

Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken

Leitfaden für
Bauingenieure



Impulsprogramm IP Bau
Bundesamt für Konjunkturfragen

Die vorliegende Dokumentation «Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken – Leitfaden für Bauingenieure» ist durch die gleichnamige Arbeitsgruppe des «IP Bau – Erhaltung und Erneuerung, Fachbereich Tiefbau» ausgearbeitet worden.

Mitglieder der Arbeitsgruppe Zustandsuntersuchung:

H. Bohnenblust, Ernst Basler & Partner, Zollikon
P. Hitz, Ernst Basler & Partner, Zollikon
Dr. M. Ladner, ZTL, Horw/Uster
P. Lehmann, CES Bauingenieure, Sarnen
Dr. R. Suter, Schindelholz & Dénériaz, Lausanne
A. Steiger, Beratende Ingenieure, Luzern

Mitglieder des Expertenteams:

E. Braem, C. Zschokke AG, Zürich
M. Donzel, Bundesamt für Strassenbau, Bern
Dr. J. Grob, Emch+Berger, Winterthur
Prof. Dr. M. Hirt, EPFL-ICOM, Lausanne
P. Kunz, EPFL-ICOM, Lausanne
Dr. P. Lüchinger, Wenaweser+Wolfensberger, Zürich
Prof. J. Schneider, ETHZ-IBK, Zürich
M. Tschumi, SBB GD, Bern

An dieser Stelle sei auch allen weiteren Fachleuten aus Praxis, Lehre und Forschung, die wertvolle Beiträge in Form von Auskünften und Stellungnahmen zu einzelnen Kapiteln geleistet haben, bestens gedankt. Verschiedene Firmen haben in verdankenswerter Weise Unterlagen und Bildmaterial zur Verfügung gestellt.

Leitung der Arbeitsgruppe:

Dr. M. Ladner, ZTL, Horw/Uster

Bildnachweis:

Die Bilder stammen zu einem Teil von den Autoren. Bei aus Publikationen entnommenen Bildern ist die Quelle in der jeweiligen Legende angegeben. Weiter haben die folgenden Institutionen grosszügigerweise Bildmaterial zur Verfügung gestellt:

- CISO-OA, Neuchâtel
- Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
- EPFL-IBAP, Lausanne
- Proceq AG, Zürich
- Technische Forschungs- und Beratungsstelle, Wildegg
- Tiefbauamt des Kantons Luzern, Abteilung Brücken- und Wasserbau
- VSL Betonexpert, Bern

Allen Bildlieferanten sei an dieser Stelle bestens gedankt.

Gestaltung:

APUI, Hochfeldstrasse 113, 3000 Bern 26

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, Juli 1992

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.456 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 Fähigkeitenkapital geleistet werden.

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

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

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, usw.

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

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

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

Zuständigkeiten

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

Dokumentation

Die Beurteilung des Zustandes bestehender Bauwerke ist ein äusserst komplexes Unterfangen und stellt an das Wissen und Können des beurteilenden Ingenieurs sehr hohe Anforderungen. Die vorliegende Dokumentation will ihm deshalb behilflich sein, sich zunächst einmal in dieses Gebiet einarbeiten zu können. Später will sie ihn dann

aber auch bei der Ausführung der Arbeiten unterstützen. Deshalb folgt der Aufbau der Dokumentation im wesentlichen auch dem Ablauf der Arbeiten.

Darüber hinaus sind als Grundlageninformationen gleich nach der Einleitung in einem Kapitel die am häufigsten vorkommenden Schädigungsmechanismen sowie Schadensursachen für verschiedene Bauweisen zusammengestellt. Als weitere Hilfen werden in den Anhängen Vorschläge für eine Grobbeurteilung des Bauteilzustandes und typische Schadensbilder angegeben. Checklisten für die visuelle Untersuchung und Beispiele, an denen verschiedene Vorgehensweisen demonstriert werden, bilden sodann den Abschluss dieser Anhänge.

Nach einer Vernehmlassung und dem Anwendungstest in einer Pilotveranstaltung ist die vorlie-

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

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

Juni 1992

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Allgemeines	8
1.2	Inhalt und Ziele der Dokumentation	9
1.3	Zielpublikum	9
1.4	Vorschriften und Normen	10
<hr/>		
2	Schädigungsmechanismen und Schadenursachen	11
2.1	Einleitung	12
2.2	Baustoffspezifische Alterungs- und Schädigungsmechanismen	15
2.3	Nutz- und Verkehrslasten	33
2.4	Einwirkungen aus dem Baugrund	36
2.5	Aussergewöhnliche Einwirkungen	40
2.6	Entwurf, Ausführung, Überwachung und Unterhalt	42
2.7	Steigerung der Komfortansprüche	46
<hr/>		
3	Zielsetzung und Phasen der Zustandsuntersuchung	49
3.1	Zielsetzung	50
3.2	Phasen einer Zustandsuntersuchung	51
<hr/>		
4	Vorbereitung der Zustandsuntersuchung	59
4.1	Definition Vorbereitung	60
4.2	Ausgangspunkt der Vorbereitung	60
4.3	Ziel der Vorbereitung	60
4.4	Ablauf der Vorbereitung	60
4.5	Ergebnisse der Vorbereitung	71
<hr/>		
5	Zustandserfassung	73
5.1	Einleitung	74
5.2	Detailplanung und -vorbereitung	76
5.3	Die Zustandserfassung am Objekt	83
5.4	Auswertung und Zusammenstellung der Ergebnisse	91
<hr/>		
6	Beurteilung	93
6.1	Allgemeines	94
6.2	Grundlagen der Beurteilung	95
6.3	Beurteilung der Zustandsdaten	95
6.4	Grobbeurteilung des Bauwerkszustandes	97
6.5	Gliederung des Bauwerks	98
6.6	Vorgehen bei der Beurteilung	99
6.7	Hinweise zur Zustandsbeurteilung eines Bauwerks	100

Anhang A–D	105
Anhang A Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Bauteilen	106
Anhang B Typische Schadensbilder	115
Anhang C Checklisten für die visuelle Untersuchung	141
Anhang D Beispiele	149
<hr/>	
Publikationen des Impulsprogrammes IP Bau	181
<hr/>	

1 Einleitung

1.1	Allgemeines	8
1.2	Inhalt und Ziele der Dokumentation	9
1.3	Zielpublikum	9
1.4	Vorschriften und Normen	10

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Damit bestehende Bauwerke während einer langen Dauer genutzt werden können, müssen sie nicht nur qualitativ einwandfrei geplant und ausgeführt sein, sondern sie bedürfen auch einer sorgfältig durchgeführten Überwachung, eines Unterhalts oder einer Erneuerung. Obwohl es sich bei dieser Feststellung um eine Binsenwahrheit zu handeln scheint, hat es doch einige Zeit gedauert, bis vor allem der Bauwerksunterhalt seitens der Werkeigentümer und der Ausbildung als eine fortwährende Aufgabe erkannt worden ist. Dass man sich auch heute noch vielerorts mit dem Bauwerksunterhalt als ernst zu nehmende Ingenieuraufgabe schwer tut, zeigt schon allein die Tatsache, dass in den meisten Ausbildungsprogrammen den angehenden Bauingenieuren zwar sehr vieles über die Berechnung und Bemessung neu zu erstellender Bauwerke vermittelt, über die Probleme des Bauwerksunterhalts und damit über jene der Bauwerkserhaltung aber wenig bis gar nichts geboten wird. Berücksichtigt man jedoch, dass für den Unterhalt und die Erhaltung bzw. Erneuerung der bestehenden Bausubstanz im Bereich der Tief- und Ingenieurbauten in der Schweiz jährlich 4 bis 8 Milliarden Franken aufgewendet werden müssten [1.2], dann wird die Bedeutung, die dieser Aufgabe aus volkswirtschaftlicher Sicht zukommt, schon deutlicher. Damit die hier eingesetzten Mittel genauso optimal genutzt werden wie im Bereich der Neubauten, setzt eine ebenso seriöse wie umfassende Ausbildung der Verantwortlichen in diesem Gebiet voraus.

Es ist das Ziel des Impuls-Programmes Bauerhaltung und Erneuerung, einen Beitrag zur Schliessung von Wissenslücken in diesem Bereich beizusteuern. Dazu soll heute vorhandenes Wissen aus diesem Gebiet in einzelnen kleinen, überblickbaren und in sich geschlossenen Teilen von eigens dafür eingesetzten Arbeitsgruppen aufgearbeitet und einer grösseren Allgemeinheit zugänglich gemacht werden.

In diesem Sinne können und wollen die einzelnen Teile die gesamte Thematik nicht abschliessend und umfassend behandeln, sondern wollen nur vorhandenes, teilweise aber schwer zugängliches

Bestehende Bauwerke: (nach [1.1])

Als bestehende Bauwerke werden solche betrachtet, die ausgeführt und im Sinne von Art. 157 ff der Norm SIA 118 abgenommen worden sind.

Das Bauwerk kann aus einem Gesamtbauwerk oder einem Teil davon bestehen.

Tab. 1.1: Definition

Begriffe: (nach SIA 169)

Erhaltung: Gesamtheit aller Massnahmen, um den Zustand von Bauwerken zu erfassen, zu beurteilen und zu bewahren

Unterhalt/Instandhaltung: Massnahmen zur Wahrung und zur Wiederherstellung des Soll-Zustandes

Instandsetzung: Massnahmen zur Wiederherstellung des Soll-Zustandes

Erneuerung: Verstärkung oder Ersatz von Bauteilen oder Bauwerken

Tab. 1.2: Begriffe

Material eines Teilbereiches zusammentragen. Damit wird Ingenieuren mit einer allgemeinen Berufserfahrung, für die dieses Gebiet Neuland ist, die Möglichkeit gegeben, sich notwendige Grundlagen anzueignen. Ausserdem werden Sonderfragen und Spezialgebiete im Rahmen dieses Impulsprogrammes von weiteren Arbeitsgruppen behandelt, wozu beispielsweise die Arbeiten [1.2 bis 1.5] gehören. Daneben soll aber auch deutlich gemacht werden, wo heute noch Grenzen und ungelöste Fragen auftreten; damit sollen Diskussionen angeregt und Wege aufgezeigt werden, wie zukünftige Lösungsansätze aussehen könnten.

1.2 Inhalt und Ziele der Dokumentation

Die vorliegende Dokumentation befasst sich mit der Zustandsuntersuchung bestehender Gebäude und Ingenieurbauwerke. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass es für die Erhaltung der Bauwerke unerlässlich ist, sich zuerst ein klares Bild über ihren aktuellen Zustand zu verschaffen. Als Vorbereitung auf die hierzu notwendigen Arbeiten wird deshalb im Kapitel 2 zuerst eine Übersicht über die häufigsten Schadensformen und der sich dahinter verbergenden Schädigungsmechanismen gegeben. Welche Ziele und Phasen bei der Zustandsuntersuchung zu erreichen und zu unterscheiden sind, ist sodann Gegenstand des Kapitels 3. Hier wird auch darauf eingegangen, welche Aufgaben den einzelnen Partnern, einschliesslich dem Auftraggeber einer Zustandsuntersuchung, zufallen. Zu den Vorbereitungsarbeiten und den notwendigen Vorabklärungen werden Angaben im Kapitel 4 und über das Vorgehen bei der Zustandserfassung im Kapitel 5 gemacht. Die Beurteilung der Ergebnisse der Zustandsuntersuchungen bildet den Abschluss im Kapitel 6. Die Anhänge A1 bis A4 enthalten sodann Vorschläge, nach denen eine Grobbeurteilung des Zustandes von Bauwerken oder Bauteilen aus Beton, Stahl, Mauerwerk und Holz vorgenommen werden kann.

Anhang B zeigt anhand typischer Schadensbilder, mit welchen Schäden bei den verschiedenen Bauarten hauptsächlich zu rechnen ist. Des weiteren wollen die im Anhang C aufgeführten Checklisten

dazu beitragen, dass bei der visuellen Untersuchung von Bauwerken und Bauteilen nichts Wesentliches vergessen geht; sie geben aber auch Hinweise über die einsetzbaren Hilfsmittel und der dabei zu erwartenden Ergebnisse. Angaben über weitere Verfahren, mit denen ergänzende Informationen erhalten werden können, sind dort ebenfalls enthalten. Und schliesslich ist im Anhang D je anhand eines Beispiels aus dem Brückenbau und aus dem Tunnelbau stellvertretend für alle anderen Bauwerksarten der Ablauf einer Zustandsuntersuchung dargestellt.

Bei der Bearbeitung der einzelnen Kapitel ist darauf geachtet worden, dass diese möglichst für sich allein gelesen und verstanden werden können. Damit ist bewusst in Kauf genommen worden, dass sich im Gesamttext gewisse Wiederholungen ergeben.

1.3 Zielpublikum

Die Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken ist eine äusserst anspruchsvolle, komplexe und verantwortungsvolle Aufgabe und muss deshalb von erfahrenen Bauingenieuren durchgeführt werden.

Die vorliegende Dokumentation richtet sich daher an die mit der Zustandsuntersuchung beauftragten Ingenieure, die in Ingenieurbüros, in Unternehmen oder in Verwaltungen tätig sind. Sie will ihnen zeigen, welche Informationen aus der Zustandsuntersuchung am Bauwerk erhalten, und wann zusätzliche Untersuchungsverfahren, insbesondere das Überprüfen der statischen Verhältnisse und der rechnerischen Sicherheitsabschätzung, notwendig werden können.

Dem beauftragten Ingenieur soll damit die Möglichkeit gegeben werden, die Zustandsuntersuchungen am Bauwerk korrekt, zielgerichtet und umfassend zu planen, auszuführen und die Ergebnisse richtig interpretieren zu können.

1.4 Vorschriften und Normen

Nachfolgend werden die wichtigsten in der Schweiz derzeit gültigen Bestimmungen aufgeführt, die im Zusammenhang mit Zustandsuntersuchungen an bestehenden Bauwerken von Bedeutung sind. Wenn in den folgenden Kapiteln auf diese Bestimmungen verwiesen wird, dann werden nur noch ihre Titel aufgeführt.

