

Betoninstandsetzung mit System



Impulsprogramm BAU
Bundesamt für Konjunkturfragen

Trägerschaft und Patronatsverbände

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

Die vorliegende Dokumentation Betoninstandsetzung mit System ist durch die gleichnamige Arbeitsgruppe des «IP BAU, Erhaltung und Erneuerung, Fachbereich Tiefbau» ausgearbeitet worden.

An dieser Stelle sei auch allen weiteren Fachleuten aus Praxis, Lehre und Forschung, die wertvolle Beiträge in Form von Auskünften und Stellungnahmen geleistet haben, bestens gedankt. Die sehr konstruktiven Stellungnahmen aus der breiten Vernehmlassung wurden in die Schlussüberarbeitung der Dokumentation einbezogen.

Mitglieder der Arbeitsgruppe Betoninstandsetzung:

W. Birchmeier, Ing. EPFL/SIA, Lausanne
P. Lehmann, CES Bauingenieure, Sarnen
P. Matt, Ingenieur-Beratung, Ittigen
A. Steiger, Beratende Ingenieure, Luzern
(Sachbearbeitung Dokumentation)

Mitglieder des Expertenteams:

K. Alpiger, Schneller Schmidhalter Ritz, Brig
H.J. Fehr, EMPA, Dübendorf
A. Hächler, LPM AG Baustoffprüfinstitut, Beinwil am See
Dr. F. Hunkeler, Schweiz. Gesellschaft für Korrosionsschutz, Zürich
D. Judex, AG Heinrich HATT-HALLER, Zürich
C. Meuli, Bundesamt für Strassenbau, Bern
U. Reber, Präsident VBK (Verband Bautenschutz-Kunststoffe am Bau), Reprojet AG, Zürich
R. Schefer, Basler & Hofmann, Zürich
Dr. R. Suter, Schindelholz & Dénériaz, Bulle

Leitung der Arbeitsgruppe

P. Matt, Ingenieur-Beratung, Ittigen

Bildnachweis:

Die Bilder stammen zu einem Teil von den Autoren. Die Karikaturen wurden von M. Imdorf, Luzern, gezeichnet. Bei aus Publikationen entnommenen Bildern ist die Quelle in der jeweiligen Legende angegeben. Weiter haben die folgenden Firmen grosszügigerweise Bildmaterial zur Verfügung gestellt:

- AGV-Betonsanierungs AG, Emmen
- Basler & Hofmann, Zürich
- ECBIS AG, Allschwil
- Helbling Ingenieurunternehmung AG, Zürich
- Locher & Cie AG, Zürich

Allen Bildlieferanten sei an dieser Stelle bestens gedankt.

Gestaltung:

APUI, Hochfeldstrasse 113, 3000 Bern 26

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, Oktober 1993

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (Best.-Nr. 724.462 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.

ren. Sie erscheint zwei- bis dreimal jährlich und ist (im Abonnement) beim Bundesamt für Konjunkturfüragen, 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, Andreas Schmid, Richard Schubiger, Ernst Meier, Dr. Dieter Schmid, Rolf Sägger, Hannes Wüest und Eric Mosimann, BFK) verantwortlich. Die Hauptarbeit wird durch Arbeitsgruppen erbracht, die zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Dokumentation

Die Instandsetzung von Betonbauwerken ist eine komplexe Aufgabe. Basierend auf einer Schadensanalyse und Zustandsbeurteilung muss der Ingenieur unter Berücksichtigung zahlreicher Randbedingungen die optimale Lösung erarbeiten. Die Kenntnisse über die Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken haben sich in den letzten Jahren stark ausgeweitet. Sie lassen heute ein systematisches Vorgehen bei der Planung und Vorbereitung einer Instandsetzung zu. In diesem Bereich gibt die Dokumentation zusätzlich zu den Anregungen zum generellen Vorgehen, aktuelle und hilfreiche Informationen zu den grundsätzlichen Instandsetzungsprinzipien sowie über die verschiedenen Instandsetzungsverfahren.

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 Konjunkturfüragen 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.

Oktober 1993 Dr. H. Kneubühler
Stv. Direktor des Bundesamtes für Konjunkturfüragen

Inhaltsübersicht

Vorwort	3
Aufbau der Dokumentation	7
1 Einleitung	9
1.1 Allgemeines	11
1.2 IP BAU, Erhaltung und Erneuerung	13
1.3 Zielpublikum	14
1.4 Begriffe	15
1.5 Betoninstandsetzung	16
1.6 Normen, Richtlinien	18
1.7 Zielsetzung und Abgrenzung der Dokumentation	20
2 Grundsätze für den Korrosionsschutz der Bewehrung	23
2.1 Einleitung	25
2.2 Übersicht	26
2.3 Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Karbonatisierung	28
2.4 Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden	35
3 Instandsetzungsverfahren	41
3.1 Abtrag und Reprofilierung	43
3.2 Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)	51
3.3 Elektrochemische Entsalzung (ECE)	53
3.4 Elektrochemische Realkalisierung (ER)	55
3.5 Inhibitoren	57
4 Oberflächenschutzsysteme	59
4.1 Einleitung	61
4.2 Imprägnierungen	65
4.3 Beschichtungen	68
4.4 Oberflächenschutzsysteme nach RiLi DAfStB	71
5 Wahl der Instandsetzungsmassnahmen und Oberflächenschutzsysteme	75
5.1 Einleitung	77
5.2 Ist-Zustand	78
5.3 Objektspezifische Randbedingungen und Anforderungen	79
5.4 Instandsetzungsziel	87
5.5 Wahl der Verfahren und Systeme	88
5.6 Produktewahl	96

6	Ausführung	99
6.1	Hinweise zur Ausschreibung	101
6.2	Vorversuche	102
6.3	Abtrag	103
6.4	Vorbehandlung des Untergrundes	110
6.5	Nachbehandlung	111
6.6	Qualitätsprüfungen	112
6.7	Bauwerksdokumentation	114

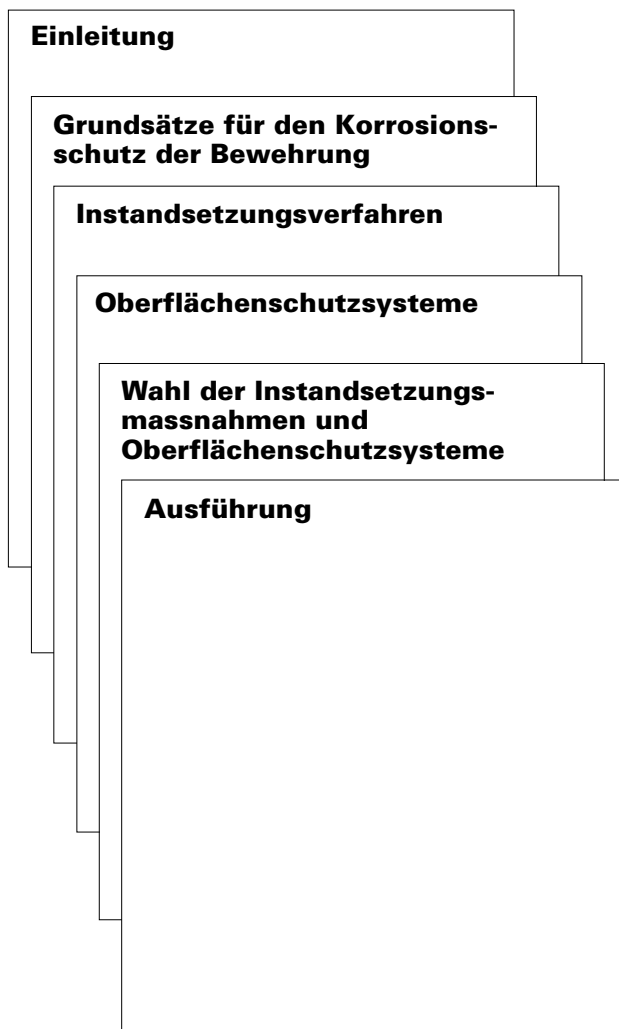
Literaturverzeichnis	115
-----------------------------	------------

Anhang	117
Anhang A – Begriffsdefinitionen	121
Anhang B – Spritzbeton	127
Anhang C – Taupunktbestimmungstabelle	131
Anhang D – Elektrochemische Verfahren	133

Publikationen des Impulsprogrammes BAU	135
---	------------

Aufbau der Dokumentation

Die Dokumentation ist modular aufgebaut. Die einzelnen Blöcke sind in der Reihenfolge abgehandelt, wie sie sich am ehesten für einen Einstieg in die Problematik anbietet. Die ersten Kapitel behandeln die Grundlagen. Das Vorgehen bei der Instandsetzung wird in den weiteren Kapiteln dargestellt. Die Dokumentation befasst sich schwerge-
wichtig mit der Problematik der Bewehrungskor-
rosion, welche die häufigste Schadensursache bei
Betonbauten darstellt.



Einleitung

Überblick über die Problematik, inkl. Definition der Grundbegriffe, mit Hinweisen auf Normen und Richtlinien. Zielsetzung, Zielpublikum und Abgrenzung der vorliegenden Dokumentation werden erläutert.

Grundsätze für den Korrosionsschutz der Bewehrung

Die Instandsetzung zielt darauf ab, die Bewehrungskorrosion zu stoppen. Dies gelingt nur, wenn die getroffenen Massnahmen auf den spezifischen Korrosionsprozess ausgerichtet sind. Je nach vorhandener Schädigung sind unterschiedliche Massnahmen notwendig.

Instandsetzungsverfahren

Innerhalb einer Instandsetzung kommen Verfahren zur Behebung der vorhandenen Schädigung zur Anwendung. Es wird ein Überblick über folgende Verfahren gegeben: Abtrag/Reprofilierung, elektrochemische Verfahren (kathodischer Korrosionsschutz, Entsalzung, Realkalisierung), Einsatz von Inhibitoren.

Oberflächenschutzsysteme

In vielen Fällen ist ein zusätzlicher Schutz des Betons gegen aggressive äussere Einflüsse in Form eines Oberflächenschutzes erforderlich. Das Kapitel gibt einen Überblick über die Begriffe sowie die Systematik der Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

Wahl der Instandsetzungsmassnahmen und Oberflächenschutzsysteme

Die Teilschritte einer Instandsetzung müssen unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen ausgewählt werden. Basierend auf den erläuterten Grundlagen wird ein systematisches Vorgehen zur Ermittlung der optimalen Instandsetzungslösung vorgestellt.

Ausführung

Das Kapitel erläutert die wesentlichen Punkte, die bei der Leitung und Überwachung der Ausführung zu beachten sind.

1 Einleitung

1.1	Allgemeines	11
1.2	IP BAU, Erhaltung und Erneuerung	13
1.3	Zielpublikum	14
1.4	Begriffe	15
1.5	Betoninstandsetzung	16
1.6	Normen, Richtlinien	18
1.7	Zielsetzung und Abgrenzung der Dokumentation	20

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Die Stahlbetonbauweise hat seit ihrer Erfindung um 1850 durch Hyatt in den USA und seit der ersten Patentierung durch Monier 1867 in Frankreich nach einer vorerst zaghaften Entwicklung im 20. Jahrhundert allgemeine Verbreitung erfahren. Bis im Verlauf der 70er Jahre Schäden an zum Teil erst wenige Jahre alten Bauwerken bekannt wurden, galt Stahlbeton als die dauerhafte Bauweise *par excellence*. Grundlage für diese Annahme bildete die Tatsache, dass der alkalische Zementstein die Bewehrung durch Passivierung der Stahloberfläche dauerhaft vor Korrosion zu schützen vermag. Die aufgetretenen Schäden machten darauf aufmerksam, dass äussere Einwirkungen diesen Korrosionsschutz einschränken können.

Die Entwicklung der Stahlbetonbauweise in den 70er und 80er Jahren war geprägt von der Problematik, die Dauerhaftigkeit der Stahlbetonbauwerke auch bei ungünstigen äusseren Einflüssen zu verbessern. Es zeigte sich, dass in vielen Fällen mit relativ einfachen Massnahmen – Einhalten einer genügenden und dichten Betonüberdeckung der Bewehrung – die geforderte Dauerhaftigkeit gewährleistet werden kann.

Bei der Realisierung von Stahlbetonbauten wurde und wird noch heute diesen Grundsätzen oft zu wenig Beachtung geschenkt. Zusätzlich haben sich die äusseren Einwirkungen auf Stahlbetonbauwerke, insbesondere mit der stark zunehmenden Anwendung von Streusalz für den Winterdienst an Strassen seit den 60er Jahren, dramatisch verschärft. Die Folge davon ist, dass eine zunehmende Zahl von Stahlbetonbauwerken Schäden aufweisen, die zu einer Einschränkung der Dauerhaftigkeit führen. Damit mittel- bis langfristig keine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit und der Tragsicherheit eintritt, müssen die betroffenen Bauwerke rechtzeitig instandgesetzt werden, resp. die Schadensentwicklung mit zusätzlichen Schutzmassnahmen gestoppt werden. Die für die Instandsetzung und den zusätzlichen Schutz anzuwendenden Methoden mussten beim Auftreten der ersten Schäden zuerst noch entwickelt werden.

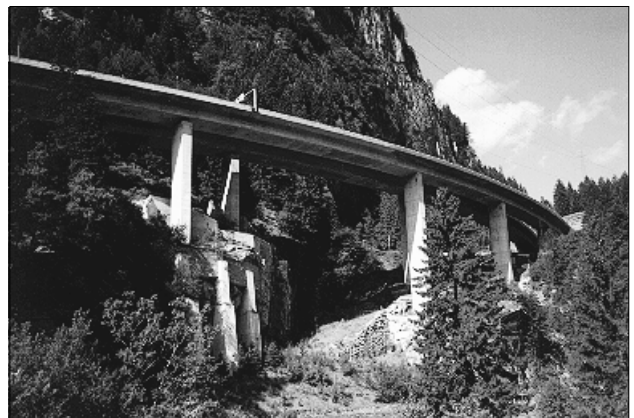
Zu Beginn der 90er Jahre, nach einer Entwicklungszeit von rund 10 Jahren, stehen dem Ingenieur Methoden für die Instandsetzung und den Schutz von Stahlbetonbauwerken zur Verfügung, die bereits ein hohes Niveau erreicht haben. Viele



*Bild 1.1
Stahlbetonbrücke der ältesten Generation über die Sihl*



*Bild 1.2
In den 30er und 40er Jahren fand der Stahlbeton zunehmenden Zuspruch im Hochbau*



*Bild 1.3
Eine vornehme Anwendung des Stahlbetons: der moderne Brückenbau*

Wissenslücken konnten durch die Forschung und Entwicklung geschlossen werden. Es bestehen aber immer noch offene Fragen; so stehen z.B. noch keine echten Langzeiterfahrungen mit Betoninstandsetzungssystemen zur Verfügung, wobei insbesondere die Frage des Verbundes von Altbeton mit den neu aufgetragenen Schichten Gegenstand kontroverser Diskussionen ist. Eine weitere noch ungelöste Problematik betrifft die teilweise noch nicht ausreichend geklärte Umweltverträglichkeit der eingesetzten Produkte und zwar sowohl bezüglich der Herstellung und Verarbeitung wie auch der Entsorgung der instandgesetzten (z.B. beschichteten) Bauteile.

1.2 IP BAU, Erhaltung und Erneuerung

Das im Herbst 1988 von den eidgenössischen Räten bewilligte Impulsprogramm Bau, Erhaltung und Erneuerung hat zum Ziel, die vorhandenen Erfahrungen und Erkenntnisse aus Forschung und Praxis zur Thematik Erhaltung der vorhandenen Bausubstanz aufzubereiten und dem in der Praxis engagierten Zielpublikum zur Verfügung zu stellen. Damit soll ein Beitrag zur Schliessung von Wissenslücken in der heute noch vorwiegend neubauorientierten Baupraxis geleistet werden. Dabei ist es nicht das Ziel des Impulsprogrammes, sämtliche Fragen im Zusammenhang mit der Erhaltung der bestehenden Bausubstanz zu behandeln. Die Schwerpunkte werden unter anderem aufgrund der volkswirtschaftlichen Relevanz festgelegt.

Die Kurse, wie auch die Dokumentation Betoninstandsetzung mit System, bilden die Fortsetzung einer Reihe bereits realisierter Projekte des IP BAU, Bereich Tiefbau. Die Dokumentation Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken [19] gibt Hinweise, wie die notwendigen Grundlagen für eine Instandsetzung zu beschaffen sind. Die Dokumentation Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau [18] behandelt die heute dem Ingenieur zur Verfügung stehenden Techniken und Verfahren zur Erfassung des Bauwerkszustandes. Die Dokumentation Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau [16] befasst sich mit den Grundsätzen des Oberflächenschutzes von Baustoffen, dabei insbesondere auch den Möglichkeiten zum nachträglichen Schutz von Stahlbetonbauteilen.

Verschiedene Publikationen des IP BAU, Bereich Hochbau (Bild 1.6) befassen sich mit den spezifischen Problemen der Diagnose von Wohn- und Bürogebäuden.



Bild 1.4
Das Impulsprogramm BAU, Erhaltung und Erneuerung

Schutzsysteme

im Tief- und Ingenieurbau [16]

Zustandsuntersuchung

an bestehenden Bauwerken [19]

Untersuchungstechniken

im Tief- und Ingenieurbau [18]

Strassenerneuerung

Erhaltung von Hochleistungsstrassen unter Verkehr [17]

Bild 1.5
Bisherige Publikationen des IP BAU, Bereich Tiefbau zur Thematik Diagnose und Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken

Grobdiagnose von Gebäuden

Zustandserfassung und Kostenschätzung [14]

Feindiagnose [13]

Massaufnahme

Aufnahmetechniken, Randbedingungen, Kalkulationsgrundlagen [15]

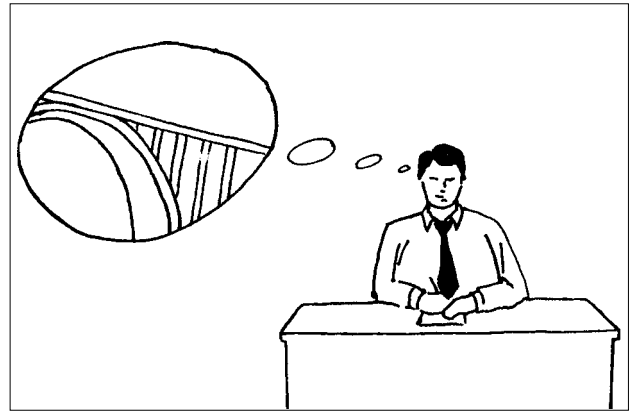
Elementgliederung

für Erneuerung und Unterhalt [12]

Bild 1.6
Dokumentationen zur Diagnose von Hochbauten des IP BAU, Bereich Hochbau

1.3 Zielpublikum

Der Kurs wie auch die Dokumentation Betoninstandsetzung mit System richtet sich primär an Bauingenieure, die sich mit der Planung, Projektierung, Ausschreibung und Leitung von Instandsetzungsmassnahmen an Stahlbetonbauwerken befassen. Die Dokumentation und das darin beschriebene systematische Vorgehen können auch dem Ingenieur auf Seite des Bauherrn bzw. der Unternehmung die wesentlichen Schritte und die zu beachtenden Randbedingungen bei der Vorbereitung und Durchführung von Instandsetzungsmassnahmen an Stahlbeton aufzeigen. Sie stellt damit gewissermassen ein Hilfsmittel zur Verständigung unter den an einer Instandsetzungsmassnahme Beteiligten dar.



*Bild 1.7
Die Dokumentation Betoninstandsetzung mit System
richtet sich an den projektierenden Ingenieur*

1.4 Begriffe

Allgemein und übereinstimmend definierte Begriffe bilden eine grundlegende Voraussetzung für die Verständigung der an einem Projekt Beteiligten. Verschiedene bei der Abwicklung eines Instandsetzungsprojektes zur Anwendung gelangende Begriffe (z.B. Projektphasen) sind in den einschlägigen Normen des SIA (z.B. SIA 103, Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure [31]) geregelt. Hinweise für den Umgang mit bestehenden Bauwerken gibt die SIA-Empfehlung SIA 169, Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken [34]. Dort sind neben den grundsätzlichen Überwachungsmassnahmen (Inspektionen) auch die im Rahmen des Bauwerksmanagements zu verwendenden Begriffe definiert (Bild 1.8).

Im Rahmen der Revision der SIA E 169 sollen die unterschiedlichen Begriffsdefinitionen, wie sie heute z.B. vom SIA und der VSS verwendet werden, harmonisiert werden. Die Begriffe sollen zugleich auch im Hochbau und in der Haustechnik Anwendung finden. Ein Vorschlag einer neuen Begriffsdefinition hat eine unabhängige Arbeitsgruppe 1992 veröffentlicht [27]. Diese neuen Begriffsdefinitionen werden, vom SIA wie auch von der VSS unterstützt, in nächster Zeit Eingang in die Normen finden.

Die Ausführungen in der vorliegenden Dokumentation richten sich jedoch nach den Begriffen, wie sie in der heute gültigen SIA E 169 festgehalten sind (Bild 1.8).

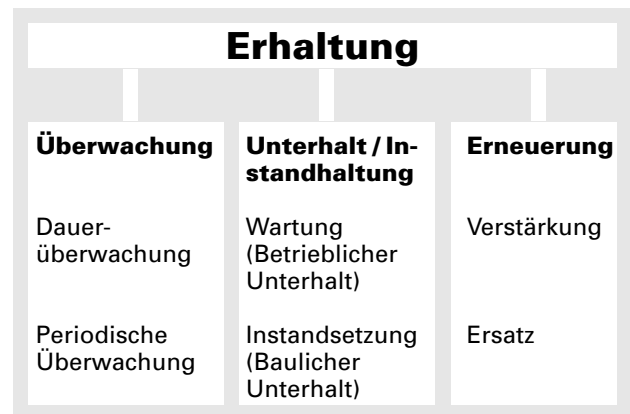


Bild 1.8
Begriffe zur Instandhaltung von Ingenieur-Bauwerken
gemäss SIA E 169 (1987)

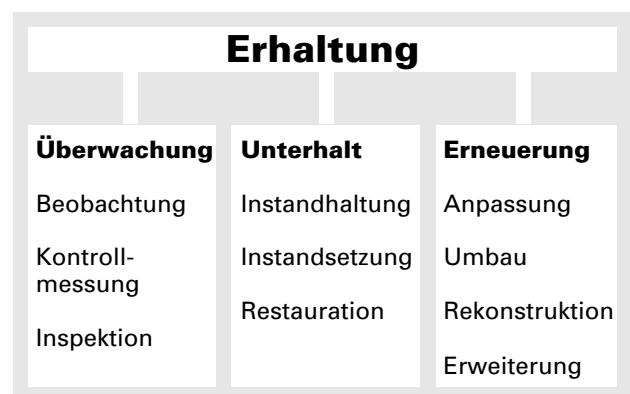


Bild 1.9
Begriffe der Bauwerkserhaltung gemäss Vorschlag 1992 [27] und Vernehmlassungsentwurf SIA 169, 1993

1.5 Betoninstandsetzung

Die Hauptursache für eine Einschränkung der Dauerhaftigkeit einer Stahlbetonkonstruktion ist meist ein ungenügender Schutz der Bewehrung vor Korrosion. Aktive Korrosion der Bewehrung führt zu einer Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit oder sogar der Tragsicherheit der Konstruktion. Auch Schädigungen an der Betonoberfläche, wie z.B. Absanden, Abwitterungen, Frostaussalzschäden, können Grund für Instandsetzungsmassnahmen sein. Diese Art Schäden werden in der Dokumentation nicht behandelt.

Die Instandsetzungsmassnahmen haben zum Ziel, die Dauerhaftigkeit eines Bauteils entsprechend den definierten Anforderungen wieder herzustellen und damit die Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit auf die vereinbarte Zeitdauer hinaus zu gewährleisten.

Der Umfang der Instandsetzung hängt wesentlich mit dem vorhandenen Zustand des Bauwerks – dem Ist-Zustand – und dessen Abweichung vom gewünschten, dem sogenannten Soll-Zustand ab. In den Fällen, wo der Korrosionsschutz der Bewehrung nur wenig beeinträchtigt ist, kann allenfalls die geforderte Dauerhaftigkeit einzig mit zusätzlichen Schutzmassnahmen an der Baustoffoberfläche wieder hergestellt werden. Dort, wo die Beeinträchtigung des Korrosionsschutzes bereits weit fortgeschritten ist, sind grössere Eingriffe erforderlich. Zur Behebung der Schäden ist ein Ersatz des geschädigten Betons, die Beseitigung mit elektrochemischen Methoden oder eine Beeinflussung des ablaufenden Korrosionsprozesses erforderlich.

Wie bei allen Ingenieuraufgaben gibt ein systematisches Vorgehen auch bei Instandsetzungsproblemen grosse Gewähr, dass eine zweckmässige Lösung gefunden und realisiert werden kann. Die Problemlösung beginnt bei der Grundlagenbeschaffung (Ist-Zustand), der Analyse der Schäden, der Ermittlung der Schadensursachen und führt über die Definition und Vereinbarung der Zielsetzungen und Randbedingungen zur Detailprojektierung und Realisierung der eigentlichen Instandsetzungsmassnahmen.

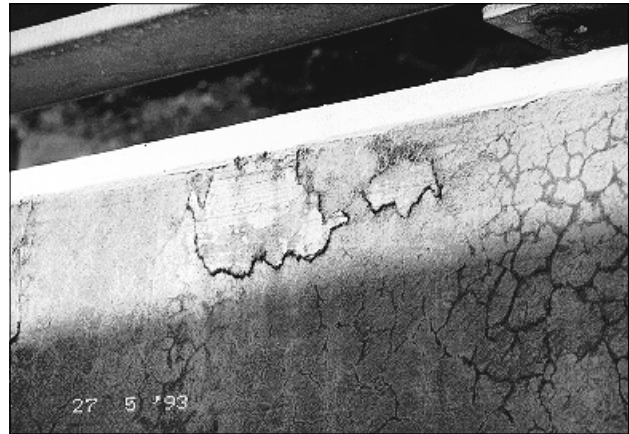


Bild 1.10
Die Bewehrungskorrosion zeigt sich durch optisch erkennbare Schäden



Bild 1.11
Schäden können durch eine Inspektion frühzeitig entdeckt werden

Die Beteiligten müssen sich bewusst sein, dass bei der Instandsetzung eines Bauwerks nicht wie bei einem Neubau vorgegangen werden kann. Das vorhandene Bauwerk sowie dessen Nutzung stellen wesentliche Randbedingungen dar, die von Anbeginn weg zu berücksichtigen sind.

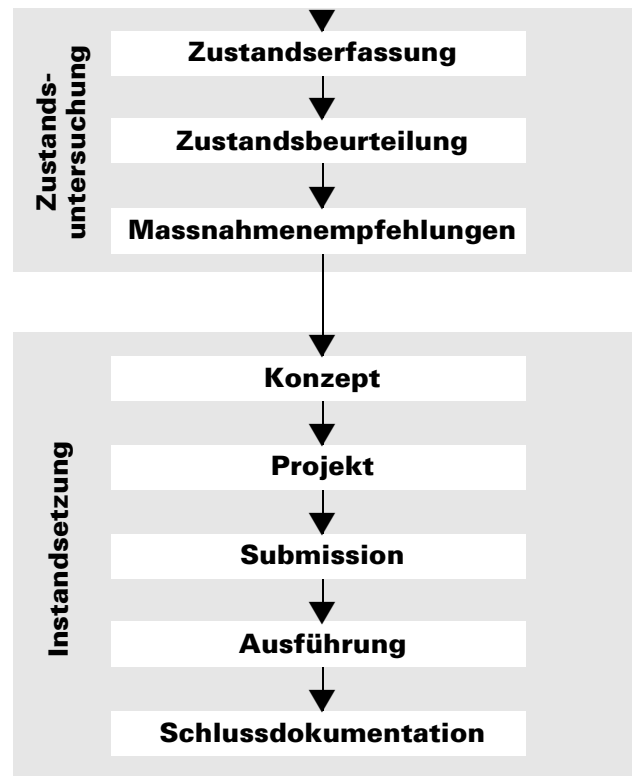


Bild 1.12
Vorgehensschritte von der Zustandsuntersuchung zur Instandsetzung

1.6 Normen, Richtlinien

Die Technik zur Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken wurde erst im Laufe der 80er Jahre entwickelt. Zahlreiche Fragen sind heute noch unbeantwortet. Langzeiterfahrungen mit den neu entwickelten Techniken fehlen weitgehend.

Die Entwicklung der Baustoffe und Techniken lag bis vor wenigen Jahren in den Händen der Lieferanten von Produkten für die Instandsetzung von Stahlbeton. Die neuen Produkte zum Oberflächenschutz und für den Betonersatz wurden meist ausgehend von vorhandenen Produkten entwickelt. Findige Unternehmer haben neue Verfahren, die bei der Betoninstandsetzung zur Anwendung gelangen können, entwickelt. Gegen Ende der 80er Jahre haben auch die Anwender, d.h. Ingenieure und Bauherren, begonnen, sich mit der Problematik auseinanderzusetzen. Durch die gesamtheitlichere Betrachtung wurden wichtige neue Fragen aufgeworfen, die bis heute erst zum Teil beantwortet sind. Diese Fragen haben gegen Ende der 80er Jahre im In- und Ausland verschiedene Forschungsprojekte ausgelöst.

Diese Geschichte der Betoninstandsetzung widerspiegelt sich in den dem Ingenieur zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln. Eigentliche Normen zur Thematik existieren in der Schweiz nicht. 1985 hat die Gruppe Schweiz des WTA (Wissenschaftlich-technischer Arbeitskreis für Denkmalpflege und Bauwerkssanierung e.V.) ein Merkblatt, Unterhalt von Betonbauwerken – Vorbeugender Schutz und Instandsetzung [41], herausgegeben. 1990 erschien das SIA-Merkblatt 2002, Inspektion und Instandsetzung von Bauteilen aus Beton [38]. Diese beiden Publikationen geben zahlreiche Hinweise zu Teilproblemen sowie zum generellen Vorgehen. Sie beinhalten jedoch keine eigentliche Systematik über das Vorgehen, die Anforderungen und die Prüfungen der Produkte.

Ebenfalls im Jahre 1990 erschienen in Deutschland die überarbeitete Ausgabe der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, ZTV-SIB 90 [4] des Bundesministers für Verkehr sowie die Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [6] des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, RiLi DAfStB. Diese Richtlinien beinhalten erstmals eine von der Projektierung über die Produktwahl bis zur Ausführung durchlaufende Systematik mit entsprechenden



Bild 1.13
Die ersten Entwicklungsimpulse bei der Betoninstandsetzung gingen von den Produktlieferanten aus



Bild 1.14
Weitere Impulse trugen Unternehmer mit der Entwicklung spezieller Geräte und Verfahren bei

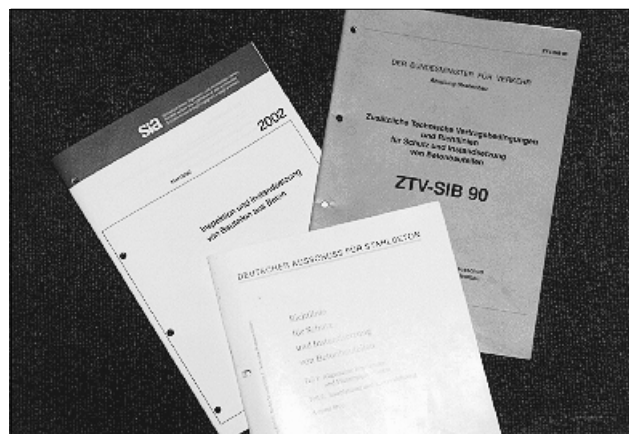


Bild 1.15
Seit wenigen Jahren bilden erste Normen und Richtlinien weitere Hilfsmittel für den Ingenieur

Projektierungskriterien und quantifizierten Anforderungen an die Produkte sowie die Ausführung. Obwohl die beiden einander ähnlichen Regelwerke in verschiedenen Punkten voneinander abweichen, stellen sie einen grossen Fortschritt in Richtung Vereinheitlichung des Vorgehens und Verbesserung der Vergleichbarkeit der angebotenen Produkte dar. Die Grundsätze dieser Regelwerke finden momentan Eingang in das in Ausarbeitung stehende internationale Normenwerk [24]. Abweichungen von den heute in Deutschland angewendeten Regelungen sind im Bereich der Produkteprüfungen zu erwarten. Hier werden die neuesten Erfahrungen aus Deutschland sowie anderen europäischen Ländern einfließen. Es ist damit zu rechnen, dass im Rahmen von CEN innert zwei bis vier Jahren europaweit anwendbare Normen bzw. Richtlinien zur Verfügung stehen werden.

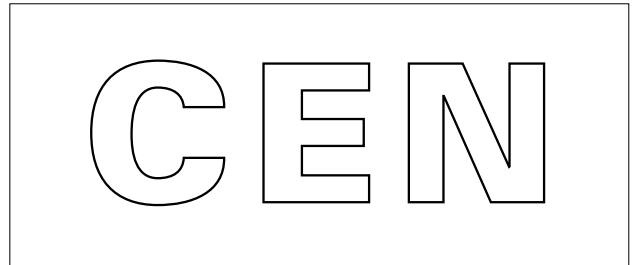


Bild 1.16

*In einigen Jahren werden europaweit gültige Normen (CEN: **C**omité **E**uropéen de **N**ormalisation) die verschiedenen nationalen Regelungen ablösen*

1.7 Zielsetzung und Abgrenzung der Dokumentation

Die Dokumentation sowie der Kurs «Betoninstandsetzung mit System» des IP BAU zielen darauf ab, den mit der Projektierung, Vorbereitung und Realisierung von Instandsetzungsmassnahmen an Stahlbetonbauwerken konfrontierten Ingenieur mit den massgeblichen Randbedingungen einerseits sowie einer ausgewählten Palette von Lösungsmöglichkeiten andererseits bekanntzumachen. Grosses Gewicht wird auf ein systematisches Vorgehen bei der Problemlösung gelegt. Basierend auf einer Zustandserfassung und der nachfolgenden, mit der Ermittlung der Schadenursachen verbundenen Zustandsbeurteilung, sollen – ausgerichtet auf klar definierte Zielsetzungen – die zweckmässigsten Instandsetzungsmassnahmen ausgewählt und realisiert werden. Die zur Anwendung gelangenden Produkte sind entsprechend den spezifischen Anforderungen auszuwählen. Die Applikation muss unter Beachtung der durch den Produktelieferanten vorgegebenen Randbedingungen erfolgen. Die Erreichung der festgelegten Qualitätsziele ist mittels zweckmässiger Prüfungen während der Ausführung laufend zu überwachen. Die Dokumentation lehnt sich in ihren Ausführungen an die Systematik der RiLi DAfStB [6] an.

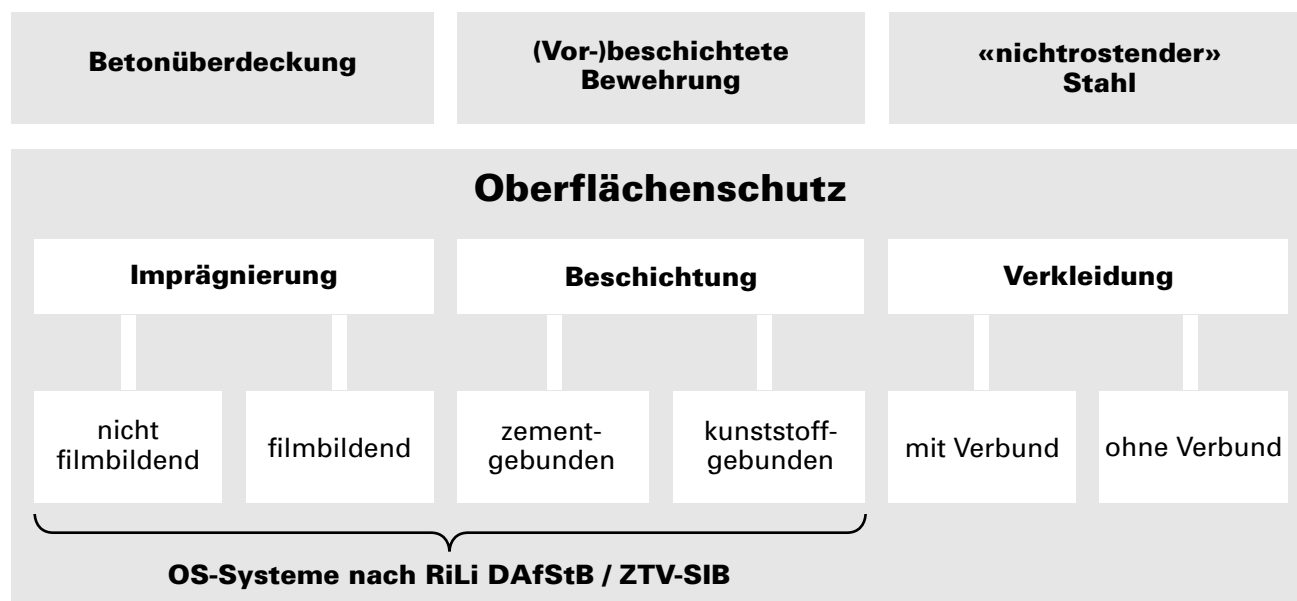


Bild 1.17
Massnahmen zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion
(ohne elektrochemische Verfahren)

R Repassivierung		W Reduktion WG		C Besch. Bewehrung		CP Kath. Korros.-schutz	
Karb.	Cl ⁻	Karb.	Cl ⁻	Karb.	Cl ⁻	Karb.	Cl ⁻
R1		Beschichtung		Abtrag/Reprofil.		mit Opferanode	
		W	W-Cl	C	C-Cl		
Abtrag/Reprofil.							mit Fremd-strom
R2	R-Cl						
ER	ECE						
Inhibitoren							

Der Kurs wie auch die Dokumentation müssen sich auf die Behandlung der hauptsächlichsten Elemente der Betoninstandsetzung beschränken. Von den Massnahmen zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion werden nur die Massnahmen für den Oberflächenschutz (Imprägnierungen und Beschichtungen nach Bild 1.17) sowie die elektrochemischen Verfahren behandelt. Nicht behandelt werden die Verkleidungen und die nur bei Neubauten in Frage kommenden Massnahmen: Anwendung einer (vor-)beschichteten Bewehrung, Einsatz von «nichtrostenden» Stählen sowie die Vorkehrungen zur Gewährleistung einer genügenden Betonüberdeckung. Die Palette von Massnahmen zur Behebung vorhandener Schäden wird möglichst umfassend behandelt.

Bild 1.18

Massnahmen zur Beseitigung bzw. Unterdrückung der Schädigung gegliedert nach den angewendeten Grundprinzipien R (Repassivierung), W (Reduktion Wassergehalt WG), C (Beschichtung der Bewehrung) und CP (Kathodischer Korrosionsschutz) (vgl. Kap. 2.) für den Korrosionsschutz sowie den korrosionsauslösenden Faktoren (Karb.: für Karbonatisierung, Cl: für Chloride), inkl. elektrochemische Verfahren ER (Realkalisierung), ECE (Chloridentfernung) sowie KKS (kathodischer Korrosionsschutz) und Inhibitoren (vgl. Kap. 3.)

Die vorliegende Dokumentation geht davon aus, dass die Resultate einer Zustandsuntersuchung inkl. Zustandsbeurteilung vorliegen und Kursteilnehmer bzw. Leser über die Kenntnisse verfügen, wie diese Informationen umzusetzen sind. Ebenso werden beim Kursteilnehmer wie auch beim Leser der Dokumentation Vorkenntnisse der Schädigungsmechanismen und Oberflächenschutzsysteme vorausgesetzt. Die entsprechenden Informationen sind in anderen Dokumentationen des IP BAU dargelegt.

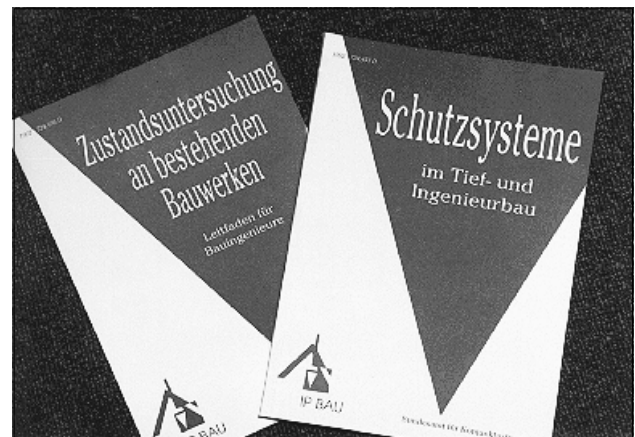


Bild 1.19

Beim Kursteilnehmer werden Vorkenntnisse der Schädigungsmechanismen und Oberflächenschutzsysteme vorausgesetzt. Die Behandlung der Betoninstandsetzung basiert auf einer vorliegenden Zustandsuntersuchung inkl. -beurteilung.

2 Grundsätze für den Korrosionsschutz der Bewehrung

2.1	Einleitung	25
------------	-------------------	-----------

2.2	Übersicht	26
------------	------------------	-----------

2.3	Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Karbonatisierung	28
2.3.1	Instandsetzungsprinzip R: Repassivierung	29
2.3.2	Instandsetzungsprinzip W: Korrosionsschutz durch Begrenzung des Wassergehaltes im Beton	32
2.3.3	Instandsetzungsprinzip C: Korrosionsschutz durch Beschichtung der Bewehrung	33
2.3.4	Übersicht über die Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Karbonatisierung	34

2.4	Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden	35
2.4.1	Instandsetzungsprinzip R-Cl: Wiederherstellung des alkalischen Milieus	36
2.4.2	Instandsetzungsprinzip W-Cl: Begrenzung des Wassergehaltes	37
2.4.3	Instandsetzungsprinzip C-Cl: Beschichtung der Bewehrung	38
2.4.4	Instandsetzungsprinzip CP: Kathodischer Korrosionsschutz	39
2.4.5	Übersicht über die Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden	40

2 Grundsätze für den Korrosionsschutz der Bewehrung

2.1 Einleitung

Die Korrosion der Bewehrung ist die Hauptursache für Schäden an Stahlbetonbauwerken. Es gibt verschiedene Ursachen, die zur Korrosion an der Bewehrung führen können.

Die Grundprinzipien für den Korrosionsschutz der Bewehrung, aus denen die Instandsetzungsprinzipien abgeleitet werden, basieren auf dem Korrosionsprozess. Damit es überhaupt zur Korrosion der Bewehrung kommen kann, müssen drei Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sein (Bild 2.1):

1. Es muss ein leitendes Medium, ein Elektrolyt z.B. in Form von feuchtem Beton vorhanden sein.
2. Die Wirksamkeit der Passivschicht auf der Stahloberfläche muss aufgehoben sein, z.B. infolge Karbonatisierung oder Anwesenheit von Chloridionen.
3. Sauerstoff muss durch den porösen und teils gerissenen Beton bis zur Bewehrung vorgedrungen sein.

Jedes der nachfolgend beschriebenen Grundprinzipien für den Korrosionsschutz der Bewehrung zielt darauf ab, mindestens eine dieser Voraussetzungen und damit den Korrosionsprozess zu unterbinden.

Die nachfolgend dargestellten Grundprinzipien sind aufgrund des Korrosionsvorganges entwickelte Modelle. In der Praxis werden oft verschiedene dieser Modelle miteinander kombiniert.

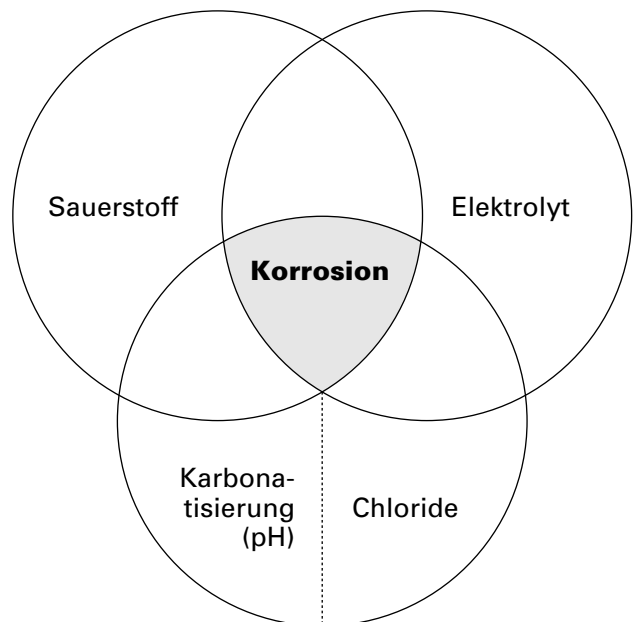


Bild 2.1
Voraussetzungen für die Korrosion der Bewehrung

2.2 Übersicht

Bild 2.2 gibt einen Überblick über die vier Grundprinzipien R, C, CP und W für den Korrosionsschutz der Bewehrung. Die Darstellung wurde dem Entwurf für eine internationale Norm [24] entnommen und sinngemäss ins Deutsche übersetzt.

