausführung, Februar 1991, Beuth Verlag, Berlin und Köln
- [4.35] Bundesminister für Verkehr: Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für das Füllen von Rissen in Betonbauteilen (ZTV-RISS 88), Bonn
- [4.36] Deutscher Beton-Verein E.V.: Schützen, Instandsetzen, Verbinden und Verstärken von Betonbauteilen (SIVV-Lehrgangs-Handbuch), März 1990, Wiesbaden
- [4.37] Empfehlung SIA 271, Ausgabe 1986, Flachdächer mit Bitumen-Dichtungsbahnen, Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen, sowie Kunststoff-Dichtungsbahnen
- [4.38] SIA Dokumentation 60, Dächer-Konstruktive und bauphysikalische Probleme bei Flach- und Steildächern, 1983
- [4.39] SIA Documentation 79, Toitures-Architecture et construction, 2e édition, 1986
- [4.40] Dournow R.: Ausführungsrichtlinien für Flachdachabdichtungen, VERAS (Verband schweizerischer Gussasphalt- und Abdichtungsunternehmen), Ausgabe 1989
- [4.41] Empfehlung SIA 272, Ausgabe 1980, Grundwasserabdichtungen

- [4.42] Norm SIA 280, Ausgabe 1983; Kunststoff-Dichtungsbahnen (Polymer-Dichtungsbahnen)
- [4.43] Norm SIA 281, Ausgabe 1983, Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen (PBD)
- [4.44] Normen SNV 556 001 ... SNV 556 029 Bitumen-Dichtungsbahnen
- [4.45] Empfehlung SIA V274, Ausgabe 1987, Fugenabdichtungen in Bauwerken (V = Verlängerte Vernehmlassung = provisorische Publikation)
- [4.46] Bundesamt für Strassenbau, Richtlinien für konstruktive Einzelheiten von Brücken, Ausgabe 1990
- [4.47] SBB, Weisung W Bau GD 36/89, Allgemeine Grundlagen, Normalquerschnitte und konstruktive Details für die Ausbildung beschotterter Brücken, 1989
- [4.48] Ruckstuhl F.: Tunnelabdichtungen im Nationalstrassenbau, Schweizer Ingenieur und Architekt, 50/87, S. 1448–1450
- [4.49] Klawe N., Haack A.: Tiefbaufugen, Fugen- und Fugenkonstruktionen im Beton- und Stahlbetonbau, Ernst & Sohn, Berlin, 1990
- [4.50] Tenucci J.: Erneuerungen und wärmetechnische Verbesserungen von Flachdächern, in [4.26], S. 39–49
- [4.51] Ragonesi M.: Erneuerung von Flachbedachungen, Schweizer Ingenieur und Architekt, 36/89, S. 934–941
- [4.53] Blumer M.: Sanierung von Brückenabdichtungen und -belägen, Sonderdruck Fachtagung der ATAG Strassenbau AG, 1983, S. 18–55
- [4.54] Wruck R., Günther G.: Untersuchungen von Fahrbahnabdichtungen auf Betonbrücken, Heft 510, 1987, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Bonn – Bad Godesberg
- [4.55] Kantonsingenieurbüro Nidwalden, Anschlüsse von Brückenabdichtungen aus Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen PBD, Zwischenbericht, Juli 1989 (nicht veröffentlicht)
- [4.56] Zwicky P.: Abdichtung für Ingenieurbauwerke, Schweizer Ingenieur und Architekt, 16/89, S. 418–422
- [4.57] Vital J.D.: Das Flachdach aus der Sicht des PTT-Fachmannes, Unterlagen zur ERFA-Tagung 1990
- [4.58] IP-Bau, Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, Nr. 724.453 d, 1991, EDMZ, Bern
- [4.59] Jenni J.-P.: Stand der Technik bei der flächenhaften Erfassung des baulichen Zustandes von Tunnelbauwerken, VSS Forschungsauftrag 59/88, 1990
- [4.60] Österreichisches Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Strassenforschung, Aufsuchen und Sanieren von Lecks in Brückenabdichtungen, Heft 395, Wien 1991
- [4.61] Haack A., Emig K.-F.: Parkdeckabdichtung mit Bitumenwerkstoffen, Bitumen 4/89, S. 162–171
- [4.62] Lohmeyer G., Weisse Wannen – einfach und sicher, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1991
- [4.63] DBV-Merkblatt, Wasserundurchlässige Baukörper aus Beton, Deutscher Beton-Verein e.V., August 1989
- [4.64] Grube H.: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstadt, 1982