SIA:

- 102: Ordnung für Leistungen und Honorare der Architekten (1984)
- 103: Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure (1984)
- 118: Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten, Norm (1977)
- 160: Einwirkungen auf Tragwerke, Norm (1989)
- 161: Stahlbauten, Norm (1991)
- 162: Betonbauten, Norm (1989)
- 162/1: Betonbauten – Materialprüfung, Norm (1989)
- 162/2: Bestimmung des Chloridgehaltes in Beton, Empfehlung (1990)
- 162/3: Bestimmung der Karbonatisierungstiefe in Beton, Empfehlung (1990)
- 164: Holzbau, Norm (1981)
- 164/1: Holzwerkstoffe, Empfehlung (1986)
- 169: Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken, Empfehlung (1987)
- 177: Mauerwerk, Norm (1980)
- 177/1: Bemessung von Mauerwerkswänden unter Druckbeanspruchung, Empfehlung (1983)
- V177/2: Bemessung von Mauerwerkswänden unter Druckbeanspruchung, Empfehlung (1989), in verlängerter Vernehmlassung
- 178: Naturstein-Mauerwerk, Norm (1980)

Sonstige SN:

- SN 640 930: Gesamtbeurteilung des Zustandes von Kunstbauten, Norm (1989)
Hrg.: VSS Zürich
- SN 555 001: Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen, B3, Norm (1990)
Hrg.: Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, Zürich

Literatur:

- [1.1] Richtlinie SIA 462 (1992): Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke (Entwurf)
- [1.2] IP Bau: Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau (1992)
- [1.3] IP Bau: Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau (1991)
- [1.4] IP Bau: Kommunalen Tiefbau 1 (1992)
- [1.5] IP Bau: Untersuchungsmethoden im Hochbau: Feindiagnose für Baukonstruktionen und Haustechnik (1992)

2 Schädigungsmechanismen und Schadenursachen

2.1	Einleitung	12
------------	-------------------	-----------

2.2	Baustoffspezifische Alterungs- und Schädigungsmechanismen	15
2.2.1	Stahlbetonbau	15
2.2.2	Stahlbau	24
2.2.3	Korrosion hochfester und hochlegierter Stähle	27
2.2.4	Mauerwerksbau	28
2.2.5	Holzbau	30

2.3	Nutz- und Verkehrslasten	33
2.3.1	Allgemeines	33
2.3.2	Hochbauten	34
2.3.3	Schneelasten	34
2.3.4	Bahnbrücken	35

2.4	Einwirkungen aus dem Baugrund	36
2.4.1	Allgemeines	36
2.4.2	Stabilitätsprobleme	37
2.4.3	Hydrologische Einflüsse	37
2.4.4	Setzungen	38

2.5	Aussergewöhnliche Einwirkungen	40
2.5.1	Allgemeines	40
2.5.2	Brandeinwirkungen	40

2.6	Entwurf, Ausführung, Überwachung und Unterhalt	42
2.6.1	Vorbemerkung	42
2.6.2	Entwurf	42
2.6.3	Ausführung	44
2.6.4	Überwachung, Unterhalt	45

2.7	Steigerung der Komfortansprüche	46
------------	--	-----------

2 Schädigungsmechanismen und Schadenursachen



Bild 2.1 Der Zahn der Zeit

- Auflasten, Nutz- und Verkehrslasten: Nutzlasten, Bahnlasten, Strassenlasten, Erschütterungen, usw.
- Einwirkungen aus dem Baugrund: Erddruck, Wasserdruck, Setzungen, usw.
- Mechanische Einwirkungen: Abrasion, mechanische Beschädigungen, usw.
- Klimatische Einwirkungen: Wind, Schnee, Temperaturschwankungen, Feuchtigkeit in Form von Regen, Nebel, Tau, Lawinen, UV-Strahlung, usw.
- Chemische Einwirkungen: Tausalze, sulfathaltiges Wasser, saurer Regen, Gase (O_2 , CO_2), wasser- und luftgefährdende Flüssigkeiten, usw.
- Elektrochemische Einwirkungen: Streuströme, Potentialunterschiede
- Biologische Einwirkungen: Pflanzenbewuchs, Pilzbefall, Mikroorganismen, usw.

Tab. 2.1 Äussere Einwirkungen auf Bauwerke

2.1 Einleitung

Voraussetzung für eine effiziente und zielgerichtete Zustandsuntersuchung sind Kenntnisse über die grundlegenden Mechanismen, welche zur Alterung und Schädigung eines bestehenden Bauwerkes führen können.

Bauwerke sind, je nach Nutzung und Exposition, den verschiedenartigsten Einwirkungen ausgesetzt. Diese können nach [2.1] z.B. in natürliche und anthropogene, d.h. vom Menschen verursachte Einflüsse, eingeteilt werden. Folgen dieser Einwirkungen sind Veränderungen – Alterung, Schädigung – der Baustoffe sowie des Bauwerkes bzw. einzelner Teile des Bauwerkes.

Unter Alterung wird ein Prozess im Baustoff oder am Bauwerksteil verstanden, der Veränderungen seiner ursprünglichen Eigenschaften zur Folge hat. Dies kann zu Beeinträchtigungen in der Ästhetik oder auch im geringen Masse in der Nutzungsmöglichkeit führen. Als Schäden sind dagegen jene Fälle zu bezeichnen, in welchen die Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit (Funktionstüchtigkeit, Aussehen) oder Dauerhaftigkeit beeinträchtigt oder gar in Frage gestellt ist, d.h. dass Bauteil bzw. das Bauwerk die gestellten Anforderungen nicht mehr vollumfänglich erfüllt.

Alterung wie Schädigung werden meist durch Einflüsse verursacht, welche von aussen auf das Bauwerk bzw. die Bauwerksoberfläche wirken. Beispiele solcher äusserer Einwirkungen sind in Tabelle 2.1 aufgeführt.

Einige der Einwirkungen erzeugen im Tragwerk Spannungs- und Dehnungszustände (Zwängungen), welche das Verhalten des Bauwerkes zusätzlich beeinflussen können.

Alterungs- und Schädigungsvorgänge werden aber nicht nur durch äussere Einwirkungen verursacht, sie können auch die Folge sein von Vorgängen im Innern des Materials. Dazu zählen z. B. das Zusammentreffen gegenseitig unverträglicher Materialien, die Verwendung instabiler Stoffe oder die Auswirkung von Feuchtigkeit in den Baustoffen.

In der Praxis zeigen sich oft Schadensbilder, welche durch eine Kombination von äusseren und inneren Vorgängen entstanden sind.

Im Laufe der letzten Jahrzehnte haben anthropogene Einflüsse zu einer massiven Verstärkung der natürlichen Einwirkungen geführt. Dies betrifft insbesondere die Luftverschmutzung durch säurebildende Gase aus menschlicher Tätigkeit sowie die Schwarzeräumung des Strassennetzes mittels Streusalzen.

Bild 2.2 zeigt die Entwicklung des pH-Wertes des Niederschlages in der Schweiz seit 1915. Der Verlauf des Diagrammes widerspiegelt die deutliche Verschiebung zu saurem Regen und stimmt gut überein mit Messungen, die in Deutschland gemacht worden sind (Bild 2.3).

Die Entwicklung des Verbrauches von Tausalzen für die Schwarzeräumung des Strassennetzes ist in Bild 2.4 dargestellt. Andere schädigende Einflüsse zeigen eine ähnliche Entwicklung. Allerdings fehlen in vielen Fällen die entsprechenden Daten.

Die Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen Art und Intensität der Einwirkung, Baustoffwiderstand und Schadensentwicklung sind in den meisten Bereichen noch sehr lückenhaft. Die Erforschung der entsprechenden Mechanismen hat erst in den 80er Jahren, gleichzeitig mit der einsetzenden Unterhalts- und Instandhaltungsphase bei grossen Bauvorhaben (z. B. Nationalstrassen), begonnen.

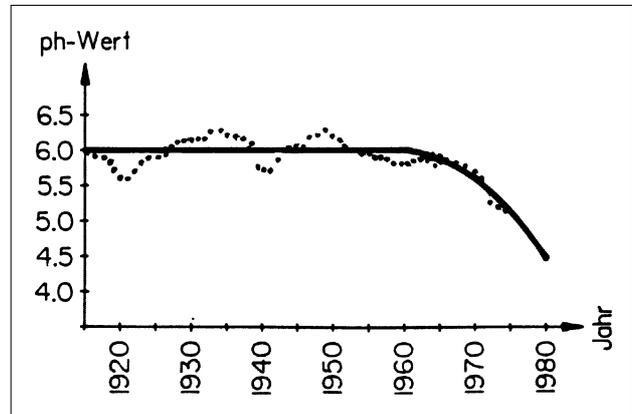


Bild 2.2 Entwicklungen des pH-Wertes im Eis des Gniffetipasses auf 4450 m ü. M., aus [2.2]. Der pH-Wert ist das Mass für die Konzentration von Wasserstoff-Ionen in einer Lösung:

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

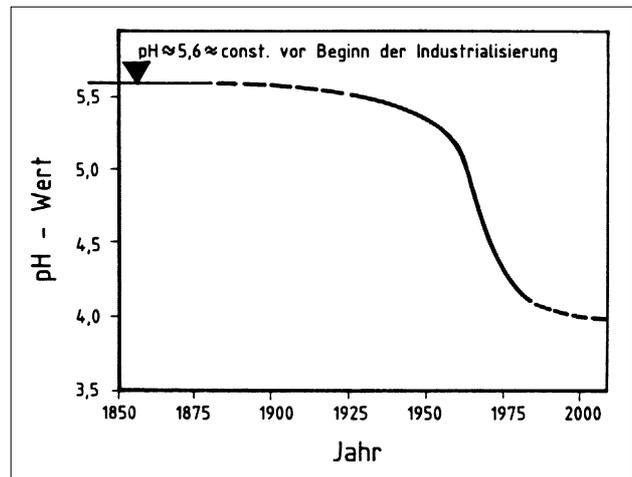


Bild 2.3 Veränderung des pH-Wertes des Regens gemäss Messungen des Deutschen Wetterdienstes, aus [2.3]

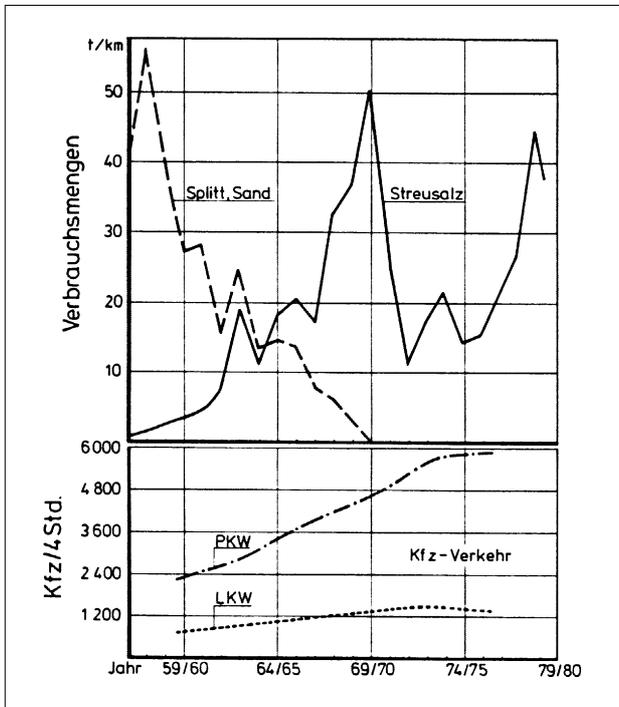


Bild 2.4 Verbrauch von Streugut und Entwicklung des Verkehrsaufkommens auf Bundesautobahnen der BRD in den Jahren zwischen 1959 und 1980, aus [2.3].

Die Erscheinungsformen der Schäden, die durch die aufgezeigten Einwirkungen entstehen können, sind sehr vielfältig. Sie sind zudem stark abhängig vom Baustoff und der jeweiligen Konstruktion. Die wichtigsten Schadensbilder sehen wie folgt aus:

- Abwitterungen wie Absanden, Ablösungen, Abplatzungen, usw.;
- Blasen, Ausbauchungen;
- Verunreinigungen, Schmutzablagerungen, Aus-sinterungen, Verfärbungen;
- Durchfeuchtungen;
- Risse:
statisch, konstruktiv, aus Zwängungen, z.B. infolge Temperatur oder Treiberscheinungen;
- Korrosion:
flächenhafte, gleichmässige Korrosion und Lochfrass am Stahl, Betonkorrosion, Karbonatisierung.

In den folgenden Abschnitten finden sich weitere spezifische Angaben zu Einwirkungen auf Bauwerke sowie den dadurch verursachten Alterungs- und Schädigungsmechanismen. Die Ausführungen sind nach Baustoffen sowie nach Einwirkungen gegliedert. Schäden sind nicht unabhängig vom Bauprozess und den an das Bauwerk gestellten Anforderungen, weshalb auch zu diesen Aspekten einige Bemerkungen gemacht werden. In den Ausführungen wurden verschiedene Angaben aus [2.1] und [2.4] übernommen.

2.2 Baustoffspezifische Alterungs- und Schädigungsmechanismen

2.2.1 Stahlbetonbau

Allgemeines

Stahlbeton besteht aus Beton und einer Bewehrung. Es handelt sich damit um eine Verbundbauweise, deren Dauerhaftigkeit von den Eigenschaften der einzelnen Bestandteile und von deren gegenseitigen Zusammenwirken abhängt. Im weiteren darf nicht vergessen werden, dass der Beton selbst ein Verbundwerkstoff ist, der aus Zement, Zuschlagstoffen, Anmachwasser und Zusätzen (Zusatzmittel und Zusatzstoffe) besteht. Bei der Verbundbauweise ist es wichtig, dass die Bestandteile untereinander verträglich sind, da sowohl innere als auch äussere Einwirkungen, wie sie in Abschnitt 2.1 gezeigt wurden, zur Alterung und Schädigung beitragen können. Weitere Informationen in bezug auf Zusammensetzung und Verhalten der Stahlbetonbestandteile können der Fachliteratur, z. B. [2.5], entnommen werden.

Wenn nun im Folgenden vor allem von der Schädigung der Bewehrung durch Korrosion die Rede ist, dann deshalb, weil dieser Schädigungsmechanismus die grössten Kosten verursacht [2.3]. Des weiteren folgen Schädigungen durch Frost, Frost-Tausalz, Alkali-reaktion, betonaggressives Wasser und Mikroorganismen (Thiobazillen).

Es ist wichtig, sich mit den elektrochemischen Vorgängen, welche der Korrosion zugrunde liegen, vertraut zu machen. Dazu werden einige wichtige Grundlagen vermittelt. Im übrigen ist dazu auch für den Nichtkorrosionsspezialisten eine verständliche Literatur verfügbar [2.3, 2.6].