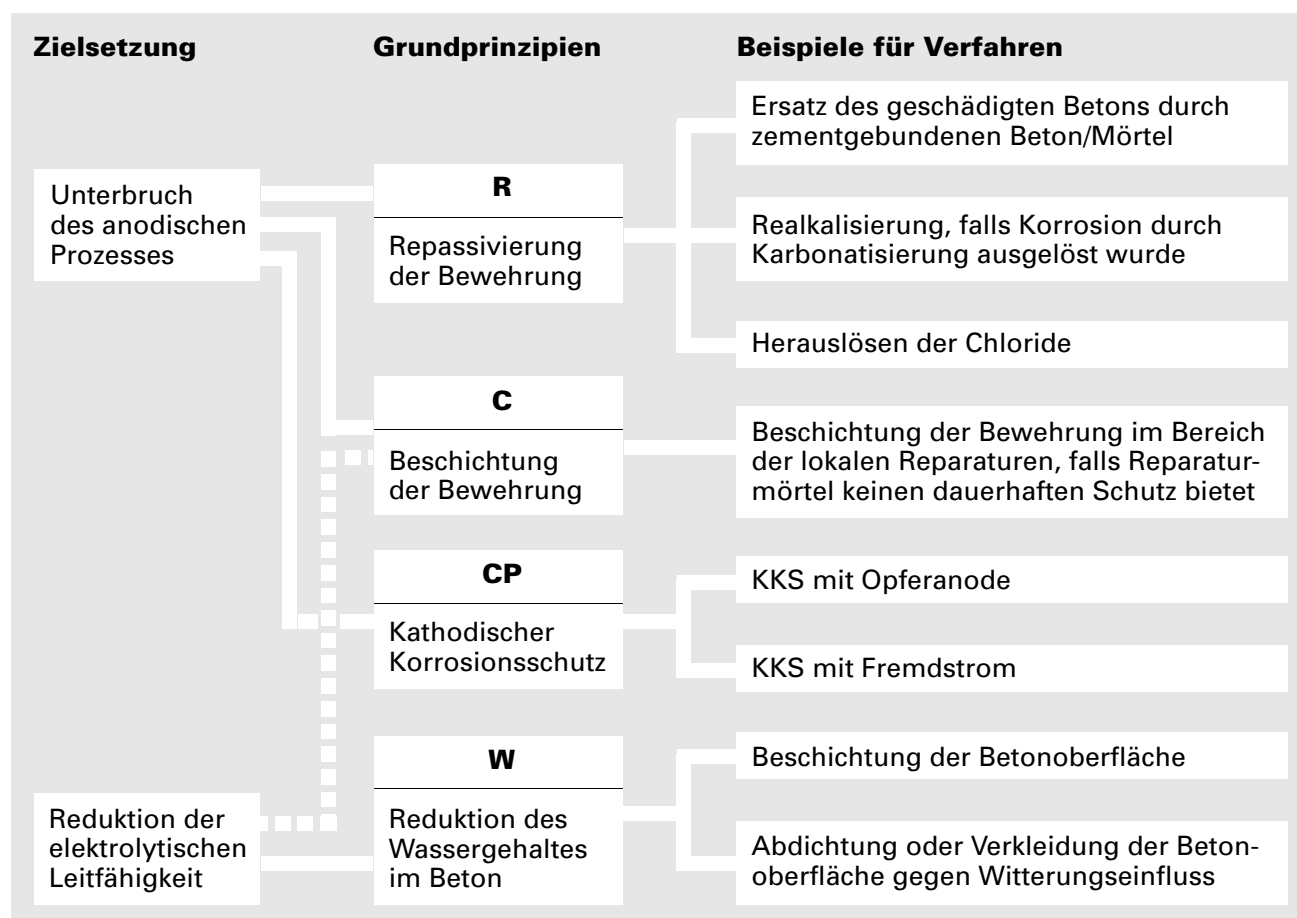


Bild 2.2
Grundprinzipien für den Korrosionsschutz der Bewehrung mit Beispielen [24]

Es ist ersichtlich, dass jedes Grundprinzip für den Korrosionsschutz der Bewehrung darauf abzielt, eine oder im Falle der Beschichtung der Bewehrung zwei Voraussetzungen für den Korrosionsprozess zu unterbinden.

Das Fernhalten des Sauerstoffes von der Stahloberfläche durch eine Beschichtung der Betonoberfläche wäre theoretisch eine weitere Möglichkeit, die Korrosion der Bewehrung zu verhindern. Dieses Prinzip ist jedoch baupraktisch nicht beherrschbar und entfällt deshalb.

In den folgenden Kapiteln 2.3 und 2.4 sind die Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion der Bewehrung infolge Karbonatisierung bzw. infolge Chloriden erläutert. Die einzelnen zur Anwendung gelangenden Verfahren – Abtrag und Reprofilierung, kathodischer Korrosionsschutz KKS, elektrochemische Entsalzung ECE, elektrochemische Realkalisierung ER, Inhibitoren – werden im anschließenden Kapitel 3, Instandsetzungsverfahren, eingehender behandelt.

Es ist noch eine weitere Vorbemerkung anzufügen. Die meisten Instandsetzungen mit Abtrag und Ersatz von «gesundem» Beton, der aufgrund seiner Festigkeit, nicht aber seiner chemisch/physikalischen Eigenschaften (pH-Wert, Chloridgehalt) den Anforderungen noch genügen würde, bedeuten eine Schwächung der Bausubstanz. Neu auf den Altbeton aufgetragene Betonersatzschichten sind dem ursprünglich vorhandenen Beton nämlich in den meisten Fällen unterlegen (Verbundproblem [21], Menn in [30]). Dieses mit Abtrag und Reprofilierung verbundene Risiko ist bei der Wahl des Instandsetzungsprinzips und bei der Festlegung der Abtragsbereiche zu berücksichtigen.

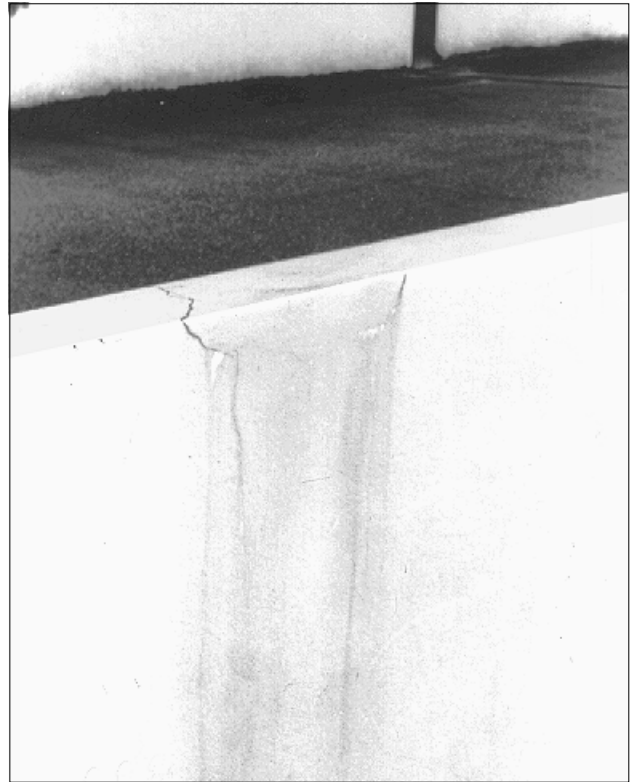


Bild 2.3

Abtrag und Reprofilierung von «gesundem» Beton ist eine risikobehaftete Massnahme, deren Dauerhaftigkeit nur bei grösster Sorgfalt gegeben ist. Folgeschäden wie sie das Bild zeigt, treten immer wieder auf.

2.3 Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Karbonatisierung

In diesem Kapitel werden die Grundsätze der Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Karbonatisierung dargestellt.

Die nachfolgend einzeln erläuterten Instandsetzungsprinzipien sind im Kapitel 2.3.4 in einer Übersichtstabelle zusammengefasst (Bild 2.11). Die Möglichkeit, eine Realkalisierung und damit eine Repassivierung der Stahloberfläche auf elektrochemischem Weg zu erreichen, ist zusätzlich im Kapitel 3.2, Elektrochemische Realkalisierung, behandelt. Grundsätzlich ist auch bei Korrosion infolge Karbonatisierung der Einsatz des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) möglich.

Es ist zu beachten, dass die Karbonatisierungstiefe als Folge der unterschiedlichen Betonqualität örtlich stark variieren kann.

Bei sämtlichen Instandsetzungsprinzipien ist bei der Festlegung der Anforderungen auf die Gefahr der erneuten Karbonatisierung zu achten. Die verwendeten Betonerersatzsysteme und Oberflächenschutzschichten müssen einen genügend grossen Widerstand gegen Karbonatisierung aufweisen, so dass bis zum Ende der vereinbarten Nutzungsdauer der Instandsetzung keine Gefährdung der Bewehrung durch Karbonatisierung mehr eintritt. Bei der Beurteilung der Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung ist zu beachten, dass zur Auslösung einer aktiven Korrosion immer ein genügender Wasserzutritt erforderlich ist. Die Karbonatisierung allein – ohne Bewehrungskorrosion – ist noch kein Grund für eine Instandsetzungsmassnahme! Auf das mit Betonabtrag und Reprofilierung verbundene Risiko wurde in Kapitel 2.2 hingewiesen.

Die einzelnen Instandsetzungsprinzipien werden mit Hilfe von Skizzen erläutert. Die Skizzen stellen den Endzustand nach der Ausführung der Instandsetzung gemäss dem entsprechenden Instandsetzungsprinzip dar. Bild 2.4 veranschaulicht die Ausgangslage für den Modellfall. Das schräg aus der Tiefe der Betonkonstruktion gegen die Betonoberfläche verlaufende Bewehrungsseisen erlaubt es darzustellen, bis in welche Tiefe allenfalls ein Abtrag bzw. eine Entrostung erforderlich ist.

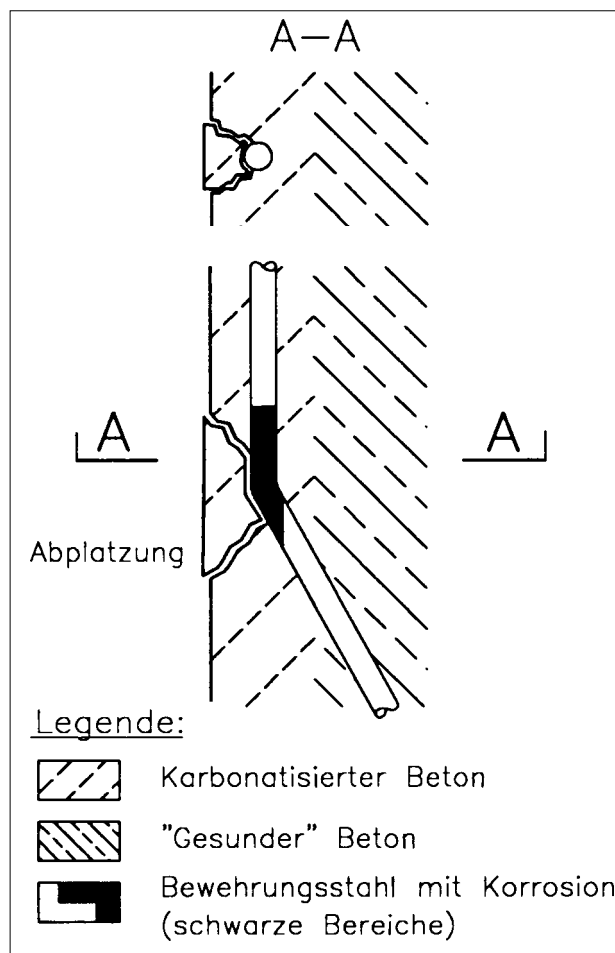


Bild 2.4
Ausgangslage für die Instandsetzung bei Korrosion infolge Karbonatisierung [24]

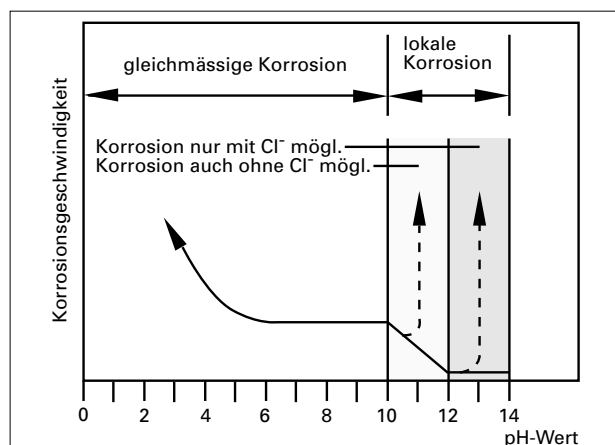


Bild 2.5
Korrosionsgeschwindigkeit der Bewehrung in Abhängigkeit vom pH-Wert des Porenwassers [1]

2.3.1 Instandsetzungsprinzip R: Repassivierung

Das Grundprinzip R hat zum Ziel, die Passivschicht der Stahloberfläche, welche den Stahl vor Korrosion schützt, für die restliche Nutzungsdauer wiederherzustellen. Das Prinzip ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Bewehrung noch intakt, d.h. die Korrosion noch nicht fortgeschritten ist und deshalb nur geschützt, jedoch nicht instandgesetzt werden muss.

Um das Grundprinzip verstehen zu können, muss zuerst der Vorgang der Karbonatisierung und seiner Auswirkungen erläutert werden:

Die Alkalität des Zementsteines (Portlandzement) bewirkt die Bildung einer stabilen Passivschicht auf der Stahloberfläche. Bei der Karbonatisierung reagiert das CO_2 der Luft mit dem Kalziumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ des Betons zu Kalziumkarbonat CaCO_3 . Dabei wird Wasser freigesetzt. Durch diese chemische Reaktion sinkt der pH-Wert von ca. 12,6 auf 9 ab. Die Passivschicht um den Bewehrungsstahl wird instabil, so dass der Schutz verloren geht (Bild 2.5).

Bild 2.6 veranschaulicht das Grundprinzip R. Durch das Aufbringen einer zementgebundenen Mörtel- oder Betonschicht (z.B. aus Spritzbeton) wird der pH-Wert des Porenwassers in der karbonatisierten Zone durch Diffusionsvorgänge und kapillares Saugen angehoben. Voraussetzung für eine dauerhafte Repassivierung der Bewehrung ist jedoch, dass der Instandsetzungsmörtel bzw. -beton selbst einen ausreichenden Karbonatisierungswiderstand (Zementanteil, Dichtigkeit) hat.

Das Instandsetzungsprinzip R (Wiederherstellung des alkalischen Milieus) wird im allgemeinen in die zwei Grundsatzlösungen R1 (flächenhafte Realkalisierung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel unter Verwendung von Portlandzement) und R2 (örtliche Ausbesserung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel) unterteilt [6], [24].

Eine Realkalisierung des karbonatisierten Betons sowie eine Repassivierung der Stahloberfläche kann auch mit der elektrochemischen Realkalisierung ER erreicht werden. Das Verfahren ist in Kapitel 3.2 beschrieben.

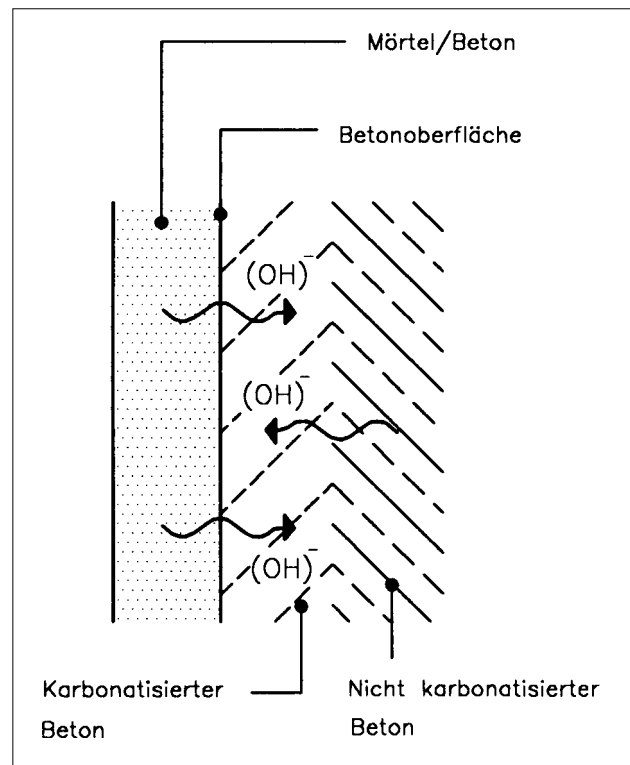


Bild 2.6
Realkalisierung durch Diffusion von $(\text{OH})^-$ -Ionen in die Zone des karbonatisierten Betons [24]

Grundsatzlösung R1 (Bild 2.7)

Flächenhafte Realkalisierung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel:

Bei der Grundsatzlösung R1 erfolgt eine Beschichtung über die auszubessernden Bereiche und die gesamte Betonoberfläche mit zementgebundenem Beton oder Mörtel. Die Beschichtung kann sowohl auf die ursprüngliche Betonoberfläche als auch auf grossflächig abgetragene Bereiche aufgebracht werden. Der Beton muss nur so weit abgetragen werden, wie er infolge Korrosion der Bewehrung gerissen oder gelockert ist oder eine ungenügende Festigkeit als Untergrund für die neue Mörtel- bzw. Betonschicht aufweist. Das Verfahren darf nur angewendet werden, wenn die Karbonatisierungsfront nicht mehr als 20 mm hinter die Bewehrung vorgedrungen ist. Wo die Karbonatisierungsfront mehr als 20 mm hinter die oberflächennächste Bewehrung vorgedrungen ist, muss der Beton bis zur Oberfläche der äussersten Bewehrungslage entfernt werden. Die Grundsatzlösung R1 kommt in erster Linie dort zur Anwendung, wo die Dicke der Betonüberdeckung der Bewehrung ungenügend ist. Dort wo infolge tiefgreifender Karbonatisierung auch bei genügender Betonüberdeckung (Betonüberdeckung 2–3 cm) Korrosion an der Bewehrung auftritt, ist die Anwendbarkeit der Grundsatzlösung R1 in der Regel nicht gegeben.

Für die Reprofilierung der schadhaften Stellen (Abplatzungen) und für den Überzug muss ein ausreichend alkalischer, zementgebundener Mörtel (Portlandzement) verwendet werden. Im Bereich der freigelegten Stellen ist die Bewehrung vor der Reprofilierung von losem Rost zu reinigen. Der Reinheitsgrad der Stahloberfläche soll etwa den Anforderungen beim Neubau von Stahlbetonkonstruktionen entsprechen (Flugrost erlaubt).

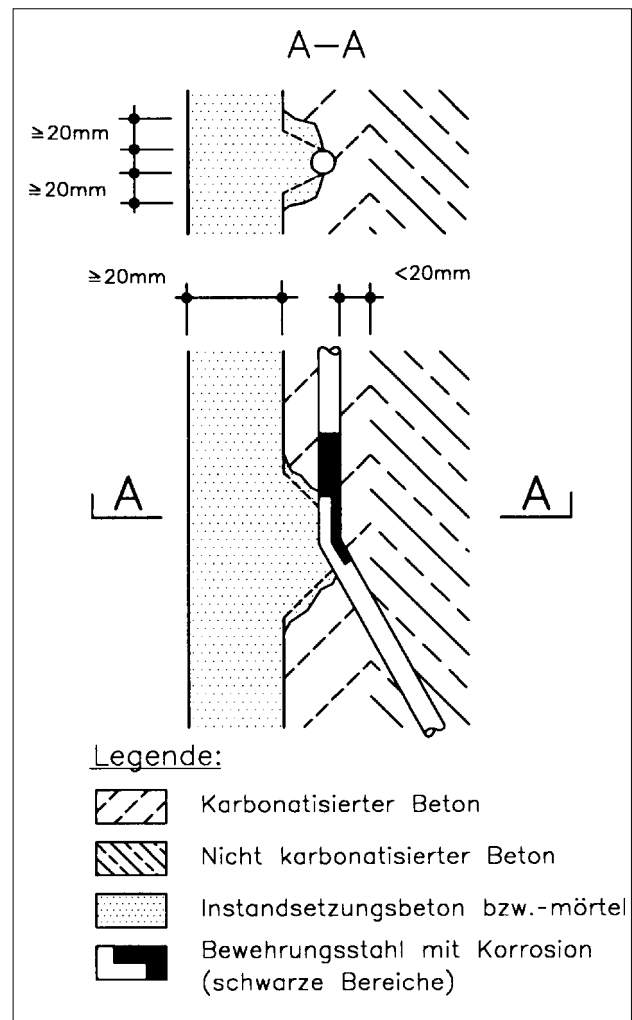


Bild 2.7
Systemskizze Grundsatzlösung R1 [24], Ausgangslage
vgl. Bild 2.4

Grundsatzlösung R2 (Bild 2.8)

Dieses Verfahren sieht nur eine örtliche Ausbesserung mit alkalischem Beton bzw. Mörtel vor:

Die Grundsatzlösung R2 wird bei örtlich eng begrenzter Korrosion eingesetzt. Dies ist z.B. bei örtlich grossen Karbonatisierungstiefen oder örtlich kleiner Betonüberdeckung der Fall. Das Prinzip sieht vor, im Bereich der Bewehrung allen karbonatisierten Beton (auch ausserhalb der korrodierenden Bereiche) zu entfernen und mit zementgebundenem, alkalischem Beton oder Mörtel zu ersetzen. Bezüglich Reinigung der Bewehrung gelten die gleichen Anforderungen wie bei der Grundsatzlösung R1, das Entfernen von losem Rost genügt. Bei lokalen Reparaturen ist die Gefahr der Bildung von Makroelementen im Übergangsbereich zwischen Instandsetzungsmörtel und Altbeton zu beachten. Unsorgfältiges Vorgehen kann mehr Probleme schaffen als lösen.

In der Regel ist es bei Anwendung des Instandsetzungsprinzipes R zweckmässig, zur Verbesserung des Karbonatisierungswiderstandes die gesamte Betonfläche zu beschichten. Die begrenzte Dauerhaftigkeit dieser Massnahme ist im Unterhaltsplan zu berücksichtigen. Voraussetzung für die Anwendung der Grundsatzlösung R2 ist, dass die Überdeckung der Bewehrung auch im Bereich der lokalen Reparaturen einen für die angestrebte Restnutzungsdauer genügenden Karbonatisierungswiderstand aufweist.

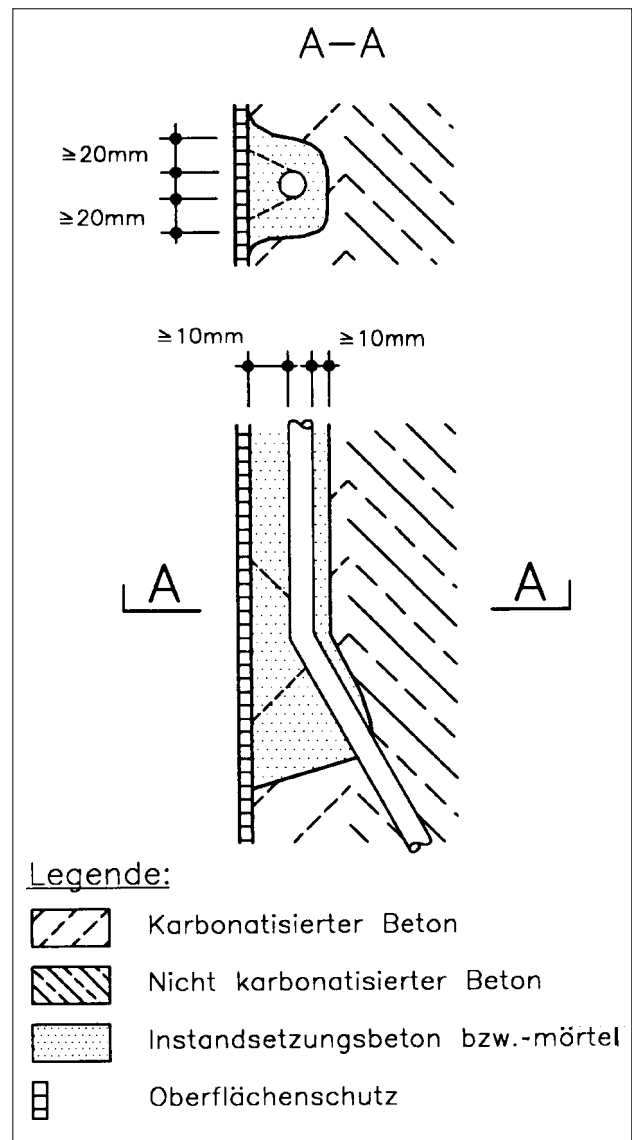


Bild 2.8
Systemskizze Grundsatzlösung R2 [24], Ausgangslage
vgl. Bild 2.4

2.3.2 Instandsetzungsprinzip W: Korrosionsschutz durch Begrenzung des Wassergehaltes im Beton

Beim Instandsetzungsprinzip W (Bild 2.9) wird durch eine Absenkung bzw. Vergleichmässigung des Wassergehaltes im Beton die elektrolytische Leitfähigkeit verringert. Der Korrosionsstrom wird dadurch verkleinert und die Korrosion gebremst. Es wird versucht, von einem nassen Aussenklima zu einem trockenen Innenraumklima zu kommen.

Das Fernhalten der Umgebungsfeuchtigkeit vom Beton wird durch ein geeignetes Oberflächenschutzsystem erreicht. Die äusseren Betonschichten sind nur zu entfernen, wenn sie eine ungenügende Festigkeit aufweisen. Freigelegte Bewehrung muss vor dem Reprofilieren (mit alkalischem Mörtel) von losem Rost befreit werden. Weitere Massnahmen sind nicht erforderlich, da nach dem Grundprinzip der elektrolytische Teilprozess der Korrosion unterbunden wird.

Als Oberflächenschutzsystem kommt eine Hydrophobierung in Frage. Diese bewirkt, dass anfallendes Wasser von der Betonoberfläche abgestossen wird, die Wasserdampfdurchlässigkeit jedoch aufrechterhalten bleibt. Wichtig ist, dass kein Wassernachschub von der Wandrückseite oder der Foundation her möglich ist.

Neben der Hydrophobierung können auch andere Oberflächenschutzsysteme das Wasser vom Beton fernhalten. Sie sind im allgemeinen aufwendiger zu applizieren und haben den Nachteil der geringeren Wasserdampfdurchlässigkeit.

Es ist zu beachten, dass bei einer Hydrophobierung durch das Fernhalten von Wasser bei unveränderter Gasdurchlässigkeit die Gefahr einer Karbonatisierung des Betons u. U. vergrössert wird.

Bei der Realisierung des Instandsetzungsprinzipes W sollte die Wirkung des Oberflächenschutzsystems auf das Korrosionsverhalten durch Probenahme, mittels Potentialmessung oder fest eingebauten Messelektroden (Sensoren) und visuell regelmässig überwacht werden. Diese Überwachung ist wegen der mangelnden Kenntnisse über die Wirkung einer Oberflächenbehandlung auf die Korrosionsrate zu empfehlen. Der Oberflächenschutz muss regelmässig instandgesetzt und erneuert werden.

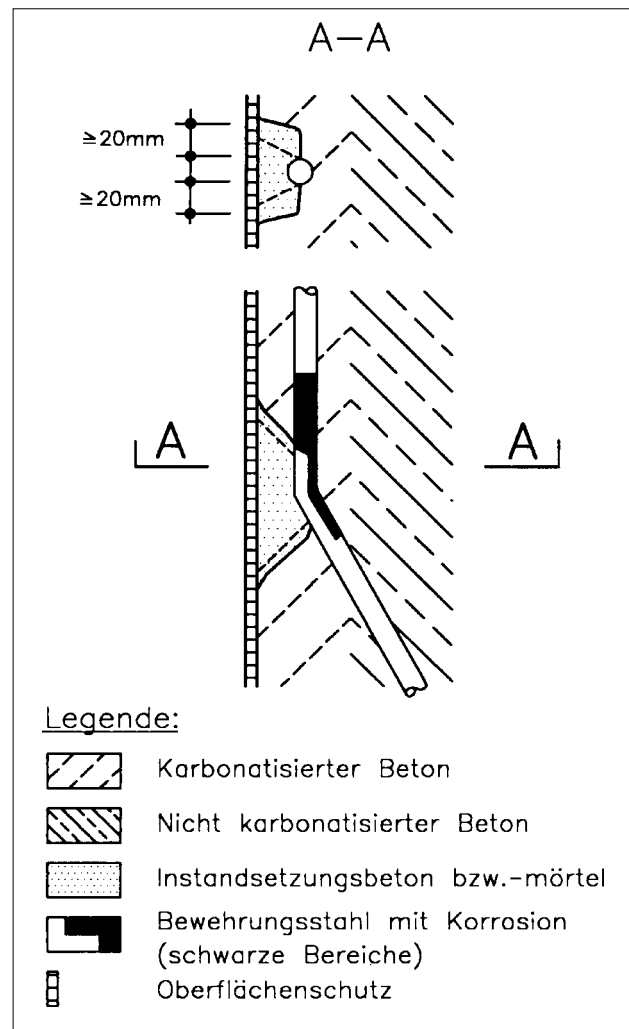


Bild 2.9
Systemskizze Instandsetzungsprinzip W [24], Ausgangslage vgl. Bild 2.4

2.3.3 Instandsetzungsprinzip C: Korrosionsschutz durch Beschichtung der Bewehrung

Das Instandsetzungsprinzip C (Bild 2.10) sollte nur dann eingesetzt werden, wenn die Instandsetzungsprinzipien R und W wegen den spezifischen Randbedingungen nicht anwendbar sind.

Mit dem Instandsetzungsprinzip C wird beabsichtigt, die Bewehrung innerhalb der Nutzungsdauer durch eine elektrisch isolierende Beschichtung vor Korrosion zu schützen. Eine Vorbedingung ist, dass die Bewehrung noch intakt ist, oder dass sie ersetzt werden kann. Durch die zur Anwendung gelangende Beschichtung des Bewehrungsstahles entfällt die Forderung nach der Verwendung eines alkalischen Betonerersatzsystems.

Der Bewehrungsstahl wird vollumfänglich freigelegt. Dabei muss erfahrungsgemäss auf beiden Seiten des Bewehrungsstabes ein Freiraum von minimal 20 mm und auf der Rückseite von minimal 10 mm geschaffen werden. Die Stahloberfläche muss mit einem Strahlverfahren (vgl. Kap. 5.3) bis zu einem Reinheitsgrad Sa 2^{1/2} (vgl. Kap. 3.1) gereinigt werden. Ohne diese Massnahmen ist eine fachgerechte Beschichtung nicht möglich. Die Bewehrung wird anschliessend stahlbaumässig mit einer organischen Beschichtung vorzugsweise auf Epoxidharzbasis versehen.

Das Instandsetzungsprinzip C wird im Normalfall mit dem Prinzip W kombiniert. Dies ist nur dann nicht zwingend, wenn der Beton soweit abgetragen werden kann, dass im nicht instandgesetzten Bereich während der Restnutzungsdauer eine Depassivierung ausgeschlossen bleibt.

Meist ist es zweckmässig, die gesamte Betonoberfläche zusätzlich mit einem Oberflächenschutzsystem zur Erhöhung des Karbonatisierungswiderstandes zu versehen. Eine Beschichtung zur Reduktion der Karbonatisierung muss regelmässig kontrolliert, instandgesetzt und erneuert werden.

Die Beschichtung der Bewehrung ist eine baupraktisch problematische Massnahme, da die Haftung der Beschichtung bei einer ungenügenden Reinigung des Stahls (Kreuzungsstellen etc.) nicht sichergestellt ist. Eine vollständige, fehlerstellenfreie Beschichtung ist nur in sehr günstigen Fällen möglich. Bezüglich der Dauerhaftigkeit einer In-

standsetzung nach dem Grundprinzip C sind deshalb Vorbehalte anzubringen. Beschichtete Bewehrungen führen ausserdem zu stark negativen Potentialen, die eine spätere Potentialmessung erschweren.

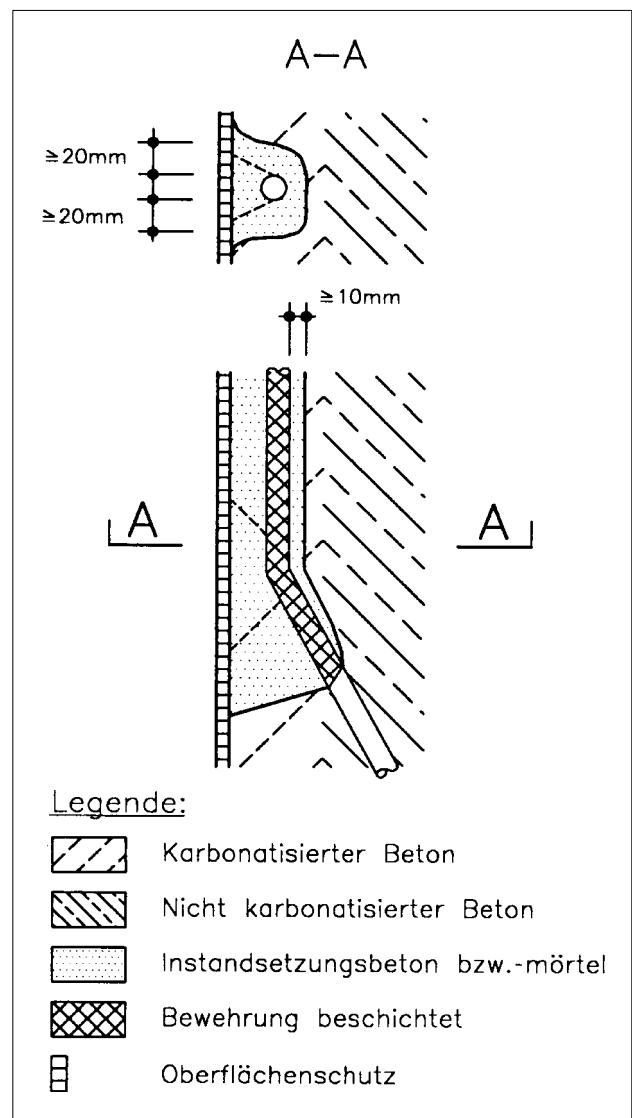


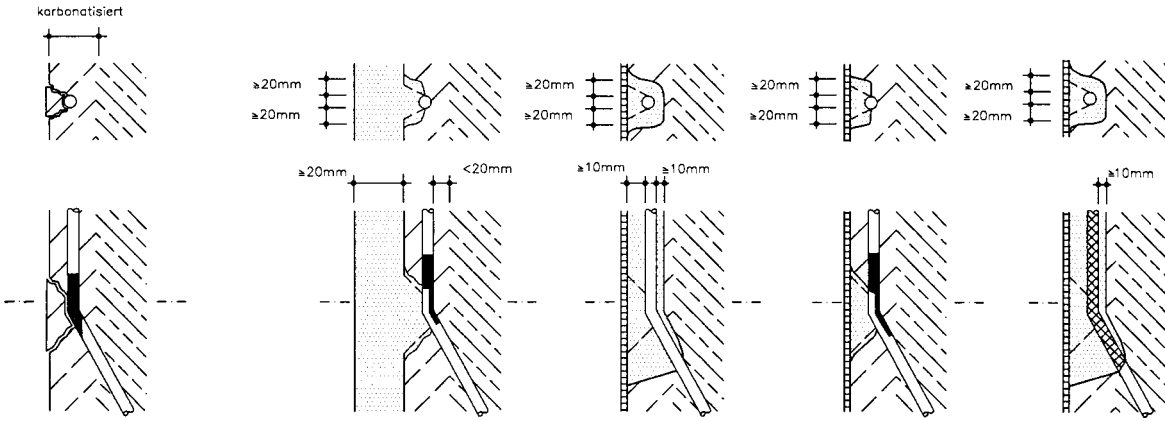
Bild 2.10
Systemskizze Instandsetzungsprinzip C [24], Ausgangslage vgl. Bild 2.4

2.3.4 Übersicht über die Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Karbonatisierung

Die in Bild 2.11 zusammengefassten Instandsetzungsprinzipien sind in den Kapiteln 2.3.1 bis 2.3.3 eingehend erläutert.

Bild 2.11

Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Karbonatisierung [24] (die zutreffenden Massnahmen sind mit ● gekennzeichnet; die elektrochemischen Verfahren sowie die Inhibitoren sind nicht aufgeführt, vgl. Kapitel 3.2 bis 3.5)

Art der Schädigung		R1	R2	W	C
		Repassivierung	Repassivierung	Reduktion des Wassergehaltes	Beschichtung der Bewehrung
		Flächenhafter Beton/Mörtel	Lokale Instandsetzung	Oberflächenbeschichtung	
					
Betonersatz	Nur gerissene und abgeplatzte Bereiche	●		●	
	Alle depassivierten Bereiche		●		●
Behandlung der Stahloberfläche	Sa 2 ^{1/2} + Beschichtung	nicht empfohlen	nicht empfohlen	nicht nötig	●
	Entrostung genügt	●	●	●	
Instandsetzungs-mörtel/-beton	Alkalität, mit Puffer	●	●		
	keine Alkalität gefordert			●	●
Nachträglicher Oberflächenschutz der Betonoberfläche	Nicht gefordert	●	●		●
	Ratsam		●		●
	Gefordert			●	

2.4 Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden

In diesem Kapitel werden die Grundsätze der Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden kurz dargestellt. Im Kapitel 3, Instandsetzungsverfahren, werden die Verfahren genauer beschrieben. Auf die Verfahren der elektrochemischen Entsalzung ECE sowie die Anwendung von Inhibitoren wird in den Kapiteln 3.3 bzw. 3.5 eingegangen.

Bei Korrosion infolge Chloriden müssen zusätzliche Aspekte zur Korrosion infolge Karbonatisierung berücksichtigt werden. Wichtig ist dabei vor allem der Oberflächenschutz, welcher das erneute Eindringen von Chloriden wirkungsvoll verhindern soll.

Weil die durch Chloride ausgelöste Korrosion zu lokalen, punktförmigen Angriffen (Lochfrass) führt, ist die Reinigung der Bewehrung wichtig. Die korrodierten Stellen müssen mit Hochdruckwasserstrahlen vollständig von Rost und Chloriden gereinigt werden.

Auch bei der Instandsetzung von Schäden infolge Chloridkorrosion ist das mit Abtrag und Reprofilierung verbundene Risiko (Verbund mit Altbeton) zu beachten. Die verschiedenen Risiken sind sorgfältig gegeneinander abzuwägen.

Bei Instandsetzungen von Schäden infolge durch Chloride ausgelöster Bewehrungskorrosion wird empfohlen, das Verhalten der instandgesetzten Stellen zu überwachen. Dazu können neben der Potentialmessung (Achtung: nicht möglich bei elektrisch isolierenden Beschichtungen!) auch fest im Bereich dieser Stellen ins Bauwerk eingebaute Sensoren eingesetzt werden. Wie bei der Potentialmessung kann mit diesen Sensoren das Korrosionspotential der Bewehrung und damit eine Veränderung des Korrosionszustandes beobachtet werden.

Die Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden sind im Kapitel 2.4.5 in einer Übersichtstabelle zusammengefasst (Bild 2.17).

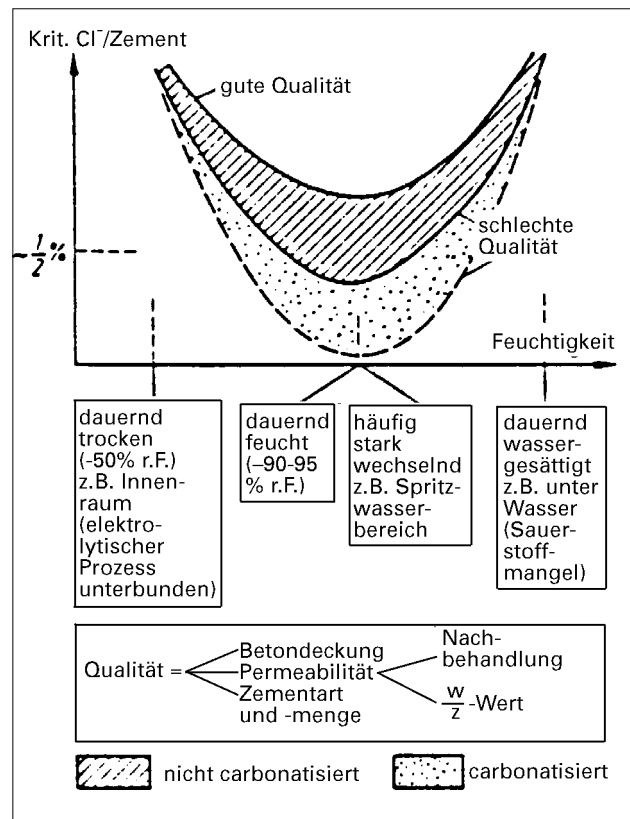


Bild 2.12

Einfluss der Betonqualität und der Umgebungsbedingungen auf den kritischen Chloridgehalt [26], wie aus der Figur hervorgeht, ist der kritische, korrosionsauslösende Chloridgehalt keine Konstante. Neben den angegebenen Einflüssen ist bei der Festlegung des kritischen Chloridgehaltes, z.B. für die Bestimmung der Abtrags-tiefe, auch der vorhandene Korrosionszustand, die Tragsicherheit sowie das mit dem Betonersatz verbundene Risiko zu berücksichtigen.

2.4.1 Instandsetzungsprinzip R-Cl: Wiederherstellung des alkalischen Milieus

Das Grundprinzip R-Cl (Bild 2.13) zielt darauf ab, die Passivschicht auf der Stahloberfläche wieder herzustellen und damit den Korrosionsprozess zu stoppen. Bei einer Depassivierung infolge Chlорideinwirkung kann nicht analog dem Instandsetzungsprinzip R infolge Karbonatisierung vorgegangen werden. Der Beton muss nämlich unabhängig von den Korrosionserscheinungen an der Bewehrung überall dort abgetragen werden, wo der korrosionsauslösende Chloridgehalt im Bereich der Bewehrung überschritten ist (Bild 2.12).

Die festzulegende Abtragstiefe muss sicherstellen, dass später keine kritische Chloridkonzentration im Bereich der Bewehrung infolge Umverteilung von Chloriden durch Wassertransport und Diffusion entstehen kann [10]. Vor der Reprofilierung mit einem alkalischen Mörtel muss der freigelegte Bewehrungsstahl mittels Hochdruckwasserstrahlen von Rost und Chloriden gereinigt werden. Mittels Hochdruckwasserstrahlen kann der Reinheitsgrad Sa 2 erreicht werden, auch wenn das optische Bild nicht den Normvergleichsmustern entspricht.

Ein Schutz der Betonoberfläche gegen Chloride durch eine Beschichtung ist erforderlich, falls die Betonoberfläche weiterhin Chloriden ausgesetzt ist.