zu Kapitel 5: Stahlbau

- [5.1] Wittfoht H.: Building Bridges, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1984
- [5.2] SIA-Dokumentation D 030, Einsatz von «nichtrostenden» Stählen im Bauwesen, 1988
- [5.3] Schmid E.V.: Wetter- und Korrosionsschutz, Curt R. Vincentz-Verlag, Hannover, 1983
- [5.4] Theiler F.P.: Für eine sichere «Haut» beim Stahl, Handelszeitung, Nr. 50, 13.12.1990
- [5.5] Cassady S.: Spanning the Gate – The Golden Gate Bridge, Squarebooks, Mill Valley, CA, 1986
- [5.6] SN 555 001, Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen, B3, Ausgabe 1990, Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, Zürich
- [5.7] von Baeckmann W.: Taschenbuch für den kathodischen Korrosionsschutz, Vulkan-Verlag Essen, 4. Auflage, 1987
- [5.8] Korrosionskommission: Richtlinien für Projektierung, Ausführung und Betrieb des kathodischen Schutzes von Rohrleitungen, C1, Ausgabe 1987, Zürich
- [5.9] Korrosionskommission: Regel der Technik-Projektierung, Ausführung und Betrieb des kathodischen Schutzes erdverlegter Lagerbehälter aus Stahl, C5, Ausgabe 1989, Zürich
- [5.10] Haas G. u.a.: Die Stahlüberbauten der Farøbrücken, Dänemark, Stahlbau, Heft 12, Dez. 1985, S. 353–363
- [5.11] Vejdirektoratet, DK: The Superstructure of the Farø Bridges, Part 1, Design of the Steel Superstructure, 1987
- [5.12] Fischer M., Wien B.: Erfahrungen mit Brücken aus wetterfesten Stählen, Stahlbau, 1988

zu Kapitel 6: Holzbau

- [6.1] Meierhofer U.: Metallkorrosion in Holz, Schweizer Ingenieur und Architekt, 24/90, S. 696–698
- [6.2] Theiler F.: Korrosionsverhalten mechanischer Verbindungsmittel. 18. Fortbildungskurs der Schweiz. Arbeitsgem. für Holzforschung Ingenieurholzbau / Verbindungen und Verbindungsmittel, 1986
- [6.3] Rückert J.: Korrosionsverhalten von Metallen in Verbindung mit Holz, VDI-Tagung «Korrosion und Korrosionsschutz metallischer Bau- und Installationsteile innerhalb Gebäuden», Mannheim, 1984
- [6.4] Norm SIA 164, Ausgabe 1981, Holzbau
- [6.5] EMPA/Lignum: Richtlinie Holzschutz im Bauwesen, 1983/84
- [6.6] Meierhofer U., Sell J.: Mängel und Schäden in wetterbeanspruchten Brettschichtträgern, Publikationsreihe «Baumängel, Behebung und Vorbeugung», Bd. 5, 1982, Baufachverlag Zürich-Dietikon
- [6.7] Meierhofer U., Sell J., Strässler H.: Zur Wetterbeanspruchung tragender Holzbauteile, Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Bruderverlag Karlsruhe, 1982, S. 67–74
- [6.8] Sell J., Meierhofer U., Kropf F.: Brettschichtholz für den Innen- und Aussenbau, Empfehlung und Sicherstellung der langfristigen Funktionstüchtigkeit, Schweiz. Baudokumentation i4 00200, 1989
- [6.9] Lignum: Reglement: Gütezeichen für druckimprägniertes Holz, 1984