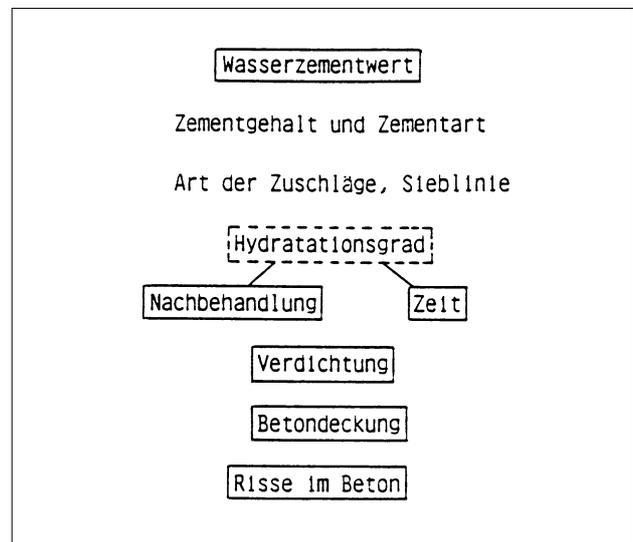


Bild 2.5 Kriterien für die Dauerhaftigkeit von Beton und seiner Bewehrung, aus [2.7].

Ein Elektrolyt muss vorhanden sein.

Die Wirkung der Passivschicht muss aufgehoben sein.

Sauerstoff muss bis zur Bewehrung vorge-drungen sein.

Tab. 2.2 Voraussetzungen für Stahlkorrosion

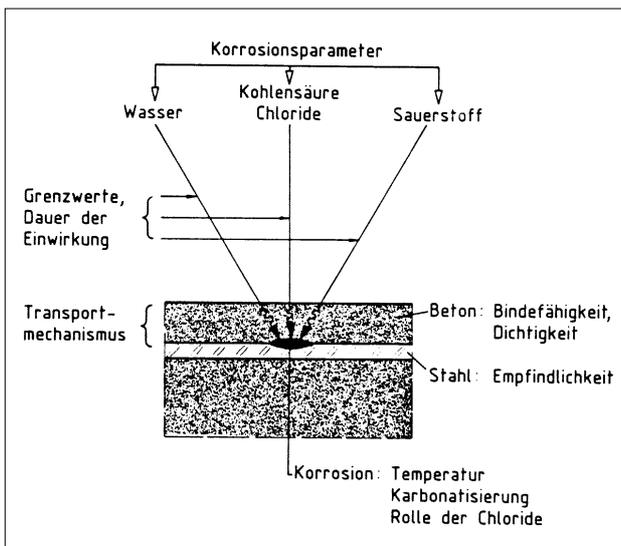


Bild 2.6 Einflüsse, welche die Korrosion der Bewehrung im Beton beeinflussen, aus [2.3]

Korrosion von Stahl

Damit an der im Beton eingebetteten Bewehrung ein Korrosionsprozess beginnen kann, müssen die drei in Tabelle 2.2 aufgeführten Bedingungen erfüllt sein. Die Passivschicht, die sich im basischen Milieu im Beton auf der Stahloberfläche bildet, schützt normalerweise die Bewehrung vor Korrosion. Des Weiteren behindert der Beton, der die Bewehrung überdeckt, den Zutritt von Wasser und Sauerstoff (Bilder 2.5, 2.6, 2.7).

In Ausnahmefällen kann Korrosion auch durch Streustöme verursacht werden. Auf diesen Fall wird nicht weiter eingegangen.

Elektrolytbildung [2.3]:

Sobald der Beton feucht ist, ist die erste der genannten Voraussetzungen erfüllt. Feuchtigkeit kann auch über Kondensation von Wasserdampf aus der Luft in den Beton gelangen (Kapillarkondensation). Zur Durchfeuchtung des Betons muss nicht unbedingt Wasser in flüssiger Form einwirken. Die Luftfeuchtigkeit von Innenräumen ist jedoch in der Regel zu gering, als dass sie genügend Feuchtigkeit zur Elektrolytbildung liefert. Dagegen ist im Freien das Feuchtigkeitsangebot im allgemeinen ausreichend. Der Feuchtigkeitsgehalt des Betons selbst schwankt in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen.

Verlust der Passivierung [2.3]:

Die Passivschicht der Stahloberfläche kann durch Karbonatisierung des Betons (Absinken des pH-Wertes und damit Verlust des basischen Milieus) oder durch Anwesenheit von korrosionsfördernden Substanzen, z.B. von Chloriden, durchbrochen werden. Auch andere Substanzen, beispielsweise Schwefelverbindungen – insbesondere die Sulfate –, können zu Korrosion führen; sie spielen allerdings eine untergeordnete Rolle.

Betrachtet man den auslösenden Faktor als Unterscheidungskriterium, so handelt es sich im erstgenannten Fall um die «Karbonatisierungskorrosion». 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 der Porenlösung, der im nichtkarbonatisierten Bereich bei ≥ 12.6 liegt, unter 9 ab. Die Passivschicht um den Bewehrungsstahl wird instabil, so dass der Schutz verloren geht. Der

Beton selbst wird durch die Karbonatisierung hingegen nicht geschädigt im Gegenteil: durch das ausgeschiedene CaCO_3 , das eine Verkittung der Zuschlagstoffe bewirkt, wird der Beton bezüglich seiner Dichtigkeit und Festigkeit sogar verbessert. Bei Anwesenheit von Chloriden an der Stahloberfläche kommt es im zweiten Fall zur «Chloridkorrosion», bei der der Beton nicht karbonatisiert zu sein braucht. Die Chloridionen durchbrechen die Passivschicht örtlich. Es bildet sich dann ein elektrochemisches Element mit einer lokal begrenzten Anode, an der Eisenauflösung stattfindet, und einer grossen Kathode. Unter diesen Umständen findet kein flächenhafter Abtrag wie bei der Karbonatisierungskorrosion statt, sondern eine in die Tiefe fortschreitende Eisenauflösung, der sogenannte Lochfrass.

Sauerstoff [2.3]:

Die Korrosion ist eine chemische Reaktion der Stahloberfläche mit Stoffen in deren Umgebung ($2\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeOH}$). Es handelt sich dabei um eine Oxidation, wobei Sauerstoff das Oxidationsmittel bildet. Steht kein Sauerstoff für die Reaktion zur Verfügung, kommt die Reaktion zum Stillstand. Die Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffes wird hauptsächlich von der Dichtigkeit und vom Feuchtigkeitsgehalt des Betongefüges bestimmt. Deshalb kann Sauerstoff – in gasförmigem Zustand oder in Wasser gelöst – schneller als die Karbonatisierungsfront, zur Stahloberfläche vordringen.

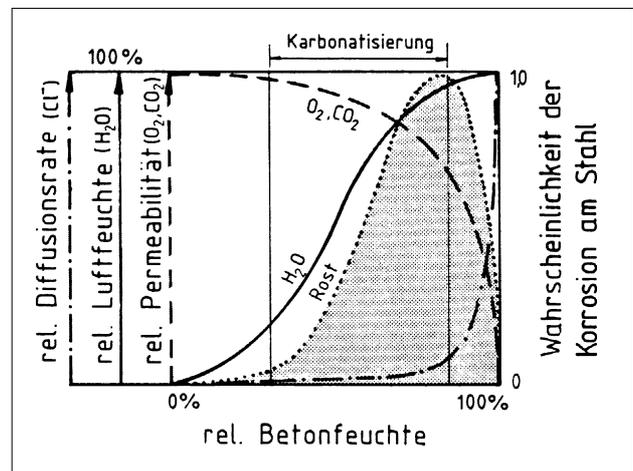


Bild 2.7 Zusammenwirken der Korrosionsparameter, aus [2.3]:

Die Voraussetzungen für die Korrosion an der Stahloberfläche – das Wasser (Elektrolyt), der Sauerstoff und die Chloride bzw. die Karbonatisierungsfront – werden bei unterschiedlichen Voraussetzungen erreicht. So wird bei hohem Wassergehalt das Eindringen von Sauerstoff und Kohlensäure zunehmend gebremst, das der korrosionsfördernden Substanzen, wie die Chloridionen, jedoch gefördert. Bei geringem Wassergehalt kann Sauerstoff leichter vordringen, die Karbonatisierungsreaktion wird dann jedoch gehemmt. Bei Wassergehalten, die sich bei relativen Luftfeuchten zwischen 40% und 60% im Beton einstellen, ist die Karbonatisierung am grössten. Bei diesen Luftfeuchten ist der Wassergehalt des Betons im allgemeinen zur Elektrolytbildung zu gering, so dass keine Korrosion in Gang kommt. Daraus ist zu erkennen, dass es bei konstanten Lagerungsverhältnissen nur einen engbegrenzten Bereich gibt, in dem optimale Korrosionsbedingungen vorliegen. Ausserhalb dieses Bereiches läuft die Korrosion nur sehr langsam oder überhaupt nicht ab.

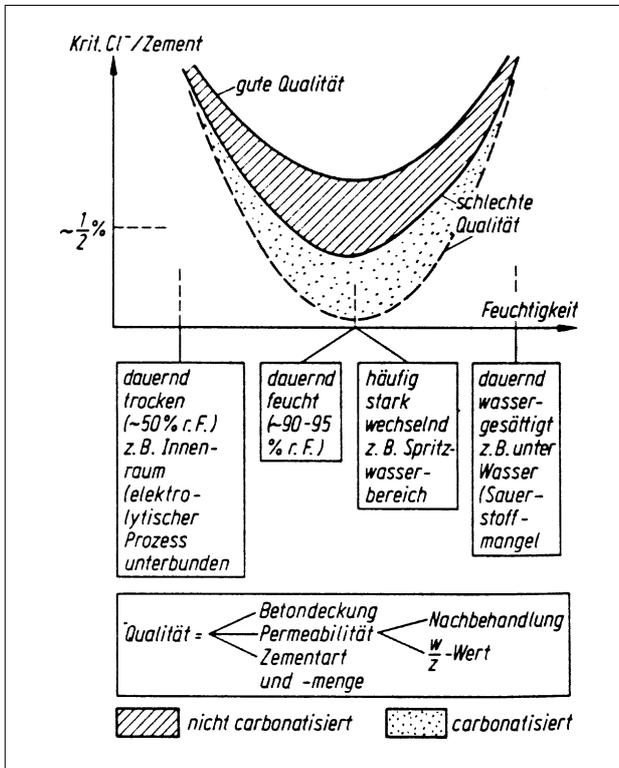


Bild 2.8 Einfluss der Betonüberdeckung und der Umgebungsbedingungen auf den kritischen Chloridgehalt, aus [2.9]



Bild 2.9 Durch Chloride verursachter Lochfrass an der Bewehrung

Korrosionsrisiko

Die drei, die Korrosion der Bewehrung beeinflussenden Parameter – Elektrolytbildung, Verlust der Passivierung, Sauerstoff – sind in unterschiedlicher Weise von den Umgebungsbedingungen und vorhandenen Einwirkungen abhängig. Nachfolgend werden die wesentlichsten des Korrosionsrisiko beeinflussenden Einwirkungen erläutert.

Betonüberdeckung:

Die Betonüberdeckung hat einen entscheidenden Einfluss auf das Korrosionsrisiko der Bewehrung (Bilder 2.5, 2.6). Eine ausreichende und dichte Überdeckung behindert den Transport von Schadstoffen in die Tiefe des Betons und weist gleichzeitig einen hohen Widerstand gegen Karbonatisierung auf. Das Gegenteil ist bei einer porösen und dünnen Überdeckung der Fall.

Chloride:

Der Gehalt an freien Chloriden in der Porenlösung ist wesentlich für den Verlust des Korrosionsschutzes an der Bewehrung verantwortlich. Da dieser aber nur schwierig zu ermitteln ist, wird im allgemeinen nur der Gesamtchloridgehalt des Betons, der die freien und gebundenen Ionen umfasst, bestimmt. Nach W.Richartz [2.8] kann Portlandzement etwa 0.4 Masse-% Chlorid unter Bildung des schwer löslichen Friedelschen Salzes chemisch binden. Daraus wurde der kritische Chloridgehalt von 0.4 Masse-% bezogen auf den Zement, abgeleitet. Ein eindeutiger kritischer Grenzwert für den Chloridgehalt existiert jedoch wegen der Vielzahl der Einflussparameter nicht (Bild 2.8). Aufgrund solcher Überlegungen [2.3, 2.9] wird heute ein kritischer Chloridgehalt im Bereich von 0.4 bis 1.0 Masse-% bezogen auf den Zement, angenommen. In diesem Bereich ist der Korrosionszustand der Bewehrung zu überprüfen. Eine Vielzahl von praktischen Untersuchungen [2.10] belegen jedoch, dass selbst höhere Chloridgehalte um 1% nicht zwangsläufig zu Korrosion der Bewehrung führen müssen.

Bei Spannbeton, insbesondere im Spannbettverfahren hergestelltem, wird der kritische Chloridgehalt tiefer angesetzt. Bei Verdacht auf Korrosion ist eine äusserst kritische Untersuchung angebracht. Bei dynamischen Lasten kann der chloridinduzierte Lochfrass zu einer gefährlichen Schwächung infolge der Kerbwirkung führen (Ermüdung).

Karbonatisierung:

Liegt Stahl im karbonatisierten Beton, kann ein Korrosionsrisiko bestehen, sofern auch die übrigen Voraussetzungen für eine Korrosion erfüllt sind (Bild 2.7). Im allgemeinen sind die Karbonatisierungstiefen wesentlich geringer als die Chlorideindringtiefen.

Durchfeuchtung:

Durch visuelle Kontrollen, durch Messung des elektrischen Widerstandes des Betons oder mit Hilfe der Neutronensonde lassen sich Bereiche mit überdurchschnittlicher Feuchtigkeit erfassen [2.11]. Besondere Beachtung ist dabei der Exposition des Bauwerkes zu schenken, da insbesondere wechselnde Durchnässung/Austrocknung des Betons das Korrosionsrisiko, vor allem in Gegenwart von Chloriden, stark erhöht (Bild 2.7).

Sauerstoff:

Messungen des Sauerstoffgehaltes im Bereich der Bewehrungsoberfläche sind ausserordentlich schwierig. Massnahmen zur Verringerung des Sauerstoffgehaltes an der Bewehrungsoberfläche, z.B. durch Beschichtung, sind erst dann von besonderem und wirtschaftlichem Interesse, wenn die Korrosion nicht durch die Beseitigung anderer Korrosionsparameter gestoppt werden kann. Solche Massnahmen bedürfen einer äusserst sorgfältigen Vorabklärung, da derartige Beschichtungen nicht nur den Durchgang von Sauerstoff unterbinden, sondern gleichzeitig dampfdicht sind, und damit den Feuchtigkeitshaushalt im Baustoff nachhaltig verändern.