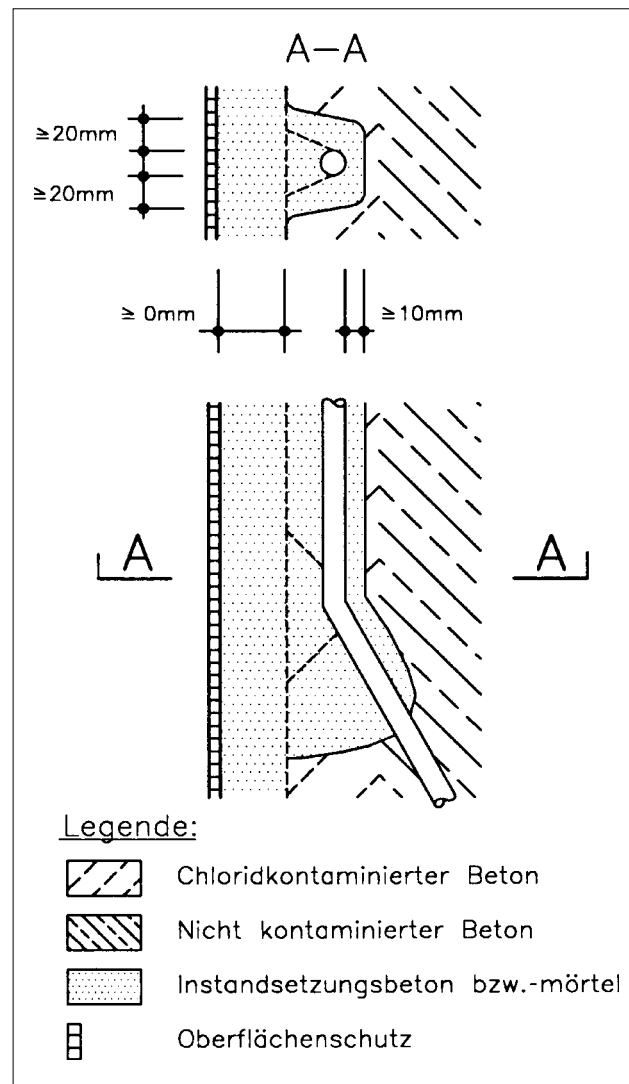


Bild 2.13
Systemskizze Instandsetzungsprinzip R-Cl [24] (Ausgangslage analog Bild 2.4)

2.4.2 Instandsetzungsprinzip W-Cl: Begrenzung des Wassergehaltes

Wie bei der Instandsetzung bei Schäden infolge Karbonatisierung, zielt das Instandsetzungsprinzip W-Cl (Bild 2.14) auch bei Korrosion infolge Chloriden darauf ab, durch eine Reduktion bzw. eine Vergleichsmässigung des Wassergehaltes die elektrolytische Leitfähigkeit des Betons soweit zu reduzieren, dass als Folge des vergrösserten elektrischen Widerstandes der Korrosionsstrom verkleinert und dadurch die Korrosion verlangsamt wird oder sogar zum Stillstand kommt.

Da Chloride im Beton zusätzlich zum Wassergehalt die elektrolytische Leitfähigkeit des Betons erhöhen, müssen die Oberflächenschutzmassnahmen wirksamer sein, d.h. der Wassergehalt auf ein tieferes Niveau gesenkt werden als bei der Korrosion infolge Karbonatisierung.

Das Instandsetzungsprinzip W-Cl besitzt wegen diesen hohen Anforderungen und den ungenügenden Kenntnissen über die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit dieser Massnahme eine geringe Bedeutung.

Das Verfahren darf nur angewendet werden, wenn die Schutzwirkung an Versuchsflächen nachgewiesen worden ist. Dieser Nachweis kann z.B. mit Hilfe einer Überwachung mit der Potentialmessung oder fest eingebauten Sensoren erfolgen.

Bei der Anwendung dieses Instandsetzungsprinzips braucht der Beton nur in Bereichen mit Abplatzungen, Rissen, etc. entfernt zu werden. Es empfiehlt sich, die freigelegte Bewehrung mittels Hochdruckwasserstrahlen zu reinigen. Bezüglich der Alkalität des Reprofiliermörtels bestehen keine besonderen Anforderungen.

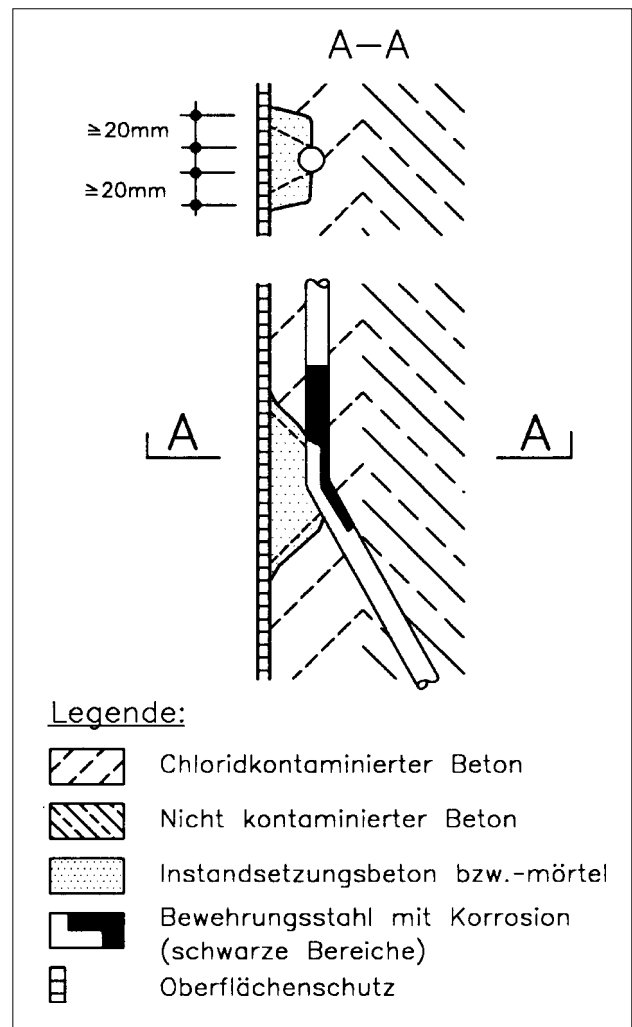


Bild 2.14
Systemskizze Instandsetzungsprinzip W-Cl [24] (Ausgangslage analog Bild 2.4)

2.4.3 Instandsetzungsprinzip C-CI: Beschichtung der Bewehrung

Das Instandsetzungsprinzip C-CI (Bild 2.15) kommt zur Anwendung, falls die Instandsetzungsprinzipien R-CI und W-CI nicht möglich sind. Die Anwendbarkeit ist allerdings unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen zu überprüfen.

Das Instandsetzungsprinzip C-CI zielt darauf ab, den Elektronenübertritt an der Stahloberfläche und damit die Eisenauflösung durch eine elektrisch isolierende Beschichtung der Stahloberfläche zu unterbinden. Die Forderung nach einer alkalischen Umgebung kann dadurch entfallen.

Wie bei der Anwendung des Instandsetzungsprinzips C bei Korrosion infolge Karbonatisierung wird auch bei Chloridkorrosion die Bewehrung soweit freigelegt und mit einem Strahlverfahren bis zu einem Reinheitsgrad Sa 2^{1/2} gereinigt, dass anschliessend stahlbaumässig eine Beschichtung aufgebracht werden kann. Die Bewehrung muss, damit alle Chloride entfernt werden können, mittels Hochdruckwasserstrahlen vorbehandelt werden. Für die Beschichtung der Stahloberfläche kommen organische Stoffe vorzugsweise auf Epoxidharzbasis zur Anwendung.

Bezüglich der Dauerhaftigkeit dieser baupraktisch problematischen Beschichtung in situ sind begründete Vorbehalte anzubringen (vgl. Kap. 2.3.3). Das Hauptproblem besteht in der Gewährleistung einer dauerhaften Haftung der Beschichtung auf der Stahloberfläche sowie der Erzielung eines geschlossenen Filmes.

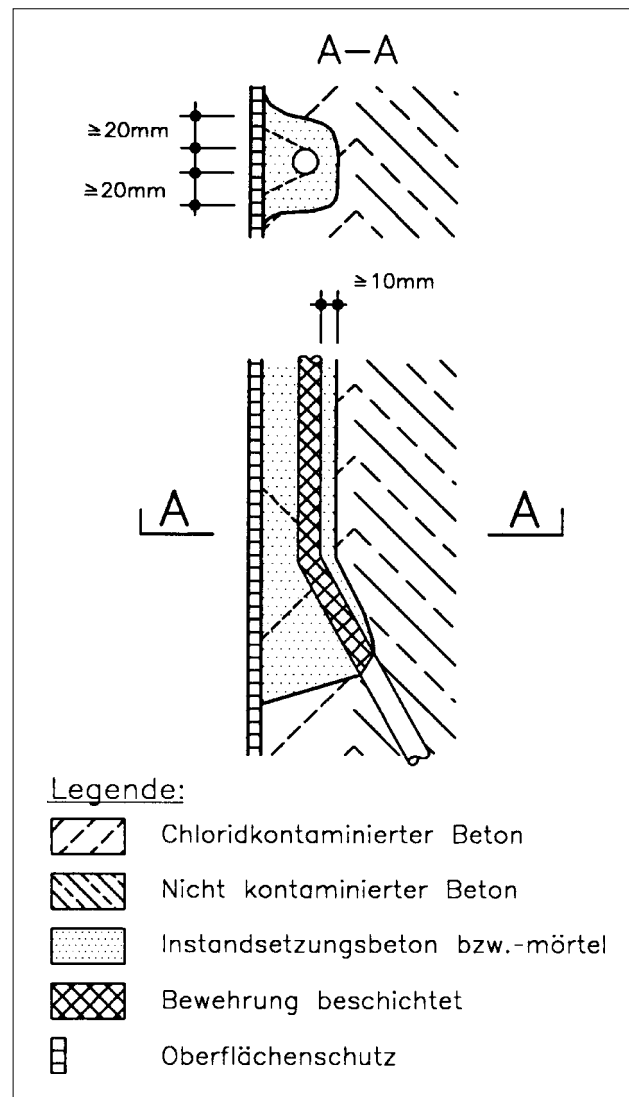


Bild 2.15
Systemskizze Instandsetzungsprinzip C-CI [24] (Ausgangslage analog Bild 2.4)

2.4.4 Instandsetzungsprinzip CP: Kathodischer Korrosionsschutz

Der kathodische Korrosionsschutz (Bild 2.16) kann als Instandsetzungsprinzip bei Korrosion durch Chlorideinwirkung eingesetzt werden. Wie Bild 2.2 zeigt, können beide möglichen Verfahren, das Verfahren mit Fremdstrom aus einer externen Stromquelle wie auch das Verfahren mit Opferanode, angewendet werden. Überwiegend kommt das erstgenannte Verfahren zur Anwendung. Das Verfahren des kathodischen Korrosionsschutzes ist in Kapitel 3.2 eingehend beschrieben.

Der grosse Vorteil des kathodischen Korrosionsschutzes ist, dass kein Betonabtrag, d.h. kein Abtrag von «gesunder» Bausubstanz nötig ist. Der Beton braucht nur in Bereichen mit Abplatzungen und Rissen entfernt zu werden. Die freigelegte Bewehrung muss vor dem Reprofilieren entrostet werden. Für die Reprofilierung ist wegen der erforderlichen Leitfähigkeit ein zementgebundener Mörtel oder Beton zu verwenden. Der kathodische Korrosionsschutz erfordert eine sehr sorgfältige Projektierung und Ausführung. Es muss stets eine auf das spezifische Objekt ausgelegte Lösung gewählt werden (vgl. Kap. 3.2).

Wie bei allen andern Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden muss auch beim kathodischen Korrosionsschutz das Schutzsystem regelmässig überwacht werden.

Kathodischer Korrosionsschutz mit Fremdstrom:
Die Wirkung des kathodischen Korrosionsschutzes mit Fremdstrom basiert auf einer fremdstrominduzierten Polarisierung der Bewehrung mit inerten Anoden. Die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit des Schutzes ist überwiegend von der Leitfähigkeit des Betons und von der Lebensdauer der Anoden abhängig.

Kathodischer Korrosionsschutz mit Opferanode:
Beim kathodischen Korrosionsschutz mit einer Opferanode wird der Elektronenüberschuss durch das Einlegen eines unedlen Metalles (Opferanode) erzeugt. Die Opferanode, welche z.B. aus Zink bestehen kann, korrodiert anstelle des Bewehrungsstahls. Weil die Anode in diesem Fall «verbraucht» wird, ist der Schutz zeitlich beschränkt. Diese Methode kommt deshalb kaum zur Anwendung.

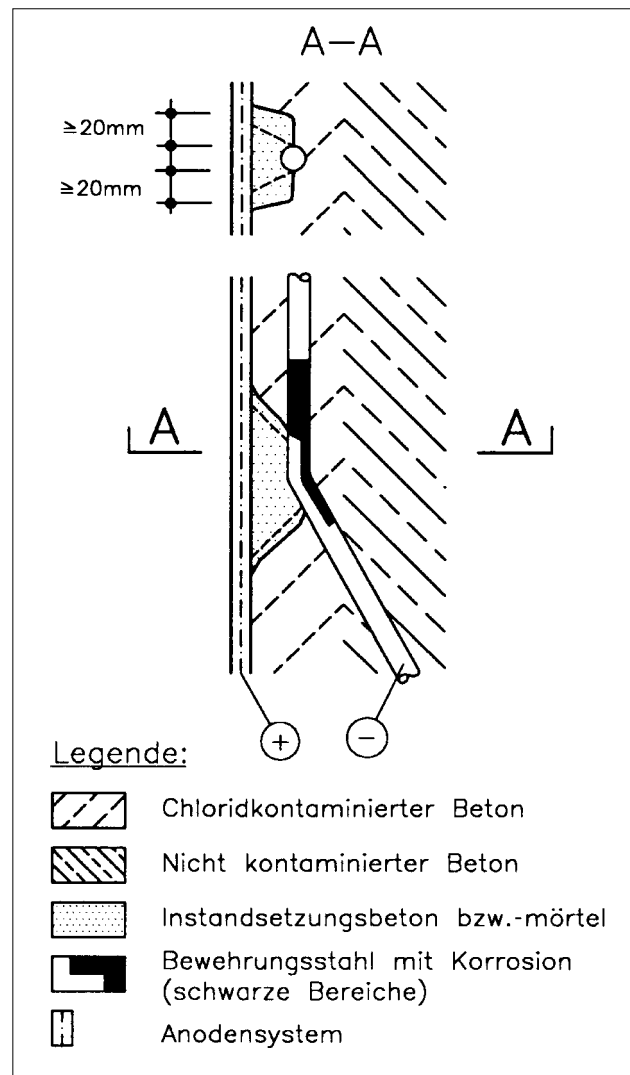


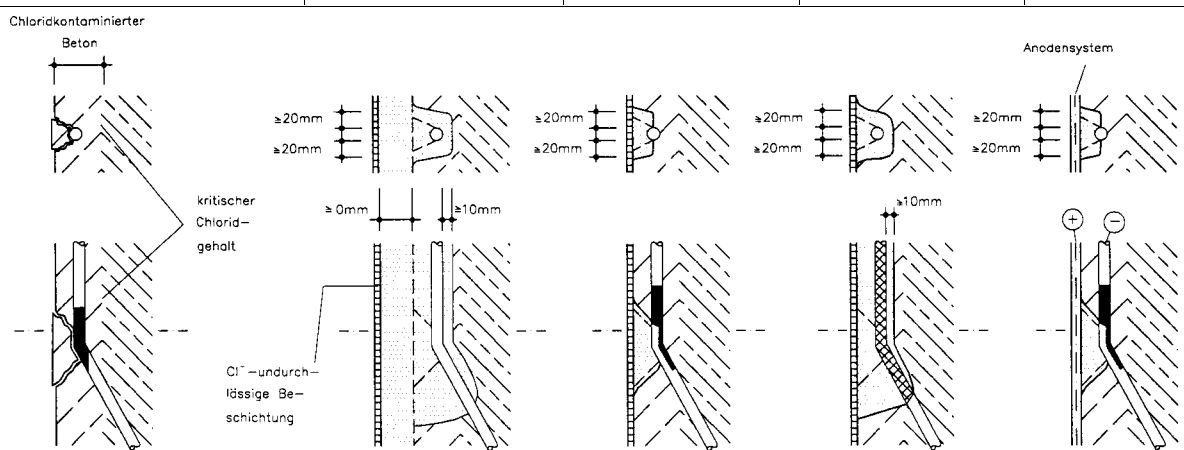
Bild 2.16
Systemskizze Instandsetzungsprinzip CP [24] (Ausgangslage analog Bild 2.4)

2.4.5 Übersicht über die Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden

Die in Bild 2.17 zusammengefassten Instandsetzungsprinzipien sind in den Kapiteln 2.4.1 bis 2.4.4 eingehend erläutert.

Bild 2.17
Instandsetzungsprinzipien bei Korrosion infolge Chloriden [24] (die zutreffenden Massnahmen sind mit ● gekennzeichnet; die elektrochemischen Verfahren sowie die Inhibitoren sind nicht aufgeführt, vgl. Kapitel 3.2 bis 3.5)

Art der Schädigung	R	W	C	CP
	Repassivierung	Reduktion des Wassergehaltes	Beschichtung der Bewehrung	Kathodischer Schutz
	Instandsetzung mit alk. Beton/Mörtel	Oberflächenbeschichtung		



Betonersatz	Nur gerissene und abgeplatzte Bereiche		●		●
	Alle depassivierten Bereiche	●		●	
Behandlung der Stahloberfläche	Sa 2 1/2 + Beschichtung	Beschichtung nicht empfohlen	nicht nötig	●	Beschichtung nicht erlaubt
	Entrostung genügt	● eingeschlossen Rost in Löchern	● eingeschlossen Rost in Löchern		●
Instandsetzungsmörtel/beton	Alkalität, mit Puffer	●			leitend ●
	keine Alkalität gefordert		●	●	
Nachträglicher Oberflächenschutz der Betonoberfläche	Nicht gefordert				●
	Gefordert (Cl-undurchlässig)	●	●	●	

3 Instandsetzungsverfahren

3.1	Abtrag und Reprofilierung	43
3.1.1	Einleitung	43
3.1.2	Abtrag	44
3.1.3	Reprofilierung	45

3.2	Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)	51
3.2.1	Einleitung	51
3.2.2	Mechanismus	51
3.2.3	Planung, Ausführung und Überwachung	52

3.3	Elektrochemische Entsalzung (ECE)	53
3.3.1	Einleitung	53
3.3.2	Mechanismus	53
3.3.3	Planung, Durchführung und Überwachung	54

3.4	Elektrochemische Realkalisierung (ER)	55
3.4.1	Einleitung	55
3.4.2	Mechanismus	55
3.4.3	Planung, Durchführung und Überwachung	56

3.5	Inhibitoren	57
3.5.1	Einleitung	57
3.5.2	Mechanismus	57
3.5.3	Planung, Durchführung und Überwachung	58

3 Instandsetzungsverfahren

3.1 Abtrag und Reprofilierung

3.1.1 Einleitung

Das Instandsetzungsverfahren Abtrag und Reprofilierung kann bei allen Instandsetzungsprinzipien zum Einsatz kommen. Das Verfahren wird für die Entfernung von chloridverseuchtem und karbonatisiertem Beton angewandt. Der Abtrag (Bild 3.1) drängt sich aber auch dann auf, wenn der Beton in den äussersten Bereichen eine ungenügende Festigkeit aufweist, um ein Instandsetzungssystem zu applizieren (z.B. für das Aufbringen einer Beschichtung). Abtragsverfahren kommen auch zur Freilegung der Bewehrung sowie zur Vorbereitung des Untergrundes für eine Instandsetzungsmassnahme zur Anwendung.

Der Abtrag hat zum Ziel, den Beton soweit zu entfernen, den Untergrund vorzubereiten und/oder die Bewehrung freizulegen und damit die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Applikation eines Instandsetzungssystems zu schaffen.

Nach dem Abtrag wird die freigelegte Bewehrung je nach Zustand behandelt oder ersetzt. Zur Entrostung korrodierter Bewehrungsstahloberflächen dürfen nur mechanische – keine chemischen oder thermischen – Verfahren eingesetzt werden. Nicht zu beschichtende Stahloberflächen sind von losem Rost zu befreien. Der Reinheitsgrad der Stahloberfläche soll etwa demjenigen bei Neubau-

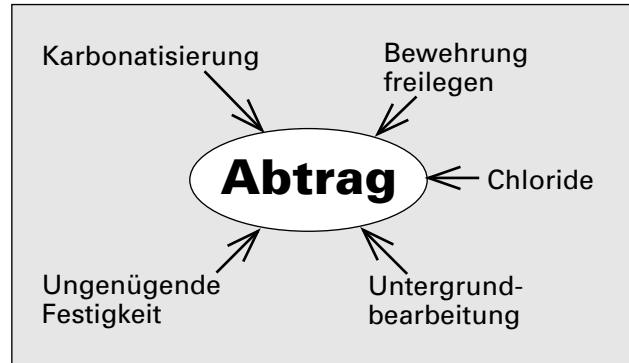


Bild 3.1
Auslösende Randbedingungen und Problemstellungen, die den Einsatz eines Abtragsverfahrens bedingen können

Bild 3.2
Oberflächenvorbereitung durch Strahlen gemäss ISO 8505-1 [39]

	Begriff	Definition
Sa 2	gründliches Strahlen	Die Oberfläche muss – bei Betrachtung ohne Vergrösserung – frei sein von sichtbarem Öl, Fett und Schmutz und nahezu frei von Zunder, Rost, Beschichtungen und artfremden Verunreinigungen. Alle verbleibenden Rückstände müssen fest haften. Siehe Vergleichsmuster: B Sa 2, C Sa 2 und D Sa 2 in ISO 8501-1
Sa 2 ^{1/2}	sehr gründliches Strahlen	Die Oberfläche muss – bei Betrachtung ohne Vergrösserung – frei sein von sichtbarem Öl, Fett und Schmutz und soweit frei von Zunder, Rost, Beschichtungen und artfremden Verunreinigungen, dass verbleibende Spuren allenfalls noch als leichte, fleckige oder streifige Schattierungen zu erkennen sind. Siehe Vergleichsmuster: A Sa 2 ^{1/2} , B Sa 2 ^{1/2} , C Sa 2 ^{1/2} und D Sa 2 ^{1/2} in ISO 8501-1
Sa 3	Strahlen bis auf dem Stahl visuell keine Verunreinigungen mehr zu erkennen sind	Die Oberfläche muss – bei Betrachtung ohne Vergrösserung – frei sein von sichtbarem Öl, Fett und Schmutz und frei von Zunder, Rost, Beschichtungen und artfremden Verunreinigungen. Sie muss ein einheitliches metallisches Aussehen besitzen. Siehe Vergleichsmuster: A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 und D Sa 3 in ISO 8501-1

ten entsprechen. Zu beschichtende Stahloberflächen müssen nach der Behandlung mindestens den Normreinheitsgrad Sa 2^{1/2} aufweisen. Der je nach Instandsetzungsprinzip erforderliche Reinheitsgrad der Bewehrung kann den Übersichtstabellen (Bilder 2.11 bzw. 2.17) entnommen werden.

Schliesslich werden die abgetragenen Stellen wieder reprofiliert. Es kann dabei die frühere Form und Oberfläche wiederhergestellt oder eine zusätzliche, vollflächige Mörtel- oder Betonschicht aufgebracht werden.

Damit die Instandsetzung erfolgreich durchgeführt werden kann, sind die Abtrags- und Reprofilierungsarbeiten vorgängig durch den Projektverfasser eindeutig zu spezifizieren (Anforderungen und Prüfungen festlegen).

3.1.2 Abtrag

Die Abtragstiefe hängt vom Chloridgehalt, der Bewehrungskorrosion, der Tiefe der Karbonatisierung, der Betonqualität und der Bewehrungsüberdeckung ab. Die Abtragstiefe sowie die Anforderungen bezüglich dem Freilegen der Bewehrung gehen aus den angewendeten Grundprinzipien hervor. Diese sind für die verschiedenen Instandsetzungsprinzipien in Kapitel 2 erläutert (Übersichtstabellen in Bild 2.11 bzw. 2.17). Die Standsicherheit der Bauwerke bzw. Bauteile muss jederzeit gewährleistet sein.

Nach der Festlegung der Abtragstiefe muss das geeignete Abtragsverfahren ermittelt werden. Die Wahl wird zum einen durch die oben erwähnte Abtragstiefe bestimmt, zum anderen spielen auch andere Randbedingungen (Bild 3.3) wie zulässige Emissionen (Lärm, Erschütterungen, Staub, Schlamm), Zugänglichkeit und Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle (vgl. dazu auch Bild 6.12 in Kapitel 6).

Das Abtragsverfahren kann auch durch die Anforderungen an die Rauigkeit des Untergrundes sowie die geforderte Abtragsgenauigkeit bestimmt werden. Muss die Bewehrung freigelegt werden, entfallen einige Abtragsverfahren, weil sie zu wenig schonend arbeiten.

Die Definition der Untergrundrauigkeit ist schwierig, da heute noch keine allgemein anerkannten und anwendbaren Verfahren existieren,



Bild 3.3
Einflussgrößen auf die Wahl des Abtragverfahrens

um die Untergrundrauigkeit an geneigten Flächen zu quantifizieren. Für horizontale Flächen kann das Sandflächenverfahren eingesetzt werden. Ein Vorschlag für die Bestimmung der Rauigkeit an geneigten Flächen enthält der Untersuchungsbericht des ASB [3]. Die Rauigkeit hat eine gute Verankerung des aufzubringenden Systems mit dem Untergrund zu gewährleisten. Die Oberflächentextur muss eine erfolgreiche Applikation des gewählten Systemes (Betonersatz, Beschichtung, etc.) ohne erhöhten Materialverbrauch ermöglichen. Eine Dünnbeschichtung benötigt somit eine geringere Rauigkeit als z.B. ein Spritzmörtel.

Wichtig ist, dass der Untergrund frei ist von losen und mürben Teilen (z.B. Zementhaut), von parallel zum Untergrund oder schalenförmig im untergrundnahen Bereich verlaufenden Rissen oder Ablösungen und von artfremden Stoffen (Altbeschichtungen, etc.). Dies sind unabdingbare Voraussetzungen für den Erfolg eines Instandsetzungsverfahrens.

Bei der Anwendung des Instandsetzungsprinzipes C – Beschichtung der Bewehrung – ist der Bewehrungsstahl soweit freizulegen (vgl. Kapitel 2), bis keine Korrosion mehr erkennbar ist. Der Beton ist rund um den Bewehrungsstab 1–2 cm zu entfernen, auch wenn nur Teilbereiche geschädigt sind.

3.1.3 Reprofilierung

Für die Reprofilierung stehen verschiedene Instandsetzungsbetone und -mörtel zur Verfügung. Diese werden zur Verfüllung örtlicher Schäden, zur Erhöhung der Betonüberdeckung oder aber zur Verstärkung des Bauteilquerschnittes eingesetzt [21]. Je nach Anwendung muss der verwendete Instandsetzungsbeton bzw. -mörtel die Anforderungen einer der Beanspruchungsklassen M1 bis M4 erfüllen (Bilder 3.5 und 3.6). Die Definition der Beanspruchungsklassen wird von der RiLi DAfStB [6] übernommen. Da es sich eigentlich um Widerstandsklassen handelt, stiftet der Begriff Beanspruchungsklassen allerdings eher Verwirrung. Die Applikation erfolgt von Hand mit der Maurerkelle, im Spritzverfahren oder konventionell mit einer Schalung.

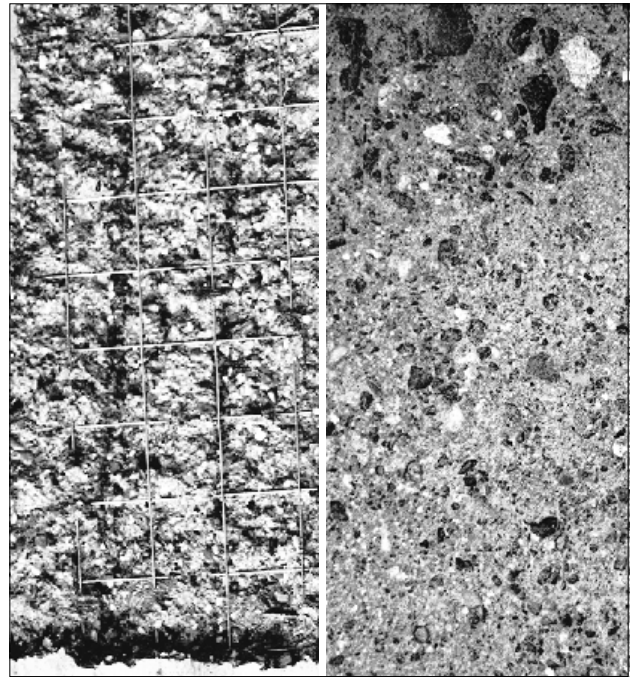


Bild 3.4
 Betonoberflächen nach Abtrag mittels Höchstdruckwasserstrahlverfahren (links) bzw. Wassersandstrahlen (rechts)

Klasse	Nachweis erforderlich für		Hauptanwendungsbereich
	Karbonatisierungs-widerstand	tragende Funktion	
M1	–	–	Örtlich begrenzte Schäden
M2	x	–	Prinzip Repassivierung; dynamische Beanspruchung bei und nach Applikation
M3	x	x	Konstruktiver und statisch wirksamer Bereich; Dynamische Beanspruchung bei und nach Applikation
M4	x	–	Industriefussböden, erhöhter Verschleisswiderstand; Dynamische Beanspruchung bei und nach Applikation
x Nachweis erforderlich – Nachweis nicht erforderlich			

Bild 3.5

Definition der Beanspruchungsklassen (Übersicht aus [6])

Beanspruchungsklasse M1:

Die Betone und Mörtel müssen zum Auffüllen von Fehlstellen im Betonuntergrund geeignet sein und eine ausreichende Festigkeit als Untergrund für die vorgesehenen Oberflächenschutzsysteme OS aufweisen. In den Ausführungsanweisungen ist anzugeben, für welche OS und Applikationsarten der Beton bzw. Mörtel geeignet ist.

Beanspruchungsklasse M2:

Zusätzlich zu M1 müssen Mindestwerte des Karbonatisierungswiderstandes und der Pufferkapazität gegen eindringende Chloride eingehalten werden. Eine einwandfreie Applikation und Aushärtung bei dynamischer Beanspruchung muss gewährleistet sein.

Beanspruchungsklasse M3:

Zusätzlich zu M2 werden Anforderungen gestellt an Festigkeits- und Verformungseigenschaften, Verbund mit vorbehandeltem Bewehrungsstahl, Haftung am Betonuntergrund, Einfluss von Feuchte und Temperatur sowie Brandverhalten.

Beanspruchungsklasse M4:

Zusätzlich zu M2 müssen bestimmte Festigkeiten und Verschleisswiderstände erreicht werden.

Kriterien	M1	M2	M3	M4
Minimale Anforderungen, geeignet für lokale Reparaturen	X	X	X	X
Karbonatisierungswiderstand		X	X	X
Pufferkapazität gegenüber Chloriden		X	X	X
Dynamische Beanspruchung		X	X	X
Erhöhte Anforderungen bezüglich konstruktivem und statischem Bereich			X	
Erhöhte Anforderungen bezüglich des mechanischen Verschleisswiderstandes				X

Bild 3.6

Zuordnung der Kriterien zu den Beanspruchungsklassen [6]

Instandsetzungsbetone und -mörtel:

Die Instandsetzungsbetone und -mörtel werden in zementgebundene Betone und Mörtel sowie Reaktionsharzbeton und -mörtel unterteilt. In den folgenden Abschnitten werden diese einzeln beschrieben. Die in den Klammern aufgeführten Abkürzungen (gemäss [4]) werden häufig verwendet.

a) Zementgebundene Betone und Mörtel:

Für die Reprofilierung kommen grundsätzlich zementgebundene Betone und Mörtel in Form von Beton, Zementmörtel und kunststoffmodifiziertem Zementbeton und -mörtel zur Anwendung. Als Bindemittel wird Portlandzement verwendet. Der Zement bewirkt die Alkalität im Beton, welche für den Korrosionsschutz der Bewehrung verantwortlich ist.

Zementgebundene Betone und Mörtel finden bei Instandsetzungsarbeiten breite Anwendung. Die guten Möglichkeiten bezüglich der Formgebung sowie die Wirtschaftlichkeit bei der Anwendung auf grossen Flächen sind die Gründe für die grosse Verbreitung, die der Spitzbeton bei Instandsetzungen gefunden hat. Dort wo aus ästhetischen Gründen eine Schalungsstruktur gefordert wird, bietet sich die Anwendung eines geschalteten Vorsatzbetons an. Für lokale Reprofilierungen kommen Zementmörtel, oft mit Kunststoffzusätzen zur Anwendung. Mit ausschlaggebend für die Wahl des Mörtels ist die Wirtschaftlichkeit; für grossflächige Anwendungen stehen deshalb eher die reinen zementgebundenen Produkte im Vordergrund, während bei kleinflächigen Anwendungen (Verhältnis Materialpreis/Arbeitskosten wird kleiner) eher die teureren kunststoffvergüteten Produkte zum Einsatz kommen, die bezüglich Nachbehandlung Vorteile bieten.

Spritzbeton [40]

Die traditionelle Anwendung des Spritzbetons liegt im Untertagebau. Aufgrund seiner Vorteile (einfache Formgebung, Anwendung in dünnen Schichten, flexible Verarbeitung auf der Baustelle, etc.) ist der Spritzbeton heute bei Instandsetzungen nicht mehr wegzudenken. Spritzbeton ist seit der Teilrevision 1993 in der SIA 162 [32] erfasst. Die dort festgelegten Anforderungen müssen erfüllt werden. Er untersteht der gleichen Klassifikation wie normaler Beton, das Einbringen im Spritzverfahren wird als besondere Eigenschaft bezeichnet. Eine weitergehende Definition des Spritzbetons ist in der SIA 198 [36] enthalten. Es

Beton- und Mörtelart	max. [mm]	Schichtstärke [mm]	
		min.	max.
Beton (gemäss SIA 162) ¹⁾	> 4	30	–
Zementmörtel	≤ 4	20	40
kunststoff- modifizierter Beton Mörtel	> 4	30	–
	≤ 4	10	40
reaktions- harzgebund. Beton Mörtel	> 4	15	40
	≤ 4	5	15

¹⁾ In Abweichung von der SIA 162 wird für die Instandsetzung die Grenze zwischen Beton und Mörtel bei einem Korndurchmesser von 4 mm festgesetzt.

Bild 3.7

Richtwerte für Schichtstärken bei grossflächigem Auftrag [6]

- Klasse A: Spritzbeton ohne tragende Funktion
(z.B. Gebirgsversiegelung, Auffüllen von Klüften, Untergrund für Dichtungsbahnen)

Klasse B: Spritzbeton mit vorübergehend tragenden Aufgaben

Klasse C: Spritzbeton mit dauernd tragenden Aufgaben

Klasse D: Spritzbeton mit besonderen Eigenschaften
(z.B. Wasserdichtigkeit, chemische Beständigkeit)

Bild 3.8

Spritzbetonklassen gemäss SIA 198 (1993) [36]

werden dort vier Klassen unterschieden (Bild 3.8 und Anhang B). Die Verwendung von Spritzbeton der Klassen C und D setzt systematische, schlüssige Vorversuche voraus.

Spritzbeton wird im Trocken- oder Nassspritzverfahren appliziert. Bei Instandsetzungsaufgaben wird vorwiegend das Trockenspritzverfahren angewendet. Die Wasserzugabe erfolgt zur mittels Druckluft geförderten trockenen Betonmischung erst bei der Düse. Unter hohem Druck wird das Gemisch auf den Untergrund geschleudert und gleichzeitig verdichtet. In einem Arbeitsgang lässt sich eine Schichtstärke von 2 bis 3 cm aufbringen. Beim Trockenspritzverfahren wird die Zementdosierung auf 1000 Liter Zuschlagstoffe bezogen. In der Regel wird eine Dosierung von 350 kg Zement eingesetzt. Durch Rückprallverluste und Verdichtung reduziert sich das Volumen des aufgetragenen Spritzbetons auf rund 50% des losen Ausgangsgemisches. Weil im Rückprall relativ mehr Körner aus den Zuschlagstoffen enthalten sind, beträgt der Zementgehalt des verdichteten Spritzbetons ca. 450 kg/m³. Die Eigenschaften (Porosität, Druckfestigkeit, W/Z, E-Modul, Temperaturdehnung) weichen deshalb vom normalen Beton etwas ab. Die Eigenschaften des Spritzbetons werden durch den Düsenführer und die Nachbehandlung sehr stark beeinflusst. Voraussetzung für eine gute Haftung auf dem Untergrund ist eine sorgfältige Vorbereitung des Untergrundes. Darüber, ob eine grosse, z.B. mit Wasserhöchstdruck erzielte, Rauigkeit, eine hohe Feinrauigkeit auf den Zuschlagkörnern, erzielt mit einem Sandstrahlverfahren, oder eine Kombination, Sandstrahlen nach Höchstdruckstrahlen, die besten Voraussetzungen bietet, gehen selbst die Meinungen von Spezialisten auseinander. Die Oberfläche des Spritzbetons kann spritzrauh belassen, abgezogen oder nachgeglättet werden. Es kann auch in einem weiteren Arbeitsgang ein Dünnputz aufgebracht werden. Das Erzielen einer Schalungsstruktur ist sehr aufwendig. Mit der Ausführung von Spritzbetonarbeiten sollten nur Firmen mit entsprechender Erfahrung und ausgebildetem Personal beauftragt werden. Die Überprüfung des Spritzbetons erfolgt durch Abklopfen (Hohlstellen), Haftzugversuche sowie Untersuchungen an Bohrkernen (Druckfestigkeit, Porosität, Gefüge, etc.).

Vorbetonieren

Beim Vorbetonieren wird der Beton (oder Mörtel) in einer Schalung verarbeitet [8]. Einerseits bietet dieses Verfahren die Möglichkeit, eine Schalungs-



Bild 3.9

Applikation von Spritzbeton bei einer Instandsetzung im Trockenspritzverfahren. Es sind breite Gerüste erforderlich!

struktur zu erzielen sowie dem ursprünglichen Beton am nächsten kommende Eigenschaften (E-Modul, Temperaturdehnung) zu erreichen. Der eingesetzte Beton muss den Anforderungen der SIA 162 [32] entsprechen. Beim Vorbetonieren wird mit Schichtstärken von mindestens 5 cm gearbeitet. Im Minimum ist eine konstruktive Schwindbewehrung der Vorsatzschale erforderlich. Wichtig ist, dass die Bewehrung eine der Norm SIA 162 entsprechende Überdeckung aufweist. Bei dünnen Schichten kann auch ein verzinktes Bewehrungsnetz eingesetzt werden. Die statischen Probleme aus dem Zusatzgewicht des Vorbetons sind abzuklären.

Zementmörtel

Zementmörtel muss mit Ausnahme des kleineren Korndurchmessers ($\leq 4 \text{ mm}$), des Zementgehaltes ($\geq 400 \text{ kg/m}^3$), des erhöhten Wasserzementwertes (< 0.5) sowie einigen weiteren Anforderungen bezüglich der Verarbeitung die gleichen Anforderungen wie Beton erfüllen.

Kunststoffmodifizierter Zementbeton/-mörtel

(PCC: Polymer-Cement-Concrete):

Kunststoffmodifizierter Zementbeton und -mörtel wird durch Beigabe von Zusätzen in Form von Kunststoffdispersionen, wasserdispergierbarem Kunststoffpulver oder wasseremulgierbaren Reaktionsharzen hergestellt. Mit dem Kunststoffzusatz werden die Eigenschaften des Betons/Mörtels insbesondere bezüglich Verarbeitbarkeit, Dichtigkeit und Zugfestigkeit verbessert. ECC-Mörtel (Epoxi-Cement-Concrete), eine neuere Entwicklung, finden zunehmende Anwendung.

Bei grossflächigem Einsatz wird kunststoffmodifizierter Zementbeton und -mörtel (SPCC: Spritz-PCC) sowohl im Nassspritz- als auch im Trockenspritzverfahren appliziert. Die Schichtstärke beträgt pro Arbeitsgang in der Regel maximal 3 cm.

b) Reaktionsharzbeton und -mörtel

(PC: Polymer-Concrete):

Beim Reaktionsharzbeton und -mörtel wird als Bindemittel anstelle von Zement Reaktionsharz eingesetzt. Er unterscheidet sich deshalb grundlegend von den oben erwähnten Systemen, bei welchen durch den Einsatz von Portlandzement ein alkalisches Milieu geschaffen wird. Deshalb muss die Bewehrung beim Einsatz von Reaktionsharzbeton bzw. -mörtel mit anderen Mitteln (z.B. Reduktion des Wassergehaltes, Beschichtung der



Bild 3.10
Auftragen einer Spachtelung als Poren-/Lunkerverschluss von Hand



Bild 3.11
Lokale Reprofilierung mit Reprofiliermörtel

Bewehrung) vor Korrosion geschützt werden. Reaktionsharzbeton bzw. -mörtel wird dann eingesetzt, wenn hydraulisch erhärtende Betonersatzsysteme z.B. aus Zeitgründen oder bei zu geringer Schichtstärke ausgeschlossen werden müssen. Sie kommen nur bei Flächen $< 1 \text{ m}^2$ zum Einsatz. Die Mindestschichtstärke beträgt 5 mm.

Reaktionsharzbeton und -mörtel weisen gegenüber kunststoffmodifiziertem Zementbeton und -mörtel verschiedene Nachteile auf: höhere Anforderungen an die Verarbeitung, ungünstiges Verformungsverhalten; infolge der grösseren Wärmedehnung entstehen im Mörtel und in der Verbundzone hohe Beanspruchungen, Haftungsprobleme im frischen Zustand insbesondere auf feuchtem Untergrund, geringer Brandwiderstand sowie hoher Preis. Andererseits ist die Verwendung von Reaktionsharzmörtel für kleine Reparaturen einfacher als die Verwendung zementgebundener Mörtel (hohe Frühfestigkeit, einfachere Nachbehandlung, kleine Anmachmengen, etc.).

3.2 Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)

3.2.1 Einleitung

Der kathodische Korrosionsschutz ist ein bekanntes Verfahren zum Schutz erdverlegter Leitungen vor Korrosion (Bild 3.12). Auch in Wasser eingetauchte Strukturen wie Schiffe und Hafenanlagen werden so geschützt.

Grundsätzlich muss zwischen zwei Verfahren, dem Verfahren mit Einsatz von Opferanoden und dem Verfahren mit Fremdstromanoden mit Einspeisung eines Schutzstromes aus einer Gleichstromquelle unterschieden werden. Der KKS entspricht dem Instandsetzungsprinzip CP (vgl. Kap. 2.4.4).

Der aktive kathodische Korrosionsschutz mit einer Inertanode und Fremdstromquelle wird seit Mitte der siebziger Jahre in den USA und in Kanada zur Instandsetzung und Erhaltung von Stahlbetonkonstruktionen eingesetzt (Manning in [29]). In der Schweiz laufen entsprechende Untersuchungen seit Mitte der 80er Jahre (Hunkeler in [29]; [22]). Das erste Objekt wurde 1986 geschützt. Seither wurde das Verfahren zur Lösung verschiedener Instandsetzungsprobleme eingesetzt (Hunkeler in [30]). Heute ist der aktive kathodische Korrosionsschutz ein anerkanntes Verfahren [28].

3.2.2 Mechanismus

Der kathodische Korrosionsschutz (KKS) macht sich die Umkehrbarkeit elektrochemischer Reaktionen durch eine Änderung der elektrischen Spannungsverhältnisse zu Nutze. Bei der Durchbrechung der Passivschicht auf der Stahloberfläche, z.B. durch Einwirkung von Chloriden, verschiebt sich im betroffenen Bereich das elektrochemische Potential in negativer Richtung. Zwischen den noch passiven und den korrodierenden Bereichen mit unterschiedlichem Potential herrscht nun eine Spannungsdifferenz; diese lässt wie bei einer Batterie einen kleinen Strom fließen. Einzige Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Leitfähigkeit des Betons, was meistens der Fall ist. Bei dem nun ablaufenden elektrochemischen Prozess beginnt sich im anodischen Bereich das Eisen unter Sauerstoffverbrauch aufzulösen, es entsteht ein Korrosionsherd (Makroelement) (Bild 3.14).

Beim KKS mit Fremdstrom wird auf der Betonoberfläche eine netzartige, speziell behandelte



Bild 3.12
Der KKS wurde bis heute vor allem zum Schutz von erdverlegten Leitungen eingesetzt.