- [6.10] SAH-Fortbildungskurs: Holz in der Renovation, 1985
- [6.11] EMPA/Lignum: Richtlinie holzzerstörende Insekten und ihre Bekämpfung, 1986
- [6.12] EMPA/Lignum: Richtlinie der echte Hausschwamm und seine Bekämpfung, 1986
- [6.13] Lignum: Dokumentation Holz, Holzschutz und Oberflächenbehandlung, 1976

zu Kapitel 7: Natursteinmauerwerksbau

- [7.1] Tang Huancheng: Ancient Chinese Bridges, Chinese Cultural Relics Publishing House, 1987
- [7.2] Sadler H.: Brücken, Die bibliophilen Taschenbücher, Nr. 498, Harenberg Kommunikation, Dortmund, 1986
- [7.3] Leonhardt F.: Brücken-Ästhetik und Gestaltung, Deutsche Verlagsanstalt, 1984
- [7.4] Norm SIA 178, Ausgabe 1980, Naturstein-Mauerwerk
- [7.5] de Quervain F.: Technische Gesteinskunde, Birkhäuser Verlag, Basel, 1967
- [7.6] de Quervain F.: Die nutzbaren Gesteine der Schweiz, Kommissionsverlag: Kümmerly & Frey, Bern, 1969 (z.Zt. in Neubearbeitung)
- [7.7] SBB, Besondere Bestimmungen für die Ausführung des Mauerwerkes der Tiefbauarbeiten, 1924 (vergriffen)
- [7.8] Arnold A. et al: Sumpfkalk – Grubenkalk, ETH Zürich, Institut für Denkmalpflege, Merkblatt Nr. 2, 1979
- [7.9] Arnold A.: Die Mörtel und ihre Herstellung, Vortrag Seminar vom 11.11.88 in Bonn (nicht veröffentlicht)
- [7.10] Schweiz. Baumeisterverband, Richtlinien für die Ausführung von Natursteinmauerwerk entsprechend den besonderen Bestimmungen der SBB, undatiert, um 1930 (vergriffen)
- [7.11] Schwarz H.: Die Steinbrüche in der Schweiz und ihre Materialien, Dissertation, Universität Zürich, 1983
- [7.12] Krumbein W.E.: Biogene Bauschäden-Anamnese, Diagnose und Therapie in Bautenschutz und Denkmalpflege, Bautenschutz-Bausanierung, Nr. 1/87, S. 14–23, Nr. 3/87, S. 110–117
- [7.13] Bock E.: Biologisch induzierte Korrosion von Naturstein – starker Befall mit Nitrifikanten, Bautenschutz-Bausanierung, Nr. 1/87, S. 24–27
- [7.14] Arnold A.: Moderne alkalische Baustoffe und die Probleme bei der Konservierung von Denkmälern, «Natursteinkonservierung», Arbeitsheft 31, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege München, 1985
- [7.15] Amberg R.: Thermographische Aufnahmeverfahren zur Erkennung des Zustandes von Tunnelauskleidungen, Zeitschrift Tunnel, Sonderausgabe zum Symposium «Sanierung von Tunnelbauwerken», 12./13. März, München, 1987, S. 14–18
- [7.16] Sonderausgabe der Zeitschrift Tunnel zum Symposium «Sanierung von Tunnelbauwerken», München, 12./13. März, 1987
- [7.17] Jolissaint P.: Die Sanierung von Bahntunnels unter dem Aspekt der Besonderheiten und Schwierigkeiten, Technische Akademie Esslingen, Lehrgang Nr. 7115/84 038, Sept. 1984