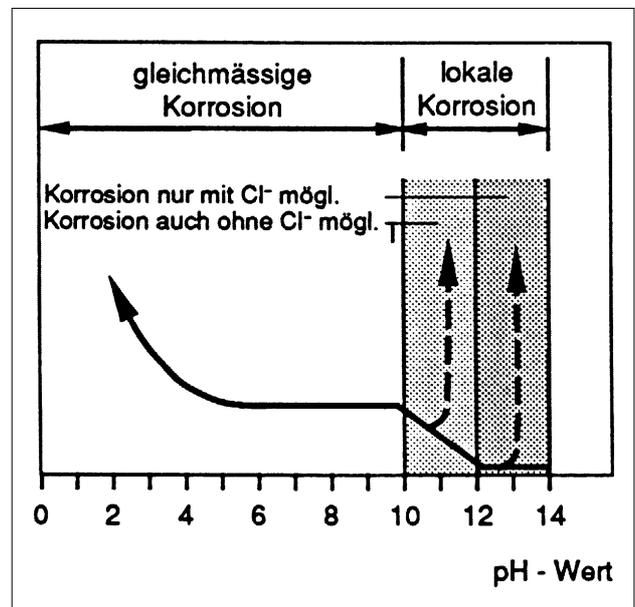


Bild 2.10 Korrosionsgeschwindigkeit von Stahl in Beton, aus [2.12]

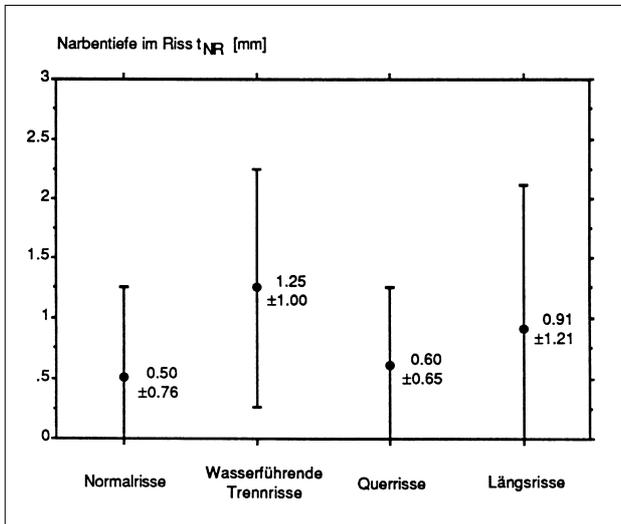


Bild 2.11 Gemessene Narbtiefen je nach Rissart und Rissverlauf, aus [2.16]

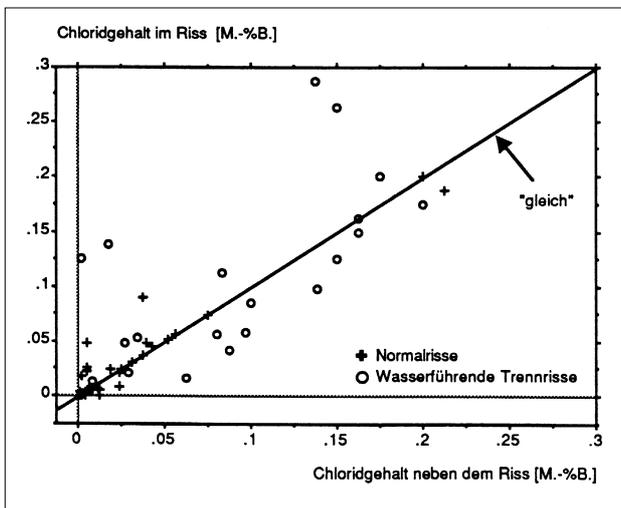


Bild 2.12 Chloridgehalte auf Bewehrungstiefe im und neben dem Riss, aus [2.16], (Umrechnung des Chloridgehaltes: 0.1 M.-%B entspricht ca. 0.8 M.-%PC, d.h. die Konzentrationen sind um ca. einen Faktor 8 zu erhöhen).

Einfluss von Rissen

Zur normalen Stahlbetontragwirkung gehören stets Biegerisse mit Breiten von 0.2 mm bis 0.3 mm an der Betonoberfläche. Breitere unerwünschte Betonrisse sind u.a. auf zu niedrige Betonzugfestigkeit, Eigen- oder Zwangsspannungen aus Temperatur oder Setzungen, ungünstige Anordnung der Bewehrung oder einen zu niedrigen Bewehrungsgehalt zurückzuführen.

Die Frage nach der zulässigen Rissbreite ist von vielen Seiten untersucht worden. Unter der zulässigen Rissbreite ist jene Breite zu verstehen, bei deren Einhaltung die korrosionsauslösende Schadstofffront, seien es nun erhöhte Chloridgehalte oder die Karbonatisierung, während der Lebensdauer eines Tragwerkes nicht zur Bewehrung an der Risswurzel vordringt. Nach heutigem Stand der Erkenntnisse [2.10, 2.13 bis 2.17] kommt der Rissbreite an der Oberfläche nicht die früher vermutete Bedeutung zu. Die Untersuchungen zeigen (Bilder 2.11, 2.12), dass eine Rissbreite bis ca. 0.4 mm für die Bewehrungskorrosion von untergeordneter Bedeutung ist, vorausgesetzt:

- Es ist eine ausreichend dicke und dichte Betonüberdeckung vorhanden;
- Es handelt sich nicht um einen wasserführenden Trennrisse (entsteht aus behinderter Verformung und ermöglicht durch Trennung des Bauteils – z.B. einer Fahrbahnplatte – einen periodischen Durchfluss von Wasser) sondern um einen Biegerisse (meist trockene oder immer wassergefüllte Risse, z.B. in Stegen oder der Einspannstelle von Kragplatten);
- Der Riss verläuft nicht längs einem Bewehrungsstab, sondern quer oder neben einem Bewehrungsstab.

Eine eigentliche zulässige Rissbreite existiert nicht. Bei entsprechendem Angriff wird die kritische Cl-Konzentration oder die Karbonatisierungsf front in jedem Fall im Rissbereich an die Bewehrung gelangen, bei breiteren Rissen früher, bei kleineren später.

Frosteinwirkung

Die Hauptursache von Frostschäden im Beton ist das gefrierbare Porenwasser (Tabelle 2.3). Die Volumenzunahme beim Übergang von Wasser zu Eis entspricht 9% des Wasservolumens. Bei der Eisbildung mit behinderter Expansion in einer vollständig gefüllten Pore entsteht somit ein hydraulischer Druck und damit eine entsprechende Sprengwirkung (Bild 2.13). Das Wasser im Beton gefriert jedoch weder schlagartig noch überall gleichzeitig. Als Folge dieser begrenzten Wachstumsgeschwindigkeit kann an das noch nicht gefrorene Wasser in die wasserfreien Hohlräume sowie an die Betonoberfläche ausweichen, wodurch ein Aufbau eines hohen Druckes verhindert wird. Zu einer Zerstörung des Zementsteingefüges durch Frosteinwirkung kann es somit nur kommen, wenn die zwei in der nebenstehenden Tabelle 2.3 angeführten Bedingungen erfüllt sind.

Im Zementstein muss:

- eine ausreichende Menge an gefrierbarem Wasser vorhanden sein;
- die Flüssigkeitsumverteilung infolge einer Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren behindert sein.

Tab. 2.3 Voraussetzung für das Entstehen von Frostschäden am Beton

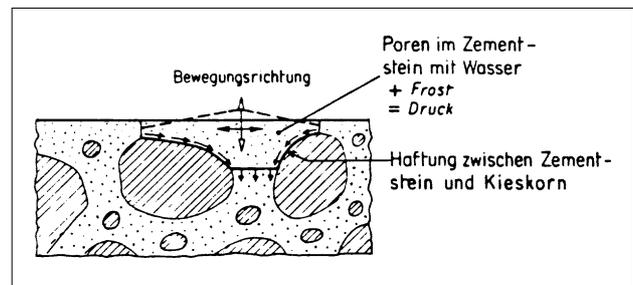


Bild 2.13 Schematische Darstellung der Beanspruchung der Betonoberfläche bei Frost [2.18].

Frost-Tausalz-Kombination

Bei der Verwendung von Tausalzen wird die zum Schmelzen des Eises erforderliche Wärme dem Beton entzogen, was zu einer rascheren Abkühlung des Betons führt. Die Betontemperatur sinkt vor allem in den Randzonen sehr stark ab. [2.17, 2.18] stellten im Labor unter ungünstigen Bedingungen bei der Verwendung von Streusalz (NaCl) eine Abkühlung der Oberflächenschicht bis zu $\Delta T = 14\text{ K}$ eine Minute nach Aufbringen des Salzes fest. Dies führt zu einer starken zusätzlichen Eisbildung sowie zu Gefügespannungen aufgrund des Temperaturgradienten (= hohe Temperaturdifferenzen in verschiedenen tiefen Betonzonen).

Aufgrund unterschiedlicher Taumittelkonzentrationen in der Porenlösung können Betonzone zu unterschiedlichen Zeiten gefrieren (Bilder 2.14, 2.15). Gefriert eine obere Betonzone nach Wärmeentzug und eine tiefer liegende Schicht wegen Fehlens des Taumittels, so kann die dazwischenliegende, später gefrierende Schicht starken Druck auf die benachbarten, bereits gefrorenen Schichten ausüben. Dieses Modell entspricht den praktischen Beobachtungen, wo sich Tausalzschäden häufig durch oberflächennahe Abplatzungen bemerkbar machen.

Die beschriebenen Zusammenhänge zeigen deutlich eine Verschärfung der Frostbeanspruchung bei Verwendung von Tausalzmitteln auf. Ein Beton, der einen ausreichenden Widerstand gegen Frosteinwirkung aufweist, kann daher trotzdem beschädigt werden, wenn gleichzeitig Taumittel vorhanden sind.

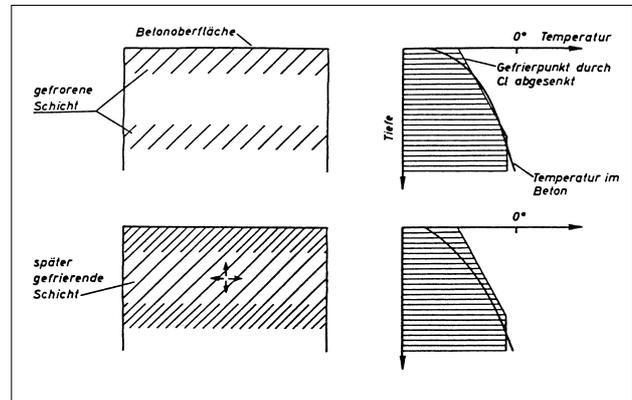


Bild 2.14 Oberflächennahe Abplatzungen als Folge eines Konzentrationsgradienten in der Porenflüssigkeit, aus [2.19]

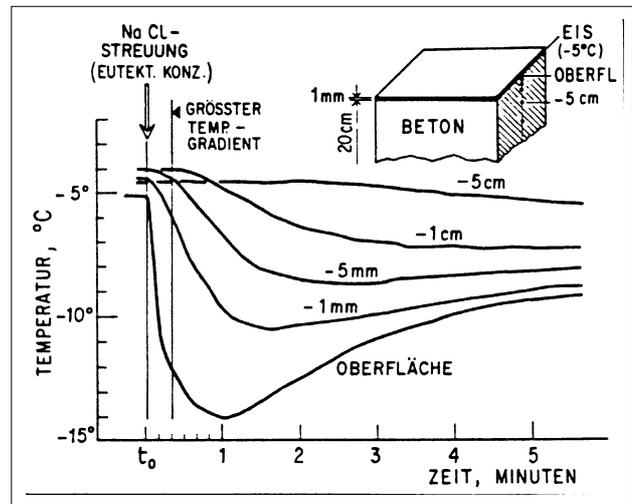


Bild 2.15 Typischer Temperaturverlauf in einer eisbedeckten, 20 cm dicken Betonplatte während des Auftauens mit Natriumchlorid im Laborversuch [2.18].

Schädliche Bestandteile

Beton muss nicht nur widerstandsfähig gegenüber äusseren Einwirkungen, sondern auch in sich gesund sein. Das bedeutet, dass die Zuschlagstoffe, der Zement, das Anmachwasser und die Zusätze keine störenden Mengen schädlicher Bestandteile enthalten dürfen [SIA 162/1]. Dies sind Bestandteile, die sich zersetzen, mit den übrigen Bestandteilen des Betons störende Verbindungen eingehen, die Eigenschaften des Betons oder den Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton beeinträchtigen. Schädliche, bzw. unverträgliche Bestandteile sind:

- abschlämmbare Stoffe (z.B. tonartig am Zuschlag haftend und so die Verbundfestigkeit von Zementstein-Zuschlag stören);
- Glimmer;
- alkalilösliche Kieselsäure;
- Stoffe organischen Ursprungs;
- erhärtungsstörende Stoffe;
- Schwefelverbindungen (z.B. Alkalisulfate, Gips oder Anhydrit, die zu Treiberscheinungen führen);
- Salze (z.B. Nitrate).



Bild 2.16 Sulfattreiben von Beton

Gusseisen
 Schweisseisen (bis ca. 1890/92), auch Puddel-
 eisen genannt (Achtung: trotz des Namens ist
 Schweisseisen nicht schweisssbar)
 «altes Flusseisen», Thomas-Stahl
 Elektrostähle (Siemens/Martin, usw.)
 «neues» Flusseisen, «beruhigte Stähle»
 (St.37.1, 37.2, 37.3)
 Stahlguss
 heutige Feinkornstähle (optimale Schweiss-
 barkeit)
 Spezialstähle:
 – sog. wetterfeste Baustähle
 (Typ «Corten», «Patinax» und ähnliche)
 – nichtrostende Stähle [2.20]

Tab. 2.4 Eisen und Stahlsorten, aus [2.1]

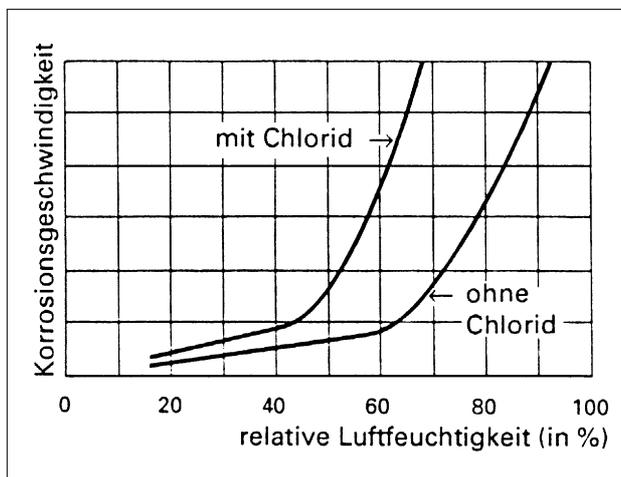


Bild 2.17 Korrosionsgeschwindigkeit von Stahl in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit und der Anwesenheit von Chloriden, aus [2.21]

2.2.2 Stahlbau

Allgemeines

Der Stahlbau ist im Tief- und Ingenieurbau seit langer Zeit bekannt. In den Jahren 1777 bis 1779 wurde die älteste gusseiserne Bogenbrücke in Severn, England, erbaut, die heute noch in Gebrauch ist.