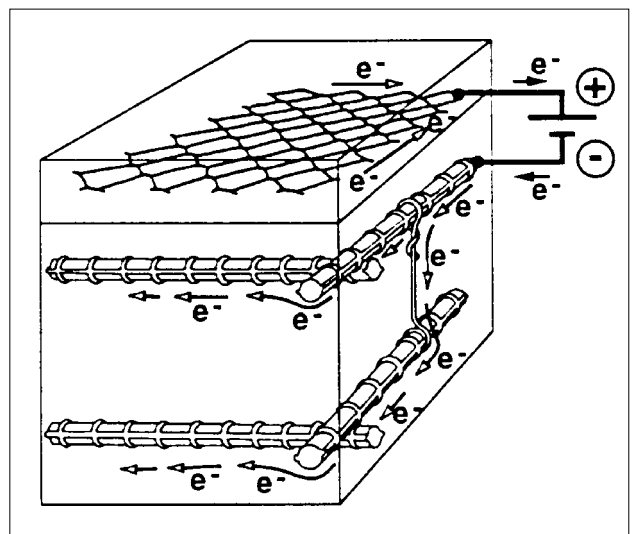


Bild 3.13
Prinzip des KKS beim Stahlbeton

Anode aus hochbeständigem Titan aufgebracht und in eine gut leitende Mörtel- oder Betonschicht (begrenzter Kunststoffanteil) eingebettet (Bild 3.16). Mit einer Gleichspannungsquelle wird anschliessend zwischen Anodennetz und Bewehrung eine Spannung angelegt (Bild 3.13), so dass die Bewehrung negativ, d.h. kathodisch geschaltet ist (Bild 3.13). Damit kann an der Bewehrung keine Eisenauflösung mehr stattfinden, auch wenn sie im karbonatisierten oder chloridverseuchten Beton liegt. Der Abtrag dieser Betonschichten kann dadurch entfallen. In Bereichen, die vor der Inbetriebnahme des KKS depassiviert waren, wird sich mit der Zeit eine neue Passivschicht bilden. Damit eine gleichmässige Wirkung erzielt wird, muss die Bewehrung genügend elektrisch leitfähige Verbindungen aufweisen, also elektrisch vermascht sein. Diese Voraussetzung ist bei der üblichen Verlegungsart der Bewehrung in der Regel erfüllt.

3.2.3 Planung, Ausführung und Überwachung

Wie bei allen Instandsetzungsproblemen ist auch als Grundlage für den KKS eine eingehende Zustandsuntersuchung erforderlich. Insbesondere sind der Korrosionszustand der Bewehrung, der Zustand des Überdeckungsbetons sowie die elektrische Vernetzung der Bewehrung zu überprüfen. Planung, Projektierung, Ausführung und Überwachung eines KKS sind in einer Richtlinie der schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz geregelt [28]. In dieser Richtlinie sind die Erfahrungen aus den in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen und ausgeführten Objekten berücksichtigt. Die Anwendbarkeit des KKS ist bei Spannbetonbauwerken wegen der Gefahr der Wasserstoffversprödung von Spannstählen mit Einschränkungen verbunden.

Die fest installierten Teile einer KKS-Anlage sind in der Regel auf eine Lebensdauer von 50 Jahren ausgelegt. Eine KKS-Anlage ist während der Lebensdauer eines Bauwerks dauernd in Betrieb. Auch der elektrische Anlagenteil muss deshalb regelmässig überwacht werden. Da ein zeitweiliger Ausfall des Stromflusses nach einer anfänglichen Polarisierungsphase keine nachteiligen Folgen hat, entspricht der Überwachungsrhythmus nach einer anfänglich intensiveren Einregelungsphase demjenigen der üblichen Überwachung eines spezielleren Bauwerks.

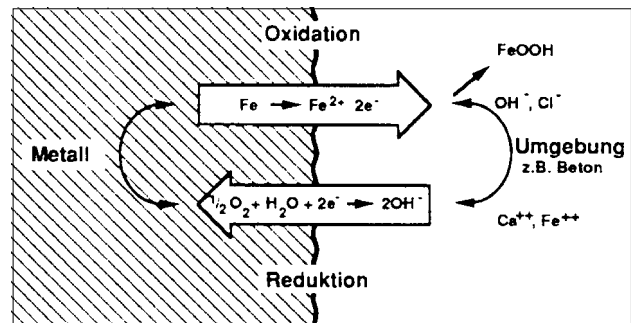


Bild 3.14
Elektrochemisches Element mit Teilreaktionen an Anode und Kathode nach Böhni [29]

Spannung
1–3 V

Stromfluss
5–15 mA/m²

Bild 3.15
Eingesetzte Spannungen und Stromstärken beim KKS [22]

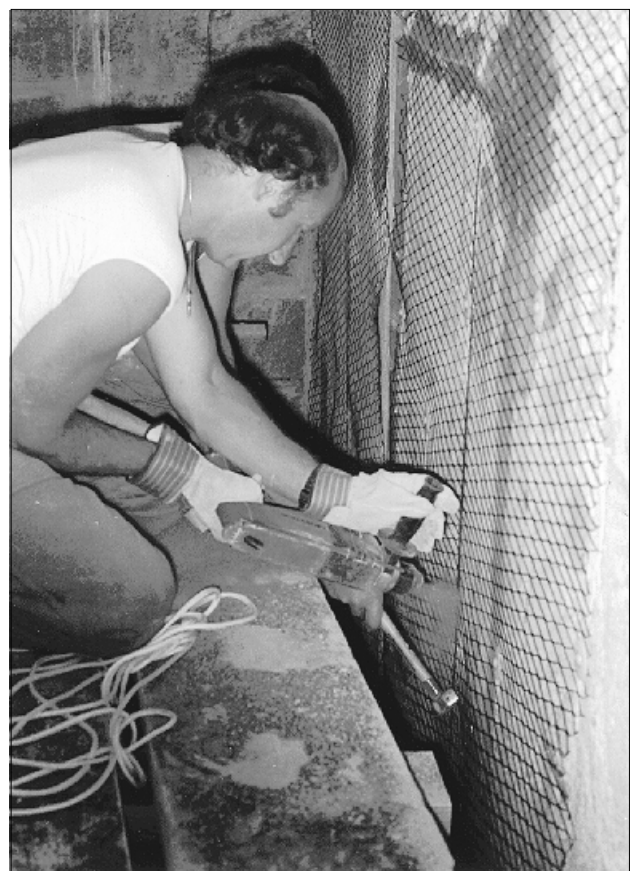


Bild 3.16
Montage des Anodennetzes auf der Betonoberfläche

3.3 Elektrochemische Entsalzung (ECE)

3.3.1 Einleitung

Die elektrochemische Entsalzung, auch bekannt unter den Bezeichnungen NCT (Abkürzung nach der norwegischen Entwicklungsfirma **N**orwegian **C**oncrete **T**echnologies AS) oder elektrochemische Chloridentfernung, ist eine Mitte der 80er Jahre in Norwegen entdeckte und seither u.a. in Kanada weiterentwickelte Methode. Das Verfahren ist patentiert und wird in der Schweiz von verschiedenen regionalen Lizenznehmern angeboten. Die Methode wird auch im Rahmen des amerikanischen SHRP- (US State Highway Research Program) Programms geprüft.

In der Schweiz wurde das Verfahren erstmals im Kanton Solothurn im Rahmen eines Pilotversuches unter Begleitung des Institutes für Werkstoffchemie und Korrosion der ETH Zürich, IBWK eingesetzt [29, 7]. Das Verfahren besitzt den Vorteil, dass Chloride aus dem Beton ohne Abtrag der «gesunden» Bausubstanz entfernt werden können. Durch das Verfahren werden die durch Chlorideinwirkung depassivierten Bereiche auf der Stahloberfläche repassiviert. Die elektrochemische Entsalzung ist ein temporär angewandtes Verfahren.

Die Methode wird aufgrund der erwähnten Untersuchungen als Alternative zum konventionellen Abtrag von «gesundem», chloridverseuchtem Beton beurteilt [7], wobei die verfügbare Interventionszeit – z.B. bei Verkehrsbauten – eine entscheidende Rolle spielen kann. Die Frage der dauernden Repassivierung stark korrodierten Bereiche konnte allerdings noch nicht beantwortet werden.

3.3.2 Mechanismus

Die Methode basiert auf dem Prinzip, dass die elektrisch negativ geladenen Chlorid-Ionen (Cl^-) in einem elektrischen Feld zum positiven Pol, der Anode, hin wandern. Zur Behandlung wird zwischen der Betonoberfläche (Anode: temporär angebrachtes Titannetz, eingebettet in feuchtgehaltener Zellulosefasermasse) und der Bewehrung eine elektrische Gleichspannung angelegt und damit ein Stromfluss von der Bewehrung (Kathode) hin zur Betonoberfläche erzeugt. Die durch die elektrochemische Reaktion an der Kathode entstehenden Hydroxydionen führen zu



Bild 3.17
Widerlager während der Instandsetzung mit dem ECE-Verfahren

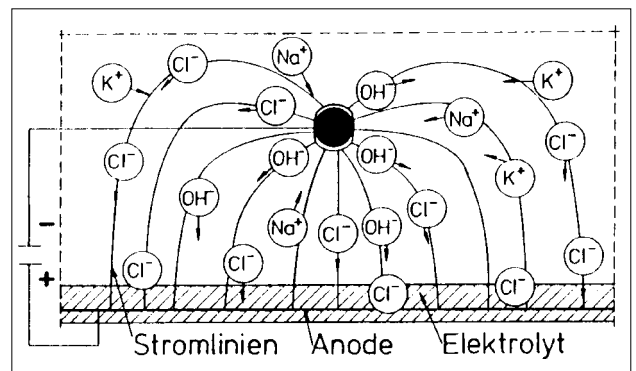


Bild 3.18
Prinzip der elektrochemischen Entsalzung von Stahlbeton nach [25]

einer Erhöhung des pH-Werts und erleichtern dadurch die Passivierung. Die üblichen Stromdichten bei der elektrochemischen Entsalzung liegen bei ca. 1 A/m^2 bei Spannungen im Bereich 30–45 V. Bei sehr hohen Stromdichten kann an der Kathode Wasserstoff entstehen, was bei Spannstählen zur Wasserstoffversprödung führen kann. Die Reaktionen an der Anode sind mit einer Säurebildung verbunden, die zu einer Auflösung der Zementhaut führt. Dies ist der einzige, bisher festgestellte Nachteil. Mit einer Behandlung (6–8 Wochen) können ca. 40 bis 50% der im Beton vorhandenen Chloride entfernt werden. Die Behandlung kann mehrmals wiederholt werden. Zwischen den einzelnen Behandlungen ist eine Wartezeit von einigen Wochen bis Monaten notwendig.

3.3.3 Planung, Durchführung und Überwachung

Voraussetzung für die Anwendung der elektrochemischen Entsalzung ist eine eingehende Zustandsuntersuchung der zu behandelnden Betonbauteile. Neben der Bestimmung des Chloridgehaltes an Bohrkernen sollten auch Potentialfeldmessungen vorgenommen sowie die elektrische Vernetzung der Bewehrung überprüft werden.

Die Anwendbarkeit des Verfahrens ist wegen der erwähnten Gefahr der Wasserstoffversprödung von Spannstählen bei Spannbetonbauwerken eingeschränkt. Eine Prüfung des Verfahrens ist vor allem in den Fällen angebracht, wo andere Instandsetzungsverfahren nicht anwendbar sind bzw. durch den vermeidbaren Betonabtrag die Risiken stark verringert werden können.

Bei der Planung und Vorbereitung der elektrochemischen Entsalzung ist der Zeitbedarf für eine Behandlung von ca. 6 bis 8 Wochen zu beachten. Es hat sich gezeigt, dass die erzielte Wirkung zusätzlich zu Chloridbestimmungen an Bohrkernen (Lage aufgrund Potentialmessung bestimmen) auch mittels der Potentialfeldmessung überprüft werden sollte. Die Potentialmessung darf erst etwa 4 bis 6 Wochen nach Abschluss der Entsalzung vorgenommen werden. Bei stark inhomogen kontaminierten Bauteilen ist die Überprüfung schwierig. Die Zielsetzungen der Behandlung sollten inklusive den anzuwendenden Überprüfungsverfahren vor Beginn der Arbeiten vertraglich zwischen Auftraggeber und Anbieter vereinbart werden. Nach Abschluss der Entsalzung muss die Betonoberfläche zur Verhinderung des erneuten Eindringens von Chloriden in der Regel mit einem Oberflächenschutz versehen werden.

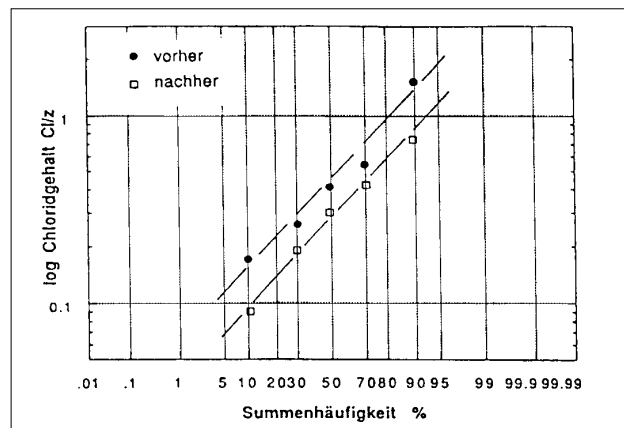


Bild 3.19
Summenhäufigkeit der Chloridkonzentrationen in der Tiefe 0–20 mm vor und nach der ersten Behandlung mit dem ECE-Verfahren einer Widerlagermauer, Elsener B., Böhni H. in [30]

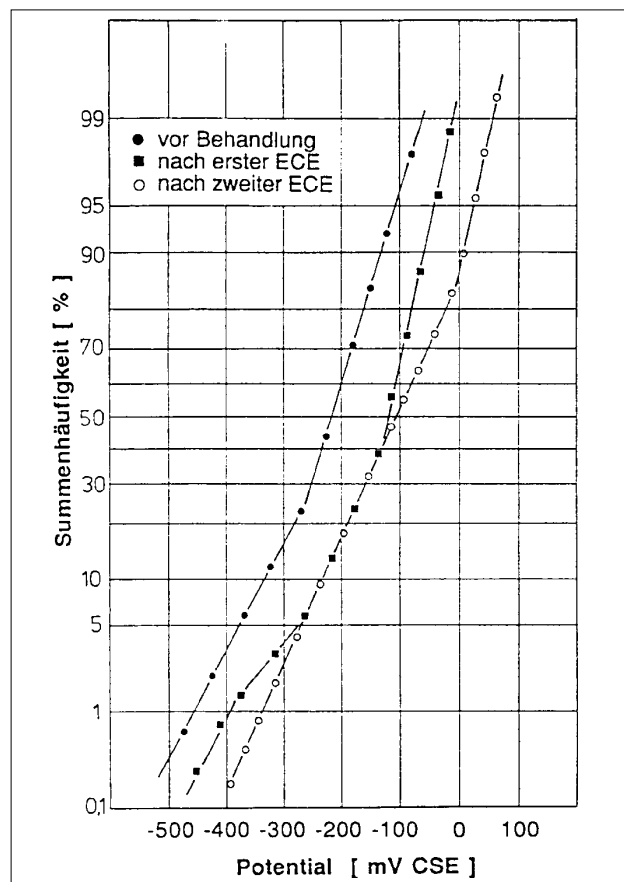


Bild 3.20
Summenhäufigkeit der Potentialwerte vor und nach der Anwendung des ECE-Verfahrens an einem Widerlager, Elsener B., Böhni H. in [30]

3.4 Elektrochemische Realkalisierung (ER)

3.4.1 Einleitung

Das Verfahren der elektrochemischen Realkalisierung auch bekannt unter der Bezeichnung NCT (nach der Entwicklungsfirma **N**orwegian **C**oncrete **T**echnologies AS) wurde aus dem Verfahren zur elektrochemischen Entsalzung von Stahlbeton Mitte der 80er Jahre in Norwegen entwickelt. Das patentierte Verfahren wird heute in der Schweiz von verschiedenen regionalen Lizenznehmern angeboten. Das Verfahren hat den Vorteil, dass in karbonatisierten Bereichen des Betons die Alkalität und damit der Korrosionsschutz der Bewehrung ohne Abtrag der «gesunden» Bausubstanz wiederhergestellt werden kann. Die Dauerhaftigkeit der Wirkung ist heute noch nicht sicher nachgewiesen.

Das Verfahren der elektrochemischen Realkalisierung ist in der Schweiz bei der Instandsetzung von Hochbauten bereits verschiedentlich eingesetzt worden.

Der Gesamtmechanismus der elektrochemischen Realkalisierung ist bis heute noch nicht vollständig erklärbar. Verschiedene Beispiele und Forschungsergebnisse belegen die Wirkung des Verfahrens [29]. Die Frage der Dauerhaftigkeit der Wirkung ist dabei jedoch nicht abschliessend beantwortet.

3.4.2 Mechanismus

Die Realkalisierung zielt darauf ab, durch Wiederherstellung eines alkalischen Milieus in der Umgebung des Bewehrungsstahls sowie der Passivierung der Stahloberfläche die Korrosion zu stoppen, die durch das Vordringen der Karbonatisierungsfront ausgelöst wurde. Hauptelement der elektrochemischen Realkalisierung ist – ähnlich wie bei der elektrochemischen Entsalzung und dem kathodischen Korrosionsschutz – eine zwischen der auf der Betonoberfläche montierten Anode und der Bewehrung angelegte Gleichspannung. Diese bewirkt ein elektrisches Feld sowie einen Stromfluss zwischen Anode und Bewehrung (übliche Stromstärke ca. 0.5 bis 1.0 A/m² bei einer Treibspannung von 5 bis 40 V). Die Anode, in der Regel ein Stahlnetz, ist eingebettet in eine Masse, die mit einer alkalischen Lösung (z.B. Soda Na₂CO₃) angereichert ist. Unter der angelegten

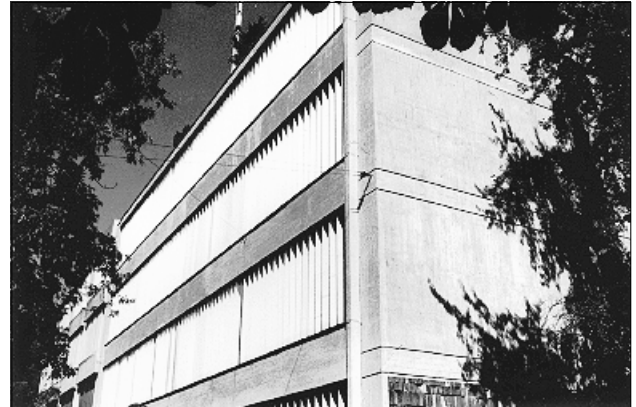


Bild 3.21
Mittels der elektrochemischen Realkalisierung instandgesetzte Fassade

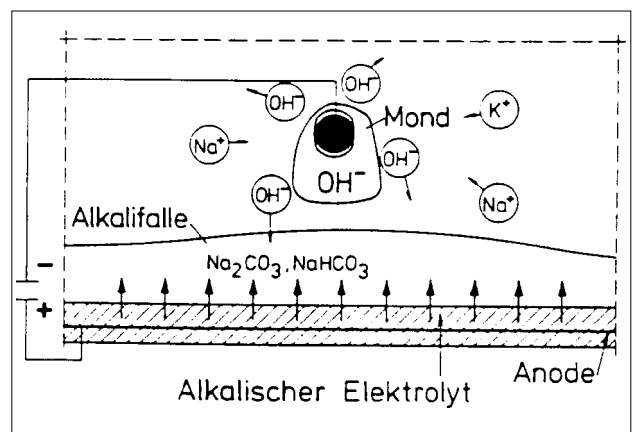


Bild 3.22
Prinzip der elektrochemischen Realkalisierung von Stahlbeton nach [25]

Spannung finden im Prinzip drei Vorgänge (Bild 3.22) statt: Bei der an der Kathode (Bewehrung) ablaufenden Reduktionsreaktion (Elektrolyse) entstehen OH^- -Ionen, die ihrerseits mit der Stahloberfläche reagieren und damit die Passivschicht wiederherstellen. Weitere OH^- -Ionen sowie die positiv geladenen Na^+ -Ionen aus der aussen angebrachten alkalischen Lösung werden sich durch Ionenwanderung im Beton verteilen. Die aussen angebrachte alkalische Lösung dringt zudem durch Elektroosmose in die Poren des Betons ein. Bei Abschluss der Behandlung sind die Poren mit NaOH bzw. Na_2CO_3 (pH 12–14) gefüllt (Bild 3.23). Das Verfahren wird als temporäre Behandlung eingesetzt. Die Behandlung dauert ca. 4 bis 10 Tage. Durch die Behandlung wird die Betonoberfläche nicht verändert.

3.4.3 Planung, Durchführung und Überwachung

Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens der elektrochemischen Realkalisierung ist eine Zustandsuntersuchung der zu behandelnden Betonbauteile. Dabei ist die vorhandene Karbonatisierungstiefe, die Bewehrungsüberdeckung sowie der Korrosionszustand der Bewehrung zu bestimmen. Zusätzlich sind die Eigenschaften des Überdeckungsbetons sowie die elektrische Vernetzung der Bewehrung zu prüfen; Chlorid als Korrosionsursache muss ausgeschlossen werden können.

Die Anwendbarkeit des Verfahrens ist wegen der Gefahr der Wasserstoffversprödung von Spannstählen bei Spannbetonbauwerken, insbesondere beim Spannbettverfahren, eingeschränkt. Eine Prüfung des Verfahrens ist vor allem in den Fällen angebracht, wo andere Instandsetzungsverfahren aus spezifischen Gründen (z.B. ästhetische Anforderungen) nicht anwendbar sind.

Den das Verfahren anbietenden Spezialfirmen obliegt die detaillierte Planung des Vorgehens sowie die Durchführung. Vor Abschluss eines Vertrages sind unbedingt die Zielsetzungen sowie die Form der Überprüfung der Wirkung der elektrochemischen Realkalisierung schriftlich zu vereinbaren. Nach Abschluss der Behandlung ist die Betonoberfläche in der Regel vor einer erneuten Karbonatisierung mittels einer Beschichtung zu schützen.

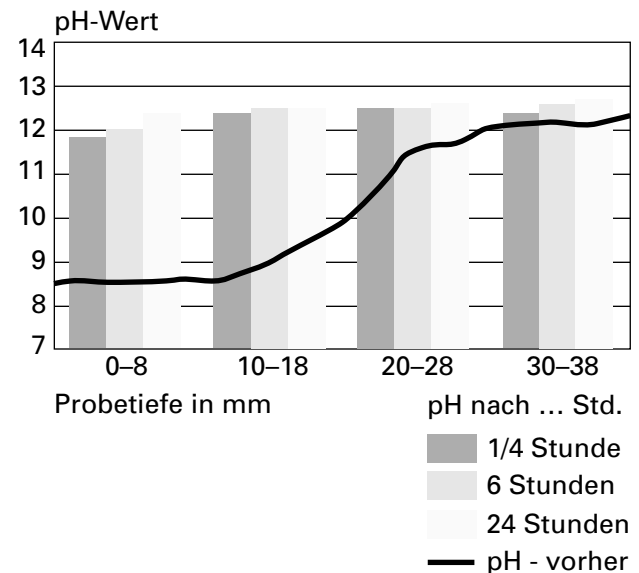


Bild 3.23
Erzielte Realkalisierung [29].



Bild 3.24
Einspritzen des Anodennetzes für die elektrochemische Realkalisierung

3.5 Inhibitoren

3.5.1 Einleitung

Die Anwendung von Inhibitoren für die Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken stellt unter den Alternativverfahren zum konventionellen Abtrag des geschädigten Betons das neueste Verfahren dar. Im Stahlbetonneubau ist die Anwendung von Inhibitoren hingegen bereits seit längerem bekannt und wird vor allem in den USA relativ häufig angewandt. Das Verfahren kann möglicherweise bei chloridinduzierter Bewehrungskorrosion zur Verdrängung des im Beton und Porenwasser verfügbaren und die Korrosion auslösenden Chlorids von der Stahloberfläche eingesetzt werden.

Das Verfahren steht im Stadium der Forschung und Entwicklung. Es bestehen heute keine gesicherten Erfahrungen über die Wirkung.

3.5.2 Mechanismus

Im Stahlbetonbau sind zwei Arten von Korrosionsinhibitoren bekannt [20, 23]. Nämlich die anodisch wirksamen sogenannten Passivatoren oder Deckschichtbildner und die kathodisch wirksamen Inhibitoren (Adsorptionsinhibitoren). Beide Arten sollen den Bewehrungsstahl auf chemischem Weg vor Korrosion schützen bzw. bereits vorhandene Korrosionserscheinungen stoppen oder zumindest verlangsamen. Sie greifen in den anodischen bzw. kathodischen Teilprozess der Korrosion ein.

Die im Rahmen der Brückenforschung des ASB untersuchten Inhibitoren gehören zu den Passivatoren und basieren auf der wasserlöslichen, anorganischen, nichttoxischen Substanz MFP (Natrium-Monofluorophosphat). Laborversuche (Schmalz in [30]) haben gezeigt, dass bei genügender Konzentration des Wirkstoffes im Bereich der Bewehrung eine deutliche Reduktion der Korrosionsgeschwindigkeit erzielt werden kann. MFP soll sowohl bei Korrosion, die durch Karbonatisierung wie auch solcher, die durch Chloride ausgelöst wurde, Wirkung zeigen. Eine Anwendung soll sowohl präventiv wie auch im Rahmen der Instandsetzung möglich sein. Das Hauptproblem besteht darin, den Wirkstoff in der erforderlichen Konzentration ($\text{MFP}/\text{Cl}^- > 1$) in die richtige Tiefe zu bringen. Der Wirkungsmechanismus ist bis heute nur lückenhaft bekannt.

Es befinden sich in der Schweiz gegenwärtig noch andere Produkte in Prüfung und Entwicklung, die



Bild 3.25
Beispiel einer mit MFP behandelten Fassade

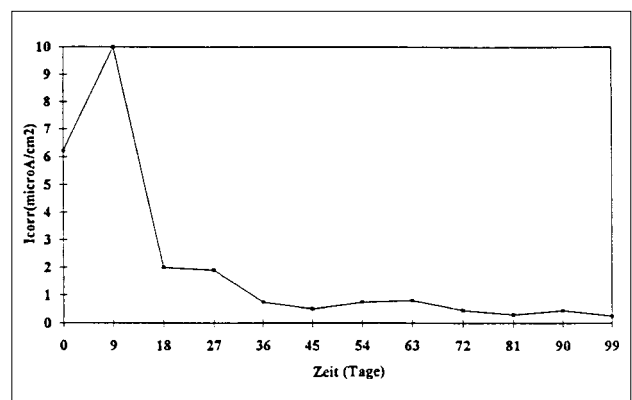


Bild 3.26
Entwicklung der Korrosionsgeschwindigkeit in einem karbonatisierten Beton nach der Behandlung mit MFP aus Laborversuch (Schmalz in [30])

im Rahmen einer Instandsetzung als Inhibitoren eingesetzt werden könnten. Im Bereich von Natursteinen werden, soweit bekannt, Inhibitoren bereits seit 1986 zum Schutz vor Sulfat- und Chloridschäden eingesetzt. Das bei Natursteinen eingesetzte Produkt vermag nach Angabe des Produktherstellers Sulfate und Chloride in Form schwerlöslicher Salze – ähnlich dem Friedel'schen Salz – zu binden und damit für die Bewehrungskorrosion unschädlich zu machen.

3.5.3 Planung, Durchführung und Überwachung

Inhibitoren stellen möglicherweise in der Zukunft ein Mittel zur Instandsetzung von Stahlbeton dar. Es bestehen heute jedoch keine Erfahrungen mit solchen Produkten für die Instandsetzung, und auch deren Wirkungsweise ist weitgehend unerforscht.

Der Einsatz von Inhibitoren kommt demzufolge höchstens im Rahmen von Pilotprojekten und Forschungsvorhaben in Frage. Eine entsprechende Begleitung durch Spezialisten ist dabei unumgänglich. Ein grosses Problem bei der Anwendung der in [30] vorgestellten Inhibitoren sind die strengen Anforderungen bezüglich der Trockenheit der Betonoberfläche für die Applikation der Produkte sowie der Beurteilung des Porengefüges des zu behandelnden Betons.



Bild 3.27
Applikation des Inhibitors an einer Fassade

4 Oberflächenschutzsysteme

4.1	Einleitung	61
------------	-------------------	-----------

4.2	Imprägnierungen	65
4.2.1	Hydrophobierungen	65
4.2.2	Versiegelung (Lasur)	67

4.3	Beschichtungen	68
4.3.1	Dünnbeschichtungen (Anstriche)	68
4.3.2	Dickbeschichtungen	70

4.4	Oberflächenschutzsysteme nach RiLi DAfStB	71
------------	--	-----------

4 Oberflächenschutzsysteme

4.1 Einleitung

Wie bei der Erläuterung der Grundsätze des Korrosionsschutzes gezeigt, ist der Schutz der Bewehrung vor Korrosion im Stahlbeton grundsätzlich durch die Einbettung in den alkalischen Zementstein gewährleistet. Wie die auftretenden Schäden an Stahlbetonkonstruktionen, die in ihrer überwiegenden Zahl auf Bewehrungskorrosion zurückzuführen sind, jedoch belegen, ist die Dauerhaftigkeit dieses systemimmanenten Korrosionsschutzes nicht in jedem Fall vorhanden.

Untersuchungen zeigen, dass bei entsprechend aggressiven Umgebungsbedingungen auch eine dicke und dichte Betonüberdeckung den Korrosionsschutz der Bewehrung ohne zusätzliche Massnahmen auf die Dauer nicht sicherzustellen vermag. Viele bestehende Stahlbetonbauwerke weisen eine für die jeweiligen Umgebungsbedingungen ungenügende Dicke, eine zu hohe Porosität oder eine ungenügende Festigkeit des Überdeckungsbetons auf. In all diesen Fällen muss die geforderte Dauerhaftigkeit des Korrosionsschutzes der Bewehrung mit zusätzlichen Massnahmen erreicht werden.

Bild 4.2 gibt einen Überblick über die möglichen Massnahmen zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion. Die Varianten (vor-)beschichtete Bewehrung und «nichtrostender» Stahl fallen bei Instandsetzungsaufgaben in der Regel ausser Betracht. Der vorhandene Überdeckungsbeton kann abgetragen und durch einen Reparaturmörtel oder Spritzbeton ersetzt oder auch nur durch das Aufbringen zusätzlicher Schichten (Vorbeton, Spritzbeton) verstärkt werden. Die grösste Bedeutung bei Instandsetzungen kommen den Massnahmen an der Bauteil- bzw. Baustoffoberfläche zu. Diese Massnahmen bilden auf der Baustoffoberfläche einen zusätzlichen Oberflächenschutz. Dieser dient dazu, den Zutritt von schädlichen Stoffen (Gase, Feuchtigkeit, Chemikalien wie Kohlendioxid, Salzwasser, etc.) zur Betonoberfläche zu vermindern oder Mängel am Baustoff (Risse, poröse Stellen, ungenügende Überdeckungstärke, etc.) auszugleichen. Es ist zu beachten, dass mit dem Aufbringen eines Oberflächenschutzes eine Veränderung der Betonoberfläche vorgenommen wird.



Bild 4.1

Betonkonstruktionen, die aggressiven klimatischen Einflüssen ausgesetzt sind – hier ein auf Betonpfählen fundierter Schiffssteg am Meer – bedürfen zusätzlicher Massnahmen zur Gewährleistung eines dauerhaften Schutzes der Bewehrung vor Korrosion

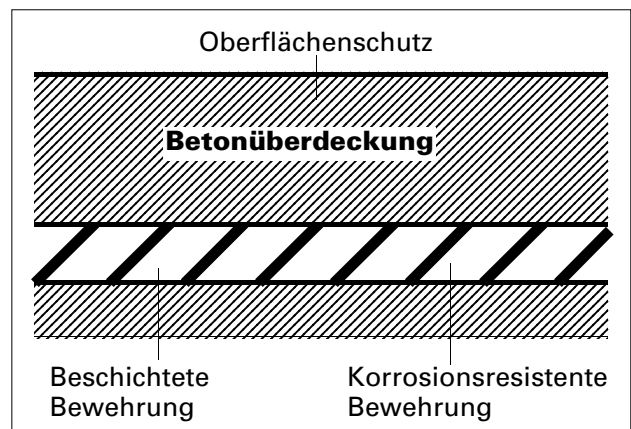


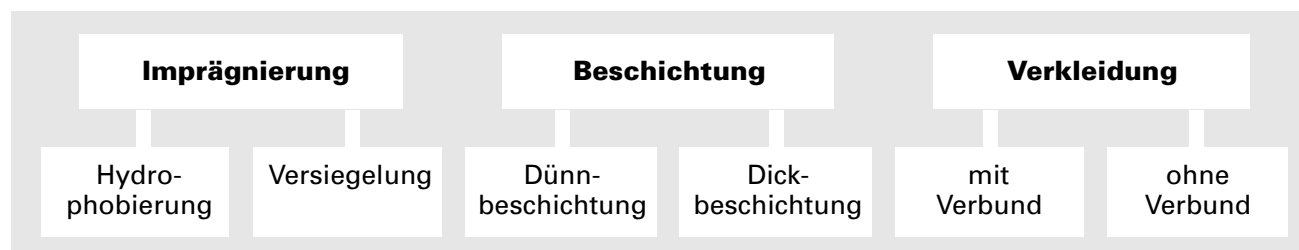
Bild 4.2

Massnahmen zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion

Die grundsätzlich möglichen Massnahmen zur Realisierung eines Oberflächenschutzes bei Stahlbetonbauteilen sind im Bild 4.3 zusammengefasst. Die Massnahmen Imprägnierung, Beschichtung und Verkleidung unterscheiden sich bezüglich ihres Aufbaues, der Konstruktionsstärke, der bauphysikalischen Eigenschaften, der Applikation, etc.

Bild 4.3

Palette der möglichen Massnahmen zum Oberflächenschutz bei Stahlbetonbauteilen



Sowohl Verkleidungen, die mit dem Bauteil im Verbund stehen (Keramikplatten, aufgeklebte Platten aus verschiedenen Stoffen, etc.) wie auch Verkleidungen ohne Verbund (auf Hilfskonstruktionen montierte Verkleidungsplatten aus Kunststoffen, Metall, Beton, Natur- und Kunststein, Holz, etc.) haben eine lange Tradition und werden bei vielen Aufgaben im Hoch- und eher etwas untergeordnet im Tiefbau eingesetzt. Wie einleitend erläutert, wird hier auf die Verkleidungen nicht weiter eingegangen. Der Hinweis, dass im spezifischen Einzelfall wichtige Aspekte wie bauphysikalisches Verhalten des Teil- wie auch des Gesamtsystems, Reinigung und Unterhalt, Dauerhaftigkeit, Brandverhalten, evtl. Akustik, Ästhetik, typischer Konstruktionsaufbau, Anpassung an das Bauteil, Ausführung, Zugänglichkeit zum Bauteil, Kosten, etc. abzuklären und im Vergleich zwischen alternativen Oberflächenschutzmassnahmen zu prüfen sind, soll zeigen, dass auch bei Verkleidungen eine ganze Zahl von Fragen vor einem definitiven Entscheid zu klären sind.

Oberflächenschutz mittels Imprägnierung oder Beschichtung (Bild 4.6) hat wie Verkleidungen eine lange Tradition, z.B. Verputze zum Schutz von Back- und Natursteinmauerwerk. Imprägnierungen und Beschichtungen stehen in innigem Verbund mit dem Baustoff und bedürfen im Unterschied zur Verkleidung der kontinuierlichen Stützung durch das Bauteil bzw. den Baustoff.

Imprägnierungen und Beschichtungen als Oberflächenschutz bei Stahlbeton werden in der IP BAU Dokumentation «Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau» [16] umfassend, auch in ihrer Anwendung bei anderen Baustoffen (Natur-, Backsteinmauerwerk, Stahl, Holz, etc.), behandelt. Ihr Einsatz bei Stahlbeton ist in Deutschland in zwei 1990 erschienenen Richtlinien geregelt, der RiLi DAfStB [6] sowie der ZTV-SIB 90 [4]. Auf diese andersorts bereits eingehend behandelten Schutzsysteme wird im Sinne eines Überblicks eingegangen. Die



Bild 4.4

Tunnelwand mit Verkleidung geschützt: Keramikplattenverkleidung



Bild 4.5

Stahlbetonbauteil mit Dünnbeschichtung

Bilder 4.6 a und 4.6 b geben einen vergleichenden Überblick über Anwendungsbereich und Eigenschaften der gemäss RiLi DAfStB definierten OS-Systeme.

Name	Bezeichnung	Anwendung	Mindestschichtdicke
OS-1	Hydrophobierung	nicht befahrbare Flächen	nicht filmbildend
OS-2	Versiegelung	nicht befahrbare Flächen	filmbildend, 0.05 mm
OS-3	Versiegelung	befahrbare Flächen	filmbildend, 0.05 mm
OS-4	starre Dünnbeschichtung	nicht befahrbare Flächen keine Rissüberbrückung	filmbildend, 0.08 mm
OS-5	flexible Dünnbeschichtung	nicht befahrbare Flächen geringe Rissüberbrückung	filmbildend, 0.3 mm
OS-6	starre Dünnbeschichtung	chemisch beanspruchte Flächen	filmbildend, 0.5 mm
OS-7	starre Dickbeschichtung	unter Belag keine Rissüberbrückung	filmbildend, 1.0 mm
OS-8	starre Dickbeschichtung	chemisch beanspruchte und befahrbare Flächen keine Rissüberbrückung	filmbildend, 1.0 mm
OS-9	flexible Dickbeschichtung	nicht befahrbare Flächen erhöhte Rissüberbrückung	filmbildend, 1.0 mm
OS-10	flexible Dickbeschichtung	unter Belag sehr hohe Rissüberbrückung	filmbildend, 2.0 mm
OS-11	flexible Dickbeschichtung	befahrbare Flächen erhöhte Rissüberbrückung	filmbildend, 3.0–5.0 mm
OS-12	starre Dickbeschichtung	befahrbare Flächen keine Rissüberbrückung	filmbildend, 5.0 mm

*Bild 4.6 a
Anwendungsbereich und Mindestschichtdicken der
Oberflächenschutzsysteme nach RiLi DAfStB [6], vgl.
auch Bilder 4.6 b und 4.17 a–c.*

	Hydrophobierung	Versiegelung	Beschichtung
Oberfläche	nicht filmbildend	filmbildend	filmbildend
Mindestschichtdicke	—	< 50 µm	Dünnbeschichtung 0,1–1,0 mm Dickbeschichtung 1,0–5,0 mm
Wasseraufnahme	zeitlich begrenzte Reduktion	Reduktion	Reduktion bis Verhinderung
Wasserdampfdiffusion	nicht beeinflusst	Reduktion	Reduktion bis Verhinderung
Kohlendioxid diffusion	negativ beeinflusst	Reduktion	starke Reduktion bis Verhinderung
Verbesserung des Frost- und Frosttausalz-widerstandes	zeitlich begrenzte Verbesserung	Verbesserung	starke Verbesserung
Reduktion der Aufnahme von in Wasser gelösten Schadstoffen (z.B. Chlorid)	Reduktion möglich	Reduktion möglich	Reduktion bis Verhinderung
optische Beeinflussung	keine	möglich	möglich
Betonfeuchte	trocken	trocken	trocken bis höchstens feucht
Risseüberbrückung	nein	nein	je nach System

Bild 4.6 b

Eigenschaften und Wirkung der Oberflächenschutzsysteme nach RiLi DAfStB 6, vgl. auch Bilder 4.6 a und 4.17 a–c sowie 5.26 und 5.27

4.2 Imprägnierungen

Unter dem Oberbegriff Imprägnierung werden die Behandlung der Betonoberfläche mit *Hydrophobierungsmitteln* (nicht filmbildend) und *Versiegelungen/Lasuren* (filmbildend) zusammengefasst.

4.2.1 Hydrophobierungen

Eine Hydrophobierung reduziert das kapillare Wasseraufnahmevermögen des Betons, ohne dass sich die Eigenschaften, die den Gasaustausch an der Betonoberfläche beeinflussen, wesentlich verändern. Der Widerstand der Betonoberfläche gegen Wasserdampf- und CO₂-Diffusion bleibt praktisch unbeeinflusst. Die Wirkung der Hydrophobierung (Bild 4.7) besteht in einer Veränderung des Benetzungswinkels zwischen der Baustoffoberfläche und den auftreffenden Wassertropfen, wodurch ein ABERLEFFEKT erzielt wird. Mit der Reduktion der Wasseraufnahme wird gleichzeitig die Aufnahme von Schadstoffen wie Chloriden und Gasen, gelöst in Wasser, reduziert sowie deren Transport im Beton verlangsamt.

Für Hydrophobierungen kommen als Wirkstoffe Silane, Siloxane und Silikonharze lösemittelfrei, gelöst in Wasser, als Mikroemulsion oder in organischen Kohlenstoffen gelöst, zur Anwendung. Die Aufnahme erfolgt durch die Saugkraft der Kapillarporen. Anforderungen an das zu wählende Hydrophobierungsmittel sind eine gute Wirksamkeit, ein hohes Eindringvermögen und eine ausreichende Beständigkeit. Die verschiedenen Wirkstoffe unterscheiden sich bezüglich der Molekülgrösse, ihrem chemischen Aufbau sowie dem Reaktions- und Bindungsvermögen. Bei geringerer Porosität der Oberfläche und kleineren Porendurchmessern müssen deshalb Wirkstoffe mit kleineren Moleküldurchmessern (Bild 4.8) gewählt werden. Jüngste Untersuchungen haben gezeigt [9], dass Hydrophobierungsmittel mit einem Wirkstoffgehalt unter 50% bei Applikation auf Beton eine zu geringe Wirksamkeit aufweisen. Die Eindringtiefe der Hydrophobierung im Beton beträgt ca. 0.5 bis 5 mm, in Spezialfällen kann eine Eindringtiefe bis 15 mm erreicht werden. Die Dauerhaftigkeit der Hydrophobierung ist begrenzt, da deren Wirkung durch die Alkalität des Zementsteins sowie durch die UV-Strahlung abgebaut wird, wobei je nach Wirkstoff grosse Unterschiede bestehen. Höher alkylierte Silane und bestimmte Zusammensetzungen können über 10 Jahre wirksam bleiben.

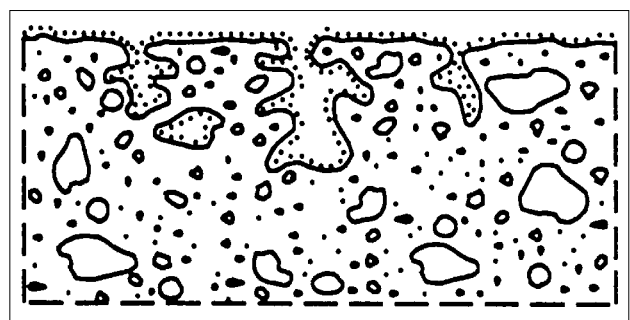


Bild 4.7
Prinzipieller Querschnitt Hydrophobierung [6]

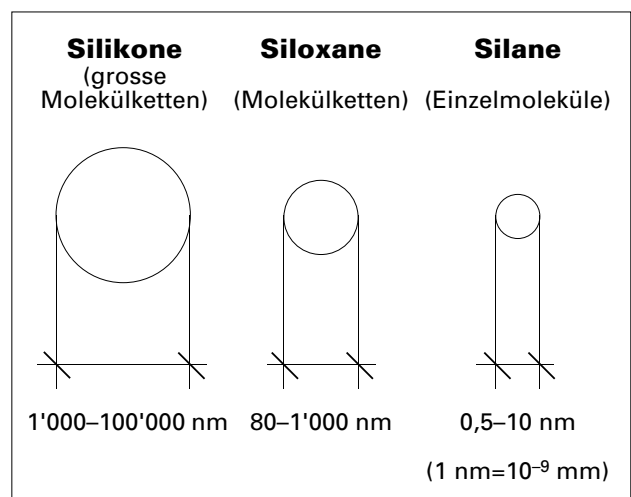


Bild 4.8
Moleküldurchmesser der wichtigsten Wirkstoffe bei Hydrophobierungen

Die Applikation erfolgt mit Pinsel, Rollen oder Sprühgerät (Bild 4.9). Zur Erreichung einer genügenden Eindringtiefe ist eine mehrmalige Behandlung notwendig. Die Betonoberfläche muss vor dem Aufbringen des Hydrophobierungsmittels trocken sein, da sonst das Aufsaugvermögen reduziert ist. Silane und teilweise auch Siloxane entziehen dem Untergrund Feuchtigkeit. Diese Wirkstoffe dürfen bei Beton deshalb erst nach einer Wartezeit von einigen Wochen angewendet werden, da sonst die Hydratation des Zementsteins unterbrochen wird. Organische Lösungsmittel (v.a. White Spirit eingesetzt mit Siloxanen und Silikonen) können Fugenverfüllmassen oder Beläge angreifen, weshalb diese Flächen gut geschützt werden müssen. Nach der Applikation muss nicht durch den Beton aufgesaugtes Hydrophobierungsmittel von der Oberfläche abgewischt werden, da sonst ein unerwünschter Film auf der Oberfläche entsteht. Bei Silanen besteht dieser Effekt weniger. Die Überwachung erfolgt über Anzahl Applikationen und Materialverbrauch. Zusätzliche Prüfungen mittels Karstenröhrchens oder Untersuchungen an Bohrkernen (z.B. Aufsaugversuch) werden empfohlen. Hydrophobierungen sollen bei niedrigen oder sehr hohen Temperaturen oder hoher Luft- bzw. Bauteilfeuchtigkeit nicht appliziert werden.