- [7.18] Furrer B.: Restaurierung von Sandsteinen, Schweizer Ingenieur und Architekt, 42/90, S. 1199–1204
- [7.19] Norm SIA 226, Ausgabe 1976, Naturstein-Mauerwerk, Leistung und Lieferung
- [7.20] Norm SIA 246, Ausgabe 1976, Naturstein-Arbeiten (Beläge, Verkleidungen, Werkstücke)
- [7.21] CEN, Draft Standard on natural stone blocks, TC 127, WG 1, TG 7, December 1990
- [7.22] Meisel U., u.a.: Naturstein-Erhaltung und Restaurierung von Aussenbauteilen, Bauverlag, Wiesbaden, 1988
- [7.23] Snethlage R.: Messungen zur Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungen an Sandstein-gebäuden, Bautenschutz-Bausanierung, Sonderausgabe, 1988, S. 16–19, 1. Statusseminar des Bundesministers für Frischung und Technologie «Erhaltung von Naturstein», 17.12–18.12.1986, Mainz
- [7.24] Untersuchungen für die Natursteinkonservierung, ISBN 3-8167-4053-7, 183 Seiten, Best. Nr. 4, IRB-Verlag, Stuttgart
- [7.25] Restaurierung von Steinbrücken, ISBN 3-8167-4087-1, 101 Seiten, Best. Nr. 38, IRB-Verlag, Stuttgart
- [7.26] Bernhard F., u.a.: Naturstein in der Denkmalpflege, ISBN 3-87188-140-6, 1012 Seiten, Berufsbildungswerk des Steinmetz- und Bildhauerhandwerks e.V., Wiesbaden, 1991
- [7.27] Eckhardt P.: Naturstein aus der Schweiz und der übrigen Welt – Geschichte und Stand des schweizerischen Natursteingewerbes, Bull-Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. Ing. (101.54, Nr. 126, April 1988, S. 31–37)

9 Anhang

9.1	Abkürzungsverzeichnis	160
9.2	Bildnachweise	161
9.3	Publikationen des Impulsprogrammes IP-Bau	162

9 Anhang

9.1 Abkürzungsverzeichnis

AFB:	Amt für Bundesbauten, Bern
ASB:	Bundesamt für Strassenbau, Bern
CEN:	Comité Européen de Normalisation, Brüssel
DAfStb:	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin
DIN:	Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
EMPA:	Eidg. Materialprüfungsanstalt, Dübendorf
EW:	Elektrizitätswerke (allgem. Abkürzung)
ISO:	International Organisation for Standardisation, Genf
Lignum:	Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz, Zürich
SGK:	Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Zürich
SIA:	Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich
SVDB:	Schweizerischer Verein für Druckbehälterüberwachung, Zürich
SNV:	Schweizerische Normen-Vereinigung
STV:	Schweizerischer Technischer Verband
SUVA:	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern
VSS:	Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, Zürich

9.2 Bildnachweise

Bei der Mehrzahl der verwendeten Bilder und Tabellen ist deren Herkunft in der jeweiligen Legende angegeben. Wo dies nicht der Fall ist, finden sich Angaben nachfolgend:

- Kapitel 3** – 3.9: Dipartimento costruzione del cantone Ticino, sezione strade, Bellinzona
– 3.11, 3.12, 3.14: Kantonales Tiefbauamt Graubünden, Unterhalt der Kunstbauten, Chur
– 3.15: Bauamt des Kantons Uri, Altorf
– 3.18: MC-Bauchemie, Dietikon (Firmendokumentation)
- Kapitel 4** – 4.2: Gedenkschrift Weinlandbrücke, Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, 1958
– 4.47, 4.48: Kantonsingenieurbüro Nidwalden, Stans
– 4.49: Kilcher AG, Recherswil (Firmendokumentation)
- Kapitel 5** – 5.2: Furrer B., u.a.: Übergänge: Berner Aarebrücken, Benteli Verlag, 1984
- Kapitel 6** – Sämtliche Bilder (Ausnahme 6.1): EMPA, Abteilung Holz, Dübendorf und Lignum, Zürich
- Kapitel 7** – 7.4: Städtische Denkmalpflege, Bern
– 7.8 bis 7.13: Dr. A. Arnold, Institut für Denkmalpflege, ETH Zürich