In der Folge gelangten auch in der Schweiz hauptsächlich für den Bau von Brücken, Behältern und Hallenkonstruktionen die verschiedenartigsten Eisen- und Stahlsorten zur Anwendung (Tabelle 2.4). Seit Beginn der Verwendung von Eisen und Stahl hat sich gezeigt, dass dieser Werkstoff ohne besondere Massnahme korrodiert. Kohlenstoffreiche Arten wie Schweisseisen und Graueisen sind dabei weniger korrosionsanfällig. Die Bestimmung der vorhandenen Stahlsorte hat deshalb für die Beurteilung eine grosse Bedeutung.

Bei allen Stahlkonstruktionen ist der Korrosionsschutz von entscheidender Bedeutung für die Dauerhaftigkeit und deshalb ein zentraler Punkt bei der Beurteilung.

Korrosionsmechanismen

Zur Korrosion von Stahl braucht es Wasser und ein Oxidationsmittel. In neutralen bis alkalischen Angriffsmitteln wirkt Sauerstoff als Oxidationsmittel. Wie Bild 2.17 zeigt, beginnt die Korrosion von Stahl bei relativen Luftfeuchtigkeiten um 60%, in Gegenwart von Chloriden schon bei tieferen Werten.

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

Bei aktiven Metallen, wie Stahl und verzinktem Stahl, findet die Korrosion auf der ganzen exponierten Metalloberfläche statt. Der Abtrag verläuft mehr oder weniger flächenhaft (Bild 2.18).

Passive Metalle, wie Chromnickelstahl und Aluminium, sind üblicherweise durch eine Passivschicht vor Korrosion geschützt. Die Korrosion beginnt erst, wenn diese Schicht, z. B. durch Chloride, örtlich zerstört ist. Der Korrosionsangriff erfolgt dann in der Regel nur an wenigen Stellen der Metalloberfläche (Lochfrass) und kann unbemerkt zum Versagen eines Tragelementes führen. Für den Einsatz von «nichtrostenden» Stählen sei auf [2.20] verwiesen (siehe auch 2.2.3).

Für die Bestimmung der Umwelteinflüsse wird im Stahlbau zwischen Orts- und Kleinstklima unterschieden. Als Ortsklima (Makroklima) wird dabei die Art der Atmosphäre am Standort des Bauwerks bezeichnet. Als Mass für die Aggressivität des Ortsklimas wird die Abtragungsrate an freibewitterten Eisen- und Zinkwendeln genommen (DIN 50917, Korrosion der Metalle; Naturversuche; Teil 1: Freibewitterung). Seit 1985 werden in der Schweiz im Rahmen des Projektes «NABEL» (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) an sieben ländlichen und städtischen Standorten systematisch die Abtragungsraten von fünf Metallen registriert.

Als Kleinstklima (Mikroklima) werden die Einflussfaktoren bezeichnet, die im Nahbereich einer Stahlkonstruktion oder unmittelbar am einzelnen Bauteil wirksam sind. Das Kleinstklima wird durch folgende Faktoren bestimmt:

- Relative Luftfeuchtigkeit, Luft- und Oberflächentemperatur;
- Bewitterung (direkt oder geschützt);
- Örtlich erhöhte aggressive Einflüsse (Tabelle 2.5).

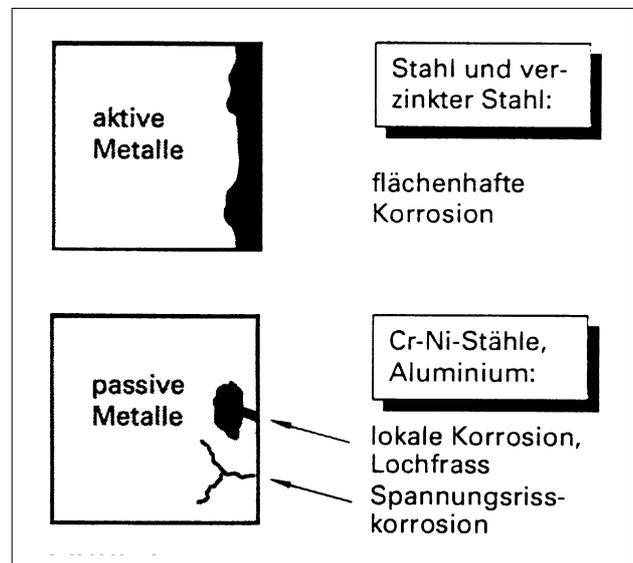


Bild 2.18 Unterschiedliches Korrosionsverhalten von aktiven und passiven Metallen, aus [2.21]

- Untersicht einer Brücke über einem Gewässer
- Bereich von Kondenswasserbildung an Wärmebrücken
- Spritzwasserzonen
- Bereiche mit Salzsprühnebelbeanspruchung
- Zonen im Tausalzbereich
- Zonen mit Ablagerungen von schädlichen Stoffen (Luftverschmutzung, Chemikalien, Exkrementen, usw.)
- Nahbereiche einer Beizerei
- Stellen mit elektrochemischen Einflüssen (Potentialdifferenzen, Streuströme)

Tab. 2.5 Bereiche mit örtlich erhöhtem aggressivem Einfluss

Zu beurteilender Werkstoff B	O _B		Paarungswerkstoff P												
	klein	groß	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Magnesiumlegierung	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2 Zink	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
3 Feuerverzinkter Stahl	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
4 Aluminiumlegierung	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
5 Cadmiumüberzug	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
6 Baustahl	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
7 Niedriglegierter Stahl	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
8 Stahlguß	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
9 Chromstahl	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
10 Blei	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
11 Zinn	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
12 Kupfer	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
13 nichtrostender Stahl	klein	groß	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

- starke Korrosion
- mässige Korrosion (in sehr feuchter Atmosphäre)
- geringe oder keine Korrosion

} des zu beurteilenden Werkstoffs

O_B / O_P = Verhältnis der (benetzten) Oberfläche des hinsichtlich Kontaktkorrosion zu beurteilenden Werkstoff B zu der des Paarungswerkstoff P

Bild 2.19 Abschätzung des Grades möglicher Kontaktkorrosion bei Materialpaarungen [2.24]

Korrosion kann auch durch unterschiedliche Verhältnisse auf der Oberfläche des gleichen Stahles oder eine ungünstige Kombination verschiedener Stähle ausgelöst werden. Der direkte Auslöser der Korrosion ist in beiden Fällen der vorhandene Potentialunterschied auf der Oberfläche des Stahles bzw. zwei miteinander verbundener Stähle. Dieser bewirkt einen Korrosionsstrom, wodurch bei der Stelle mit dem niedrigeren Potential (z. B. beim unedleren Stahl) eine Anode entsteht und in der Folge Materialabtrag eintreten wird [2.22, 2.23].

Ermüdung

Stahlkonstruktionen weisen aufgrund der höheren Festigkeit des Baustoffes Stahl im z. B. Vergleich zu Stahlbeton ein günstigeres Verhältnis zwischen Eigengewicht und Nutzlasten auf. Die Nutzlasten sind aber insbesondere bei Verkehrsbauten nur zeitweise vorhanden. Die dadurch wechselnden Belastungen verursachen wechselnde Spannungen in der Konstruktion. Auch wenn die erreichten Spannungsspitzen unterhalb der statischen Bruchfestigkeit des Baustoffes liegen, kann mit der Zeit ein Bruch infolge Ermüdung eintreten (Bild 2.20). Ein Ermüdungsbruch tritt dort zuerst ein, wo die höchsten Spannungsspitzen und die grössten Spannungsänderungen auftreten. In Stahlkonstruktionen sind Spannungsspitzen insbesondere bei Schrauben- und Nietlöchern, Schweissnähten sowie bei Kerben in der Konstruktion (einspringende Ecken bei Knotenblechen, usw.) vorhanden. Dies wird durch die Zuordnung zu einzelnen Kerbgruppen entsprechend der Norm SIA 161 berücksichtigt. An diesen Stellen treten auch Ermüdungsrisse zuerst auf. Bei älteren Stahlkonstruktionen, insbesondere Eisenbahn- und Strassenbrücken, Kranbahnen und anderen Konstruktionen mit hoher Lastwechselzahl ist deshalb das Ermüdungsproblem zu beachten.

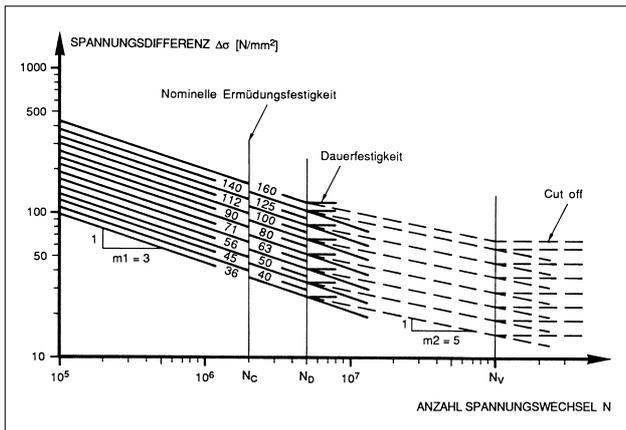


Bild 2.20 Betriebsfestigkeitskurven gemäss Norm SIA 161 [2.25]

2.2.3 Korrosion hochfester und hochlegierter Stähle

Hochfeste und hochlegierte Stähle wie etwa Spann- oder CrNi-Stähle neigen bei gleichzeitigem Einwirken von korrosionsfördernden Medien und einer mechanischen Beanspruchung zur sogenannten Spannungsrisskorrosion. Diese wird gefördert, wenn z.B. auf der Oberfläche von Spanndrähten vor dem Spannen leichte Korrosionsangriffe vorhanden sind, die sich während des Transportes, des Lagerns oder des Einbaus gebildet haben.

Eine weitere Art von Korrosion kann bei Spannstählen zur gefürchteten Wasserstoffversprödung führen. Diese tritt dann auf, wenn vom Spannstahl aus dessen Umgebung Wasserstoff aufgenommen werden kann. Die Wasserstoffatome werden in das Kristallgitter eingebaut, woraus innere Spannungen im Werkstoff resultieren. Auslöser einer Wasserstoffversprödung bei Spannstählen können z.B. Streuströme sein. Verursacher von Streuströmen sind heute in erster Linie Gleichstrombahnen (z.B. Tram) [2.23].

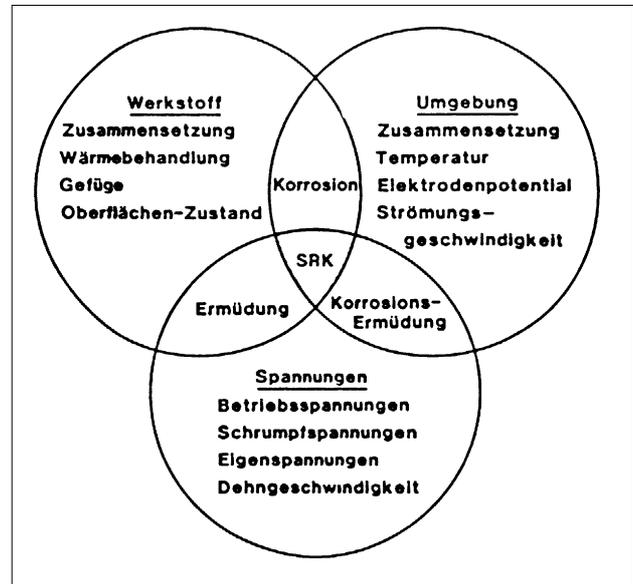


Bild 2.21 Bedingungen für das Auftreten von Spannungsrisskorrosion (SRK) und mögliche Einflussgrößen [2.20]



Bild 2.22 Stark verformtes altes Bruchsteinmauerwerk



Bild 2.23 Stark abgewitterte Sandsteinbrüstung

2.2.4 Mauerwerksbau

Die ältesten, heute noch bestehenden Bauwerke wurden in Naturstein erstellt, und einige von ihnen sind inzwischen mehrere tausend Jahre alt geworden (z. B. Zhaozhou Brücke bei Zhaoxian, China, ca. 2600 Jahre alt, 37 m Spannweite). In Gegenden, wo Natursteine nur beschränkt oder überhaupt nicht verfügbar sind, hat die Verwendung von Ziegelsteinen – gebrannten oder getrockneten – eine grosse Tradition. Mit der Einführung der Betonbauweise haben die Natursteine und Ziegelsteine für tragende Teile immer mehr an Bedeutung verloren.

Die verschiedenen Mauerwerkstypen haben einige Gemeinsamkeiten. Es handelt sich immer um eine heterogene Bauweise. Ein Mauerwerk entsteht durch Zusammenfügen von Mauersteinen – Natursteinen oder künstlichen Steinen (getrocknete oder gebrannte Ziegelsteine, Betonsteine, usw.) – mit Mörtel. Der Mörtel füllt die Fugen zwischen den Steinen und sorgt für einen gleichmässigen Lastabtrag innerhalb des Mauerwerkes. Da in jedem Mauerwerk natürliche Bewegungen (infolge Lasten, Temperatur, usw.) auftreten, aber Mauersteine und Fugen nicht die gleichen Verformungseigenschaften aufweisen, ist eine sorgfältig auf diese Problematik abgestimmte Konstruktion zu wählen. Das fertige Mauerwerk ist zahlreichen weiteren äusseren Einflüssen ausgesetzt. Mauersteine und Fugenmörtel müssen gegen diese Einflüsse (Feuchtigkeit, Frost, usw.) einen genügenden Widerstand aufweisen. Ein wichtiges Problem ist dabei die Porosität der Baustoffe. Ziegelsteine und gewisse Natursteine (u. a. Sandsteine) sind sehr porös und neigen dazu, Feuchtigkeit aufzunehmen. Das hat zwei Folgen. Erstens werden diese Steine bei genügender Sättigung frostempfindlich, zweitens können durch den Wassertransport Auflösungserscheinungen im Inneren bzw. Ausblühungen an der Oberfläche ausgelöst werden.

Mauersteine verwittern auf Grund von folgenden Prozessen:

- mechanisch-physikalisch (abhängig von der Schieferung, der Mineralienorientierung und vor allem der Porosität);
- chemisch (abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung);
- biologisch.

Wichtig ist die gegenseitige Beeinflussung von verschiedenen Materialien im Mauerwerk, wobei das Ausmass vom Grad der Durchfeuchtung abhängt.

Beispiele:

- Beton bzw. Portlandzement und Sandstein vertragen sich schlecht;
- Salze aus dem Zementmörtel können angrenzende Sandsteine und Kalkmörtel zerfressen;
- die mechanische Härte von Zementmörtel kann weichere Baustoffe in der Umgebung schädigen.

Für das Langzeitverhalten von Mauersteinen ist die Wetterexposition von Bedeutung (berechnet/nicht berechnet, bodennah, Grundfeuchte, Hangwasser).