Hydrophobierungen werden auch als Grundierung vor dem Aufbringen von Beschichtungen eingesetzt. Die Gefahr einer Hinterfeuchtung und Ablösung der Beschichtung kann damit reduziert werden.



*Bild 4.9
Applikation einer Hydrophobierung mittels Sprühgerät*

4.2.2 Versiegelung (Lasur)

Versiegelungen bilden, im Unterschied zu einer Hydrophobierung, einen zum grössten Teil geschlossenen Film auf der Betonoberfläche (Bild 4.10). Ihre Sperrwirkung gegen eindringende Flüssigkeiten ist dadurch stärker als bei der Hydrophobierung. Zusätzlich kann aber auch die Dampf- und Gasdiffusion stark herabgesetzt werden. Die Sperrwirkung gegen Flüssigkeiten sowie die Abminderung der Diffusion ist von der Filmdicke und der Vollständigkeit der Filmbildung abhängig. Chloride können Versiegelungen durch Lösungsdiffusion durchdringen.

Versiegelungen werden auf der Basis verschiedener Kunststoffe angeboten, so z.B. auf Acrylharz-, Epoxidharz- oder Polyurethanbasis. Es gibt lösungsmittelfreie und lösungsmittelhaltige Versiegelungen. Die lösungsmittelfreien Produkte weisen bei gleicher Schichtdicke eine höhere Sperrwirkung auf. Die lösungsmittelhaltigen Produkte werden heute auch aus Umweltschutz- und arbeitshygienischen Gründen immer mehr von lösungsmittelfreien Produkten abgelöst.

Die Applikation der Versiegelung erfolgt ähnlich der Hydrophobierung mit Rollen oder allenfalls mit dem Spritzgerät. Zur Erreichung der gewünschten Filmbildung und Schichtdicke sind mehrere Arbeitsgänge erforderlich. Die Überwachung erfolgt über Anzahl Arbeitsgänge, Materialverbrauch, visuelle Prüfung sowie Versuche an Bohrkernen. Wie bei der Hydrophobierung muss der Untergrund vor der Applikation trocken sein. Bei einem stark porösen oder unebenen Untergrund ist die Bildung eines Oberflächenfilmes stark erschwert.

Versiegelungen werden ebenfalls als Grundierungen für Beschichtungen eingesetzt.

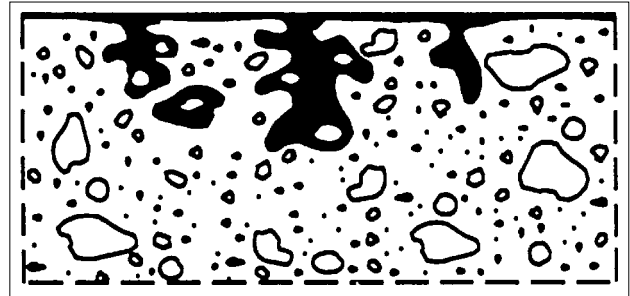


Bild 4.10
Prinzipschnitt Versiegelung [6]



Bild 4.11
Mit 4% Pigmentzusatz versiegelte Betonoberfläche

4.3 Beschichtungen

Beschichtungen der Baustoffoberfläche bilden aufgrund ihrer im Vergleich zu einer Versiegelung grösseren Schichtstärke einen vollständigen Film (Bild 4.12). Es kann dadurch eine noch bessere Abdichtung der Oberfläche gegen das Eindringen von Flüssigkeiten und Gasen erreicht werden. Zusätzlich weisen Beschichtungen auch einen gewissen Widerstand gegen mechanische Beschädigung (Beanspruchung durch Reinigung, Verkehr, etc.) und Witterungseinflüsse (Temperatur, UV-Strahlung, etc.) auf. Diese erwünschten Eigenschaften führen generell zu einem erhöhten Diffusionswiderstand der Beschichtungen. Aufgrund der Schichtdicken sowie der typischen Applikationsart wird bei den Beschichtungen zwischen Dünnbeschichtungen (Anstrichen) mit Schichtdicken von 0.1 bis 1.0 mm und Dickbeschichtungen mit Konstruktionsstärken von 1.0 bis 2.0 mm unterschieden.

Beschichtungen sind im Vergleich mit einer Hydrophobierung erhöhten Beanspruchungen ausgesetzt. Die Anforderungen an die verwendeten Produkte sind deshalb grösser. Insbesondere sind die Anforderungen bezüglich der folgenden Eigenschaften zu definieren und zu überprüfen:

- Dichtigkeit gegen Wasser, Gase, Schadstoffe
- Beständigkeit gegen Temperaturwechsel; Temperaturdehnung möglichst ähnlich wie Beton
- Haftung am Untergrund
- Zugfestigkeit und Dehnverhalten
- Abriebfestigkeit
- Risseüberbrückung
- Witterungsbeständigkeit (UV-Strahlung)

Die wesentlichsten Risiken von Beschichtungen – Haftung auf dem Beton, Rissebildung, Ablösung durch Dampfdruck – erfordern grosse Sorgfalt bei der Wahl des Systems, der Ausführung und der Überwachung. Eine äusserst wichtige Voraussetzung für die Wirksamkeit einer Beschichtung ist ein einwandfreier Verschluss der Poren und Lunker vor dem Aufbringen der eigentlichen Beschichtung, z.B. mit einer Spachtelung.

4.3.1 Dünnbeschichtungen (Anstriche)

Dünnbeschichtungen (Anstriche) bilden auf der Baustoffoberfläche einen dünnen Film, der den Unebenheiten der Oberfläche folgt. Damit die gewünschte, vollständige Filmbildung erreicht wird,

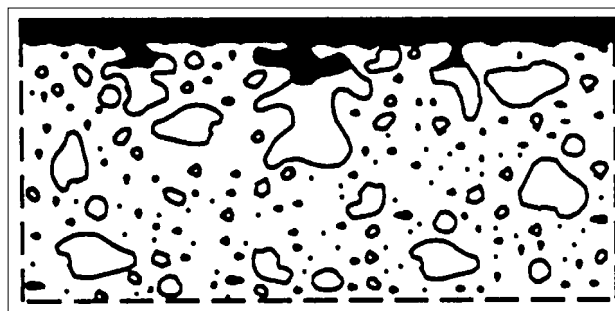


Bild 4.12
Prinzipschnitt Beschichtung [6]

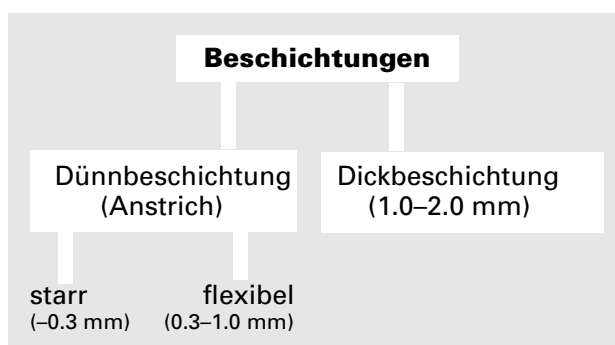


Bild 4.13
Unterteilung der Beschichtungen

werden relativ hohe Anforderungen an die Ebenheit und Porenfreiheit des Untergrundes gestellt. Dünnbeschichtungen werden auf der Basis verschiedener Kunststoffe lösungsmittelhaltig, wassergelöst oder lösungsmittelfrei angeboten. Der Bindemittelanteil ist höher als bei den Versiegelungen, die Beschichtungsstoffe sind dadurch dickflüssiger. Es wird zwischen starren und flexiblen Dünnbeschichtungen unterschieden.

Starre Dünnbeschichtungen basieren vorwiegend auf Epoxidharzkunststoffen. Sie sind im Vergleich mit anderen Beschichtungen relativ günstig und werden für Schichtdicken bis ca. 0.3 mm angewendet. Sie können den Beton vor Feuchtigkeit und aggressiven Stoffen schützen. Eine Überbrückung von Rissen, welche sich unter Temperatureinfluss, Last oder infolge Schwinden des Betons bewegen, ist nicht möglich. Nicht bewährt haben sich starre Dünnbeschichtungen auf Epoxidharzbasis zum Schutz gegen Tausalze. Bei verschiedenen Untersuchungen wurden unter solchen Dünnbeschichtungen unerwartet hohe Chloridkonzentrationen festgestellt.

Flexible Dünnbeschichtungen auf Acrylharz- oder Polyurethanbasis weisen aufgrund der grösseren Schichtdicke (bis 1.0 mm) eine geringe Rissüberbrückungsfähigkeit (Rissbewegung max 0.1 mm) auf. Es ist jedoch zu beachten, dass die Fähigkeit, Risse zu überbrücken, von der Temperatur und von der Alterung der Dünnbeschichtungen beeinflusst werden. Echte Langzeiterfahrungen mit solchen Dünnbeschichtungen stehen heute noch nicht zur Verfügung.

Die Applikation von Dünnbeschichtungen erfolgt im traditionellen Verfahren mit Pinsel, Rollen oder Spritzen. Zur Erreichung eines geschlossenen Filmes sind mehrere Applikationen erforderlich. Die Überwachung erfolgt über Anzahl Arbeitsgänge, Materialverbrauch sowie Prüfung der Schichtdicken, der Haftung und der Porenfreiheit. Das Aufbringen von Dünnbeschichtungen stellt relativ hohe Anforderungen an die klimatischen Verhältnisse (Luft- und Baustofftemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, etc.). Neben Luft- und Bauteiltemperatur ist auch die Taupunkttemperatur (vgl. Anhang C) zu beachten.

Dünnbeschichtungen kommen auch als Deckbeschichtung auf Dickbeschichtungen zur Anwendung. Sie dienen in diesem Fall zur Verbesserung der Reinigungseigenschaften sowie zum Schutz

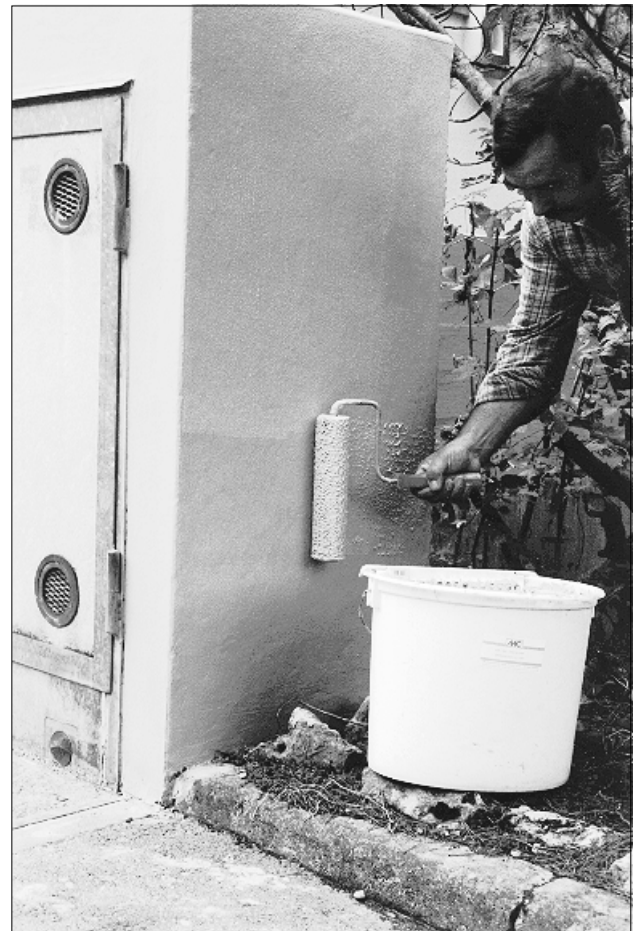


Bild 4.14
Applikation einer Dünnbeschichtung

der Dickbeschichtung vor Witterungseinflüssen insbesondere UV-Strahlung.

4.3.2 Dickbeschichtungen

Dickbeschichtungen werden mit Gesamtschichtdicken von 1 bis 2 mm eingesetzt. Die meisten Produkte basieren auf dem Kunststoff Polyurethan. Dickbeschichtungen folgen aufgrund ihrer relativ grossen Schichtstärke nicht allen Unebenheiten des Untergrundes, sondern besitzen eine nahezu glatte Oberfläche. Zur Erreichung einer gleichmässigen Gesamtschichtstärke sind die Anforderungen an die Ebenheit des Untergrundes deshalb relativ hoch, Poren hingegen können durch die Dickbeschichtung aufgefüllt bzw. überbrückt werden. Dickbeschichtungen besitzen einen hohen Durchgangswiderstand gegen Feuchtigkeit und Schadstoffe und weisen einen je nach Produkt unterschiedlichen Diffusionswiderstand auf.

Die Dickbeschichtungen haben den grossen Vorteil, dass sie als Folge der hohen Dehnfähigkeit und der Schichtdicke von 1 bis 2 mm auch bei niedrigen Temperaturen gute Rissüberbrückungseigenschaften aufweisen (je nach Produkt können Rissbewegungen bis ca. 0.3 mm überbrückt werden).

Moderne Dickbeschichtungen können mit einfachen Handgeräten oder mit dem Spritzgerät appliziert werden. Die Gesamtschichtdicke wird in zwei bis drei Arbeitsgängen erreicht. Die Überwachung erfolgt über den Materialverbrauch sowie die Prüfung der Schichtstärke, der Haftung auf dem Untergrund und der Ebenheit der erzielten Oberfläche. Vor der Applikation muss der Untergrund bei den meisten Produkten trocken sein, da sich sonst Blasen bilden können und eine ungenügende Haftung auf dem Untergrund erreicht wird.

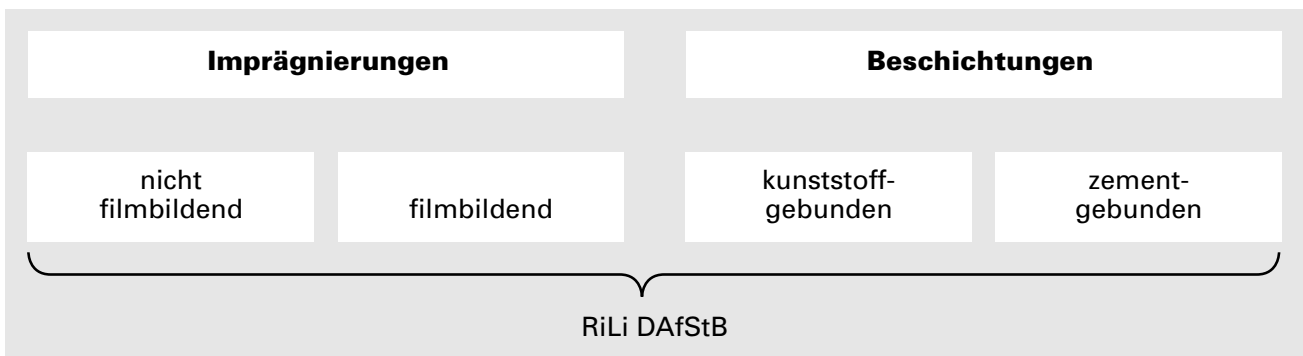
Dickbeschichtungen werden oft zur Verbesserung der Reinigungseigenschaften sowie zum Schutz vor UV-Strahlen mit einer Dünnbeschichtung zusätzlich geschützt. Zur Vermeidung negativer Auswirkungen von mechanischen Beschädigungen müssen Dickbeschichtungen regelmässig repariert werden.



*Bild 4.15
Nacharbeiten einer gespritzten Dickbeschichtung von Hand*

4.4 Oberflächenschutzsysteme nach RiLi DAfStB

Verschiedene Oberflächenschutzmassnahmen werden meist in Kombination angewendet (z.B. Hydrophobierungen als Grundierung für Dünnbeschichtungen, Dünnbeschichtungen zum Schutz von Dickbeschichtungen, etc.). Aus den verschiedenen Kombinationen ergeben sich eine begrenzte Anzahl von Oberflächenschutzsystemen. Bei Stahlbetonbauteilen sind zudem immer wieder ähnliche Schutzbedürfnisse anzutreffen, die mit Oberflächenschutzmassnahmen gelöst werden müssen.



Diese Randbedingungen haben in Deutschland zur Definition einer Anzahl von Oberflächenschutzsystemen geführt, die unter klar festgelegten Randbedingungen zur Anwendung kommen sollen. Die RiLi DAfStB [6] definiert 12 Oberflächenschutzsysteme (OS-Systeme), die ZTV-SIB 90 [4] deren 6. Die Gliederungssysteme der beiden Richtlinien sind miteinander vergleichbar. Die Tabellen (Bild 4.17a bis c) geben eine Übersicht über diese Oberflächenschutzsysteme.

In der Dokumentation Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau 16 werden die Schutzsysteme umfassender behandelt. Es werden dort beispielsweise auch die bituminösen Abdichtungen erfasst.

*Bild 4.16
Oberflächenschutzsysteme die in der RiLi DAfStB [6]
behandelt sind*

RiLi (DAfStB) ¹⁾	OS 1	OS 2	OS 4	OS 5	OS 9
ZTV-SIB (BMV) ²⁾	OS-A	OS-B	OS-C	OS-D	OS-E
Kurzbeschreibung	Hydrophobierung	Versiegelung	Beschichtung	Beschichtung mit min. geringer Rissüberbrückung	Beschichtung für nicht befahrbare Flächen mit min. erhöhter Rissüberbrückung
Mindestschichtdicke d_s min ³⁾	d 0	0,05 mm	0,08 mm	I. 0,30 mm II. 2,0 mm	1 mm
Hauptbindemittelgruppen ⁴⁾	Silan, Siloxan, Silikonharz	Acrylate	Acrylate, Polyurethan-Acrylate	I. Acrylat-Dispersion II. Dispersion-Zement-Schlämme	Polyurethane
Anwendungsbereich	Bedingter Feuchteschutz bei freibewitterten Betonflächen	Vorbeugender Schutz für freibewitterte Betonflächen mit ausreichendem Wasserabfluss im Sprühbereich von Tausalzen (nicht für Instandsetzungen)	Freibewitterte Betonflächen im Sprühbereich ⁵⁾ von Tausalzen; Regelmassnahme bei Instandsetzungen nach den Korrosionsschutzprinzipien W u. C	Freibewitterte Betonflächen im Sprühbereich ⁵⁾ von Tausalzen; Regelmassnahme bei Instandsetzungen nach den Korrosionsschutzprinzipien W u. C., wenn mindestens sehr geringe Rissüberbrückung gefordert wird.	Freibewitterte, rissgefährdete Betonflächen im Sprüh- oder Spritzbereich von Tausalzen.
Aufbau (Kurzbeschreibung)	Hydrophobierung (min. 2 x fluten)	1. Hydrophobierung wie OS 1 2. Ggf. Grundierung (evtl 1. u. 2. kombiniert) 3. Min. zwei Deckschichten	1. Feinspachtel 2. Ggf. Hydrophobierung wie OS 1 (nur bei Tausalz) 3. Ggf. Grundierung (evtl. 2. u. 3. kombiniert) 4. Min. zwei Deckschichten	I. 1. Ggf. Feinspachtel 2. I.d.R. Grundierung und ggf. Hydrophobierung 4. Zwei bis vier Deckschichten II. 1. Ggf. Feinspachtel 2. Dichtungsschlämme in drei Arbeitsgängen	1. Feinspachtel 2. I.d.R. Grundierung, ggf. mit Abstreuerung 3. Zwei Beschichtungen 4. Ggf. Deckversiegelung als UV-Schutz

- 1) Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, DAfStB [6]
- 2) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, 1990 [4]
- 3) Systemspezifische Mindestschichtdicke der hauptsächlich wirksamen Oberflächenschutzschicht (Richtwert)
- 4) Bindemittelgruppe der hauptsächlich wirksamen Oberflächenschutzschicht
- 5) Mit entsprechendem Nachweis auch im Spritzwasserbereich

Bild 4.17a
Übersicht über die Oberflächenschutzsysteme für nicht befahrbare Flächen

RiLi (DAfStB) ¹⁾ ZTV-SIB (BMV) ²⁾ Kurzbeschreibung	OS 3	OS 6	OS 8	OS 11 OS F	OS 12
Mindestschicht- dicke d_s min ³⁾	Versiegelung für be- fahrbare Flächen 0,05 mm	Chemisch widerstands- fähige Beschichtung für mechanisch gering bean- spruchte Flächen 0,50 mm	Chemisch widerstands- fähige Beschichtung für befahrbare, mechanisch stark belastete Flächen 1 mm	Beschichtung für befahrba- re Flächen mit mindestens erhöhter Rissüberbrückung I. 1,5 mm II. 3,0 mm III. 1,5 mm	Beschichtung mit Reak- tionsharzbeton bzw. -mör- tel für befahrbare, mecha- nisch stark beanspruchte Flächen 5 mm
Hauptbindemittel- gruppen ⁴⁾	Epoxide, Acrylate, Po- lyurethane	Epoxide, Polyurethane	Epoxide	Epoxid - Polyurethane	Epoxide
Anwendungs- bereich	Fussböden und Fahr- bahnen für überwie- gend nicht frei bewit- tete Flächen bei ge- ringer mechanischer Belastung	Mechanisch gering bela- stete Flächen mit Flüssig- keits- und Chemikalien- beaufschlagung, Mass- nahme bei Instandset- zung nach Korrosions- schutzprinzip C	Mechanisch und chemisch beanspruchte Betonflächen	Rissgefährdete Beton- flächen wie Schrammborde sowie mechanisch stark be- lastete Flächen wie Park- decks und Brückenfahrbah- nen	Industrieböden und Be- tonfahrbahnen
Aufbau (Kurzbeschreibung)	Ein- bis mehrmaliger Auftrag eines Reak- tionsharzes	1. Grundierung 2. Spachtelung 3. Eine oder mehrere Deckschichten	1. Grundierung 2. Eine oder mehrere Deck- schichten 3. Ggf. Deckversiegelung	I. 1. Grundierung 2. Ggf. Spachtelung 3. Elastische, rissüber- brückende Zwischen- schicht 4. Verlauffmörtel als Verschleisschicht II. 1. und 2. analog I. 3. Drei Beschichtungen, wobei erste und zweite- mit Glasfasergewebe III. 1.- 3. analog I. 4. Deckbeschichtung mit Glasfasergewebe	1. Grundierung 2. Reaktionsharzbeton bzw. -mörtel 3. Ggf. Versiegelung 4. Ev. Abstreuerung der Versiegelung

Bild 4.17b
Übersicht über die Oberflächenschutzsysteme für befahrbare Flächen (Legende vgl. Bild 4.17a)

	OS 7	OS 10
RiLi (DAfStB) ¹⁾ ZTV-SIB (BMV) ²⁾ Kurzbeschreibung	Beschichtung unter bituminösen Dichtungsschichten bei Brücken und ähnlichen Bauwerken	Beschichtung als Dichtungsschicht unter bituminösen oder anderen Schutz- und Deckschichten mit sehr hoher Rissüberbrückung
Mindestschichtdicke d_s min ³⁾	1 mm	2 mm
Hauptbindemittelgruppen ⁴⁾	Epoxide	Polyurethane
Anwendungsbereich	Grundierungen, Versiegelungen und Kratzspachtelungen als Teil der Abdichtung unter bituminösen Belägen auf Beton	Abdichtung unter befahrenen bituminösen und anderen Deckschichten bei Brücken, Trog- und Tunnelsohlen, Parkhäusern
Aufbau (Kurzbeschreibung)	I. Grundierung: 1. Epoxidharz 2. Abstreuerung II. Versiegelung: 1. Grundierung 2. Abstreuerung im Überschuss 3. Versiegelung III. Kratzspachtelung: 1. Grundierung 2. Kratzspachtelung 3. Abstreuerung	1. Grundierung 2. Ggf. Kratzspachtelung 3. Abstreuerung 4. Rissüberbrückende Dichtungsschicht in mind. zwei Lagen 5. Ggf. Verbindungsschicht 6. Gussasphaltschutzschicht 7. Deckschicht (Belag)

- 1) Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, DAfStB
 2) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, 1990
 3) Systemspezifische Mindestschichtdicke der hauptsächlich wirksamen Oberflächenschutzschicht (Richtwert)
 4) Bindemittelgruppe der hauptsächlich wirksamen Oberflächenschutzschicht

Bild 4.17c
 Übersicht über die Oberflächenschutzsysteme unter bituminösen Belägen und anderen Deckschichten

5 Wahl der Instandsetzungsmassnahmen und Oberflächenschutzsysteme

5.1	Einleitung	77
5.2	Ist-Zustand	78
5.3	Objektspezifische Randbedingungen und Anforderungen	79
5.3.1	Einleitung	79
5.3.2	Betrieb und Nutzung	79
5.3.3	Unterhalt	80
5.3.4	Klimatische Randbedingungen	81
5.3.5	Bauwerk	86
5.4	Instandsetzungsziel	87
5.5	Wahl der Verfahren und Systeme	88
5.5.1	Analyse	88
5.5.2	Erforderliche Instandsetzungsschritte	88
5.5.3	Instandsetzungsvarianten	93
5.5.4	Wahl der Bestvariante	95
5.6	Produktewahl	96
5.6.1	Einleitung	96
5.6.2	Anforderungsorientierte Ausschreibung	97
5.6.3	Vorgabe des Produktes	98

5 Wahl der Instandsetzungsmassnahmen und Oberflächenschutzsysteme

5.1 Einleitung

Ziel des Kurses «Betoninstandsetzung mit System» ist es, dem Ingenieur ein Vorgehen aufzuzeigen, wie unter Verwendung der zur Verfügung stehenden Hilfsmittel für ein Instandsetzungsproblem mögliche Instandsetzungsvarianten entwickelt werden können und daraus die zweckmässigste Lösung ausgewählt werden kann. Bei dieser Wahl sind die übergeordneten Zielsetzungen und weitere Randbedingungen zu beachten.

Wie die Erfahrung bei zur Routine gewordenen Ingenieuraufgaben zeigt, ist die Einhaltung eines standardisierten Vorgehens zur Lösung ähnlicher Probleme eine gute Voraussetzung, um zu einer allen Ansprüchen gerecht werdenden Problemlösung zu gelangen. Dies ist auch bei der Projektierung von Bauwerksinstandsetzungen nicht anders. Die entsprechenden Aufgaben unterscheiden sich nur insofern von Routineaufgaben, als dass sie für viele Ingenieure Neuland bedeuten, gesichertes Fachwissen nicht immer einfach greifbar ist und auch von Seite der Ausbildung noch wenig Kenntnisse vorhanden sind.

Das IP-Bau, Erhaltung und Erneuerung hat sich bereits in verschiedenen Dokumentationen mit der Erhaltung von Bauwerken aus dem Tief- und Ingenieurbau befasst. Im Vordergrund standen bisher die Untersuchung von bestehenden Bauwerken [19], inkl. den dabei zur Anwendung gelangenden Untersuchungstechniken [18], mögliche Schutzsysteme [16] sowie die spezifischen Aspekte des Bauens unter Verkehr [17]. Wie im Rahmen des Ablaufes einer Zustandsuntersuchung aufgezeigt wird [19] (Bild 5.2), beinhaltet die Zustandsuntersuchung auch erste Massnahmenempfehlungen. Diese Empfehlungen können sehr verschiedenartiger Natur sein: organisatorische Massnahmen (z.B. Gewichtsbeschränkungen, Sperrungen), bauliche Massnahmen (z.B. provisorische Verstärkungen, eigentliche Instandsetzungsarbeiten) oder Massnahmen im Bereich der Überwachung. Vor der Realisierung allenfalls notwendiger baulicher Instandsetzungsmassnahmen ist eine Vorbereitungsphase erforderlich. In dieser Phase müssen die Instandsetzungsmassnahmen projektiert und der Bauablauf nach Rücksprache mit allen Betroffenen festgelegt werden. Die Auswahl der ausführenden Unternehmer erfolgt in der Regel aufgrund einer Submission.



Bild 5.1
Die Wahl der richtigen Instandsetzungsmassnahmen und Oberflächenschutzsysteme ist eine herausfordernde Aufgabe für Fachleute

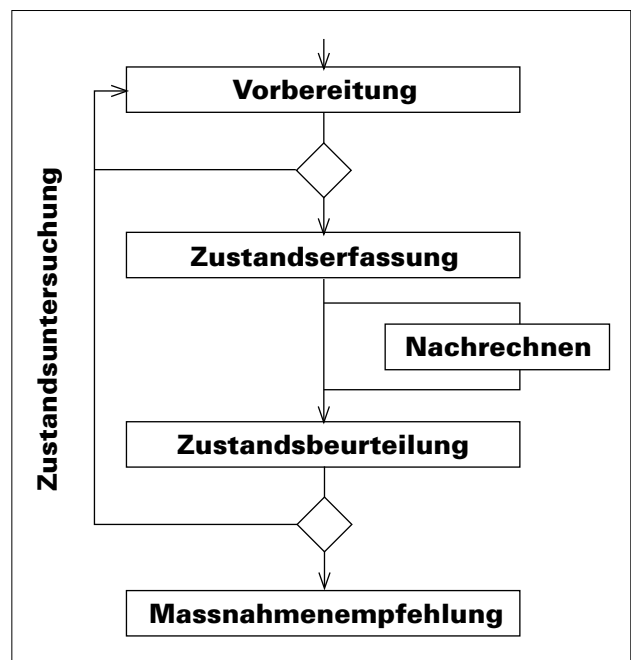


Bild 5.2
Ablauf Zustandsuntersuchung gemäss [19]

Bei der Instandsetzung von Betonbauwerken ist zu beachten, dass mit jeder Massnahme Veränderungen an der Bausubstanz vorgenommen werden, die nicht mehr vollständig rückgängig gemacht werden können. Mit dem Aufbringen von Imprägnierungen und Beschichtungen wird die Betonoberfläche verändert, so dass die Haftung weiterer (Schutz-)schichten in negativem oder positivem Sinne beeinflusst wird. Mit den meisten Instandsetzungsmassnahmen wird so u.a. das äussere Aussehen verändert. Vor Inangriffnahme der Planung von Instandsetzungsmassnahmen ist deshalb stets auch eine allfällige Schutzwürdigkeit des Bauwerks aus denkmalpflegerischer Sicht abzuklären.

5.2 Ist-Zustand

Wie bei der Projektierung von Neuanlagen Informationen u.a. über die Geländeoberfläche und die Baugrundverhältnisse zu den unabdingbaren Grundlagen gehören, bilden die Informationen über das Bauwerk und insbesondere über den momentanen Zustand – den Ist-Zustand – die wichtigen Grundlagen für die Ausarbeitung und Realisierung einer Instandsetzung. Diese Informationen werden in der Regel im Rahmen der Zustandsuntersuchung – Inspektion – beschafft. Sie müssen zu Beginn der Projektierung vorliegen. Allenfalls kann es sich als notwendig erweisen, während der Projektierung oder parallel zur Ausführung noch weitere Informationen zu beschaffen.

Eine Stichwortliste mit den wichtigsten Informationen ist im Bild 5.3 gezeigt. Die verschiedenen, während der Zustandserfassung am Objekt gewonnenen Informationen müssen im Rahmen der Zustandsuntersuchung zu einer Beurteilung des Bauwerkszustandes verarbeitet werden, die ebenfalls als Grundlage für die Vorbereitung der Instandsetzung zur Verfügung stehen sollte.

Baustoffkennwerte, -zustand

Beton:

Betonfestigkeit (auch Oberfläche)
 Porosität
 Karbonatisierungstiefe
 Schadstoffgehalt und -verteilung (z.B. Chlorid)
 evtl. Gefüge des Betons

Bewehrung

Lage
 Betonüberdeckung
 Korrosionszustand

Fehlstellen

Kiesnester
 Oberflächenschäden
 Abplatzungen
 Risse (Rissweite, Durchtrennungsgrad, Rissbewegung, Wasserführung, etc.)
 Einschlüsse (z.B. Holz)

Schadensursachen

Schadensausmass

Zustandsbeurteilung

(inkl. Beurteilung der möglichen Schadensentwicklung sowie der Restnutzungsdauer)

Bild 5.3

Stichwortliste der wichtigsten, aus der Zustandsuntersuchung hervorgehenden Grundlagen für die Betoninstandsetzung

5.3 Objektspezifische Randbedingungen und Anforderungen

5.3.1 Einleitung

Bei der Auswahl der zu realisierenden Instandsetzungsmassnahmen müssen neben dem Ist-Zustand des Bauwerks (vgl. Kap. 5.2) weitere objektspezifische Randbedingungen berücksichtigt werden. Diese Randbedingungen können grob in vier Kategorien (Bild 5.4) eingeteilt werden, nämlich Randbedingungen aus dem Betrieb und der Nutzung des Bauwerks, solche aus dem Unterhalt, aus den vorherrschenden klimatischen Randbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschläge, Schadstoffbelastung, etc.) sowie Randbedingungen, die aus den statischen, geometrischen und bauphysikalischen Verhältnissen des Bauwerks hervorgehen. Unter Umständen sind zusätzliche, spezielle Anforderungen (z.B. Ästhetik) zu beachten.

Die nachfolgenden Ausführungen werden ergänzt durch das Kapitel 3. Anforderungen an Schutzsysteme und Grundsätze zur Wahl in Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau [16].

5.3.2 Betrieb und Nutzung

Aus Betrieb und Nutzung eines Bauwerks resultieren oft entscheidende Randbedingungen für die Instandsetzungsarbeiten. Diese Randbedingungen müssen vom projektierenden Ingenieur erfasst und akzeptiert werden. Er muss Lösungsmöglichkeiten entwickeln, die die gestellten Anforderungen erfüllen. Der Bauherr sollte aber auch darauf aufmerksam gemacht werden, wenn durch eine Änderung dieser Randbedingungen Kosteneinsparungen möglich sind. Der professionelle Bauherr ist dann in der Lage, seine eigene Nutzen/Aufwand-Berechnung vorzunehmen. In anderen Fällen muss der Beauftragte diesbezüglich eine zusätzliche Beratungsfunktion wahrnehmen und den Bauherrn bei der Entscheidungsfindung unterstützen.

In die Abklärung sind auch unkonventionelle Bauabläufe wie beispielsweise Nacharbeit, Wochenendarbeit, Kurzzeitsperrungen etc. einzubeziehen. Je nach Nutzungs- und Betriebsregime können daraus interessante und insgesamt wirtschaftliche Bauabläufe entwickelt werden.

Betrieb und Nutzung

Teil-/Vollsperrung,
Sperrzeiten,
Erschütterungen, etc.

Unterhalt

Anforderungen an die Instandsetzung aus der Sicht des Bauwerksunterhaltes (Reinigung, Reparaturen, Inspektionen).

Klimatische Randbedingungen

Lufttemperaturen
(Kurz-/Langzeitschwankungen),
Luftfeuchtigkeit,
Niederschläge,
Schadstoffbelastung (Kontakt-, Spritzwasser-,
Sprühnebelbereich, Abgase, etc.), etc.

Bauwerk

Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit,
Bauphysikalische Verhältnisse,
Geometrische Randbedingungen,
Ästhetische Anforderungen, etc.
Erwartete Restnutzungsdauer

Bild 5.4
Zu berücksichtigende objektspezifische Randbedingungen und Anforderungen

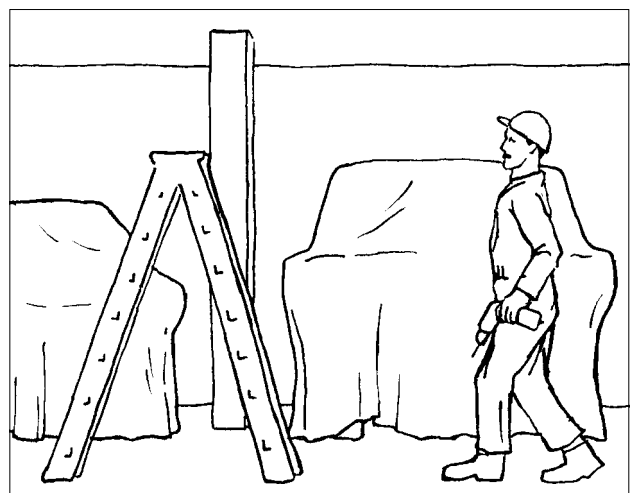


Bild 5.5
Die Einschränkungen der Nutzung und des Betriebes eines Bauwerkes müssen während der Instandsetzung minimal gehalten werden, sie bilden deshalb eine wichtige Randbedingung

In einem Punkt muss der beauftragte Ingenieur gegenüber dem Bauherr eine klare Haltung einnehmen. Für eine qualitativ einwandfreie Instandsetzung sind minimale klimatische Randbedingungen (Bauteiltemperatur, Lufttemperatur und -feuchtigkeit, etc.) erforderlich. Bis zu einem gewissen Grad können diese durch aufwendige Massnahmen wie Schutzdächer, Beheizung, etc. erzeugt werden. Es sind jedoch Grenzen gesetzt, im tiefsten Winter (Dezember – März) können an Aussenbauteilen in der Regel keine Betoninstandsetzungsarbeiten mit Erfolg ausgeführt werden.

5.3.3 Unterhalt

Die Anforderungen aus der Sicht des nach Abschluss der Instandsetzung folgenden Unterhaltes können bei der Projektierung leicht vernachlässigt werden, dem Bauwerksbetreiber später aber grosse Mühe bereiten. Je nach Randbedingungen sind die zwei Aspekte Reinigung und Reparatur in der Unterhaltsphase zu berücksichtigen. Allenfalls können zusätzliche Anforderungen aus der Inspizierbarkeit resultieren.

Bezüglich Reinigung sind die Verschmutzungssituation sowie die zum Einsatz gelangenden Reinigungsgeräte und Reinigungsmittel zu beachten. Bei mechanisch nicht beanspruchten Beschichtungen kann die Reinigung zur massgebenden Beanspruchung werden. Weiche Oberflächen ziehen den Schmutz an und sind relativ schwer zu reinigen.

Bei Bauteilen, die z.B. dem Anprall von Fahrzeugen ausgesetzt sind, ist damit zu rechnen, dass Oberflächenschutzschichten regelmässig repariert werden müssen. Diese Arbeiten sollten durch die vorhandenen Unterhaltsequipen ausgeführt werden können.

Verkleidungen sowie elektrisch isolierende Beschichtungen schränken die zukünftige Inspizierbarkeit eines Bauteils ein. Das Bauteil kann nicht mehr eingesehen werden, bzw. wird der Einsatz gewisser zerstörungsfreier Untersuchungen (z.B. Potentialmessung) eingeschränkt oder verunmöglicht.

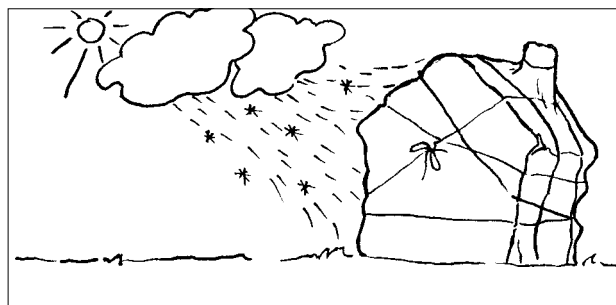


Bild 5.6
Den Schutzmassnahmen bei Instandsetzungen sind Grenzen gesetzt!

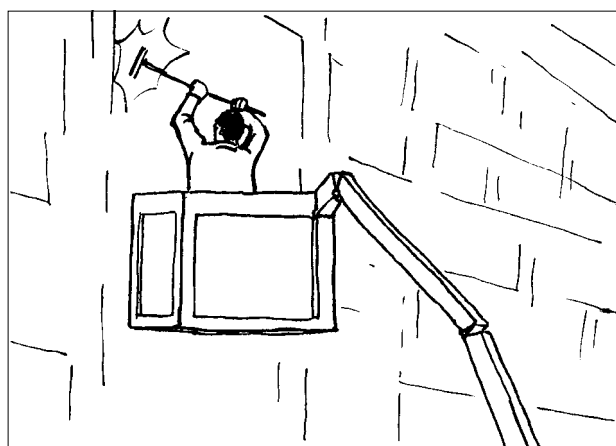


Bild 5.7
Die Anforderungen aus der Reinigung sind bereits bei der Projektierung zu beachten (auch bei Neubauten!)

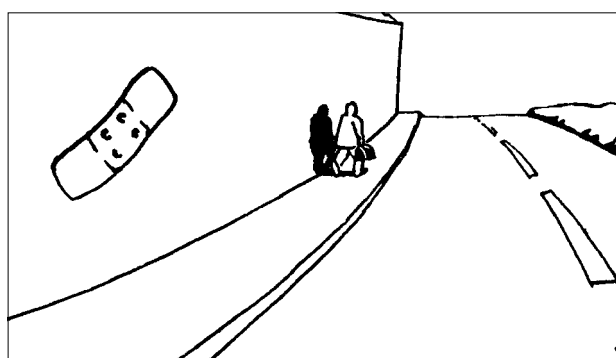


Bild 5.8
Oberflächenschutzschichten im Bereich von Verkehrsflächen sollten sich einfach reparieren lassen

5.3.4 Klimatische Randbedingungen

Unter klimatischen Randbedingungen werden in diesem Zusammenhang sämtliche aus der Atmosphäre resultierenden Einflüsse auf einen begrenzten Bereich eines Bauwerks oder Bauteils verstanden. Am selben Bauwerk oder sogar Bauteil sind demzufolge grosse Unterschiede möglich, die bei der Instandsetzung zu beachten sind. Auf die gesamte Problematik der klimatischen Randbedingungen kann nachfolgend nicht eingegangen werden. Die Ausführungen beschränken sich auf die wesentlichsten Punkte.

Temperatur und die Geschwindigkeit von Temperaturänderungen stellen für Oberflächenschichten (Betonersatzschichten bzw. Oberflächenschutzschichten) massgebende Beanspruchungen dar. Aus einer raschen Abkühlung durch einen Gewitterregen im Sommer resultieren die grössten Verbundspannungen zwischen einer Oberflächenschicht und dem Altbeton. Auch die Ausführung wird durch diese Randbedingungen beeinflusst (Nachbehandlung).

Die Sonneneinstrahlung (UV) ist neben der Alkalität des Zementsteines der massgebende Parameter für die Alterung zahlreicher Beschichtungstoffe. UV-empfindliche Beschichtungen können bei Sonneneinstrahlung nur beschränkt eingesetzt werden, resp. müssen mit zusätzlichen Massnahmen, z.B. Deckbeschichtung, geschützt werden. Solche Deckbeschichtungen müssen regelmässig erneuert werden.

Wie eingehend erläutert (vgl. Kapitel 2.1) kann die Bewehrungskorrosion nur unter gewissen Bedingungen ablaufen. Insbesondere ist eine minimale Leitfähigkeit des Betons erforderlich. Bei Beton in trockenen Innenräumen, zu dem keine Feuchtigkeit aus anderen Quellen (von Aussenwand, aus Fundament, etc.) zutreten kann, ist diese Voraussetzung in der Regel nicht erfüllt. Das Korrosionsrisiko ist deshalb gering (Ausnahmen: Nassräume, Kellerräume). Diese Tatsache kommt auch in Bild 5.12 Umweltklassen in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen zum Ausdruck. Diese Tabelle ist der als europäische Vornorm erschienenen Norm SIA V162.001, Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken [33] entnommen und bildet dort die Grundlage zur Festlegung der erforderlichen Mindestbetondeckung.