Häufigste Schadensformen an Gestein:

- Absanden
- Abblättern
- Schalenbildung
- Ausblühungen, Krusten und Steinversalzung
- Zerbröckelung, z. B. von Kalkstein.

Mörtelfugen (vor allem Kalkmörtel) können besonders durch dauernde Feuchtigkeit oder Frost Schaden erleiden.

Da in den Mauerwerksfugen keine Biegespannungen übertragen werden können, muss zur Aufnahme von quer zur Mauerwerksebene wirkenden Belastungen (z. B. Erddruck) eine Schwergewichtskonstruktion gewählt werden. Verformungen von Mauerwerken sind oft auf eine diesbezüglich zu knappe Dimensionierung zurückzuführen. Auch die in den Fugen auftretenden Schubkräfte müssen berücksichtigt werden.

Weitere Hinweise insbesondere zu neueren Mauerwerkstypen sind z. B. in [2.26] zu finden.



Bild 2.24 Bruchsteinmauerwerk mit stark verwittertem Fugenmörtel



Bild 2.25 Altes Bruchsteinmauerwerk mit herausgefallenen Steinen und Pflanzenwuchs

Pilzbefall, Insektenbefall, Vermorschung
 Überbeanspruchung von Holzverbindungen
 (Quetschungen, Brüche, Spalten)
 Korrosion von metallischen Verbindungen
 Mechanische Schädigung durch äussere Ein-
 wirkungen
 Mechanische Einflüsse (Gebrauch, Abnut-
 zung, unfachgemässe Änderungen, Vandalis-
 mus)
 Verminderte Befahr- und Begehbarkeit, insbe-
 sondere glitschige Gehflächen
 Beeinträchtigte Ästhetik (z.B. abgeblätterter
 Farbanstrich)

Tab. 2.6 *Hauptauslöser für Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten von Holz*

Bedeutung der Holzfeuchte für den Korro-
 sionsprozess
 Gefährdungspotential bei der Anwesenheit
 von verschiedenen Metallen im Holz
 Korrosive Wirkung von Salzen als eventuelle
 Bestandteile von Flammschutzmitteln, von
 fungiziden Schutzmitteln, von Meersalz, usw.
 Spannungsrissskorrosion von «nichtrostenden»
 Stählen in chloridhaltiger Umgebung

Tab. 2.7 *Hinweise auf Probleme bei der Anwendung von metallischen Verbindungsmitteln im Holzbau, aus [2.1]*

2.2.5 Holzbau

Allgemeines

Die Anwendung von Holz in der Bautechnik hat eine sehr lange Tradition. Die Tatsache, dass Holz empfindlich auf «falsche» Anwendung «reagiert», hat im Laufe von Jahrhunderten zu einer ausgefeilten Anwendungstechnik geführt, bei der dem Schutz des Holzes vor schädlichen Einwirkungen – insbesondere Feuchtigkeit – hohe Bedeutung zukommt. Heute verfügt der Holzbauer im Bereich Holzschutz über zusätzliche Hilfsmittel wie Dichtungsprofile, Dichtungsmassen, Anstrichmittel, Imprägniermittel oder Folien [2.1].

Gegenüber Chemikalien ist Holz im allgemeinen ziemlich resistent und deshalb besonders dort ein geschätzter Baustoff, wo eine korrosive Atmosphäre für andere Materialien Probleme bietet. In solchen Fällen ist der Korrosionsgefahr für die verwendeten metallischen Verbindungsmittel besondere Beachtung zu schenken.

Bei den biologischen Einwirkungen ist in unserem Land der Befall von Holzbauten durch Insekten von mässiger Bedeutung. Ein Insektenbefall betrifft meist nur die äusseren Bereiche eines Trägers, weniger den Kern.

Die grösste Bedeutung hat der Befall durch holzzerstörende Pilze, der jedoch nur unter ganz bestimmten Vorraussetzungen auftreten kann, wie nachfolgend gezeigt wird.

Eines der wichtigsten Elemente des Holzbaues sind die Verbindungsstellen. Da Holz ein extrem anisotroper Baustoff ist, erfordert die Dimensionierung und konstruktive Durchbildung der Verbindungsstellen die volle Aufmerksamkeit des Holzbauers. Bei den Verbindungsstellen tritt meist auch die höchste Ausnutzung des Baustoffes auf. Mechanische Schäden infolge Überbeanspruchung (Quetschungen, Spalten, Brüche) sind deshalb oft zuerst bei den Verbindungsstellen zu finden. Die Ursachen für die Überbelastung können aber an einer ganz anderen Stelle des Tragwerkes liegen, z.B. bei einem verfaulten Hauptträger oder einer unfachgemässen Änderung am Tragwerk.

Wasser hat keine direkte schädigende Wirkung auf das Holz. Allerdings gibt es keine Eigenschaft des Holzes, die nicht durch das Wasser, bzw. durch die Holzfeuchte beeinflusst würde. Besonders gross ist der Einfluss im sogenannten hygroskopischen Holzfeuchtebereich, d.h. zwischen dem absolut trockenen Holz mit einer Holzfeuchte (Verhältnis zwischen Masse des Wassers im Holz und der Masse des absolut trockenen Holzes) von 0% und der Fasersättigung mit einer Holzfeuchte von - je nach Holzart - 27% bis 35%. In diesem Bereich werden sämtliche mechanische und physikalische Eigenschaften erheblich verändert. Oberhalb der Fasersättigung, d.h. in jenem Holzfeuchtebereich, in dem die zusätzliche Feuchte als flüssiges Wasser in den Zellhohlräumen eingelagert wird, verändern sich die Eigenschaften nurmehr gering. Das wichtigste Merkmal dieses Bereiches ist, dass Holz von Pilzen abgebaut werden kann.

Holzkonstruktionen verfärben sich je nach Wetterexposition unterschiedlich (Sonnenseite: braun; Wetterseite: grau). Solche Verfärbungen stellen keine Schädigungen dar, sie müssen deshalb sorgfältig von den durch Schädigungen verursachten Verfärbungen unterschieden werden.

Weitere Informationen sind in der Fachliteratur z.B. [2.27] zu finden.

Dunkelfärbung der Oberfläche (intensiver Oberflächenbewuchs mit dunkelgrauen Schimmelpilzen)
Korrosionsverfärbungen von Verbindungsmitteln
Bewuchs von Moos, Flechten oder Algen
Wuchs von Gräsern und anderen Pflanzen (meist in Verbindung mit Schmutzansammlungen)
Quellerscheinungen des Holzes
Weiche Oberfläche
Wasseraustritt beim Einstechen, bzw. Einschlagen von spitzen Gegenständen

Tab. 2.8 Anzeichen für eine andauernd hohe Holzfeuchte und Pilzgefährdung, aus [2.1]

Leichtes Einfallen der Oberfläche (Volumenverminderung)
Typischer Geruch
Dumpfer, hoher Klang beim Klopfen mit einem Hammer

Tab. 2.9 Äussere Erkennungsmerkmale für einen Pilzbefall, aus [2.1]

Axt einschlagen und lokalen Bruch erzeugen
Nägel einschlagen (vermorschtes Holz gibt nur sehr geringen Widerstand)
Loch bohren, Beurteilung des Bohrgutes, Feststellen des Bohrwiderstandes
Kernbohrung, Beurteilung der Bohrkerne

Tab. 2.10 Methoden zur Feststellung einer verminderten Holzfestigkeit, aus [2.1]

Befall durch holzerstörende Pilze

Für eine Pilzinfektion ist eine längerdauernde Durchfeuchtung des Holzes notwendig (Wochen). Bei vollständiger Wassersättigung des Holzes, z. B. bei Bauten, die permanent im Wasser stehen, ist kein Pilzwachstum möglich. Erhöhte Temperaturen beschleunigen die Pilzentwicklung. Die besten Wachstumsbedingungen liegen zwischen 15°C und 35°C. Temperaturen unter dem Gefrierpunkt schaden den Pilzen nicht, auch wenn sie das Wachstum dann unterbrechen. Besonders günstige Bedingungen für das Wachstum von Moderfäulepilzen sind oft im Kern von Holzträgern vorhanden, bei denen Wasser auf der Stirnseite (Trägerende oder bei Verbindungen) Wasser zutreten und von dort in den Träger aufgesaugt werden kann. In solchen Fällen kann ohne äussere Anzeichen die Fäulnis im Innern bereits fortgeschritten sein.

Der Abbau des Holzes durch Pilze ist mit allmählichem Masse- und Festigkeitsverlust verbunden. Verschiedene Pilzarten sind in der Lage Holz zu zerstören (z. B. Braunfäule- Weissfäule- und Moderfäulepilze). Die sogenannte Verblauung durch Schimmelpilze stellt nur eine ästhetische Beeinträchtigung dar.

Bei einer Holzfeuchte von $\geq 18\%$ können Schimmelpilze und Bläue auftreten, oberhalb 20% Holzfeuchte treten auch holzerstörende Pilze auf. Optimale Bedingungen für das Pilzwachstum sind bei einer Holzfeuchte zwischen 30 und 50% vorhanden.

2.3 Nutz- und Verkehrslasten

2.3.1 Allgemeines

In der Schweiz sind die Vorschriften über die Berechnung, Prüfung und Ausführung der Bauwerke, insbesondere der Brücken im Bahn- und Strassenverkehr seit 1892 durch Verordnungen des Bundesrates und/oder durch Normen der zuständigen Fachverbände geregelt. Darin werden sowohl die anzunehmenden Belastungsgrössen als auch die Mindestanforderungen an die Festigkeiten sowie die zulässige Ausnutzung der Materialien mehr oder weniger festgelegt. In chronologischer Reihenfolge aufgeführt, handelt es sich um die nebenstehenden Verordnungen und Normen, die sich mit den jeweils angeführten Problemkreisen befassen (Tabelle 2.11).

Aus dieser Aufstellung wird deutlich, dass sich im Verlauf drei Tendenzen abgezeichnet haben, nämlich:

- Die Vorschriften über die Belastungen sind von jenen über Baustoffe getrennt worden, so dass die Belastungen nur noch tragwerksabhängig, nicht aber baustoffabhängig angegeben werden.
- Die Normen sind materialspezifisch geworden.
- Die Vorschriften für Unterhalt und Überwachung der Bauwerke sind ebenfalls aus den jeweiligen Belastungs- oder Materialvorschriften herausgenommen und gesondert geregelt worden. Damit kommt deutlich zum Ausdruck, dass sich allmählich die Erkenntnis durchzusetzen beginnt, dass nicht nur der Dimensionierung der Bauwerke, sondern auch dem Unterhalt die dafür notwendige Sorgfalt beizumessen ist.

Zusätzlich hat sich das Bemessungsprinzip mit der Normengeneration des Jahres 1989 grundlegend geändert. Die im Jahre 1956 erlassenen Normen basierten noch alle auf dem Bemessungsprinzip des Vergleiches der errechneten elastischen Spannungen mit zulässigen Spannungen. Mit den

1892:	Verordnung: Belastung, Stahl, Überwachung
1903:	Provisorische Norm: Stahlbeton, Überwachung
1909	Vorschrift: Belastung, Stahlbeton, Überwachung
1913:	Verordnung: Belastung, Stahl, Überwachung
1915:	Verordnung: Belastung, Stahlbeton, Überwachung
1935:	Norm SIA 112: Belastung, Stahl, Stahlbeton, Überwachung, Unterhalt
1956:	Norm SIA 160: Belastung, Überwachung, Unterhalt Norm SIA 161: Stahl Norm SIA 162: Stahl- und Spannbeton
1968:	Norm SIA 162: Beton, Stahl- und Spannbeton
1970:	Norm SIA 160: Belastung, Überwachung, Unterhalt
1976:	Richtlinie SIA 162/34: Bruchwiderstand und Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Richtlinie SIA 162/35: Bruchsicherheitsnachweis für Druckglieder
1979:	Norm SIA 161: Stahlbauten
1987:	Empfehlung SIA 169: Erhaltung von Ingenieur-Bauwerken
1989:	Norm SIA 160: Einwirkungen auf Tragwerke Norm SIA 162: Betonbauten
1989	SN 640 930: Gesamtbeurteilung des Zustandes von Bauwerken
1990:	Norm SIA 161: Stahlbauten

Tab. 2.11 Chronologische Reihenfolge der Verordnungen und Normen

Richtlinien von 1976 SIA 162/34, SIA 162/35 und der Teilrevision der Norm SIA 161 im Jahre 1979 wurde ein neueres Bemessungskonzept eingeführt, bei dem der Nachweis mit Hilfe des Tragwiderstandes geführt wird. Die Belastungsnorm SIA 160 (1970) enthielt noch keine Lastannahmen für die getrennten Nachweise der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit. Erst die Norm SIA 160 (1989) lieferte die Mittel, um dem neuen Bemessungskonzept – Nachweise der Tragsicherheit auf Bruchniveau und der Gebrauchstauglichkeit auf Nutzungsniveau – gerecht zu werden. Obwohl es nicht ganz einfach ist, die angegebenen Belastungen miteinander zu vergleichen, soll nachfolgend der Versuch einer solchen Gegenüberstellung gewagt werden. Die früher üblicherweise in Tonnen [t] angegebenen Lasten wurden in Kilo-Newton [kN] umgerechnet (1 t = 10 kN).

2.3.2 Hochbauten

Die Entwicklung der Nutzlasten in Gebäuden ist in der Tabelle 2.12 dargestellt. Demnach sind bei den Belastungsannahmen für Hochbauten in der Zeitspanne zwischen 1913 und 1989 keine wesentlichen Veränderungen festzustellen.

Jahr	Wohn- + Dienst-räume	Treppen	Warte-räume	Gepäck-räume
1913	2	–	4	4
1935	2	3	4	5
1956	2	3	4	5
1970	2	3	4	5
1989 ¹⁾	1.5	2	4	5
1989 ²⁾	2	4	4	5

¹⁾ Kurzzeitwert für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit
²⁾ Kennwert für den Nachweis der Tragsicherheit

Tab. 2.12 Entwicklung der Nutzlasten in Gebäuden (Angabe in kN/m²)

2.3.3 Schneelasten

Die nächste Gegenüberstellung (Bild 2.26) zeigt die Entwicklung der Schneelasten. Es ist eine beachtliche Zunahme der normierten Schneelasten im Verlaufe der Zeit festzustellen. Dies ist vor allem mit folgenden Tatsachen zu begründen:

- Laufende Auswertung der meteorologischen Daten und Verfeinerung des schweizerischen Messnetzes seit Beginn dieses Jahrhunderts;
- Zunehmende Bebauung von Regionen in höheren Lagen oder mit aussergewöhnlichen Schneeverhältnissen;
- Neuere Kenntnisse der Ablagerungsbedingungen von Schnee auf Dächern (z.B. Dachneigung, Windverhältnisse);
- Mehrere Schadensfälle infolge Schneelasten im Laufe der letzten 20 Jahre.