Dauerhaftigkeit des Verbundes zwischen Altbeton und Oberflächenschicht

Dauerhaftigkeit der Schutzwirkung einer Oberflächenschutzschicht

Korrosionsgeschwindigkeit

Zutritt von Schadstoffen

Bild 5.9
Durch die klimatischen Randbedingungen beeinflusste Parameter

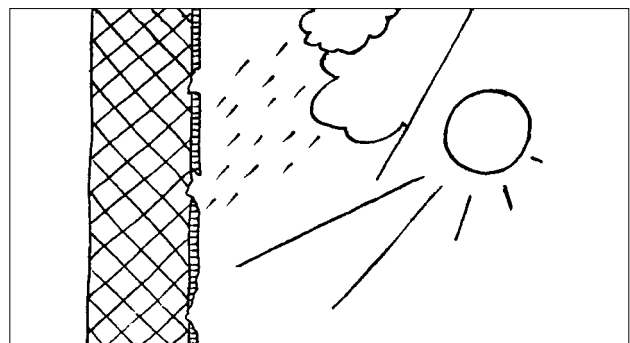


Bild 5.10
Extreme Verbundspannungen resultieren aus einem Schlagregen

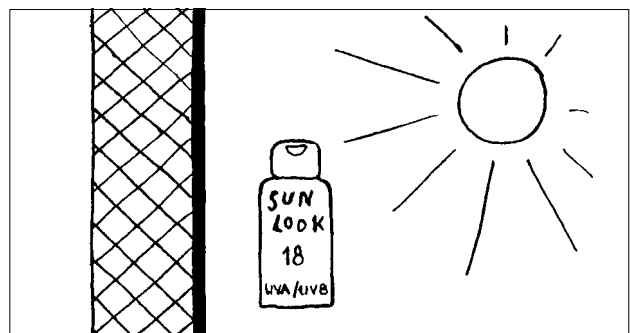


Bild 5.11
Organische Beschichtungstoffe altern beschleunigt unter UV-Strahlung

Umweltklassen		Beispiele für Umweltbedingungen
1 Trockene Umgebung		- Innenräume von Wohn- oder Bürogebäuden ¹⁾
2 Feuchte Umgebung	a ohne Frost	- Gebäudeinnenräume mit hoher Feuchte (z. B. Wäschereien) - Außenbauteile - Bauteile in nichtangreifendem Boden und/oder Wasser
	b mit Frost	- Außenbauteile, die Frost ausgesetzt sind - Bauteile in nichtangreifendem Boden und/oder Wasser, die Frost ausgesetzt sind - Innenbauteile bei hoher Luftfeuchte, die Frost ausgesetzt sind
3 Feuchte Umgebung mit Frost und Taumittel- einwirkung		- Außenbauteile, die Frost und Taumitteln ausgesetzt sind
4 Meerwasser- umgebung	a ohne Frost	- Bauteile im Spritzwasserbereich oder ins Meerwasser eintauchende Bauteile, bei denen eine Fläche der Luft ausgesetzt ist - Bauteile in salzgesättigter Luft (unmittelbarer Küstenbereich)
	b mit Frost	- Bauteile im Spritzwasserbereich oder ins Meerwasser eintauchende Bauteile, bei denen eine Fläche Luft und Frost ausgesetzt ist - Bauteile, die salzgesättigter Luft und Frost ausgesetzt sind
Die folgenden Klassen können einzeln oder in Kombination mit den oben genannten Klassen vorliegen:		
5 Chemisch angreifende Umgebung ²⁾	a	Schwach chemisch angreifende Umgebung (gasförmig, flüssig oder fest) Aggressive industrielle Atmosphäre
	b	Mäßig chemisch angreifende Umgebung (gasförmig, flüssig oder fest)
	c	Stark chemisch angreifende Umgebung (gasförmig, flüssig oder fest)
¹⁾ Diese Umweltklasse gilt nur dann, wenn das Bauwerk oder einige seiner Bauteile während der Bauausführung über einen längeren Zeitraum hinweg keinen schlechteren Bedingungen ausgesetzt wird. ²⁾ Chemisch angreifende Umgebungen werden in ISO DP 9690 klassifiziert. Folgende gleichwertige Umweltklassen können ebenfalls angegeben werden: Umweltklasse 5a : ISO-Klassifizierung A1G, A1L, A1S Umweltklasse 5b : ISO-Klassifizierung A2G, A2L, A2S Umweltklasse 5c : ISO-Klassifizierung A3G, A3L, A3S		

Bild 5.12
Umweltklassen in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen [33]

Bei der Beurteilung der Gefährdung eines Bauteils ist dem zukünftigen Zutritt von Schadstoffen, insbesondere von Chloriden zusammen mit Feuchtigkeit, Rechnung zu tragen. In SIA V162.001 wird für die Umweltklasse 3, feuchte Umgebung mit Frost und Taumittleinwirkung, die gleiche Betondeckung gefordert wie für die Umweltklasse 4 (Meerwasserumgebung). Bei der Beurteilung der Exposition gegenüber Taumitteln, insbesondere Tausalz, ist die vorherrschende Beaufschlagung des Bauteils sowie die Verweilzeit zu berücksichtigen. Die Angriffszonen werden üblicherweise in Kontaktwasser-, Spritzwasser- und Sprühnebelbereich unterteilt (Bilder 5.13 und 5.14). Die Höhe des Spritzwasserbereiches beträgt im Bereich von Verkehrsflächen rund 1.5 bis 2.0 m ab der Fahrbahn gemessen. Eine Beurteilung kann im Einzelfall durch Beobachtungen während Niederschlägen am Objekt erfolgen.

Kontaktwasserbereich

Beton steht direkt mit der Salzlösung in Berührung. Es kann noch unterschieden werden, ob die Lösung zeitweilig oder ständig und ob sie unter normalem oder unter Überdruck einwirkt.

Spritzwasserbereich

Beton kommt nur zeitweilig mit der Lösung in Berührung, z.B. wenn Tauwasser oder Schneematsch durch vorbeifahrende Fahrzeuge zur Seite gespritzt wird.

Sprühnebelbereich

Beton kommt nur mit geringen Mengen der Salzlösung in Kontakt. Durch gelegentliche Kondenswasserbildung ist jedoch die Möglichkeit einer Anreicherung und eines Eindringens vorhanden.

Bild 5.13

Definition der Angriffszonen bei Chlorideinwirkung (vgl. Bild 5.14)

Es hat sich gezeigt, dass vor Niederschlägen geschützte, aber durch Chloride beaufschlagte Betonflächen (z.B. in Tunnels, in Galerien) stärker gefährdet sind. Dies wird auf das stärkere und tiefere Austrocknen dieser Bereiche und das damit verbundene, erhöhte Aufsaugvermögen zurückgeführt. Eine weitere Erklärung könnte die fehlende Abwaschung und Auswaschung der Chloride durch natürliche Niederschläge sein. In Anlehnung an die Richtlinien zur Anwendung von epoxidharzbeschichteten Betonstählen des ASB [2] können die Gefährdungskategorien auch gemäss Bild 5.15 definiert werden.

Neben der Chlorideinwirkung ist die Einwirkung von Kohlendioxid eine häufige Ursache für Betonschäden. Die Auslösung der Bewehrungskorrosion kann durch die Karbonatisierung des Überdeckungsbetons erfolgen. Der Fortschritt der Karbonatisierung ist in einem Bereich der Luftfeuchtigkeit zwischen 50 und 70% am grössten. Bei hoher Luftfeuchtigkeit ist die Durchlässigkeit des Betons für CO_2 reduziert, bei tieferer Luftfeuchtigkeit wird die Karbonatisierungsreaktion durch die fehlende Feuchtigkeit gehemmt.

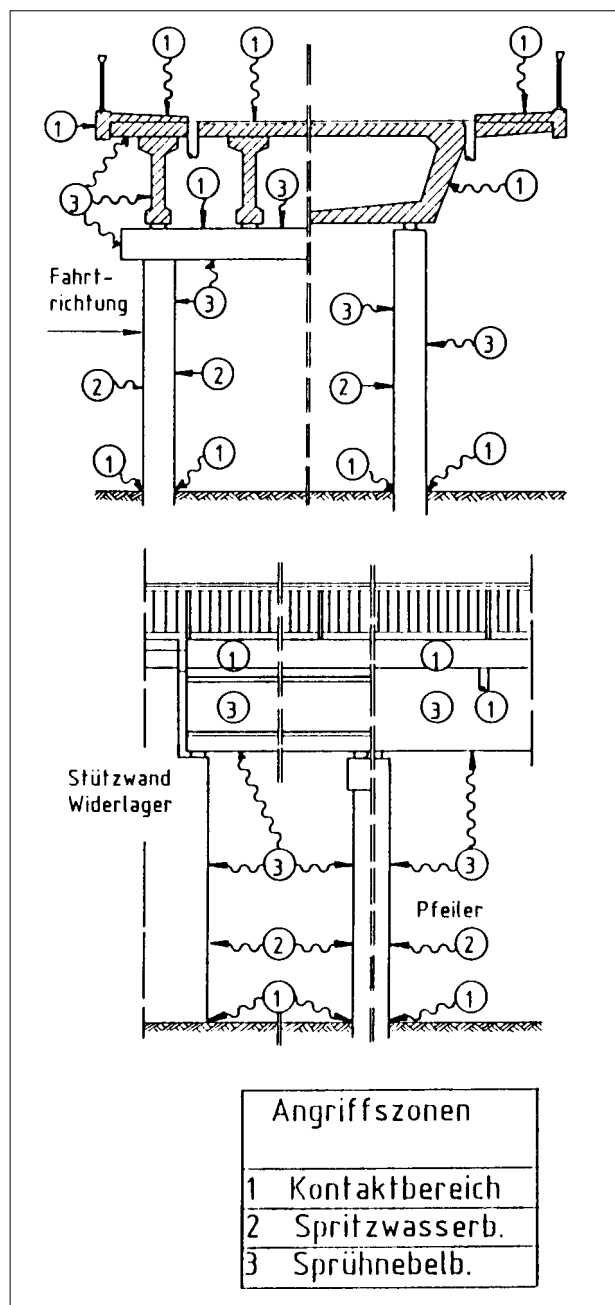
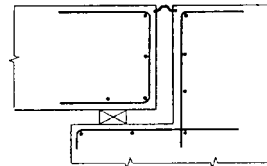


Bild 5.14
Angriffszonen bei Chlorideinwirkung am Beispiel eines Brückenbauwerks (vgl. auch Bild 5.13) [20]

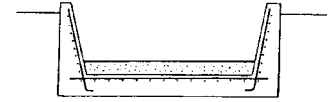
Gefährdungskategorie I

Oberflächen in direktem Kontakt mit Salzwasser

- Bereiche unterhalb von Fahrbahnübergängen bei Gerbergelenken
- Brückenenden
- Oberseiten von Bodenplatten (z.B. bei Wannen, Unterführungen, Tagbautunnels, Brücken)



Brückenende

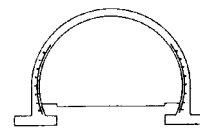


Wanne

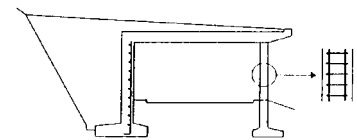
Gefährdungskategorie II

Bauteile die dem Spritzwasser ausgesetzt sind und nicht beregnet werden (bis auf eine Höhe von ca. 1.5–2.0 m)

- Brückenpfeiler und Widerlager im Strassenbereich
- Seitenteile bei Tunnelwänden, Galleriewände und -pfeiler, Wände einer Unterführung



Tunnelwand

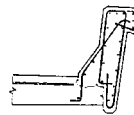


Galeriewand/-Pfeiler

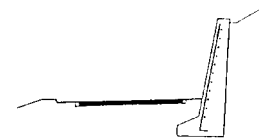
Gefährdungskategorie III

Bauteile die dem Spritzwasser ausgesetzt sind und beregnet werden

- Leiteinrichtungen (z.B. Randabschlüsse und Brüstungsmauern bei Brücken)
- Stützmauern entlang von Strassen
- Seitenwände von Trogbriicken



Brüstungsmauer

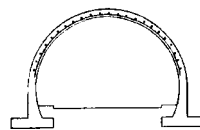


Stützmauer

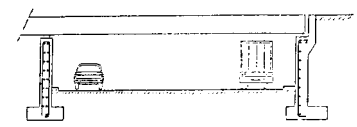
Gefährdungskategorie IV

Bauteile die im Sprühnebelbereich liegen (ab einer Höhe von ca. 1.5–2.0 m)

- Seitenteile
- Untersichten und Gewölbeteile



Tunnelgewölbe



Brückenuntersicht

Bild 5.15

Gefährdungskategorien für die Bewehrung von Bauwerken an Verkehrsflächen

(Die Gefährdung ist bei der Kategorie I am grössten, bei der Kategorie IV am kleinsten.) [2]

5.3.5 Bauwerk

Wichtige Randbedingungen, die bei der Wahl der Instandsetzungslösung zu berücksichtigen sind, ergeben sich aus dem Bauwerk selbst. Nach der Instandsetzung muss das Bauwerk in der Regel die gestellten Anforderungen weiterhin erfüllen. Diese Anforderungen können unter den Begriffen Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zusammengefasst werden. Diese Anforderungen sind im Nutzungsplan zusammengefasst. Zusätzlich haben aber auch die geometrischen Verhältnisse des Bauwerks einen Einfluss. Die Lebensdauer der Instandsetzungsmassnahmen ist auf die Restnutzungsdauer des Bauwerks bzw. der Bauteile abzustimmen.

Die Tragsicherheit des Bauwerks darf durch die Instandsetzung nicht massgeblich eingeschränkt werden. Auch während der Ausführung muss die Tragfähigkeit jederzeit – allenfalls mit Hilfe von temporären Sicherungsmassnahmen – gewährleistet sein. Grundlage für die Berechnung der Tragsicherheit sind die Norm SIA 162 [32] sowie die Empfehlung SIA 462 [37] (in Vorbereitung).

Der unbehandelte Beton ist durchlässig sowohl für Gase wie auch für Wasserdampf. Viele Instandsetzungsmassnahmen beeinflussen die Wasserdampf- und Gasdurchlässigkeit des Betons. In Abhängigkeit von den lokalen Randbedingungen kann dadurch die Instandsetzungsmassnahme selbst oder die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks gefährdet werden. Diese bauphysikalischen Prozesse sind deshalb bei der Projektierung zu beachten.

Die geometrischen Verhältnisse des Bauwerks können die Ausführung einer Instandsetzungsmassnahme stark erschweren. Grosse, ebene Flächen eignen sich gut für Abtrags-, Reprofilier- und Beschichtungsverfahren, währenddem bei feingliedrigen Bauteilen andere Verfahren Vorteile bieten.

Besondere ästhetische Anforderungen – z.B. Sichtbetonstrukturen, farbliche Gestaltung der Betonoberfläche – können die Möglichkeiten für die Instandsetzung sehr stark einschränken.

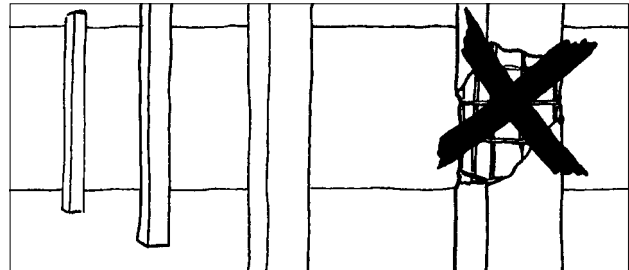


Bild 5.16
Tragsicherheit muss jederzeit gewährleistet sein

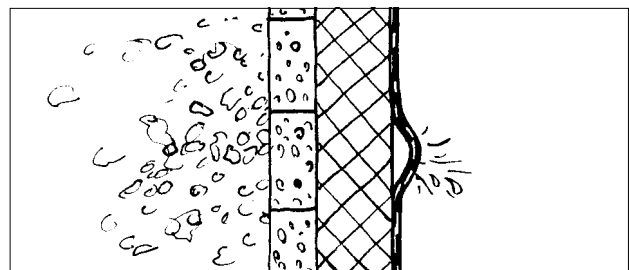


Bild 5.17
Die bauphysikalischen Auswirkungen der Instandsetzungsmassnahmen müssen überprüft werden

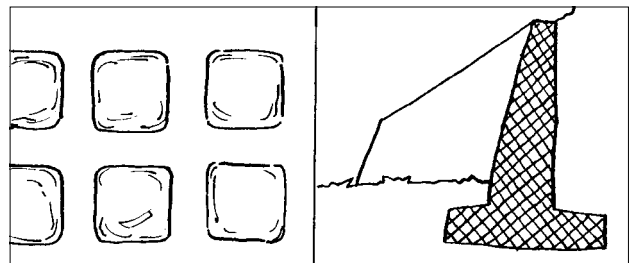


Bild 5.18
Die geometrischen Verhältnisse beeinflussen die Wahl der Instandsetzungsmassnahme

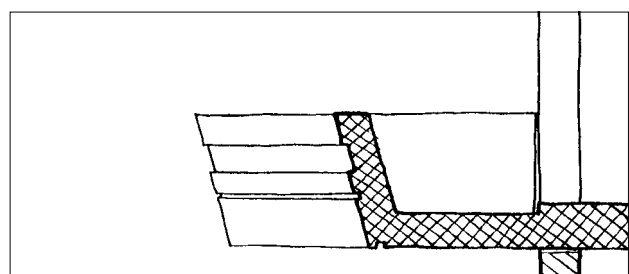


Bild 5.19
Besondere Anforderungen – z.B. ästhetische – an das Bauwerk können die Instandsetzungsmöglichkeiten stark einschränken

5.4 Instandsetzungsziel

Vor Beginn der Planung einer Instandsetzung müssen sich der Bauherr und der beauftragte Ingenieur und/oder Architekt über die Ziele der Instandsetzung verständigen (Bilder 5.20 und 5.21). Dabei ist es zweckmässig, wenn eine Nutzungsdauer festgelegt wird, während der ein Bauwerk ohne tiefgreifende, weitere Instandsetzungen benutzt werden kann (Art. 7.3 SIA 169, Entwurf 1993). Dem Bauherr muss aber auch bewusst sein, dass, insbesondere bei fortgeschrittener Schädigung des Bauwerks, nach einer Instandsetzung kaum je ein Neuzustand und eine damit vergleichbare Restnutzungsdauer erreicht werden kann.

Es ist durchaus möglich und in gewissen Fällen auch zweckmässig, mit einer – evtl. vorläufigen – Instandsetzungsmassnahme die Schadensentwicklung nicht vollständig zu stoppen, sondern nur zu verlangsamen, und damit Zeit für eine umfassendere Instandsetzung zu gewinnen, bzw. die Restnutzungsdauer bis zu einem Ersatz des Bauwerks oder Bauteils zu verlängern.

Im Rahmen der Projektierung sind die vorhandenen Schadensursachen (z.B. undichte Entwässerungsleitungen, Risse, undichte Abdichtungen, etc.) wenn immer möglich zu beheben, damit das instandgesetzte Bauwerk oder Bauteil nicht weiterhin den schädlichen Einwirkungen ausgesetzt ist. Kann eine Schadensursache nicht ausgeschaltet werden, muss der Schutz direkt am Bauteil vorgesehen werden (z.B. Oberflächenschutz).



Bild 5.20
Klarheit über das Instandsetzungsziel ist eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg

Schadensursachen beseitigen

Schadensentwicklung verlangsamen

Schadensentwicklung stoppen

Schaden beheben

Bauteil schützen

Bild 5.21
Unterschiedliche Zielsetzungen führen zu verschiedenen Massnahmen

5.5 Wahl der Verfahren und Systeme

5.5.1 Analyse

Sobald die erforderlichen Grundlagen beschafft und auf ihre Vollständigkeit und Zuverlässigkeit überprüft sind, können die ersten Schritte zur Evaluation der Instandsetzung in Angriff genommen werden (Bild 5.25).

Zuerst sollte sich der projektierende Ingenieur eingehend mit der Analyse des Schadenbildes und des Schadenausmasses befassen, die vorherrschenden Mechanismen müssen verstanden, die Schadenursachen müssen ermittelt werden.

5.5.2 Erforderliche Instandsetzungsschritte

Die erforderlichen Instandsetzungsschritte können nach der Feststellung des Schadenausmasses, der Schadenmechanismen sowie der Schadenursachen ermittelt werden. Zusätzlich muss die Zielsetzung für die Instandsetzung mitberücksichtigt werden.

Es ist zweckmässig, ausgehend von der Massnahme mit dem kleinsten Eingriff, zu überprüfen, ob das Instandsetzungsziel erreicht wird, oder ob weitere Instandsetzungsschritte in Betracht gezogen werden müssen (vgl. Ablaufdiagramm in Bild 5.25).

Schadenursachen beheben

Insbesondere wenn eine Schädigung des Betons frühzeitig erkannt wird, ist es möglich durch Behebung der Schadenursache die geforderte Dauerhaftigkeit wieder herzustellen. Die Schadenursache muss, wenn immer möglich, auch in den Fällen, wo dies nicht allein zum Ziel führt, behoben werden. In zahlreichen Fällen, z.B. Bauwerke im Bereich von Verkehrsflächen oder Fassaden, können die Schadenursachen jedoch nur ungenügend bekämpft werden.

Oberflächenschutz

Die nächst intensivere Massnahme nach der Behebung der Schadenursache ist das Aufbringen eines Schutzes auf der Betonoberfläche. Je nach dem gewählten Schutzsystem kann damit der Zutritt von weiteren Schadstoffen unterbunden und/oder der Korrosionsprozess beeinflusst und damit die Schadenentwicklung verlangsamt oder gestoppt werden. Sofern die Schädigung noch nicht

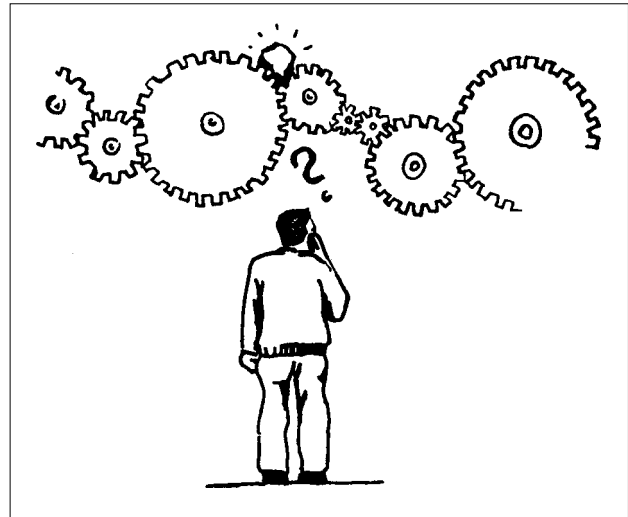


Bild 5.22

Aufgrund einer Analyse der Grundlagen müssen Schadenausmass, Schadenmechanismus und Schadenursachen ermittelt werden

- **Schadenursache beseitigen**
- **Oberflächenschutz**
- **Abtrag- und Betonersatz, Alternatives Verfahren**
- **Weitere Massnahmen: z.B. Risse abdichten**

Bild 5.23

Instandsetzungsschritte

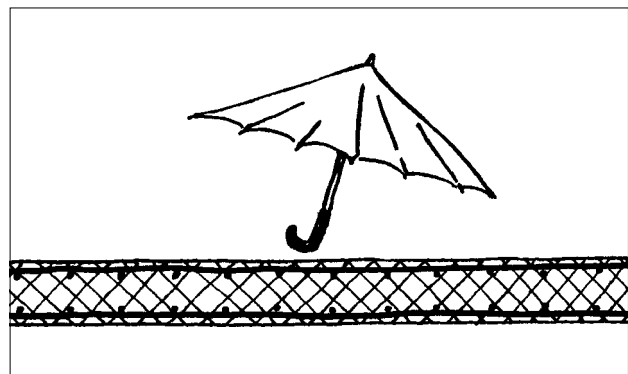


Bild 5.24

Oberflächenschutz

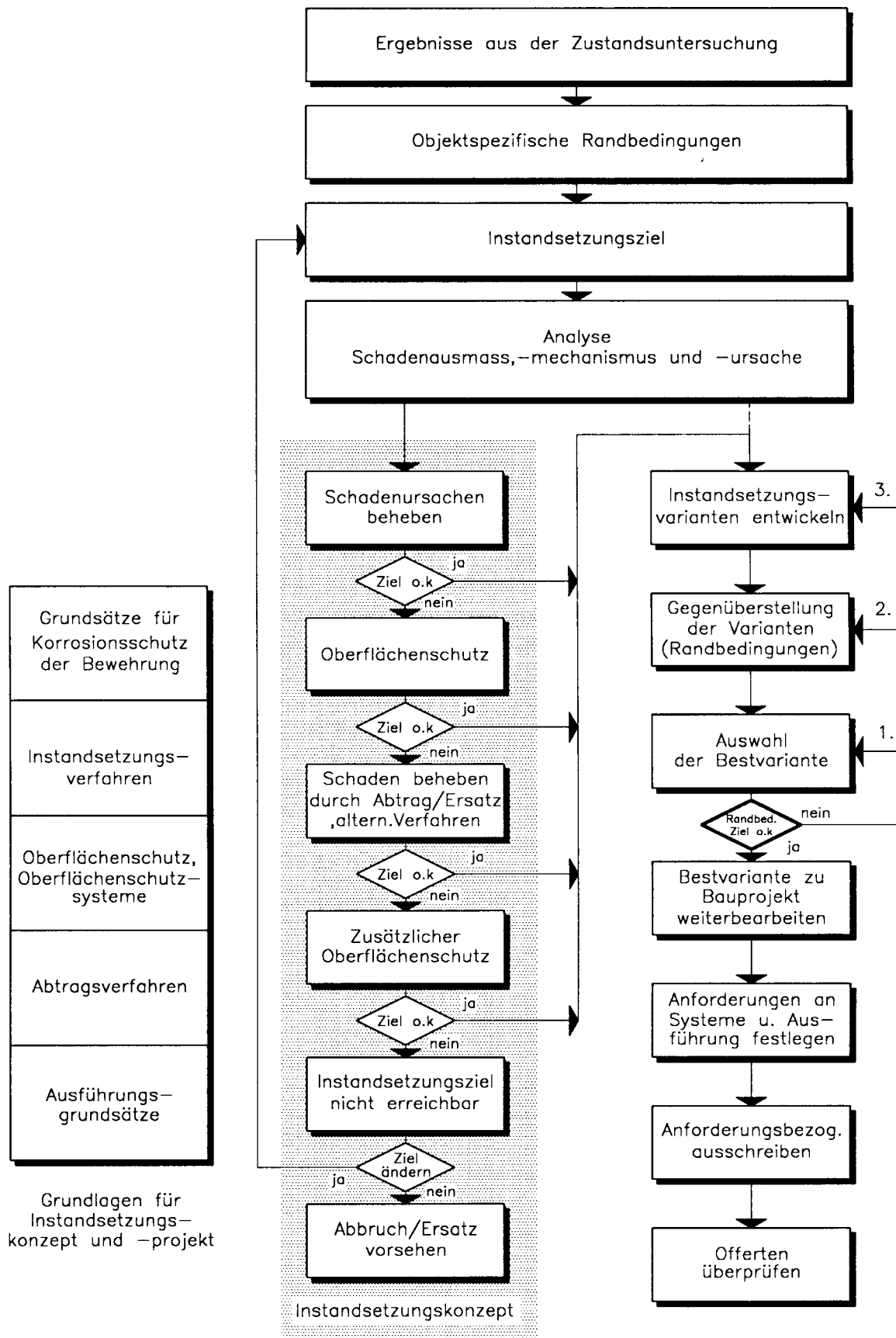


Bild 5.25
Ablaufschema für die Entwicklung, Auswahl und Umsetzung der Instandsetzungslösungen

fortgeschritten ist, kann mit dieser Massnahme das Instandsetzungsziel allenfalls erreicht werden.

Die Wahl des optimalen Oberflächenschutzes und die erzielbare Wirkung kann unter Verwendung der Systematik gemäss der RiLi DAfStB [6] erfolgen. Eine weitere Hilfe können die in den Bilder 5.26 und 5.27 zusammengestellten Angaben über die Wirkung, den Einsatzbereich und die Eigenschaften der Oberflächenschutzsysteme bieten. Die Tabellen wurden unter Verwendung der Angaben der RiLi DAfStB [6] entwickelt.

RiLi DAfStB ¹⁾ ZTV-SiB 90, BMV ²⁾	OS 1 OS-A Hydrophobier.	OS 2 OS-B Versiegelung	OS 4 OS-C Beschichtung	OS 5 OS-D Beschichtung mit Rissüberbrückung gering ³⁾	OS 9 OS-E erhöht ⁴⁾
Angestrebte Wirkung					
Verhinderung der Wasseraufnahme	X	X	XX	XX	XX
Verhinderung der Karbonatisierung		X	XX	XX	XX
Verhinderung der Chlorideindringung		X	X	XX	XX
Rissüberbrückung				X	XX
Farbliche Oberflächen- gestaltung		XX	XX	XX	XX

- 1) Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, 1990, DAfStB [6]
 - 2) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, 1990, Der Bundesminister für Verkehr [4]
 - 3) Vorhandene und nachträglich entstehende oberflächennahe Risse, Rissbreite max. 0.15 mm, Bewegungen unter Temperaturbeanspruchung bis 0.05 mm
 - 4) Vorhandene und nachträglich entstehende oberflächennahe Risse und/oder Trennrissen, Rissbreite max. 0.3 mm, Bewegungen unter Temperaturbeanspruchung bis 0.2 mm
- X Gute Wirkung
XX Sehr gute Wirkung
 Vorwiegend genutzte Wirkung

Bild 5.26

Angestrebte Wirkung der Oberflächenschutzsysteme für nicht befahrbare Oberflächen

Anwendungsbereich	für nicht befahrbare Flächen					für befahrbare Flächen					unter Deck- schichten	
Oberflächenschutzsystem OS Nr.	1	2	4	5	9	3	6	8 ¹⁾	11	12	7	10
Geforderte und nachzuweisende, quantifizierte Eigenschaften:												
Reduktion der Wasseraufnahme	(++)	++	++	++	+++		+++				+++	+++
Reduktion der Wasserdampf- diffusion			++	++								
Reduktion der Aufnahme von in Wasser gelösten Schadstoffen		++	++	++	+++		+++	+++	+++		+++	+++
Reduktion der Kohlendioxid- diffusion		++	+++	+++								
Verbesserung des Frost- und Frosttauszugwiderstand	(++)						++		++	++		
Rissüberbrückung				+	+++				+++			+++
Verfestigung Untergrund						++						
Verbesserung des Verschleiss- widerstandes						+		++		++		
Verbesserung der Griffbarkeit									++			
Verbesserung der Chemikalien- beständigkeit							++	++	++			
Hitzebeständigkeit												++ ²⁾
Sonstige den Stoffen bzw. Systemen immanente Eigenschaften:												
Reduktion der Wasseraufnahme						++		+++	+++			
Reduktion der Wasserdampf- diffusion	o				++	++	ggf ++	+++	ggf ++	+++	++	++
Reduktion der Aufnahme von in Wasser gelösten Schadstoffen	(++)					++	++			+++		
Reduktion der Kohlenstoffdioxid- diffusion					+++	++	++	+++	+++	+++	++	+++
Erhöhung des Karbonatisie- rungsfortschrittes	+											
Verbesserung des Frostwider- standes		++	++	++	++							
Beeinflussungsmöglichkeit der optischen Wirkung und farblichen Gestaltung		+										
Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbildes	o					+						
Staubbindung						++						
Verbesserung der Chemikalien- beständigkeit										++		
Verbesserung der Griffbarkeit										++		
Schubübertragung												++

o keine Veränderung

+ Wirkung vorhanden

++ starke Wirkung vorhanden

+++ sehr starke Wirkung vorhanden (Verhinderung)

() Wirkung zeitlich stärker begrenzt als bei anderen Systemen

1) zusätzliche Eigenschaften je nach Anforderungen

2) kurzfristig bis 250 °C

Bild 5.27

Eigenschaften der Oberflächenschutzsysteme gemäss RiLi DAFStB [6] (vgl. auch Bilder 4.17a bis 4.17c)

Betonabtrag/Betonersatz, alternative Verfahren (Schaden beheben)

In vielen Fällen ist die Schädigung bereits so weit fortgeschritten, dass Oberflächenschutzmassnahmen sowie die Behebung der Schadensursache allein nicht mehr zum Ziel führen. In diesen Fällen muss ein Teil des Betons entfernt und ersetzt werden, oder der Beton bzw. die Bewehrung muss mit anderen Massnahmen in einen Zustand versetzt werden, der eine Weiterentwicklung der Schädigung verhindert. Als alternative Massnahmen zum Betonabtrag und -ersatz können der kathodische Korrosionsschutz KKS, die elektrochemische Chloridentfernung ECE, die elektrochemische Realkalisierung ER oder Inhibitoren zur Anwendung gelangen. Diese alternativen Verfahren weisen gegenüber dem traditionellen Verfahren den Vorteil auf, dass noch intakte Bereiche des Betons am Bauwerk belassen werden können und nicht durch eine – in den meisten Fällen schwächere Reprofilierung (Schwachstelle: Verbund Reprofilierung – Altbeton) – ersetzt werden müssen. Weitere Vor- und Nachteile müssen im Einzelfall untersucht werden.

Ist die Bewehrung bereits so stark geschädigt, dass die Tragsicherheit des Bauwerks beeinträchtigt ist, muss die Bewehrung ersetzt oder eine andere Verstärkung vorgenommen werden.

Zusätzlicher Oberflächenschutz

In vielen Fällen muss die Betonoberfläche auch nach der Behebung der Schädigung durch Betonabtrag und -ersatz noch zusätzlich geschützt werden, damit langfristig nicht eine neue Schädigung eintritt.

Weitere Massnahmen

Zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit der Instandsetzung und damit zur Erreichung des Instandsetzungszieles sind von Fall zu Fall weitere Massnahmen erforderlich, wie z.B. das Abdichten von wasserführenden oder nicht wasserführenden Rissen, die Behebung lokaler Abplatzungen, die Behebung von Abblättern aus Frostaussalzeinwirkung, das Verschliessen einer porösen Betonoberfläche, etc. Auf diese Massnahmen wird hier nicht weiter eingegangen (vgl. z.B. Rili DAfStB [6] Teil 2, Füllen von Rissen).

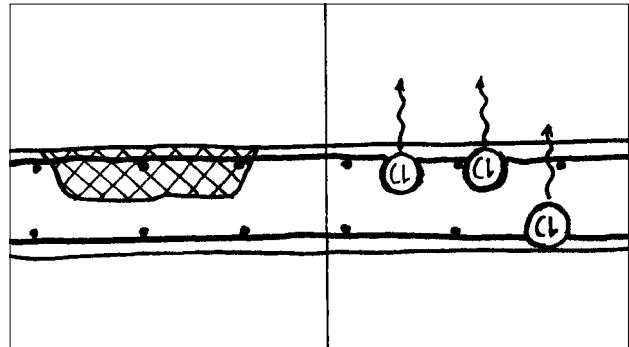


Bild 5.28
Betonabtrag und -ersatz, alternative Verfahren

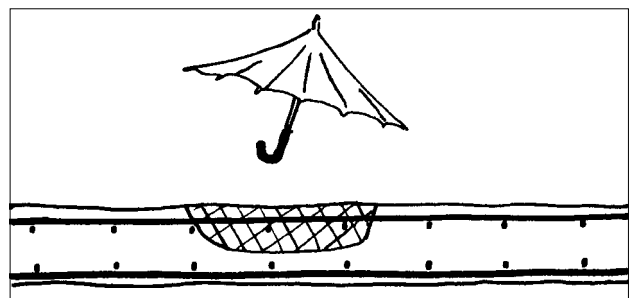


Bild 5.29
zusätzlicher Oberflächenschutz

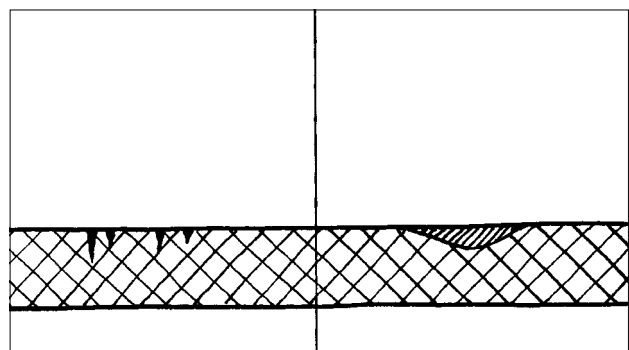


Bild 5.30
Weitere Massnahmen

5.5.3 Instandsetzungsvarianten

Wenn entsprechend den Überlegungen im vorangehenden Kapitel die notwendigen Instandsetzungsschritte festgelegt sind, müssen in der Regel für diese konzeptionelle Grundlösung Lösungsvarianten entwickelt werden. Diese Lösungsvarianten unterscheiden sich z.B. bezüglich des angewendeten Instandsetzungsprinzips bzw. des gewählten Verfahrens zur Eliminierung der vorhandenen Schädigung des Betons (Betonabtrag/-ersatz oder alternative Verfahren), des Betonabtragsverfahrens oder verschiedener Komfortstufen des Oberflächenschutzsystemes. Ein Beispiel einer Übersichtsdarstellung von Lösungsvarianten für ein spezifisches Instandsetzungsproblem ist in Bild 5.31 dargestellt.

Bild 5.31

Beispiel von Instandsetzungsvarianten mit dem entsprechenden Arbeitsablauf (vgl. auch Bild 5.32)

Instandsetzungsvariante	1a*	1b**	2a*	2b**	3a*	3b**	4
Arbeitsablauf	Kunststoffmod. Mörtel/Dick- beschichtung		Spritzmörtel- verschleiss-schicht/ Dünnbesch.		Mörtel/ Keramikplatten geklebt		KKS/Dünnbesch. bzw. Keramikplatten
Untergrundvorbehandlung							
Abtrag des best. Anstriches	x	x	x	x	x	x	x
Betonabtrag	x	(x) ²⁾	x	(x) ²⁾	x	(x) ²⁾	(x) ²⁾
Entsalzung ¹⁾		x		x		x	
Wo nötig Stahl entrostet	x		x		x		
Wasserführende Risse abdichten	x	x	x	x	x	x	x
Betonersatz							
Sandstrahlen			x	x			
Haftbrücke	(x)	(x)			(x)	(x)	
Reprofilierung (inkl. zus. B.überd.)	x		x		x		
Aufdoppelung		x		x		x	
Schutzbeschichtung							
Poren-/Lunkerspachtelung	(x)	(x)			x ³⁾	x ³⁾	x ⁴⁾
Spachtelung (Beschichtung)	x	x					
(Grundierung)	(x)	(x)					
Anstrich	x	x	x	x			

* Instandsetzungsvarianten mit Betonabtrag/Reprofilierung

** Instandsetzungsvarianten mit elektrochemischer Entsalzung

1) Wo der Chloridgehalt im Beton bzw. beim Bewehrungsstahl den kritischen Wert überschreitet, muss der chloridkontaminierte Beton abgetragen oder die Chloride auf elektrochemischem Wege entfernt werden

2) Abplatzungen und lose Stellen müssen ausgebessert werden

3) Keramikplatten

4) Montage KKS-System (Anode einspritzen mit ca. 3 cm Spritzmörtel, anschliessend Dünnbeschichtung (Anstrich) bzw. Verkleidung mit Keramikplatten)

Die entwickelten Lösungen werden sich jedoch in verschiedenen Punkten unterscheiden sowie in dem einen oder anderen Punkt spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Die Gegenüberstellung der Instandsetzungsvarianten kann beispielsweise wie in Bild 5.32 in einer Tabelle zusammengefasst werden.

Bild 5.32

Beispiel einer Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile der Instandsetzungsvarianten mit Bewertung der verschiedenen Beurteilungskriterien (gleiches Beispiel wie Bild 5.31)

Instandsetzungsvariante	1a*	1b**	2a*	2b**	3a*	3b**	4a	4b
Beurteilungskriterien	Kunststoffmod. Mörtel/ Dickbeschichtung		Spritzmörtelverschleiss- schicht/Dünnbeschichtung	Spritzmörtelverschleiss- schicht/Dünnbeschichtung	Mörtel / Keramikplatten geklebt		KKS / Dünnbeschichtung	KKS / Keramikplatten
Ausführung								
Rissüberbrückung	++	++	+	+	++	++	+	++
Aussparungen (Anpassungsmöglichkeit)	++	++	++	++	+	+	++	+
Ausführungsrisiko	0	-	0	-	+	0	+	+
Anforderungen an den Untergrund	+	+	+	+	+	+	+	+
Eingriff in die best. Bausubstanz	-	+	-	+	-	+	++	++
Umweltverträglichkeit	+	+	+	+	+	+	+	+
Kosten	+	0	++	+	+	0	+	0
Summe	6	6	6	6	6	6	9	8
Betrieb/Unterhalt								
Wartungsarbeiten	0		0		0		-	-
Reinigungsmöglichkeit	+		+		++		+	++
Reparaturanfälligkeit	+		+		++		+	++
Reparaturaufwand	++		++		+		++	+
Summe	4		4		5		3	4
Dauerhaftigkeit/Überwachung								
Alterung/Lebensdauer	+	+	0	0	++	++	++	++
Restrisiko für Korrosion	0	+	-	0	0	+	++	++
Bauwerksinspektion	+	+	+	+	-	-	++	++
Verhalten des Bauwerks (bauphys.)	+	+	+	+	0	0	+	0
Summe	3	4	1	2	1	2	7	6
Total	13	14	11	12	12	13	19	18

Erfahrungen/Referenzen	einige	viele	wenige	wenige
------------------------	--------	-------	--------	--------

* Instandsetzungsvarianten mit Betonabtrag/Reprofilierung

** Instandsetzungsvarianten mit elektrochemischer Entsalzung

Bewertung: ++ günstig + mittel 0 neutral - ungünstig

5.5.4 Wahl der Bestvariante

Nach der Gegenüberstellung der verschiedenen Instandsetzungsvarianten muss unter Berücksichtigung sämtlicher Randbedingungen inkl. Kosten, Termine, etc. eine Bestvariante ausgewählt und zur Ausführung empfohlen werden. Oft ist es sinnvoll, mehrere technisch vertretbare Varianten bis zur Ausschreibung weiterzuverfolgen und erst aufgrund der eingegangenen Offerten definitiv zu entscheiden.

Es empfiehlt sich, die Bestvariante nochmals bezüglich der Erfüllung der vorgegebenen Randbedingungen sowie des Instandsetzungszieles zu überprüfen, bevor in der gewählten Richtung die Vorbereitung der Ausführung weitergetrieben wird.

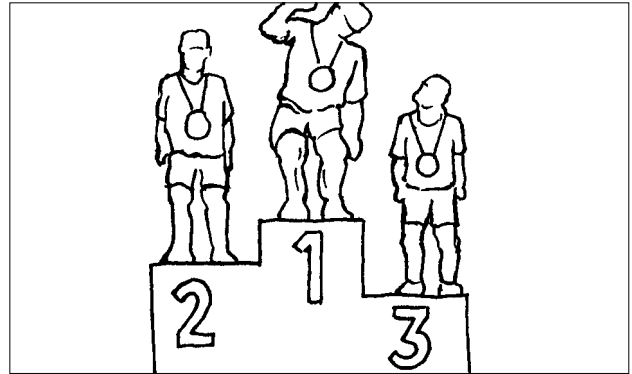


Bild 5.33
Auswahl der Bestvariante oder Bestvarianten

5.6 Produktewahl

5.6.1 Einleitung

Spätestens bis zum Zeitpunkt der Ausführung müssen für die gewählte Instandsetzungsvariante konkrete Produkte gewählt werden. Meist stehen mehrere Produkte und verschiedene Lieferanten zur Auswahl. Die zur Wahl stehenden Produkte weisen Unterschiede bezüglich ihrer Eigenschaften, der Kosten, der technischen Unterstützung etc. auf. Zusätzlich arbeiten die einen Bauunternehmer eher mit dem einen, andere mit dem anderen Lieferanten zusammen.