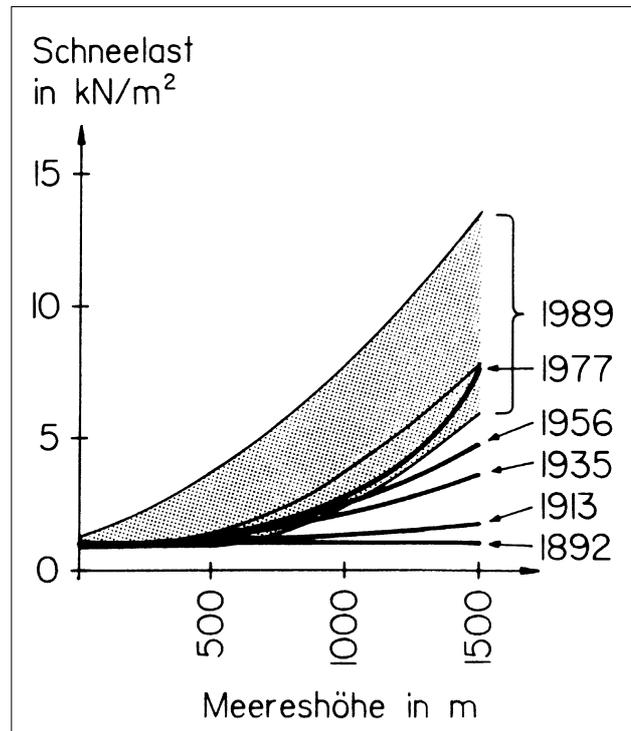
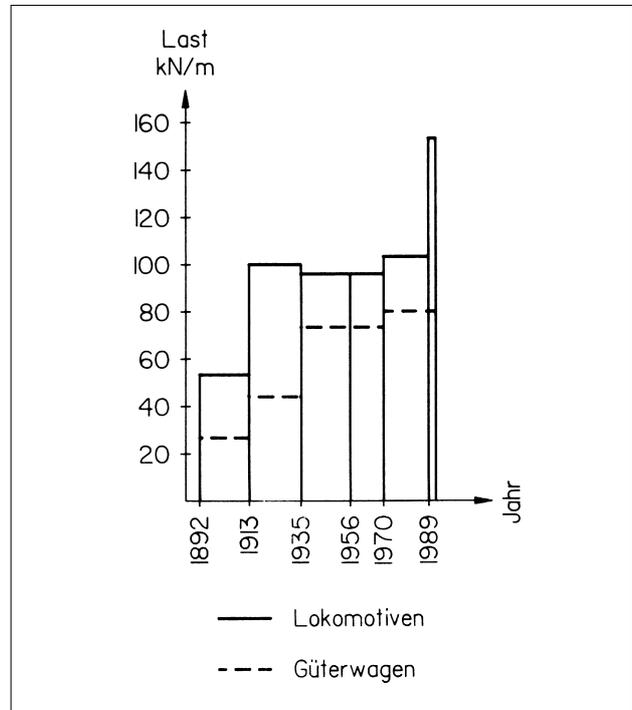


Bild 2.26 Entwicklung der normierten Schneelasten im Verlaufe der Zeit

2.3.4 Bahnbrücken

Bei einer Zusammenfassung der Belastungsannahmen für normalspurige Bahnbrücken auf Hauptlinien zeigt sich, dass die Einführung der vierachsigen Güterwagen vor allem seit 1935 eine merkliche Steigerung der Belastung mit sich gebracht hat (Bild 2.27). Die Lokomotivbelastung hat hingegen seit 1913 nur noch unwesentlich zugenommen, was sich sowohl bei den Achslasten (von 200 kN bis 230 kN) wie auch bei den umgerechneten Laufmeterbelastungen (von 100 kN/m bis 102.2 kN/m) ausdrückt. Hingegen ist eine Abnahme des dynamischen Beiwertes ϕ (Stosszuschlag) festzustellen (Bild 2.28).



1) Gebrauchsfähigkeitsnachweis Lastmodell 1

Bild 2.27 Entwicklung der Bahnlasten für Normalspur im Verlauf der Zeit

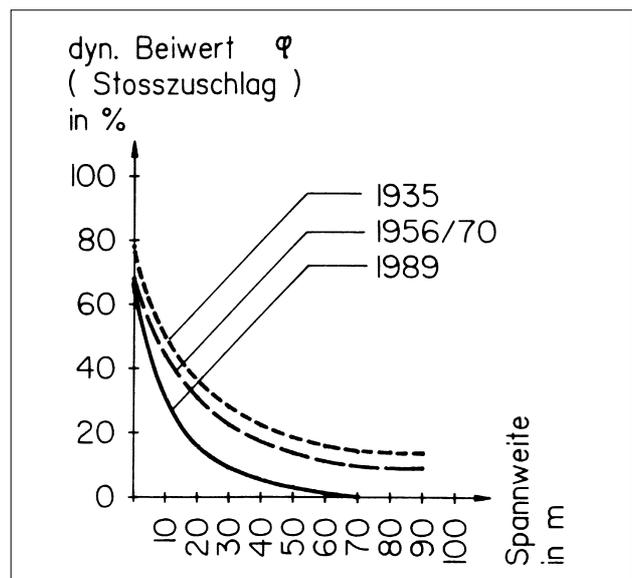


Bild 2.28 Entwicklung des dynamischen Beiwertes ϕ (Stosszuschlag) bei Bahnbrücken im Verlauf der Zeit

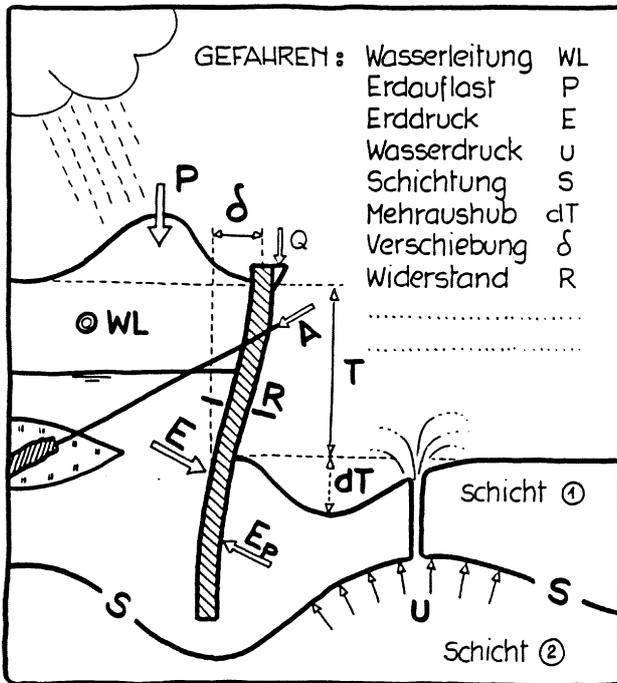


Bild 2.29 Gefährdungsbild allgemein, aus [2.28]

2.4 Einwirkungen aus dem Baugrund

2.4.1 Allgemeines

Während bei Nutz- und Verkehrslasten die Grösse der anzunehmenden Lasten durch Abmessungen oder Messdaten weitgehend bekannt sind, ist es im Grundbau schwieriger, die tatsächlich auftretenden Grössen zu bestimmen. Das grösste Problem bildet die Quantifizierung der Ausgangsgrössen, d.h. der Boden- oder Felseigenschaften, da diese nicht von normierten Materialien abhängen. Diese Quantifizierung ist Bestandteil des Baugrundmodelles, das sich normalerweise aus folgenden Punkten zusammensetzt:

- idealisierte Vorstellungen über den Schichtaufbau des Baugrundes;
- die Boden- oder Felseigenschaften (z.B. Scherfestigkeitsparameter, Spannungs- und Verformungsverhalten);
- die hydrologischen oder Grundwasserverhältnisse, Wasserdurchlässigkeit.

Das neue Bemessungskonzept gemäss Norm SIA 160 (1989) bezieht diese Baugrundbeschreibung in das geotechnische Gefährdungsbild ein. In diesem Gefährdungsbild (Bilder 2.29, 2.30) werden die Gefahrenquellen – Einwirkungen wie Widerstände – zur Bildung des Bemessungsmodelles und zur Erfassung des Baugrundrisikos zusammengestellt. Als Gefahrenquellen kommen die folgenden Problemkreise in Frage:

- Stabilitätsprobleme (Erddruck, Grundbruch und Tragfähigkeit, Böschungsinstabilität);
- hydrologische Probleme (Durchlässigkeit, hydrostatischer Wasserdruck, Auftrieb, Sicker- und Grundwasserströmung);
- Deformationsprobleme (Setzungen, Verschiebungen).

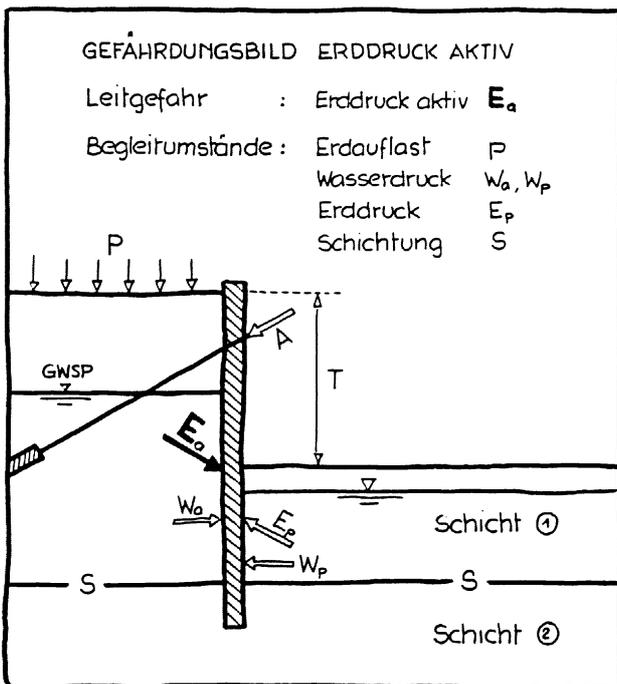


Bild 2.30 Gefährdungsbild Bemessung, aus [2.28]

2.4.2 Stabilitätsprobleme

Stabilitätsprobleme treten vor allem auf, wenn folgende Beschreibungen unzureichend sind:

- die Verhältnisse in der Natur (z.B. Schichtaufbau des Baugrundes, hydrologische Verhältnisse);
- die Quantifizierung der Scherparameter;
- das Scherverhalten des Bodens (z.B. drainiertes oder undrainiertes Verhalten);
- Höhe des Risikos bei Instabilität.

Als Folge davon können die Annahmen über den Bruchmechanismus (Verlauf und Form der Bruchfläche oder -zone) oder die Porenwasserdrücke unzutreffend werden. Zu niedrig eingeschätzte Erd- und Wasserdrücke dürften wohl eine der häufigsten langfristigen Schadenursachen sein.

Für den Entwurf von Stützmauern ist die Planung ausreichender Entwässerungsmassnahmen und ein sorgfältiges Studium der Gründungsverhältnisse wichtiger, als eine genaue Ermittlung des Erddruckes.

Bild 2.31 Zitat Terzaghi (1961)

2.4.3 Hydrologische Einflüsse

Durchlässigkeit

Viele unserer Böden sind bezüglich ihrer Durchlässigkeit stark anisotrop. Bei der Bildung des Baugrundmodelles kommt der Abschätzung der Durchlässigkeitsverhältnisse grosse Bedeutung zu. Schon dünne Zonen mit unterschiedlicher Durchlässigkeit können einen grossen Einfluss haben. So kann z.B. eine dünne, undurchlässige Lehmschicht ein gespanntes Grundwasserstockwerk bilden oder eine dünne, sehr durchlässige Kiesschicht kann bei einer Grundwasserabsenkung den Wasserandrang entscheidend beeinflussen.

Hydrostatischer Wasserdruck, Auftrieb

Im Normalfall bietet der hydrostatische Wasserdruck keine ernsthaften Probleme, da seine Grösse relativ genau ermittelt werden kann. Schwierigkeiten können sich aber trotzdem ergeben, wenn:

- Mess- oder Kontrolldaten fehlen oder ungenau sind;
- Drainagen nicht funktionieren.

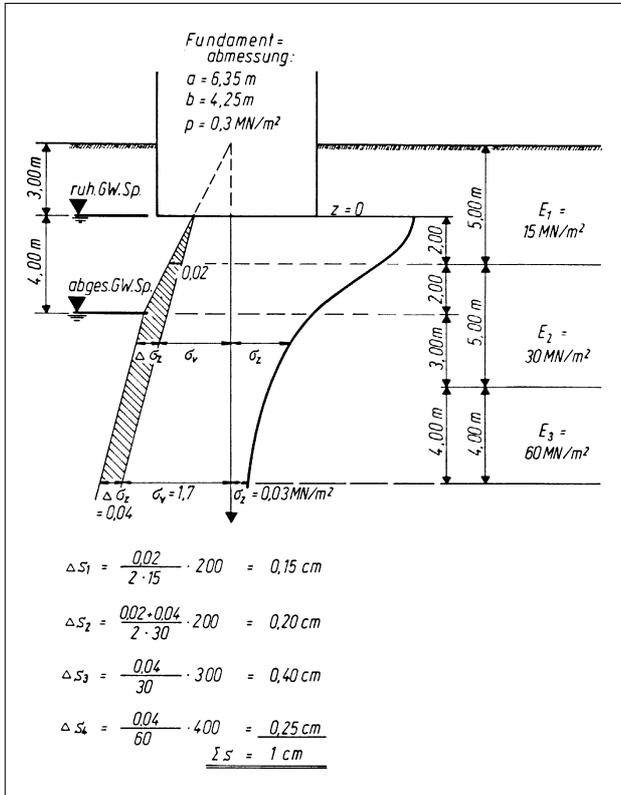


Bild 2.32 Erhöhung der Bodenspannungen unter einem Fundament infolge einer Grundwasserabsenkung und die dadurch hervorgerufenen rechnerischen Setzungen, aus [2.29].