Aus diesem Grund – der Wettbewerb zwischen den verschiedenen Unternehmern wird dadurch am wenigsten eingeschränkt – sollte die Produktewahl dem anbietenden Unternehmer überlassen, also eine anforderungsorientierte Ausschreibung durchgeführt werden. Es gibt aber auch Gründe (z.B. durchgeführte Vorversuche, gute Erfahrungen mit einem spezifischen Produkt, etc.), die zu einer Vorgabe des Produktes bei der Ausschreibung der Ausführungsarbeiten führen können.

Generell ist darauf zu achten, dass die zur Anwendung gelangenden Produkte einander nicht negativ beeinflussen, sondern aufeinander abgestimmt sind (Bild 5.34). Am besten wird ein als Gesamtsystem angebotenes Produktesortiment eingesetzt. Die Produkte sollten sowohl als Einzelprodukte wie auch als Gesamtsystem bezüglich der relevanten Eigenschaften geprüft sein (Bild 5.35) und einer Überwachung seitens des Herstellers und Produktlieferanten, allenfalls zusätzlich einer Fremdüberwachung, unterzogen werden. In der Schweiz hergestellte Produkte sind oft durch die EMPA oder private Prüfinstitute geprüft. Diese Prüfinstitute haben spezifische Prüfverfahren und Anforderungen an Betonerersatz- und Oberflächenschutzsysteme entwickelt. In Deutschland hergestellte Produkte werden heute gemäss den seit 1990 bestehenden Richtlinien nach ZTV-SIB [4] oder RiLi DAfStB [6] geprüft. Mit den in diesen Regelwerken vorgesehenen, teilweise neu eingeführten Prüfungen und Anforderungen sind bis heute erst beschränkte Erfahrungen vorhanden. Dies ist mit ein Grund, weshalb diese Prüfungen noch keine weitere Verbreitung gefunden haben.

Eine allgemein gültige Empfehlung, welche der beiden Ausschreibungstypen gewählt werden soll, ist nicht möglich. Die Wahl hängt stark von

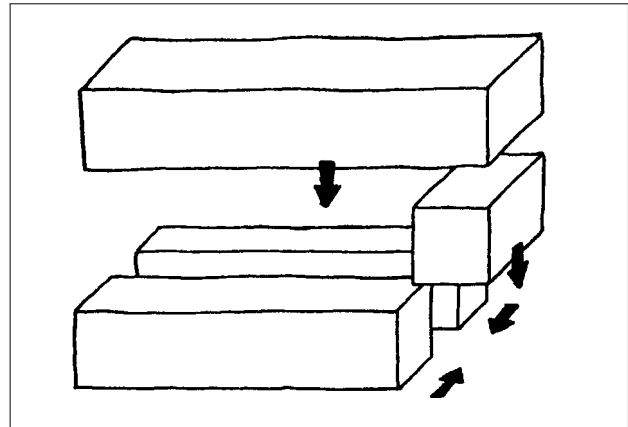


Bild 5.34
Die angewendeten Produkte müssen aufeinander abgestimmt sein

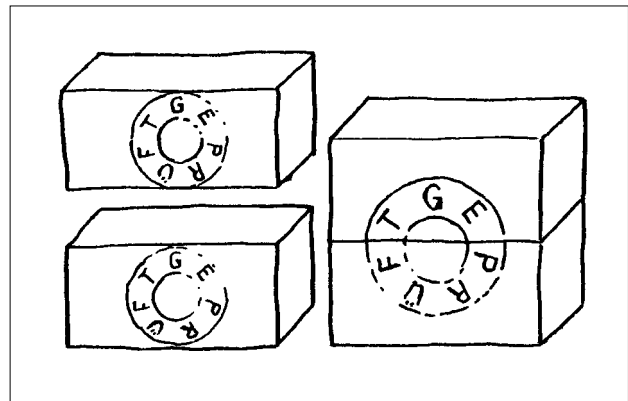


Bild 5.35
Die Produkte müssen als Einzelprodukte wie auch als Gesamtsystem die gestellten Anforderungen erfüllen

den spezifischen Randbedingungen ab. Generell kann höchstens gesagt werden, dass grössere Arbeiten, die auch eher einen entsprechenden Überwachungs- und Prüfaufwand zulassen, wenn immer möglich anforderungsorientiert ausgeschrieben werden sollten.

5.6.2 Anforderungsorientierte Ausschreibung

Als Normalfall sind bei der Ausschreibung von Instandsetzungsarbeiten die an die Instandsetzungslösung gestellten Anforderungen sowie die massgebenden Randbedingungen zu definieren. Die zu erreichenden Anforderungen sind zu quantifizieren, so dass eine Überwachung der Ausführungsarbeiten möglich ist. Die vorgesehenen Prüfungen sind bereits in der Ausschreibung inkl. den vorgesehenen Prüfindervallen, den zu erreichenden Grenzwerten sowie dem Verfahren bei «Nicht-Erfüllen» zu spezifizieren. In Ausnahmefällen kann ein Vorschlag für ein Prüfprogramm vom anbietenden Unternehmer verlangt werden. In jedem Fall muss vom Unternehmer auf Verlangen die Nachlieferung von Prüfattesten für die Einzelprodukte wie auch das Gesamtsystem vorgesehen werden.

Bei der Auswertung der eingegangenen Offerten sind die vorgeschlagenen Produkte bezüglich der Erfüllung der Anforderungen zu überprüfen. Nötigenfalls müssen vom Unternehmer die Prüfatteste einverlangt oder allenfalls entsprechende Nachprüfungen verlangt werden.

Die anforderungsorientierte Ausschreibung hat den Vorteil, dass der Unternehmer seine spezifischen Möglichkeiten besser in sein Angebot einbringen kann und damit zu einer kostengünstigen Lösung beitragen kann (Bild 5.36). Andererseits besteht eher die Gefahr, dass bei der Ausführung Probleme auftauchen, welche die Erfüllung der gestellten Anforderungen in Frage stellen können.

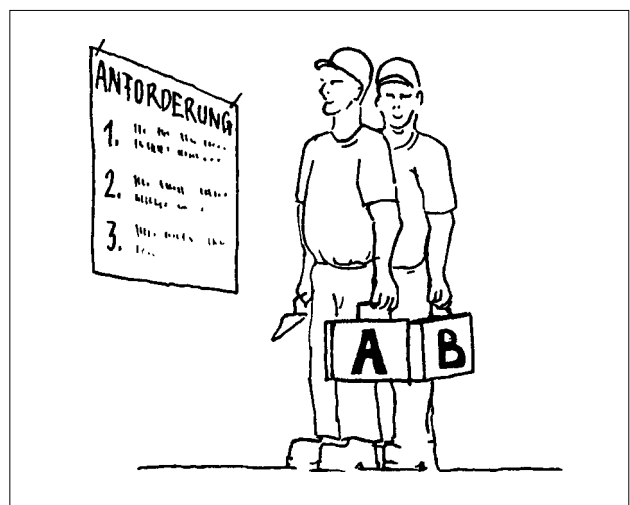


Bild 5.36
 Die anforderungsorientierte Ausschreibung lässt dem anbietenden Unternehmer grössere Freiheit bei der Ausgestaltung seines Angebotes

5.6.3 Vorgabe des Produktes

Verschiedene Gründe können dazu führen, dass der Bauherr in der Ausschreibung ein Produkt vorgibt. Die Möglichkeiten des Unternehmers bei der Ausgestaltung seines Angebotes werden dadurch allerdings eingeschränkt (Bild 5.37). Gewisse Unternehmer werden gezwungen, mit einem ihnen weniger bekannten Lieferanten zusammenzuarbeiten und ein Produkt zu verarbeiten, mit dem sie wenig oder keine Erfahrung haben. Dies sind zusätzliche Risiken für die Ausführung, die sicher zumindest teilweise zu Lasten des Bauherrn gehen. Dieses zusätzliche Risiko muss abgewogen werden gegen die mit der Vorgabe des Produktes verbundenen Vorteile.

Bei der Vorgabe der Produkte entstehen insbesondere dann Probleme, wenn ein Unternehmer zusätzlich eine kostengünstigere Variante mit einem anderen als dem vorgegebenen Produkt anbietet. Es ist deshalb auch bei diesem Ausschreibungsverfahren wichtig, dass die Anforderungen, die Randbedingungen sowie die vorgesehene Ausführungsüberwachung klar definiert werden. Vom Unternehmer muss der Nachweis der geforderten Eigenschaften für das als Variante angebotene Produkt bzw. System verlangt werden.

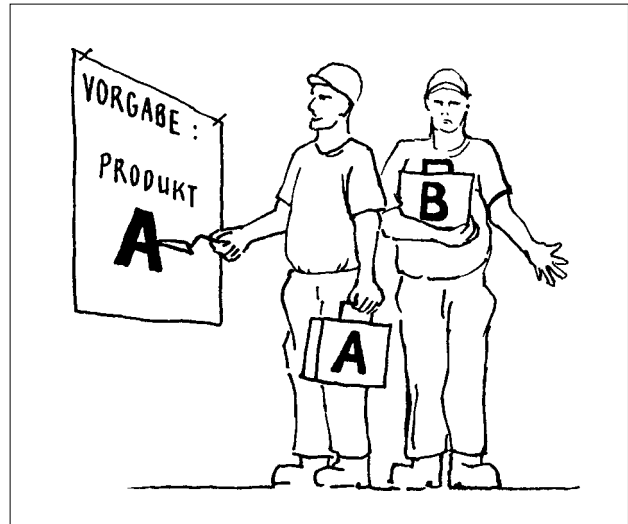


Bild 5.37

Durch die Vorgabe der Produkte wird der Wettbewerb zwischen den Anbietern eingeschränkt, die Bauherrschaft übernimmt einen grösseren Anteil am Ausführungsrisiko

6 Ausführung

6.1	Hinweise zur Ausschreibung	101
6.2	Vorversuche	102
6.3	Abtrag	103
6.3.1	Anforderungen an den Untergrund	103
6.3.2	Abtragsverfahren	104
6.3.3	Übersicht über die Abtragsverfahren	107
6.3.4	Vor- und Nachteile der Strahlverfahren	109
6.4	Vorbehandlung des Untergrundes	110
6.4.1	Haftbrücken	110
6.4.2	Vornetzen	110
6.5	Nachbehandlung	111
6.6	Qualitätsprüfungen	112
6.6.1	Einleitung	112
6.6.2	Grundprüfung, Eignungsprüfung	112
6.6.3	Prüfungen während der Ausführung	113
6.7	Bauwerksdokumentation	114

6 Ausführung

6.1 Hinweise zur Ausschreibung

Die Ausschreibung von Massnahmen zur Betoninstandsetzung und zum Oberflächenschutz von Betonkonstruktionen kann unter Verwendung des Kapitels 131 des Normpositionenkataloges NPK 2000 erfolgen. Es ist allerdings zu beachten, dass im Bereich der Betoninstandsetzung eine starke Entwicklung im Gange ist und deshalb die Positionstexte einer kritischen Überprüfung durch den Verfasser der Ausschreibungsunterlagen bedürfen. Im Kapitel 5.6 Produktwahl wird ausführlich auf die grundsätzlichen Aspekte der anforderungsorientierten (Anforderungen werden vorgegeben) bzw. produkteorientierten (Produkt wird vorgegeben) Ausschreibung eingegangen. Diese Ausführungen sollen hier nicht wiederholt werden.

Die Ausschreibungsunterlagen müssen alle für die Ausarbeitung eines korrekten Angebotes benötigten Unterlagen (Bild 6.1) enthalten. Bei Instandsetzungsarbeiten kommt den objektspezifischen Bedingungen eine ganz besondere Bedeutung zu, weil Nutzung und Betrieb sowie die vorhandene Bausubstanz die Arbeiten entscheidend beeinflussen. Hier sollte nicht nur der vorgeschlagene Bauablauf, sondern auch die Randbedingungen wie Verkehrsführung während der Bauzeit, mögliche Vollsperrzeiten, mögliche Arbeitszeiten, spezielle Vorschriften bezüglich der zulässigen Emissionen, Auflagen bezüglich Umweltschutz, etc. angeführt werden. Ebenso sollen dem Unternehmer die erforderlichen Informationen betreffend die Zielsetzungen der Instandsetzung, die Anforderungen an Produkte, Systeme und Ausführung sowie das vorgesehene Prüfkonzept inkl. den quantifizierten Prüfgrenzwerten sowie dem Vorgehen bei «Nichterfüllen» zur Verfügung gestellt werden. Bei den Angaben zum Ausgangszustand (Ist-Zustand) ist auf die punktuelle Aussagekraft von Untersuchungsergebnissen hinzuweisen. Selbstverständlich sind die üblichen in einem Leistungsverzeichnis enthaltenen Angaben wie Positionsbeschriebe mit Vorausmass, allenfalls vorgegebene Produkte und vorgesehene Ausmassverfahren Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen.

Die Ausschreibungsunterlagen können als vollständig beurteilt werden, wenn sie dem Unternehmer alle für ein zutreffendes Angebot, allenfalls auch für eine Unternehmervariante, erforderlichen Informationen enthalten. Der Ausschreibende kann die Vollständigkeit der Angaben in-

sofern überprüfen, als auch die Überprüfung einer Unternehmervariante mit den vorhandenen Angaben möglich sein sollte.

Achtung: auch sämtliche Nebenarbeiten wie z.B. Abdekarbeiten, Spengleranschlüsse, Fugen, Befestigungsmittel, breite Gerüste (z.B. für Spritzbeton), Entsorgung von Abtrag, Schutz anderer Bauteile, etc. sind im Leistungsverzeichnis zu erfassen.

Allgemeine Bedingungen

Objektgebundene Bedingungen

Instandsetzungsziel
 Angaben zum Ausgangszustand (Ist-Zustand)
 Beschrieb der Arbeiten
 Vorgesehener Ablauf der Instandsetzungsarbeiten
 Verkehrsführung, Nutzung und Betrieb während der Bauzeit
 Sperrzeiten, Arbeitszeiten
 Anforderungen an Produkte, Systeme und Ausführungen
 Auflagen bezüglich Umweltschutz und Emissionen
 Vorversuche
 Prüfkonzept mit geforderten Grenzwerten
 Abzugebende Unterlagen und Nachweise

Leistungsverzeichnis

Positionsbeschrieb mit Vorausmass

Pläne

Bild 6.1

Stichworte zu wichtigen Bestandteilen der Ausschreibungsunterlagen

6.2 Vorversuche

Da bei Instandsetzungsmassnahmen die am Objekt vorhandenen Baustoffe, Baustoffkombinationen und die lokalen Verhältnisse eine wichtige Randbedingung bilden und oft auch die Ausführung sowie die Ausarbeitung eines Angebotes stark beeinflussen können, ist es oft erforderlich, spezielle Teilprobleme in Vorversuchen zu klären. Vorversuche eignen sich beispielsweise zur Abklärung des optimalen Abtragsverfahrens, der Arbeitsbedingungen unter Verkehr, der Eignung eines speziellen Arbeitsablaufes, etc..

Ein Vorversuch kann entweder vor der Ausschreibung oder vor Beginn der Arbeiten durchgeführt werden. In beiden Fällen ist es entscheidend, dass der für die Vorversuche erforderliche Zeitbedarf bereits bei der Zeitplanung berücksichtigt wird (Bild 6.2). Der Zeitpunkt vor der Ausschreibung hat den Vorteil, dass den offerierenden Unternehmen die Ergebnisse des Vorversuches zur Verfügung gestellt werden können. Werden die Vorversuche erst nach der Ausschreibung durchgeführt, stehen zum Zeitpunkt der Offertbereinigung allenfalls nicht alle für eine Beurteilung der Offerten benötigten Angaben zur Verfügung. Während der Ausführung können daraus unerfreuliche Diskussionen entstehen. Noch unerfreulichere Diskussionen können entstehen, wenn – als Folge eines Verzichtes auf Vorversuche – die Ausführungsarbeiten selbst zu Vorversuchen werden, sich also beispielsweise ein vorgesehenes Verfahren als untauglich herausstellt und die Ausführung deshalb – unter Zeitverlust und mit zusätzlichen Aufwendungen – auf ein anderes Verfahren umgestellt werden muss.

Vorversuche müssen gezielt vorbereitet und durchgeführt werden. In einem ersten Schritt ist ein Konzept zu erarbeiten, in dem auch die Zielsetzung des Vorversuches klar definiert wird. Nicht alle Fragen können mit Vorversuchen geklärt werden (z.B. Dauerhaftigkeit). Während der Versuchsdurchführung müssen alle massgeblichen Parameter für die nachfolgende Auswertung erfasst werden.

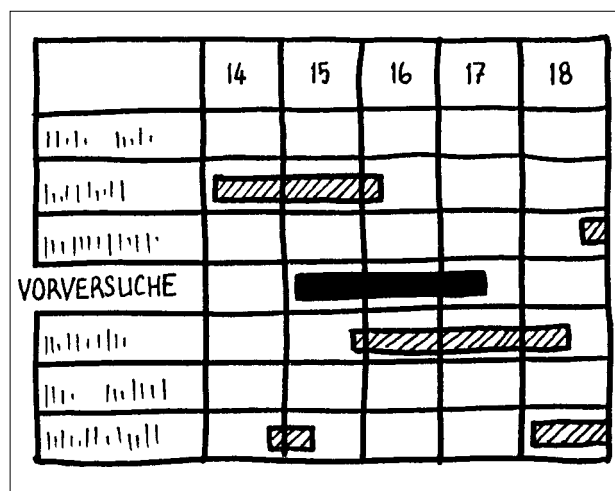


Bild 6.2

Vorgesehene Vorversuche müssen unbedingt bei der Terminplanung mitberücksichtigt werden.

6.3 Abtrag

6.3.1 Anforderungen an den Untergrund

Abtragsverfahren dienen in der Regel dazu, die vorhandene Betonoberfläche für die Aufnahme einer Instandsetzungsmassnahme vorzubereiten. Dazu kann es nötig sein, fremde Materialien (z.B. alte Beschichtungen) oder Betonschichten, die den Anforderungen bezüglich Festigkeit (z.B. Zugfestigkeit) oder der chemischen Eigenschaften (karbonatisierter oder chloridkontaminierter Beton) nicht mehr genügen, zu entfernen (Bild 6.3). Für die Aufnahme einer Instandsetzungsmassnahme werden zudem weitere Anforderungen gestellt. Diese sind weitgehend durch die anzuwendenden Stoffe bestimmt und haben zum Ziel, die Voraussetzungen für eine genügende und dauerhafte Haftung der neu aufzubringenden Schichten zu schaffen (Bild 6.3).

Festigkeit

- ausreichende Oberflächenzugfestigkeit
- evtl. Anforderungen bezüglich Druckfestigkeit und E-Modul

Chemische Eigenschaften

- Anforderungen bezüglich Karbonatisierungstiefe und Chloridgehalt entsprechend dem gewählten Instandsetzungsprinzip

Oberfläche und Textur

- frei von losen und mürben Teilen und von sich leicht ablösenden arteigenen Stoffen
- frei von oberflächennahen Ablösungen und parallel zur Oberfläche verlaufenden Rissen
- frei von Graten
- Rauigkeit angepasst auf den zu verwendenden Stoff (Einhalten der systemspezifischen Schichtdicke)
- frei von artfremden Stoffen

Betonfeuchtigkeit

- Feuchtigkeit vor dem Aufbringen der neuen Schichten abgestimmt auf die anzuwendenden Stoffe

Temperatur

- Grenztemperatur abhängig von anzuwendenden Stoffen

*Bild 6.3
Generelle Anforderungen an den Untergrund für die Aufnahme einer Instandsetzungsmassnahme (vgl. auch Kap. 1 in [6] Teil 2, Bauplanung und Ausführung)*

6.3.2 Abtragsverfahren

Die Abtragsverfahren dienen dazu, alte Beschichtungen oder Anstriche sowie qualitativ minderwertigen oder verseuchten Beton zu entfernen oder korrodierte Bewehrung freizulegen. Heute stehen dafür eine ganze Anzahl verschiedener Geräte und Methoden zur Verfügung. Die Abtragsverfahren sind von den Verfahren für die Reinigung zu unterscheiden.

Der Abtrag kann generell mechanisch, thermisch oder chemisch erfolgen. Die für die Betoninstandsetzung (Untergrundvorbereitung) am häufigsten eingesetzten Methoden basieren auf mechanischen Verfahren. Nachfolgend werden deshalb die mechanischen Verfahren näher erläutert. Die thermischen und chemischen Verfahren sind in den Bildern 6.10 und 6.11 in Kurzform zusammengestellt.

Beim mechanischen Abtrag (Bild 6.9) stehen heute die verschiedenen Strahlverfahren im Vordergrund. Die Abtragsverfahren wie Stemmen, Schlagen, Schleifen und Bürsten verlieren zunehmend an Bedeutung, da der Abtrag mit Stemmen oder Schlagen den Beton und die Bewehrung tiefgreifend schädigen kann. Die Strahlverfahren wurden in den letzten Jahren weiterentwickelt und haben heute einen hohen technischen Stand erreicht, der noch laufend verbessert wird. Die Strahlverfahren sind in Bild 6.12 kurz erläutert.

Die Strahlverfahren werden je nach Geräte- und Strahlmitteleinsatz unterteilt in Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln (Sandstrahlen), Druckstrahlen mit Strahlmittel-Wasser-Gemisch (Wassersand- und Feuchtsandstrahlen), Hochdruck- bzw. Höchstdruckwasserstrahlen und Schleuderstrahlen (Kugelstrahlen).

Sandstrahlen

Beim Sandstrahlverfahren kann die Oberfläche sehr sauber bis wenige Millimeter tief abgetragen werden. Das Sandstrahlverfahren eignet sich zudem sehr gut für die Reinigung der Bewehrung. Die Abtragsleistung und -tiefe hängt vom Untergrund, Strahlgut und vom Druck ab. Als Strahlmittel kommen u.a. Sand, Granulat, Korund und Metallschlacke zum Einsatz. Quarzsand darf aus arbeitshygienischen Gründen nicht eingesetzt werden. Probleme entstehen vor allem durch die grosse Staubentwicklung und mit der Entsorgung des – allenfalls mit Fremdstoffen durchsetzten –



Bild 6.4
Wassersandstrahlen, keine Staubentwicklung, Wasser fließt über Betonoberfläche ab



Bild 6.5
Feuchtsandstrahlen, keine Staubentwicklung, Betonoberfläche wird nur leicht feucht

Strahlgutes. Zudem muss als Mindestnachbehandlung der Untergrund mit ölfreier Druckluft oder Wasser vom Staub gereinigt werden.

Zur Vermeidung der Staubentwicklung wurden Methoden entwickelt, bei welchen beim Strahlen Wasser zugeführt wird.

Wassersandstrahlen

Beim Wassersandstrahlen wird anstelle eines trockenen Strahlgutes ein Wassersandgemisch gefördert. Das Wasser verhindert die Staubentwicklung. Die anfallenden, relativ grossen Schlammengen müssen u.U. speziell entsorgt werden.

Feuchtsandstrahlen

Beim Feuchtsandstrahlverfahren wird das Strahlgut analog zum Sandstrahl- und Wassersandstrahlverfahren mit Druckluft gefördert. Das Wasser wird in kleinsten Mengen je nach Gerät bei der Düse oder kurz vor der Düse beigegeben. Die Staubentwicklung wird durch die leichte Benetzung unterdrückt. Es entstehen somit keine Probleme mit anfallenden Schlämmen und Staub. Als weitere Vorteile sind der um ca. 60% geringere Strahlmittelverbrauch sowie die verbesserte Regulierbarkeit von Druck, Wasser und Strahlmittelmenge zu erwähnen. Als Mindestnachbehandlung ist die Oberfläche mit Druckwasser (150 bar) reinzuspülen und allenfalls zu trocknen, da sich sonst auf der Bewehrung Flugrost bilden kann.

Hoch-/Höchstdruckwasserstrahlen

Beim Hoch- bzw. Höchstdruckwasserstrahlen (Bild 6.6 und 6.7) wird mit einem Druck von ca. (600) 750–1'000 bzw. 1'000–2'500 bar an der Düse gearbeitet. Je grösser der Druck ist, desto kleiner ist der Wasserdurchsatz. Die Abtragsleistung ist vom Druck, dem Wasserdurchsatz, der Düse, dem Abstand der Düse von der Betonoberfläche und dem Vorschub abhängig. Diese Verfahren eignen sich vor allem für den tiefgreifenden Abtrag von Beton und zum Freilegen und Reinigen der Bewehrung. Sie haben den Nachteil, dass die Geräte höchsten Beanspruchungen ausgesetzt sind (grosser Wartungsaufwand, Ausfallgefahr) und einen relativ grossen Platzbedarf aufweisen. Die Arbeiten sind mit grossen Lärmemissionen verbunden. Weiter gilt zu beachten, dass die Feinrauhigkeit am Zuschlagskorn des Betons mit Wasser allein nicht erzielt werden kann, jedoch ist eine gute Grobrauhigkeit für das Aufbringen eines Spritzbetons oder -mörtels erzielbar (Bild 6.8). Weil beim Hoch- bzw.



*Bild 6.6
Höchstdruckwasserstrahlen mit Handlanze mit 2500 bar*



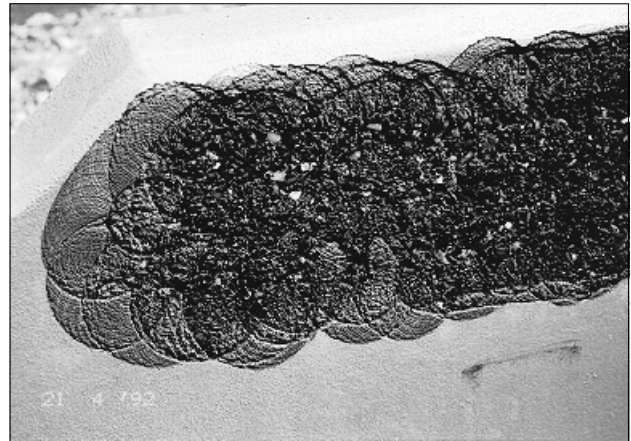
*Bild 6.7
Hochdruckwasserstrahlen mit Roboter mit 1000 bar*

Höchstdruckwasserstrahlen an der Düse grosse Kräfte entstehen, werden die Strahlarbeiten oft mit einem Roboter ausgeführt. Dies ermöglicht ein rationelles Arbeiten, ist jedoch mit dem Nachteil verbunden, dass bei zu starkem Abtrag kaum reagiert werden kann. Als Mindestnachbehandlung ist die Oberfläche mit Druckwasser zu reinigen und allenfalls zu trocknen. In gewissen Fällen muss die Feinrauhigkeit mit dem Sandstrahlverfahren erhöht werden.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass das Hoch- und Höchstdruckstrahlen zu einer gewissen Auflockerung der oberflächennahen Betonschichten führen und dadurch insbesondere eine Abminderung der Haftzugfestigkeit im Betonuntergrund zur Folge haben kann [3]. Der schweizerische Fachverband für Hydrodynamik am Bau hat zu dieser Problematik eigene Untersuchungen veranlasst, deren Ergebnisse noch nicht verfügbar sind. Der Einsatz von Robotern hat verschiedentlich zu unerwünschten Beschädigungen an Spannkabelhüllrohren geführt, da wie oben erwähnt eine Steuerung der Abtragstiefe während dem Abtrag nicht möglich ist.

Kugelstrahlen

Beim Kugelstrahlen wird das Strahlmittel anstelle von Druckluft- oder Druckwasser mit einer Schleudereinrichtung auf den Untergrund geschleudert. Derartige Geräte eignen sich auf horizontalen Flächen, wobei auch kleinere Geräte für vertikale Flächen im Einsatz sind. Das Strahlmittel (Stahlkugeln oder kantige Strahlmittel) wird im Umlaufverfahren gereinigt und das Strahlgut ausgeschieden. Das Arbeiten mit Kugelstrahlen erfolgt beinahe staubfrei.



*Bild 6.8
Betonoberfläche aufgeraut mit Höchstdruckwasserstrahlen (Handlanze mit 2500 bar)*

6.3.3 Übersicht über die Abtragsverfahren

Art	Verfahren Gerät	Anwen- dung	Bemerkungen
Stemmen	Meissel	B, D	Erschütterungen und Lärm; Schädigung von Beton und Armierung; Abblasen oder Strahlen als Nachbehandlung
Schlagen	Klopffmaschine	B	vgl. oben
	Nadelpistole	D	Staub und Lärmproblem; Abblasen als Nachbehandlung
	Fräsmaschine	A, B	Abtrag bis 8 mm; Erschütterung und Staub; nicht für Freilegen der Bewehrung geeignet. Strahlen oder Absaugen als Nachbehandlung
Schleifen	Schleifgerät	A	Bis 2 mm Tiefe; Staub- und Lärmemissionen; Abblasen als Nachbehandlung
Kugelstrahlen	Schleudergerät	A	Strahlmittel wird im Umlaufverfahren beinahe staubfrei auf ebene Fläche geschleudert; v.a. horizontale Flächen
Sandstrahlen	Strahlgerät	A, B, D	Gute Oberflächenbearbeitung bis wenige mm Tiefe ist mit starken Staubemissionen verbunden
Feuchtsandstrahlen	Strahlgerät	A, B, D	Gute Oberflächenbearbeitung bis wenige mm Tiefe; kaum Staubemissionen; Nachreinigung nötig
Wassersandstrahlen	Strahlgerät	A, B, D	Abtrag bis wenige mm Tiefe; Nachreinigung mit Druckwasser; Wasser- und Schlamm-entsorgung
Hochdruck-/ Höchst- druckwasserstrahlen	Strahlgerät	A, B, D	Druck an der Düse zwischen 600 und 1'000 bzw. 1'000 und 2'500 bar; Abtrag bis einige cm, Nachreinigung mit Druckwasser; Wasser- und Schlamm-entsorgung
Bürsten	Bürste (von Hand, maschinell)	(A)	Geringe Tiefenwirkung; Staubemissionen; Abblasen als Nachbehandlung

- A: Entfernen von minderfesten Schichten, Altbeschichtungen, Nachbehandlungsfilmen, Verunreinigungen
B: Abtragen von geschädigtem Beton und Freilegen von Bewehrungen
D: Ausarbeiten örtlicher Fehlstellen

Bild 6.9

Mechanische Verfahren zur Behandlung der Betonoberfläche und für den Betonabtrag in Anlehnung an [6] (Strahlverfahren vgl. auch Bild 6.12)

Art	Verfahren		Anwendung	Bemerkungen
		Gerät		
Flammstrahlen		Brenner	A, B	Abtrag bis einige mm; Betonstruktur wird zerstört; Gefahr von zu grosser Erhitzung von Beton und Bewehrung, Sandstrahlen als Nachbehandlung, um lose Teile zu entfernen
Infrarotstrahlen		IR-Strahler	C	Als Vor- oder Nachbehandlung (Aufwärmen, Trocknen)
Heiss-/Warmluft		Föhn, Heissluftgebläse	C	Als Vor- oder Nachbehandlung (Aufwärmen, Trocknen)

A: Entfernen von minderfesten Schichten, Altbeschichtungen, Nachbehandlungsfilmern, Verunreinigungen

B: Abtragen von geschädigtem Beton und Freilegen von Bewehrungen

C: Säubern von losen Verunreinigungen und Entfernen von Wasserfilmen

Bild 6.10

Thermische Verfahren zur Behandlung der Betonoberfläche in Anlehnung an [6]

Art	Verfahren		Anwendung	Bemerkungen
		Gerät		
Heisswasserstrahlen/ Dampfstrahlen		Strahlgerät	C	Meist Zugabe von oberflächenaktiven Zusatzstoffen
Behandlung mit chem. Substanzen			A	Zulässigkeit für Bauwerk und Umwelt abklären; Rückstände sind zu entsorgen; Nachreinigung mit Wasser

A: Entfernen von minderfesten Schichten, Altbeschichtungen, Nachbehandlungsfilmern, Verunreinigungen

C: Säubern von losen Verunreinigungen und Entfernen von Wasserfilmen

Bild 6.11

Chemische Verfahren zur Behandlung der Betonoberfläche in Anlehnung an [6]

6.3.4 Vor- und Nachteile der Strahlverfahren

	Vorteile	Nachteile
Sandstrahlen (für Reinigung und oberflächlichen Abtrag) Leistung 10–20 m ² /h	Stark verbreitet Methode zur Entrostung von Bewehrungsstählen Grosse Feinrauhigkeit Kein Wasser nötig	Grosse Staubeentwicklung Anfall von Strahlgut Wirkung bei elastischen Anstrichen? Nachreinigung erforderlich
Wassersandstrahlen (für Reinigung und oberflächlichen Abtrag) Leistung 8–15 m ² /h	Geringe Staubeentwicklung Keine Beeinträchtigung des Betonuntergrundes Gute Feinrauhigkeit	Wasser- bzw. Schlammabfall und -entsorgung Nachreinigung und evtl. Nachtrocknung erforderlich
Feuchtsandstrahlen (für Reinigung und oberflächlichen Abtrag) Leistung 8 bis 12 m ² /h	Geringe Staubeentwicklung und Wasseranfall Geringerer Strahlmittelverbrauch als bei Sandstrahlen	Nur oberflächlicher Abtrag möglich Nachreinigung mit Wasser und evtl. Nachtrocknung erforderlich
Hochdruckwasserstrahlen (ca. (600) 750–1000 bar) (vorwiegend für Abtrag) Leistung 6–12 m ² /h bei maschinelltem Abtrag und Abtragstiefe von 2–3 cm	Keine Staubemissionen Selektiver Abtrag der schlechten Bereiche Gute Rauigkeit des Untergrundes	Auflockerung der oberflächennahen Zonen (Reduktion Haftzugfestigkeit) möglich Wasser- und Schlammabfuhr Bei Robotereinsatz keine direkte Steuerung der Abtragstiefe möglich Nachreinigung erforderlich Grosser Maschinenverschleiss (Ausfall, Wartungsbedarf)
Höchstdruckwasserstrahlen (ca. 1000–2500 bar) (für Abtrag) Leistung bis 2 m ² /h bei manuellem Abtrag und Abtragstiefe von 2–3 cm	Grosse Tiefenwirkung Leistungsfähig für tiefen Betonabtrag und Freilegen der Bewehrung Bei manuellem Abtrag gute Genauigkeit Gute Rauigkeit des Untergrundes	Grosse Lärm- und Splitteremissionen und somit grosser Schutzaufwand Bei nichtrotierenden oder nichtoszillierenden Düsen: Gefahr von zu tiefem Abtrag Auflockerung der oberflächennahen Zonen (Reduktion Haftzugfestigkeit) möglich Wasser- und Schlammabfuhr Nachreinigung erforderlich Gefahrenpotential wegen hohen Drücken Starker Maschinenverschleiss (Ausfall, Wartungsbedarf)
Kugelstrahlen Leistung ca. 50 m ² /h bei grossflächigem Abtrag	Keine Staubemissionen Maschineller Einsatz Strahlmittel wird rezykliert	Einsatz vor allem auf horizontalen Flächen, weniger bei geneigten Flächen und nicht über Kopf

Bild 6.12:
 Übersicht über die heute verfügbaren Strahlverfahren zur Behandlung der Betonoberfläche und für den Betonabtrag

6.4 Vorbehandlung des Untergrundes

6.4.1 Haftbrücken

Haftbrücken werden bei Instandsetzungsarbeiten relativ oft eingesetzt. Haftbrücken sind Grundbeschichtungen auf der Basis von Zement oder Kunststoffen – z.B. Epoxidharz – zur Verbesserung der Haftung zwischen dem Untergrund und einer nachfolgenden Bedichtung. Sie dringen in die Poren des Untergrundes ein und werden meist in noch frischem Zustand mit einer Deckschicht (z.B. Instandsetzungsmörtel) überarbeitet. Die dadurch erforderlichen kurzen Verarbeitungszeiten sind ein Nachteil und bergen ein gewisses Ausführungsrisiko.

Die Komponenten einer Haftbrücke werden wegen den hohen Anforderungen an die Verarbeitung in Portionengebinden, bereit zum Mischen, geliefert. Die Verarbeitungshinweise des Lieferanten sind unbedingt zu beachten. Zementschlämmen haben sich als gute Haftbrücken bewährt, sind relativ einfach verarbeitbar und deshalb Produkten auf Kunstharzbasis oft überlegen.

6.4.2 Vornetzen

Wie in Kapitel 6.3.1 erwähnt, ist das Einhalten der auf die anzuwendenden Stoffe abgestimmte Feuchtigkeit des Betonuntergrundes für die Haftung und damit für den Erfolg einer Instandsetzung äusserst wichtig.

Die meisten kunstharzgebundenen Betone und Mörtel, Imprägnierungsmittel und filmbildenden Beschichtungsstoffe erfordern einen trockenen bis höchstens feuchten Untergrund (Bild 6.13). Für das Aufbringen einer zementgebundenen Beschichtung oder Haftbrücke, für das Ausbessern mit zementgebundenen Betonen und Mörteln auch mit Kunststoffzusatz sowie für wasserdispergierende filmbildende Kunststoffbeschichtungen muss bzw. kann der Betonuntergrund feucht sein. Wird ein zementgebundenes System auf einen trockenen Betonuntergrund aufgebracht, entzieht der Untergrund den neu aufgetragenen Stoffen die für deren Hydratation notwendige Feuchtigkeit. In der Folge ist die Festigkeitsentwicklung dieser Stoffe behindert. In jedem Fall sind die spezifischen Angaben des Produktlieferanten bezüglich der Anforderungen an die Feuchtigkeit des Betonuntergrundes zu beachten.

«trocken»

Eine rund 2 cm tiefe, frisch hergestellte Bruchfläche darf (infolge Austrocknens) nicht augenscheinlich heller werden.

«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.

*Bild 6.13
Definitionen der Feuchtigkeit des Betonuntergrundes
gemäss RiLi DAfStB [6]*

6.5 Nachbehandlung

Noch entscheidender als beim Betonieren ist die Nachbehandlung dünner Schichten, wie sie im Rahmen von Instandsetzungsmassnahmen zur Ausführung kommen. Dünne Schichten können bei unsachgemässer Nachbehandlung in ihrer Dauerhaftigkeit stark eingeschränkt werden.

Alle zementgebundenen Schichten müssen insbesondere gegen Austrocknen geschützt werden. Dazu ist mindestens eine Abdeckung mit Folien erforderlich, die die neu aufgetragenen Schichten vor Sonneneinstrahlung und Wind schützt. In der Regel sollte die Nachbehandlung mit feuchter Jute und Folie vorgenommen werden. Bei Wandbeschichtungen können z.B. mobile Vorstellwände verwendet werden, die vor die frisch beschichteten Wände gestellt und noch zusätzlich befeuchtet werden. Kleinere Flächen können auch mit Plastikfolie abgeklebt werden. Gerüste sollten zur Vermeidung der direkten Sonnenbestrahlung verkleidet werden.

Bei kunststoffgebundenen Schichten sind die Anforderungen an die Nachbehandlung etwas weniger hoch. Ein Schutz ist insbesondere vor Staub nötig. Direkte Sonnenbestrahlung ist infolge der damit verbundenen Erwärmung zu vermeiden.

In jedem Fall sind die entsprechenden Verarbeitungsvorschriften des Produktelieferanten zu beachten.

Es ist von Vorteil, wenn die Nachbehandlung als separate Position im Leistungsverzeichnis ausgeschrieben wird. Die Durchsetzung der Nachbehandlung wird dadurch für die Bauleitung erleichtert.

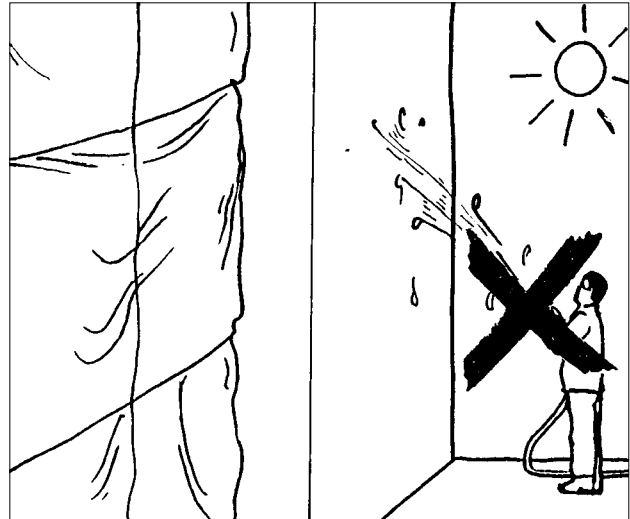


Bild 6.14
Eine fachgerechte Nachbehandlung ist insbesondere bei allen zementgebundenen Stoffen entscheidend für den Erfolg

6.6 Qualitätsprüfungen

6.6.1 Einleitung

Die RiLi DAfStB [6] regelt die vorzunehmenden Prüfungen inkl. der Zuordnung der Verantwortungen für die Vornahme der Prüfungen und den Nachweis der geforderten Grenzwerte. Da heute insbesondere die grösseren Produktelieferanten über ein gemäss den gültigen ISO-Normen zertifiziertes Qualitätssicherungssystem verfügen, sind auf verschiedenen Ebenen Vorkehrungen sowohl zur Eigen- wie auch zur Fremdüberwachung der Qualität eingeführt.

6.6.2 Grundprüfung, Eignungsprüfung

Produkte, die gemäss der RiLi DAfStB für die Instandsetzung oder den Schutz von Betonbauwerken eingesetzt werden, müssen einer Grundprüfung unterzogen werden. Im Rahmen dieser Grundprüfung müssen die Einzelkomponenten, die Einzelprodukte wie auch die Gesamtsysteme einer Reihe von spezifizierten Prüfungen unterzogen werden. Die Ergebnisse müssen die entsprechenden Anforderungen der RiLi DAfStB [6] erfüllen. Die zu erfüllenden Anforderungen können von jedermann aus der Richtlinie entnommen werden. Die grundsätzlich überprüften Kriterien sind in Bild 6.15 zusammengestellt. Die Veranlassung der Grundprüfung ist Sache des Produkter Herstellers. Die Durchführung der Grundprüfungen erfolgt durch anerkannte unabhängige Prüflabors. Für Instandsetzungen gemäss der ZTV-SIB [4] ist das Vorgehen sehr ähnlich.

Nachdem die RiLi DAfStB [6] erst 1990 erschienen ist und die Prüfungen sogar erst seit 1992 spezifiziert sind, stehen heute erst wenige nach RiLi DAfStB geprüfte Produkte und Systeme zur Verfügung. Etwas mehr Produkte sind in Deutschland gemäss der ZTV-SIB [4] geprüft.

Allerdings werden Produkte für Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken schon seit vielen Jahren nach verschiedenen Kriterien geprüft. Für viele Produkte bestehen auch Anwendungserfahrungen über mehrere Jahre. Die von den verschiedenen Prüflabors angewendeten Prüfverfahren und die geforderten Grenzwerte sind jedoch sehr unterschiedlich, so dass heute ein Vergleich der Produkte verschiedener Hersteller sehr schwierig ist. Mit der RiLi DAfStB werden auch vorhandene Lücken bei den angewendeten Prüf-

- a) Die verwendeten Baustoffe und die geschützten bzw. instandgesetzten Bauteile müssen den Einwirkungen aus Umwelt und Gebrauch innerhalb einer angemessenen Nutzungsdauer widerstehen. Die Auslösung eines Angriffes in tieferen Schichten (z.B. infolge Unterwanderung) muss verhindert werden.
- b) Die Haftung der Schutz- und Instandsetzungsbaustoffe am Beton bzw. am Stahl 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 vermindert werden.
- c) Die Schutz- bzw. Instandsetzungsbaustoffe dürfen auf den Untergrund infolge Temperaturdehnung, Schwinden oder Quellen keine Zwangsspannungen ausüben, die zur Ablösung oder zu schädlichen Rissen führen.
- d) Die Schutz- bzw. Instandsetzungsbaustoffe dürfen den Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl nicht beeinträchtigen.

Bild 6.15

Im Rahmen der Grundprüfung überprüfte Kriterien der Stoffe und Stoffsysteme gemäss RiLi DAfStB [6]

verfahren (v.a. Systemprüfung und Langzeitbeständigkeit) geschlossen. Zahlreiche der in der Schweiz angebotenen Produkte und Systeme sind vom LPM (LPM AG Baustoffprüfinstitut, Beinwil a.S.) oder der EMPA (Eidg. Materialprüfungsanstalt, Dübendorf) geprüft. Die Prüfverfahren wie auch die Anforderungen an Produkte und Systeme sind in der Schweiz nicht allgemein festgelegt, weshalb ein Vergleich der von verschiedenen Labors durchgeführten Produkteprüfungen schwierig ist. Die entsprechenden Prüfatteste können von den Produktelieferanten einverlangt werden.

Der Begriff der Grundprüfung muss klar vom Begriff der Eignungsprüfung unterschieden werden. Die Eignungsprüfung dient dazu, die Eignung eines Systems für die Instandsetzung eines spezifischen Objektes zu prüfen. Eine solche Eignungsprüfung wird in der Regel nicht der Produktelieferant, sondern der Unternehmer, allenfalls die Bauherrschaft selbst veranlassen.

6.6.3 Prüfungen während der Ausführung

Betoninstandsetzungsarbeiten stellen hohe Anforderungen an die Qualifikation aller an der Ausführung Beteiligten. Die Erreichung der gesteckten Ziele erfordert deshalb umfassende qualitätssichernde Massnahmen sowohl auf Seite der planenden und bauleitenden Ingenieure wie auch der ausführenden Unternehmung. Wichtig ist insbesondere auch eine klare Abgrenzung der Verantwortlichkeiten zwischen den Beteiligten.

Zu Beginn der Arbeiten sollten die qualitätssichernden Massnahmen in einem Prüfkonzept zusammengestellt werden. In diesem Prüfkonzept müssen die in der Ausschreibung festgelegten Anforderungen und Prüfungen umgesetzt werden. Dieses Prüfkonzept sollte auch die Anforderungen an das ausführende Personal, die verwendeten Geräte und Produkte sowie die Ausführungsverfahren enthalten. Die fertiggestellten Arbeiten oder allenfalls auch Zwischenschritte müssen eingehenden Prüfungen – messtechnische und visuelle – unterzogen werden. Es ist für alle Beteiligten von Vorteil, wenn die zu erfüllenden Anforderungen eindeutig quantifiziert und zum voraus vereinbart werden.

Es muss hier nachdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Aussagekraft von Prüfungen nicht überbewertet werden darf. Zur Überprüfung einer Instandsetzungsmassnahme hat sich des-

Personal und Ausstattung der bauausführenden Unternehmen

Personal, Geräteausstattung, Baustoffprüfstelle, Nachunternehmer

Überwachung der Baumassnahmen

Eigenüberwachung: Art, Umfang und Häufigkeit der Überwachungsmassnahmen
Fremdüberwachung

Prüfverfahren für die Bauausführung

Betonuntergrund: Augenschein, Bewehrungsüberdeckung, Feuchtegehalt, Wassereindringung, Benetzbarkeit, Rauhtiefe, Rissmerkmale, Verarbeitungsbedingungen (Luft- und Bauteiltemperatur, Luftfeuchte, Taupunkttemperatur)

Instandsetzungsbetone und -mörtel
Oberflächenschutzsysteme: Schichtdicke, Haftzugfestigkeit, Hohlraumgehalt, Gitterschnittprüfung

Behandlung von Rissen:
 Füllgrad, Prüfung von Zementleim

Anforderungen an die Baustoffprüfstelle

Bild 6.16

Stichworte zur Qualitätssicherung der Ausführung von Betoninstandsetzungsarbeiten aus dem Inhaltsverzeichnis von Teil 3 der RiLi DAfStB [6]: Qualitätssicherung der Bauausführung

halb auch das Prinzip von Kontrollflächen, wie es im Korrosionsschutz von Stahlteilen üblich ist, bewährt [10].

Teil 3: *Qualitätssicherung der Bauausführung* der RiLi DAfStB [6] enthält ausführliche Tabellen bezüglich der Überwachung von Betoninstandsetzungsarbeiten. Die dortigen Angaben umfassen Hinweise betreffend die zu prüfenden Kriterien, die Prüfintervalle und die Anforderungen; und dies sowohl bezüglich Personal, Geräte und Verfahren als auch des Endprodukts. Es wird an dieser Stelle nicht weiter auf die dort abgehandelten Details eingegangen.

6.7 Bauwerksdokumentation

Nach Abschluss einer Instandsetzung muss die Bauwerksdokumentation auf den aktuellen Stand nachgeführt werden. Ein Kurzbericht sollte über die wesentlichen Instandsetzungsarbeiten, die gewählten Verfahren und Produkte als Grundlage für die Überwachung und Instandhaltung Auskunft geben.

Literaturverzeichnis

- [1] Böhni H., Elsener B.: Korrosionsbeständigkeit von Armierungen, in SIA Dokumentation D 72, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1984
- [2] Bundesamt für Strassenbau, ASB: Richtlinien zur Anwendung von epoxidharzbeschichteten Betonstählen, Bundesamt für Strassenbau, Bern, 1991
- [3] Bundesamt für Strassenbau, ASB: Untersuchungsbericht Betonabtrag durch Hochdruckwasserstrahlen, Bundesamt für Strassenbau, Bern, in Vorbereitung (evtl. 1993).
- [4] Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau:
 - ZTV-SIB 90 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen
 - TL OS Technische Lieferbedingungen für Oberflächenschutzsysteme
 - TP OS Technische Prüfvorschriften für Oberflächenschutzsysteme
 - TL BE-SPCC Technische Lieferbedingungen für im Spritzverfahren aufzubringende Betonersatzsysteme aus Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz (SPCC)
 - TP BE-SPCC Technische Prüfvorschriften für im Spritzverfahren aufzubringende Betonersatzsysteme aus Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz (SPCC)
 - TL BE-PCC Technische Lieferbedingungen für Betonersatzsysteme aus Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz (PCC)
 - TP BE-PCC Technische Prüfvorschriften für Betonersatzsysteme aus Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz (PCC)
 - TL BE-PC Technische Lieferbedingungen für Betonersatzsysteme aus Reaktionsharzmörtel/Reaktionsharzbeton (PC)
 - TP BE-PC Technische Prüfvorschriften für Betonersatzsysteme aus Reaktionsharzmörtel/Reaktionsharzbeton (PC)

sämtliche Ausgaben 1990, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinien für die Ausbesserung und Verstärkung von Betonbauteilen mit Spritzbeton, Beuth Verlag, Berlin und Köln, Fassung Oktober 1983
- [6] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Beuth Verlag, Berlin und Köln
 - Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze, August 1990
 - Teil 2: Bauplanung und Bauausführung, August 1990
 - Teil 3: Qualitätssicherung der Bauausführung, Februar 1991
 - Teil 4: Qualitätssicherung der Bauprodukte, November 1992
- [7] Elsener B., Molina M.: Elektrochemische Chloridentfernung an Stahlbetonbauwerken, Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau, Forschungsauftrag Brückenunterhaltsforschung 97/92, Dezember 1992
- [8] Eppler E., Erne W.: Sichtbetonfassade aus den dreissiger Jahren renoviert, Cementbulletin, Technische Forschungs- und Beratungsstelle der schweizerischen Zementindustrie, März 1988, Wildegg

- [9] Fiebrich M. et al.: Eignungsprüfung an Hydrophobierungen für Beton, Bautenschutz + Bausanierung, 16 (1993), 35–39 und 58–60, Rudolf Müller, Köln.
- [10] Hächler A., Flückiger D.: Schutz und Sanierung von Stahlbetonbauwerken im Bereich von Strassen, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, ETH Zürich, Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bericht Nr. 212, März 1991
sowie
Flückiger D., Elsener B., Studer W. und Böhni H.: Schutz von Beton durch Beschichtungen, Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 22, 1993, Zürich
- [11] Grube H. et al.: Instandhaltung von Betonbauwerken, Beton-Kalender 1990 Teil II, p. 681 ff, Ernst & Sohn, Berlin, 1990
- [12] IP BAU, Hochbau: Elementgliederung für Erneuerung und Unterhalt, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.438, Bern, 1992
- [13] IP BAU, Hochbau: Feindiagnose, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.432, Bern, 1993
- [14] IP BAU, Hochbau: Grobdiagnose von Gebäuden, Zustandserfassung und Kostenschätzung, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.431.0, Bern, 1993
- [15] IP BAU, Hochbau: Massaufnahme, Aufnahmetechniken, Randbedingungen, Kalkulationsgrundlagen, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.433, Bern, 1992
- [16] IP BAU, Tiefbau: Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.455, Bern, 1992
- [17] IP BAU, Tiefbau: Strassenerneuerung, Erhaltung von Hochleistungsstrassen unter Verkehr, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.452, Bern, 1991
- [18] IP BAU, Tiefbau: Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.453, Bern, 1991
- [19] IP BAU, Tiefbau: Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken, Leitfaden für Bauingenieure, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.456, Bern, 1992
- [20] Jungwirth D., Beyer E., Grübl P.: Dauerhafte Betonbauwerke, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1986
- [21] Menn C.: Verbindung von altem und neuem Beton, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht Nr. 193, Birkhäuser Verlag, Basel, 1992
- [22] Müller R., Holtzhauer K.: Kathodischer Korrosionsschutz von Bewehrungsstählen, Langzeitbeständigkeit von Anodenmaterialien und Mörteln, Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau, Forschungsauftrag Brückenunterhaltsforschung Nr. 503, August 1992
- [23] Nürnberger et al.: Korrosionsschutz im Massivbau, Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 1991
- [24] Rilem: Rilem technical recommendation 124 SRC, Guide to repair strategies for concrete structures damaged by reinforcement corrosion, preliminary draft, Institut für Bauforschung, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen, 1992
- [25] Roti J.A.: Elektrochemische Realkalisierung und Entsalzung von Beton, WTA-Tagung in Zürich 1990, WTA-Bericht Nr. 6, 1990

- [26] Schiessl P.: Schutzwirkung des Brückenbetons gegen Bewehrungskorrosion insbesondere bei Tausalzeinwirkung, Sachstandsbericht, Deutsche Bundesanstalt für Strassenwesen, 1988
- [27] Schröder J. et al.: Hauptbegriffe der Bauwerkserhaltung, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 45, Zürich, 1992
- [28] Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz: Richtlinie für Projektierung, Ausführung und Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken, Richtlinie C7, Ausgabe 1991, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Zürich, 1991
- [29] SIA: Dokumentation SIA D 065: Elektrochemische Schutzverfahren für Stahlbetonbauwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1990
- [30] SIA: Dokumentation SIA D 099, Erhaltung von Brücken. Aktuelle Forschungsergebnisse, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1993
- [31] SIA: Ordnung SIA 103, Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1984
- [32] SIA: Norm SIA 162, Betonbauten, 1989/Teilrevision 1993, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1993
- [33] SIA: Vornorm SIA V162.001, Eurocode 2, Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1 Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau, Europäische Vornorm, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1992
- [34] SIA: Empfehlung SIA 169, Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1987
- [35] SIA: Norm SIA 169, Vernehmlassungsentwurf, Erhaltung von Ingenieurbauten und Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1993
- [36] SIA: Norm SIA 198, Untertagebau, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1993
- [37] SIA: Norm SIA 462, Nachrechnung und Verstärkung bestehender Bauwerke, Vernehmlassungsentwurf, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1993
- [38] SIA: Merkblatt SIA 2002, Inspektion und Instandsetzung von Bauteilen aus Beton, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1990
- [39] SZS: SN 555 001, B3 Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen, Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Überzüge von der TK-SZS, Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, Zürich, 1990
- [40] Teichert P.: Spritzbeton, E. Laich SA, Avegno, 1991
- [41] WTA: Merkblatt 85.101, Unterhalt von Betonbauwerken – Vorbeugender Schutz und Instandsetzung, Wissenschaftlich-technischer Arbeitskreis für Denkmalpflege und Bauwerkssanierung e.V. Gruppe Schweiz, Zürich, 1985

Anhang

Anhang A – Begriffsdefinitionen	121
Anhang B – Spritzbeton	127
Anhang C – Taupunktbestimmungstabelle	131
Anhang D – Elektrochemische Verfahren	133

Anhang A – Begriffsdefinitionen

In Anlehnung an RiLi DAfStB [6] und ZTV-SIB 90 [4]

A

Abreissversuch

Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit des Betonuntergrundes bzw. der Haftzugfestigkeit einer Beschichtung darauf durch Zugbeanspruchung normal zur Oberfläche.

Abstreuen

Breitwürfiger Auftrag von getrockneten Mineralstoffen auf eine frische organische Beschichtung, wobei das Korn fest in die Oberfläche eingebunden wird.

Adhäsion

Zusammenhalt von zwei Stoffen, die sich eng berühren.

Adhäsionsbruch

Bruch zwischen zwei Schichten.

Alkalität

Stark basische Wirkung des Porenwassers im Zementstein, die sich durch Lösung von Calciumhydroxid und anderen Alkalien einstellt.

Alkalitätsreserve

Von Zementart und Zementmenge abhängige Fähigkeit eines Betons, das durch Karbonatisierung aufgebrauchte Calciumhydroxid im Porenwasser des Zementsteins zu ersetzen.

Alterung

nicht umkehrbare, von Umweltfaktoren bestimmte Änderung der Gebrauchseigenschaften eines Baustoffs.

Anode

Positiv geladene Elektrode. Der anodische Teilprozess einer Metallkorrosion gibt Metallionen an den Elektrolyten ab und ist mit einem Substanzverlust verbunden.

Arbeitsfuge

Ansatzstelle durch Arbeitsunterbrechung im Betonersatz- und Oberflächenschutzsystem.

Ausblühung

Verfärbung der Bauteiloberfläche durch auffällige Ablagerung von Salzen, die mit Hilfe von Wasser an die Oberfläche transportiert oder dort umgewandelt wurden.

Ausbruchufer

Grenze, bis zu welcher der Beton an Schadstellen abgetragen werden muss, um ungeschädigten bzw. während der Restnutzungsdauer ungefährdeten Untergrund zu erreichen.

Ausgleichsfeuchte

Stoffspezifische Feuchte eines porösen Baustoffs, die mit der Luftfeuchte der Umgebung im Gleichgewicht steht.

Ausgleichsschicht

Schicht zur Herstellung einer ebenen und profilgerechten Oberfläche.

Aushärtung

Übergang eines organischen Stoffes vom flüssigen in den festen Zustand unter Molekülvergrößerung und Vernetzung durch chemische Reaktionen.

B

Belag

siehe Beschichtung

Belegung

Schichten von festen oder flüssigen Fremdstoffen sowie von eigenen Korrosionsprodukten auf einem Bauteil, die in der Regel vor Auftrag einer Beschichtung entfernt werden müssen.

Beschichtung

Schicht auf der Oberfläche, die allen Unebenheiten folgt, bzw. Unebenheiten weitgehend ausgleicht.

Beschichtungsstoff

Flüssiges bis pastenförmiges Stoffgemisch, das aus Bindemitteln sowie ggf. zusätzlich aus Feststoffen und sonstigen Zusätzen besteht und das nach der Verarbeitung durch Trocknung oder chemische Reaktion in den festen Zustand übergeht.

Betonersatz

Ersatz von fehlendem oder geschädigtem Beton in oberflächennahen Bereichen.

Betonersatzsystem

Besteht aus Baustoffen des Betonersatzes und in der Regel aus der Haftbrücke sowie ggf. aus dem Korrosionsschutz und dem Feinspachtel.

Betonkorrosion

Sichtbare Veränderung eines Betons durch chemische und physikalische Einflüsse.

Betonuntergrund

Beton unter dem jeweils herzustellenden Betonersatz- oder Oberflächenschutzsystem.

Bindemittel

Nichtflüchtiger Anteil (Zementleim, Kunstharz) eines Beschichtungsstoffes, der eingemischte Feststoffe (Zuschläge, Pigmente, Füllstoffe) untereinander und mit dem Betonuntergrund fest verbindet.

C

Chlorid-Extraktion

Entfernen von Chloridionen aus einem Betonuntergrund durch physikalische oder elektrochemische Verfahren.

D

Dehnfähigkeit

Gewährung von Freiheitsgraden, ohne dabei merkliche Schnittgrößen zu übertragen (siehe auch Kraftschluss).

Depassivierung

Verlust des Korrosionsschutzes von Stahleinlagen in Betonbauteilen, bedingt durch Karbonatisierung der Betondeckung oder Belegung der Stahloberfläche mit Chloridionen.

Diffusion

Wanderung von Molekülen und Ionen aufgrund von örtlichen Unterschieden in Druck oder Konzentration.

Diffusionswiderstand (gegenüber Wasserdampf)

Die Diffusionswiderstandszahl gibt an, wievielmals grösser der Durchlasswiderstand eines Stoffes ist, als der einer gleich dicken ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur.

Dispersion

Feinste Verteilung eines Stoffes in einem anderen, wobei beide Stoffe ineinander schwer- oder unlöslich sind und voneinander unterschiedliche Zustandsformen (fest, flüssig, gasförmig) einnehmen können.

E

Eigenfeuchte

Feuchte eines porösen Baustoffes infolge kapillarer Aufnahme von flüssigem Wasser bzw. infolge Sorption von Wasserdampf.

Einbürsten

Verfahren zur Beschichtung eines rauen bzw. staubbelegten Untergrundes, auf den der Beschichtungsstoff zur besseren Benetzung durch kräftiges Bürsten aufgetragen wird.

Emulsion

Feinste Verteilung einer Flüssigkeit in einer Flüssigkeit, wobei beide Stoffe ineinander schwer- oder unlöslich sind.

Erhärtung

Übergang eines mineralisch gebundenen Stoffes vom flüssigen in den festen Zustand durch chemische Reaktionen.

F

Farbstoff

Organisches Farbmittel, das im Gegensatz zu den Pigmenten in Lösemitteln und Bindemitteln gelöst wird.

Feinspachtel

Wird in ein bis zwei Lagen aufgebracht und dient dem Porenschluss sowie einem Glätten der Oberfläche.

Festkörpergehalt

Massen- oder volumenbezogener Anteil eines Beschichtungsstoffes, der nach Trocknen unter festgelegten Bedingungen als Rückstand verbleibt.

Feuchte

Absolute Luftfeuchte: Masse dampfförmigen Wassers bezogen auf Volumen feuchter Luft; relative Luftfeuchte: absolute Luftfeuchte bezogen auf grösstmögliche Luftfeuchte bei gleicher Temperatur; Stofffeuchte: Masse flüssigen Wassers bezogen auf Masse getrockneten Festkörpers.

Filmbildung

Übergang einer organischen Beschichtung vom flüssigen in den festen Zustand durch chemische Härtung oder physikalische Trocknung (Abgabe von Lösemittel) unter Ausbildung von zusammenhängenden Schichtstrukturen.

Filmdicke (= Schichtdicke)

Siehe Schichtdicke.

Fluten

Beschichtungsverfahren für kapillarporige Oberflächen, bei dem der aufzutragende Stoff zeitweise im Überschuss angeboten wird.

Füller/Füllstoff

Pulver- oder faserförmiger, chemisch inerte Zusatz zu Beschichtungsstoffen, der deren technische Eigenschaften verändert und dabei im jeweiligen Bindemittel praktisch unlöslich ist.

G

Grundierung

Ggf. erforderliche Zwischenschicht für den Einbau von Oberflächenschutzschichten.

H

Haftbrücke

Adhäsiv wirkende Zwischenschicht zur Verbesserung der Haftung des Betonersatzes.

Haftzugfestigkeit

Siehe Abreissversuch.

Hauptsächlich wirksame Oberflächenschutzschichten

Für die Funktion des Oberflächenschutzsystems massgebende Schicht.

Hilfsstoff

Substanz, die einem Beschichtungsstoff in geringer Menge zugesetzt wird, um besondere Eigenschaften zu erzielen, z.B. Netzmittel, Gift, Beschleuniger.

Hydrolyse (siehe auch Verseifen)

Chemische Zersetzung eines Stoffes unter Wassereinwirkung.

Hydrophobierung

Nichtfilmbildende wasserabweisende Imprägnierung eines kapillarporigen Untergrundes, die eine Diffusion von Wasserdampf kaum behindert.

I

Imprägnierung

Schutzbehandlung eines kapillarporigen Untergrundes gegen physikalische, chemische oder biologische Angriffe durch Einbringen flüssiger Schutzmittel in dessen Porensystem, wobei eine vollständige Benetzung der Porenwandungen angestrebt wird. Die grösseren Kapillarporen bleiben in der Regel geöffnet.

Injektion

Siehe Verpressen.

K

Kohäsion

Zusammenhalt innerhalb eines Stoffes.

Kohäsionsbruch

Bruch innerhalb einer Schicht.

Kontaminierung

Belegung (Verschmutzung) einer Bauteiloberfläche mit Fremdstoffen; meist wird der Begriff gebraucht für eine Belegung mit radioaktiven Produkten.

Korrosionsschutz der Bewehrung

Besteht aus mindestens zwei Grundbeschichtungen und schützt die Bewehrung vor Korrosion, wenn die Betondeckung durch den Betonersatz nicht ausreichend ist oder durch die stoffliche Zusammensetzung des Betonersatzes kein Korrosionsschutz gewährleistet ist.

Kraftschluss

Übertragung von Schnittgrösse, ohne dabei merkliche Freiheitsgrade zu gewähren (siehe auch Dehnfähigkeit).

Kunstharz

Synthetisch hergestellter Rohstoff für organische Bindemittel, der zum Teil durch Vernetzung zu Duromeren härten kann.

Kunststoffdispersion

In Wasser feinstverteilte Kunststoffteilchen, die bei Verdunsten des Wassers untereinander verkleben und Filme bilden können.

Kunststoffmodifizierter Mörtel/Beton

Zementmörtel/Beton, dem zur Beeinflussung der Frisch- und Festeigenschaften organische Stoffe (Kunststoffdispersionen, wasserdispergierbare Kunststoffpulver, wasseremulgierbare Reaktionsharze) bis zu 5% seiner Gesamttrockenmasse zugesetzt werden.

L

Lage

In einem Arbeitsgang hergestellte Schicht.

Lasur

Dünne Beschichtung, die die Eigenfarbe des Untergrundes durchscheinen lässt.

Lochfrass

Korrosionsform von Metallen, bei der die Passivschicht örtlich begrenzt durchbrochen wird, was zu tiefen Korrosionskratern führt, während ausserhalb davon praktisch kein Flächenabtrag vorliegt.

Lösemittel

Flüssigkeit, die Bindemittel von organischen Beschichtungsstoffen ohne chemische Umsetzung zu lösen (verdünnen) vermag, um sie auf die zur Verarbeitung erforderliche Viskosität einzustellen, und die sich im Regelfall bei der Filmbildung verflüchtigt.

M

Mittlere Auftragsdicke d

Mittelwert der nach Ausführung gemessenen Schichtdicke.

N

Nassfilmdicke

Siehe Schichtdicke.

Nichtflüchtiges

Siehe Festkörpergehalt.

O

Oberflächennaher Beton

Beton in Bereichen bis unter die Bewehrung, an einzelnen Stellen auch tiefer.

Oberflächenschutz

Massnahmen zum Schutz der Betonoberfläche durch Hydrophobierung oder Beschichtung.

Oberflächenschutzsystem

Besteht aus den Stoffen der einzelnen Schichten des Oberflächenschutzes.

Oberflächenvorbereitung

Schaffung einer geeigneten Oberfläche der Betonunterlage für Betonersatz oder Oberflächenschutz.

P

PC (Polymer-Concrete)

Mörtel/Beton aus Zuschlagstoffen und Reaktionsharzen als Bindemittel.

PCC (Polymer-Cement-Concrete)

Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz.

Physikalische Trocknung

Filmbildung eines Beschichtungsstoffes ohne chemische Reaktion, ausschliesslich bewirkt durch Verdunstung eines Lösemittels.

Pigment

Organisches oder anorganisches Farbmittel, das im Gegensatz zu Farbstoffen in Lösemitteln und Bindemitteln praktisch unlöslich ist.

Pufferkapazität

Vermögen eines Betons, die Änderung von Ionenkonzentrationen im Porenwasser seines Zementsteins bei Zutritt von Wässern, Säuren oder Basen auszugleichen.

R

Rauhigkeit

Abweichen der Oberfläche eines definierten kleinen Messbereiches von einer gedachten Ebene.

Reaktionsharz

Flüssiges Kunstharz, das bereits bei Raumtemperatur durch chemische Reaktion mit seiner Umgebung (Einkomponentenharz) oder mit niedermolekularen (Mehrkomponentenharz) in der Regel ohne Abscheidung von Spaltprodukten härtet.

Repassivierung

Wiederherstellung des Korrosionsschutzes von Stahleinlagen in Betonbauteilen durch alkalische Stoffe.

Reprofilierung

Wiederherstellung der ursprünglichen geometrischen Form eines Bauteils.

Riss

Trennung im Betongefüge, einschliesslich in Fugen und Arbeitsfugen. Es wird zwischen oberflächennahen Rissen und Trennrissen unterschieden:

- Oberflächennahe Risse erfassen nur geringe Querschnittsteile und sind häufig netzartig ausgebildet.
- Trennrisse erfassen wesentliche Teile des Querschnitts (z.B. Zugzone, Steg) oder den Gesamtquerschnitt.

S

Saugfähigkeit

Aufnahme drucklos benetzender Flüssigkeiten durch Kapillarporen.

Schicht

Besteht aus einer oder mehreren Lagen gleicher Zusammensetzung.

Schichtdicke

Dicke einer Beschichtungslage im frischen Zustand (Nassschichtdicke) bzw. nach Trocknung oder Härtung (Trockenschichtdicke). Es werden unterschieden:

- Systemspezifische Mindestschichtdicke ($d_{\min s}$)
Sie ergibt sich aus den bisher vorliegenden praktischen Erfahrungen bei der Verarbeitung und Nutzung von Oberflächenschutzsystemen. Sie ist, bezogen auf die für die Funktion hauptsächlich wirksamen Schichten, für jedes OS-System festgelegt.

- Systemspezifische Maximaldicke ($d_{\max s}$)
Sie ergibt sich aufgrund praktischer Erfahrungen bei Verarbeitung und Nutzung von Oberflächenschutzsystemen und ist bei Bedarf für die OS-Systeme festgelegt.
- Produktspezifische Mindestschichtdicke ($d_{\min p}$)
Sie ergibt sich aus den Anforderungen an die Funktionstüchtigkeit für ein bestimmtes Produkt. Sie wird in der Grundprüfung ermittelt und darf nicht kleiner als $d_{\min s}$ sein. Massgebend hierfür sind u.a. die geforderten CO_2 -Diffusionseigenschaften und ggf. die Rissüberbrückungseigenschaften.
- Produktspezifische Maximalschichtdicke ($d_{\max p}$)
Sie ergibt sich aus den Anforderungen an die Funktionstüchtigkeit für ein bestimmtes Produkt. Sie wird in der Grundprüfung ermittelt und darf nicht grösser als $d_{\max s}$ sein. Massgebend hierfür sind u.a. die geforderten H_2O -Diffusionseigenschaften.
- Sollsichtdicke (d_{soll})
Sie ist eine aufgrund von statistischen Annahmen ermittelte Schichtdickenvorgabe, die nach der Ausführung im Mittel auf der massgeblichen Fläche mindestens erreicht werden muss, damit die produktspezifische Mindestschichtdicke ($d_{\min p}$) mit 95%iger Sicherheit an keiner Stelle unterschritten wird.

Massgebend für den erforderlichen Zuschlag, um den d_{soll} über $d_{\min p}$ liegt, sind die Steuerungen der gemessenen Schichtdicke und die Anzahl der durchgeführten Messungen.

- Mittlere Auftragsschichtdicke (d)
Sie ergibt sich als Mittelwert aller über die massgebliche Fläche verteilten Einzelmessungen nach Aussonderung von echten Ausreissern. d darf d_{soll} nicht unter- und $d_{\max p}$ nicht überschreiten.

Es gilt folgende Zuordnung:

$$d_{\min s} \leq d_{\min p} \leq d_{\text{soll}} \leq d \leq d_{\max p} \leq d_{\max s}$$

Spachtelmasse

pigmentierter, hochgefüllter Beschichtungsstoff der zieh-, streich- oder spritzbar eingestellt sein kann, vorwiegend zum Ausgleich von Unebenheiten des Untergrundes und zum Schliessen von Oberflächenporen.

SPCC (Spritz-PCC)

Im Spritzverfahren aufzubringender Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz.

T

Taupunkt

Vom Klima der Umgebung abhängige Temperatur eines Bauteils, die gerade niedrig genug ist, um Kondensation von Wasserdampf auf der Bauteiloberfläche zu erreichen.

Thixotropie

Eigenschaft bestimmter Stoffgemische, bei mechanischer Beanspruchung leicht fließend, im Ruhezustand gelartig steif zu sein.

Tränken

Füllen von Rissen ohne Druck.

Trennmittel

Stoffe, die das Entschalen von mineralisch oder organisch gebundenen Betonen erleichtern.

Trockenfilmdicke

Siehe Schichtdicke.

Trocknungszeit

Zeitspanne zwischen Auftrag eines flüssigen Beschichtungsstoffes und Erreichen eines bestimmten Zustandes während der Filmbildung, z.B. staubtrocken, klebfrei, griffest.

U

Überarbeitbarkeit

Möglichkeit zum Auftrag von Folgebeschichtungen ohne schädigende Wechselwirkung im Schichtverbund.

V

Verarbeitungszeit

Von Umgebungstemperatur und Ansatzmenge abhängige Zeitspanne, in der ein Reaktionsharz gerade noch eine verarbeitungsgerechte Viskosität aufweist.

Verbrauch

Menge eines Beschichtungsstoffes, die erforderlich ist, um eine Fläche bestimmter Grösse unter gegebenen Verarbeitungsbedingungen mit einer Beschichtung zu versehen.

Verdämmung

Verschluss von Rissen an der Bauteiloberfläche, verhindert während des Verpressens das Austreten des Rissfüllstoffes.

Verlauf

Mehr oder weniger ausgeprägte Eigenschaft einer noch flüssigen Beschichtung, die bei ihrem Auftrag entstandenen Unebenheiten selbsttätig auszugleichen.

Verpressen

Füllen von Rissen unter Druck über Einfüllstutzen.

Verseifen

Sonderform der Hydrolyse, bei der vorzugsweise Estergruppen von Polymeren unter dem Einfluss von hoher Alkalität chemisch gespalten werden.

Versiegelung

Ausfüllen der oberflächennahen Kapillarporen des Betonuntergrundes unter gleichzeitiger Bildung eines dünnen zusammenhängenden Oberflächenfilms.

Viskosität

Zähigkeit einer Flüssigkeit.

W

Wirkstoffgehalt

Wirksamer Anteil eines Hydrophobierungsstoffes.

Wirkstoffmenge

Auf die Betonunterlage aufgebrachte Menge des wirksamen Anteils eines Hydrophobierungsstoffes.

Z

Zementhaut

Zementreiche Feinstmörtelschicht an Betonoberflächen. Muss gegebenenfalls zur Verbesserung der Haftung von Beschichtungen entfernt werden.

Zementschlämme

Zementgebundene Haftbrücke.

Anhang B – Spritzbeton

Auszug aus SIA 198 (1993), Untertagebau [36]

3 12 Spritzbeton

3 12 1 Allgemeines

3 12 11 Mit Spritzbeton wird Beton bezeichnet, der an der Einbaustelle durch Spritzen aufgetragen und dabei verdichtet wird.

Im folgenden ist unter Spritzbeton auch Gunit zu verstehen. Spritzbeton und Gunit unterscheiden sich lediglich durch ihren Grösstkorndurchmesser.

3 12 12 Je nach Spritzverfahren wird Trocken- oder Nassgemisch als Ausgangsmischung verwendet.

3 12 13 Beim Trockenspritzbeton bezieht sich die Zementdosierung auf 1000 Liter Zuschlagstoffe oder das entsprechende Schüttgewicht.

3 12 14 Beim Nassspritzbeton bezieht sich die Zementdosierung auf den mit dem Ausgangsgemisch in einer Schalung, ohne Rückprall hergestellten, fertig verdichteten Kubikmeter Beton.

3 12 15 Die Art und Dosierung von Zusätzen sind vom Bauherrn genehmigen zu lassen.

3 12 16 Es werden vier Spritzbetonklassen unterschieden:

- Klasse A: Spritzbeton ohne tragende Aufgaben (z.B. Gebirgsversiegelung, Auffüllen von Klüften, Untergrund für Dichtungsbahnen)
- Klasse B: Spritzbeton mit vorübergehend tragenden Aufgaben
- Klasse C: Spritzbeton mit dauernden tragenden Aufgaben
- Klasse D: Spritzbeton mit besonderen Eigenschaften (z.B. Wasserdichtigkeit, chemische Beständigkeit).

Für die erste Schicht der Ausbruchsicherung kommt nur Spritzbeton der Klasse B zur Anwendung.

3 12 2 Qualität

3 12 21 Falls in den Ausschreibungsunterlagen keine anderen Werte verlangt sind, gelten für die Würfeldruckfestigkeit die Anforderungen der Norm SIA 162 gemäss Tabelle 1.

Spritzbetonklasse	Bezeichnung gemäss SIA 162
A	B 25/15
B	B 30/20
C	B 35/25
D	gemäss objektspezifischen Anforderungen

Tabelle 1

Die Bezeichnung des Betons gemäss SIA 162 enthält zwei Werte der Würfeldruckfestigkeit:

- Der erste obere Wert entspricht dem Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit, ausgehend vom geforderten Mindestwert unter Berücksichtigung einer Standardabweichung von 5 N/mm².
- Der zweite, untere Wert ist der für den Nachweis der Qualität massgebende Mindestwert der Würfeldruckfestigkeit. Dieser Mindestwert entspricht ungefähr der 2%-Fraktile der Gauss'schen Normalverteilung, d.h. bei einer grossen Anzahl Prüfungen wird der Mindestwert von 2% der Prüfwerte unterschritten.

3 12 22 Die Verwendung von Spritzbeton der Klassen C und D setzt systematische, schlüssige Vorversuche voraus, die zeigen, dass die an den Spritzbeton gestellten Anforderungen am Bauwerk erreicht werden.

3 12 23 Der Spritzbeton der Klasse C hat eine regelmässige Oberflächenstruktur aufzuweisen.

3 12 24 Die objektspezifischen Anforderungen für Spritzbeton der Klasse D in bezug auf Festigkeit, Wasserdichtigkeit, Frostbeständigkeit, Frost-Tausalz-Beständigkeit, chemische Beständigkeit, Haftzugfestigkeit, Abriebfestigkeit, Oberflächenbeschaffenheit usw. sind in den Ausschreibungsunterlagen festzulegen.

3 12 3 Prüfung

3 12 31 Die Druckfestigkeit muss mit Stichproben gemäss Norm SIA 162 an Bohrkernen nachgewiesen werden. Eine Stichprobe umfasst maximal 15 Einzelwerte f_{cwi} . Bei einer grösseren Anzahl Einzelwerte werden diese in fortlaufenden Beurteilungsabschnitten von max. 15 Einzelwerten ausgewertet.

3 12 32 Die Druckfestigkeit wird an Bohrkernen mit einem Durchmesser und einer Länge von je 50 mm geprüft. Diese Bohrkern werden dem Bauwerk gemäss Norm SIA 162/1 entnommen.

3 12 33 Jeder Einzelwert f_{cwi} stellt das Mittel aus fünf am selben Ort entnommenen Bohrkernen dar. Letztere gelten als ein Prüfkörper.

3 12 34 Die Streuung der Festigkeitswerte beim Spritzbeton ist in der Regel grösser als diejenige, welche der Bezeichnung der Spritzbetonklasse in Ziffer 3 12 21 zugrunde liegt. Deshalb gilt der Mindestwert der Druckfestigkeit als erreicht, wenn die nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$f_{cwm}(n) - 10 \text{ N/mm}^2 \geq 0.85 f_{cw, \min}$$

und entweder: $\text{Max } f_{cwi} - \text{Min } f_{cwi} \leq \Delta f_{cw}(n)$

oder: $\text{Min } f_{cwi} \geq 0.85 f_{cw, \min}$

$f_{cw, \min}$: Mindestwert der Würfeldruckfestigkeit

$f_{cwm}(n)$: mittlere Druckfestigkeit der n Prüfkörper (Einzelwerte)

$\text{Max } f_{cwi}$: grösster Prüfwert der Druckfestigkeit in der Stichprobe

$\text{Min } f_{cwi}$: kleinster Prüfwert der Druckfestigkeit in der Stichprobe

$\Delta f_{cw}(n)$: zulässige Differenz gemäss Tabelle 2

Anzahl n (Einzelwerte)	1...3	4...6	7...9	10...12	13...15
Zulässige Differenz $\Delta f_{cw}(n)$ [N/mm ²]	9	11	13	15	16

Tabelle 2

- 3 12 35 Massgebendes Erstellungsdatum ist dasjenige der letzten von der Prüfung erfassten Spritzbetonschicht.
- 3 12 36 Lassen die Schichtdicken oder andere Gegebenheiten eine direkte Bohrkernentnahme nicht zu, sind unter gleichen Bedingungen am Bauwerk spezielle Probeplatten herzustellen.
- 3 12 37 Für den Nachweis der Druckfestigkeit ist die minimale Anzahl Einzelwerte gemäss Tabelle 3 erforderlich.

	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
Vorversuche	–	–	immer	immer
laufender Qualitätsnachweis	1 Einzelwert pro 250 m ³ Ausgangsgemisch, jedoch mind. 3 pro Baustelle	1 Einzelwert pro 200 m ³ Ausgangsgemisch, jedoch mind. 3 pro Baustelle	1 Einzelwert pro 150 m ³ Ausgangsgemisch, jedoch mind. 6 pro Baustelle	objektspezifische Kriterien gemäss Angaben in den Ausschreibungsunterlagen

Tabelle 3

- 3 12 38 Die Prüfung der Zuschlagstoffe erfolgt gemäss Norm SIA 162/1, jene des Zementes gemäss Norm SIA 215.001.

Anhang C – Taupunktbestimmungstabelle

Aus ZTV-SIB 90 [4]

Lufttemperatur (°C)	Taupunkttemperaturen in °C bei einer relativen Luftfeuchte von										
	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
2	- 7,77	- 6,56	- 5,43	- 4,40	- 3,16	- 2,48	- 1,77	- 0,98	- 0,26	+ 0,47	+ 1,20
4	- 6,11	- 4,88	- 3,69	- 2,61	- 1,79	- 0,88	- 0,09	+ 0,78	+ 1,62	+ 2,44	+ 3,20
6	- 4,49	- 3,07	- 2,10	- 1,05	- 0,08	+ 0,85	+ 1,86	+ 2,72	+ 3,62	+ 4,48	+ 5,38
8	- 2,69	- 1,61	- 0,44	+ 0,67	+ 1,80	+ 2,83	+ 3,82	+ 4,77	+ 5,66	+ 6,48	+ 7,32
10	- 1,26	+ 0,02	+ 1,31	+ 2,53	+ 3,74	+ 4,79	+ 5,82	+ 6,79	+ 7,65	+ 8,45	+ 9,31
12	+ 0,35	+ 1,84	+ 3,19	+ 4,46	+ 5,63	+ 6,74	+ 7,75	+ 8,69	+ 9,60	+ 10,48	+ 11,33
14	+ 2,20	+ 3,76	+ 5,10	+ 6,40	+ 7,58	+ 8,67	+ 9,70	+ 10,71	+ 11,64	+ 12,55	+ 13,36
15	+ 3,12	+ 4,65	+ 6,07	+ 7,36	+ 8,52	+ 9,63	+ 10,70	+ 11,69	+ 12,62	+ 13,52	+ 14,42
16	4,07	5,59	6,98	8,29	9,47	10,61	11,68	12,66	13,63	14,58	15,54
17	5,00	6,48	7,92	9,18	10,39	11,48	12,54	13,57	14,50	15,36	16,19
18	5,90	7,43	8,83	10,12	11,33	12,44	13,48	14,56	15,41	16,31	17,25
19	6,80	8,33	9,75	11,09	12,26	13,37	14,49	15,47	16,40	17,37	18,22
20	7,73	9,30	10,72	12,00	13,22	14,40	15,48	16,46	17,44	18,36	19,18
21	8,60	10,22	11,59	12,92	14,21	15,36	16,40	17,44	18,41	19,27	20,19
22	9,54	11,16	12,52	13,89	15,19	16,27	17,41	18,42	19,39	20,28	21,22
23	10,44	12,02	13,47	14,87	16,04	17,29	18,37	19,37	20,37	21,34	22,23
24	11,34	12,93	14,44	15,73	17,06	18,21	19,22	20,33	21,37	22,32	23,18
25	12,20	13,83	15,37	16,69	17,99	19,11	20,24	21,35	22,27	23,30	24,22
26	13,15	14,84	16,26	17,67	18,90	20,09	21,29	22,32	23,32	24,31	25,16
27	14,08	15,68	17,24	18,57	19,83	21,11	22,23	23,31	24,32	25,22	26,10
28	14,96	16,61	18,14	19,38	20,86	22,07	23,18	24,28	25,25	26,20	27,18
29	15,85	17,58	19,04	20,48	21,83	22,97	24,20	25,23	26,21	27,26	28,18
30	16,79	18,44	19,96	21,44	23,71	23,94	25,11	26,10	27,21	28,19	29,09
32	18,62	20,28	21,90	23,26	24,65	25,79	27,08	28,24	29,23	30,16	31,17
34	20,42	22,19	23,77	25,19	26,54	27,85	28,94	30,09	31,19	32,13	33,11
36	22,23	24,08	25,50	27,00	28,41	29,65	30,88	31,97	33,05	34,23	35,06
38	23,97	25,74	27,44	28,87	30,31	31,62	32,78	33,96	35,01	36,05	37,03
40	25,79	27,66	29,22	30,81	32,16	33,48	34,69	35,86	36,98	38,05	39,11
45	30,29	32,17	33,86	35,38	36,85	38,24	39,54	40,74	41,87	42,97	44,03
50	34,76	36,63	38,46	40,09	41,58	42,99	44,33	45,55	46,75	47,90	48,98

Die Taupunktabelle gibt an, bei welchen Oberflächentemperaturen Kondensat auftritt in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit. So wird z.B. bei einer Lufttemperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 % Kondensat auf nichtsaugenden Oberflächen mit Oberflächentemperaturen unter 14,4°C anfallen.

Anhang D – Elektrochemische Verfahren

Gegenüberstellung der elektrochemischen Verfahren

Verfahren	KKS Kathodischer Korrosionsschutz	ECE Elektrochemische Entsalzung	ER Elektrochemische Realkalisierung
Anwendung bei Schädigung durch	Chloridversalzung Karbonatisierung	Chloridversalzung	Karbonatisierung
Anode	Titannetz	Titannetz oder Armierungsnetz	Armierungsnetz
Einbettung der Anode	Überzugsmörtel auf Zementbasis von min. 3 cm Dicke	wassergesättigte Zellulosefaser-Masse	wassergesättigte Zellulosefaser-Masse mit Soda-Anreicherung
Stromfluss	5–15 mA/m ²	0,5–1 A/m ²	0,5–1 A/m ²
Spannung	1–3 V	30–45 V	5–40 V
Mechanismus	Potential der Bewehrung wird abgesenkt, so dass Anode zur Kathode wird	Cl ⁻ -Ionen wandern aus dem Bereich der Bewehrung (Kathode) hin zur Anode und werden dadurch aus dem Beton entfernt. Im Bereich rund um den Bewehrungsstab wird der pH-Wert angehoben.	Na ⁺ -Ionen wandern aus der Einbettungsmasse in den Beton in Richtung zur Bewehrung (Kathode) hin. Der pH-Wert wird im Beton und insbesondere im Bereich rund um die Bewehrung herum angehoben.
Dauer	permanent	6–8 Wochen	4–10 Tage
Einschränkung	Gefahr von Wasserstoffversprödung bei Spannstahl	Gefahr von Wasserstoffversprödung bei Spannstahl	Gefahr von Wasserstoffversprödung bei Spannstahl
Nachträglicher Oberflächenschutz	i. allg. nicht nötig	gegen Chloridversalzung	gegen Karbonatisierung
Stand der Entwicklung	anwendungsreif	anwendungsreif unter gewissen Vorbehalten (Gleichmässigkeit der Wirkung, Überprüfung)	Wirkung nachgewiesen, Dauerhaftigkeit noch nicht abschliessend beantwortet, Anwendung mit Vorsicht