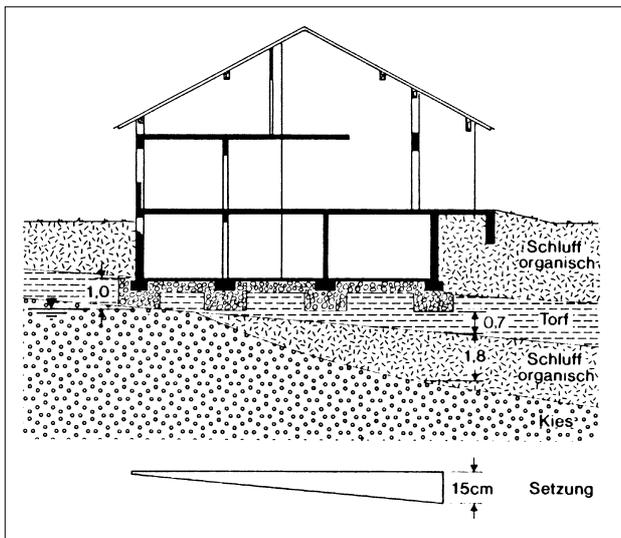


Bild 2.33 Schiefstellung infolge unterschiedlicher Baugrundverhältnisse, aus [2.30]

Obwohl die Festlegung des Wasserdruckes grundsätzlich kein grosses Problem darstellt, werden relativ viele Schäden durch den Wasserdruck verursacht. Fehlende oder verstopfte Drainagen oder Nicht-Berücksichtigung des Wasserdruckes sind meist die indirekten Schadenursachen.

Grundwasserströmung

Probleme treten vor allem im Zusammenhang mit Veränderungen des Grundwasserspiegels (natürliche oder künstliche Ursachen) auf. Ein Absinken des Grundwasserspiegels verursacht eine Änderung der Spannungsverhältnisse im Untergrund (Bild 2.32), wodurch bei bindigen oder anderen zusammendrückbaren Böden Setzungen eintreten können. Ein Ansteigen des Grundwasserspiegels kann zum Beispiel die Ursache für (neue) Wassereintritte in ein Gebäude oder für eine Durchfeuchtung sein.

Sickerströmung

Diese können bei bestehenden Bauwerken insofern zu Schäden führen, als durch andauernde Sickerströmungen eine kontinuierliche innere Erosion des Baugrundes eintreten kann. Setzungen oder Stabilitätsverlust können die unangenehmen Folgen sein.

2.4.4 Setzungen

Bei bestehenden Gebäuden können langsam ablaufende oder äussere Veränderungen im Baugrund Setzungen verursachen (Bild 2.33), die einen nachteiligen Einfluss haben können. Ihre Auswirkungen können sehr verschiedenartig sein, beispielsweise Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit (der Funktionstaug und Aussehen) oder im Extremfall der Tragsicherheit.

Setzungserscheinungen können wie folgt auftreten:

- als gleichmässige oder ungleichmässige, lineare Setzungen eines gesamten Bauwerkes;
- ungleichmässige Setzungen einzelner Fundamente desselben Bauwerkes;
- Kombination dieser beiden Setzungen.

Das wohl bekannteste Beispiel der ersten Art Setzungen stellt der berühmte «Schiefe Turm» von Pisa dar, bei dem durch ungleichmässige lineare Setzungen des gesamten Turmfundamentes schon während der Bauzeit zu einer Schiefstellung des Fundamentes geführt haben (Bild 2.34). Die Setzungen sind im Laufe der Jahrhunderte langsam weiter angewachsen.

Als Ursachen von Setzungen sind folgende Gründe denkbar:

- Zusammendrückbare Schichten im Baugrund, evtl. mit wechselnder Schichtstärke;
- Grundwasserabsenkungen (z.B. durch Baugruben in der näheren oder weiteren Umgebung);
- Schrumpfung oder Durchfeuchtung des Baugrundes;
- Frosteinwirkung;
- Drucküberschneidung;
- Bauarbeiten in der Nachbarschaft (Pfahlgründungen, Unterfangungen, Baugruben);
- Ungleiche Foundation verschiedener Teile eines Bauwerkes;
- An-, Um- und Aufbauten bei einem bestehenden Bauwerk;
- Leitungs- und Schachtdurchführungen sowie Untertunnelung unter bestehenden Bauwerken.

Bei der Beurteilung ist immer auch das hohe Schadensrisiko bei Leitungsanschlüssen (Übergang Bauwerk/Baugrund) zu beachten.

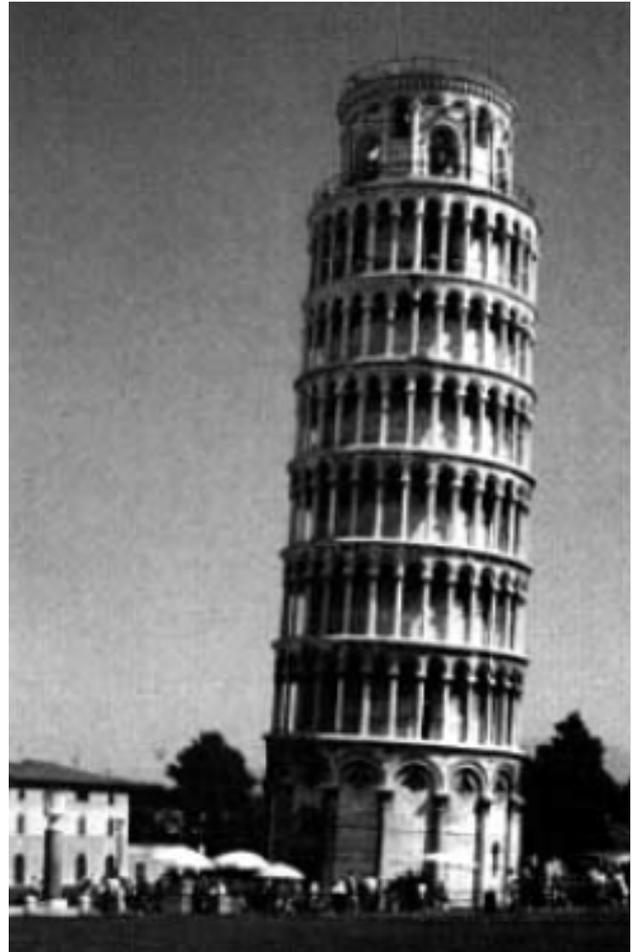


Bild 2.34 Der schiefe Turm von Pisa, ein Beispiel für Schiefstellung eines Bauwerkes infolge ungleichmässiger Setzungen im Untergrund

		In Prozenten ...		
		... der Anzahl aller 723 erfassten Fälle	... der Schadenssumme aller 723 erfassten Fälle	... der zugehörigen 63 Fälle mit Personenschäden
Art der Berücksichtigung schädigender Einflüsse	nicht berücksichtigt	fehlerhaft		
	falsch berücksichtigt		52	64
	nicht und falsch			
	ungenügend	16	8	3
	als akzeptiertes Risiko	22	8	10
	unbekannt	10	20	32
Total		100	100	100

Tab. 2.13 Prozentualer Anteil der Schadenursachen bei den im Rahmen einer Studie untersuchten Schadenfälle aus dem Bauwesen [2.31]

2.5 Aussergewöhnliche Einwirkungen

2.5.1 Allgemeines

Unter dem Begriff «Aussergewöhnliche Einwirkungen» werden im folgenden Einwirkungen auf Tagwerke verstanden, die als plötzlich eintretende, nicht vorhergesehene Ereignisse angesehen werden müssen [SIA 160]. Hierzu gehören insbesondere die Ereignisse:

- Brandeinwirkung;
- Naturereignisse (z.B. Erdbeben, Hochwasser, Lawinen, Rutschungen);
- Überbeanspruchung infolge Überbelastung (z.B. durch Nutzlasten).

Störfälle in Form von Verkehrsunfällen, wie z.B. der Anprall an einen Brückenpfeiler müssen je nach der Grösse der Gefährdung in das Sicherheits- und Bemessungskonzept eingebracht werden. Wenn die Gefährdung allerdings als gering eingestuft werden kann, so besteht die Möglichkeit, diesen Störfall als akzeptiertes Risiko zu betrachten. Aus Tabelle 2.13 geht hervor, dass bei 22% aller im Rahmen einer Studie untersuchten Schadenfälle aus dem Bauwesen die Schadensursache unter dem Stichwort «akzeptiertes Risiko» einzustufen waren. Das Problem der Brandeinwirkung wird nachfolgend eingehender betrachtet.

2.5.2 Brandeinwirkungen

Brandeinwirkungen können im wesentlichen in dreifacher Hinsicht Schädigungen erzeugen:

- Materialeigenschaften können sich durch Hitzeinwirkung dauernd oder zeitweilig verändern;
- Zwängungskräfte, die durch ungleichmässiges Erwärmen entstehen, können zur Überbeanspruchung von Bauwerksteilen führen;
- Die Rauchgase oder das Löschwasser können chemische Verbindungen (z.B. Chlorverbindungen aus dem Verbrennen von Kunststoffen) enthalten, die die Baustoffe (Beton, Stahl, usw.) angreifen (Bild 2.35).

Änderung der Materialeigenschaften

Bei Stahlkonstruktionen können höhere und länger einwirkende Temperaturen zu einem vollständigen Versagen führen, da die Bruchfestigkeit, die Streckgrenze (Bild 2.36) und auch der Elastizitätsmodul dieses Baustoffes sehr rasch abnehmen. So können auch unter Gebrauchslasten Stabilitätsprobleme auftreten.

Als Folge der Erwärmung können bei Stahlbetonbauteilen folgende Arten von Abplatzungen auftreten:

- Zuschlagstoff-Abplatzungen, die lokal auf oberflächliche Körnergruppen beschränkt sind und den Feuerwiderstand nicht beeinträchtigen.
- Explosionsartige Abplatzungen, die sich in den ersten 30 Minuten der Brandbeanspruchung ereignen. Ihr Ausmass kann unterschiedlich sein und teilweise zu einem vorzeitigen Versagen des Bauteils führen (z. B. bei auf Druck beanspruchten Stützen).
- Abfallen von Betonschichten, die erst in einer späteren Brandphase auftreten und eine zunehmende Zerstörung des Betongefüges zur Ursache haben.

Bei Holz behindert die verkohlte Schicht an der Oberfläche mit zunehmender Dicke ein weiteres Eindringen des Brandes in das Innere eines Trägers. Dies ist ein überaus positiver Effekt, der dazu führt, dass Holzkonstruktionen bei Brandbelastung generell weniger einsturzgefährdet sind als etwa Stahlkonstruktionen.

Zwängungskräfte

Sekundärschäden aus Zwängungen werden vor allem durch folgende Einwirkungen hervorgerufen:

- ungleichmässiges Erwärmen;
- Temperaturschock durch Löschwasser;
- bleibende Verformungen.

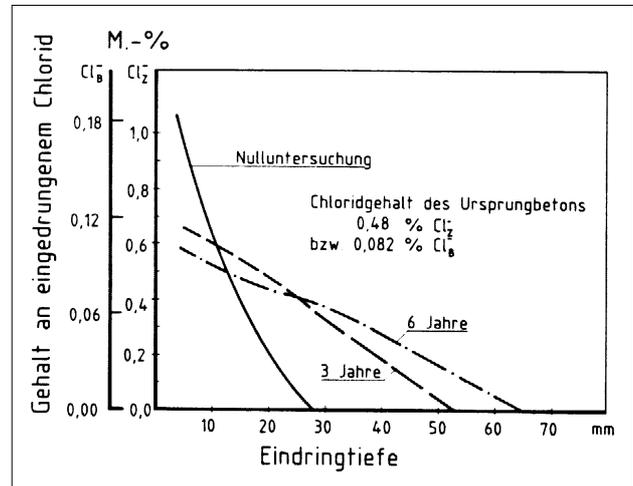


Bild 2.35 Änderung des durch einen PVC-Brand verursachten Chloridgehaltes im Beton in Abhängigkeit der Zeit, aus [2.32]

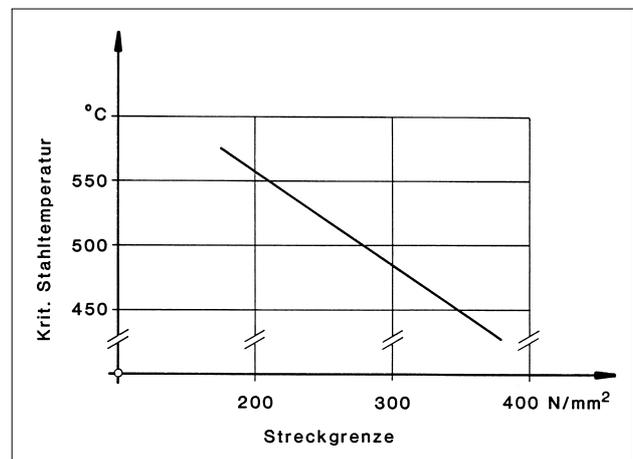


Bild 2.32 Beeinflussung der Streckgrenze durch die Temperatur, aus [2.33]

		In Prozenten ...		
		... der Anzahl aller 629 erfassten Fälle	... der Schadenssumme aller 629 erfassten Fälle	... der zugehörigen 60 Fälle mit Personenschäden
Schadenauslösende Bauwerkskomponente:	Installation / Baugrube	12	4	13
	Hilfskonstruktion	9	11	22
	Tragwerk	44	72	48
	Ausbau	19	3	2
	Technische Einrichtungen	11	6	8
	Rest	5	4	7
Total		100	100	100

Tab. 2.14 Prozentuale Aufteilung der Schadensauslöser, die durch Bauwerkskomponenten bedingt sind, aus [2.31]

2.6 Entwurf, Ausführung, Überwachung und Unterhalt

2.6.1 Vorbemerkung

Entwurf und Ausführung haben einen sehr grossen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit eines Bauwerkes. Keinesfalls darf in diesem Zusammenhang allein von Fehlern der Planer und Ausführenden gesprochen werden. Oft ist es nämlich zum Zeitpunkt der Realisierung sehr schwer, die Entwicklung der Einflüsse auf ein Bauwerk genügend genau zu erfassen. Im Nachhinein ist es jedoch sehr einfach festzustellen, dass dieser oder jener Schaden letztendlich durch eine andere Ausführung hätte vermieden werden können. Die nachfolgenden Ausführungen sollen auf einige wichtige Punkte hinweisen, die oft als Mitursachen von Schäden erkannt werden können. Damit soll eine weitere Grundlage gelegt werden, auf die später bei der Zustandserfassung zurückgegriffen werden kann.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass eine systematische Qualitätssicherung während der Planungs- und Ausführungsphase wesentlich dazu beiträgt, das Entstehen von Mängeln zu vermeiden sowie entstandene Mängel frühzeitig zu erkennen, zu korrigieren bzw. zu beheben.

2.6.2 Entwurf

Grobe Mängel oder Fehler bei der Berechnung sind heute die sehr seltene Ausnahme. Eine sorgfältige, konstruktive Lösung hat jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Dauerhaftigkeit. Dies wird immer wieder unterschätzt. Zeitdruck oder Erfahrungsmangel mögen das ihrige zu dieser Situation beitragen. Nachfolgend sind stichwortartig Ursachen für spätere Mängel aufgeführt.

Bemessung

- Unvollständige oder falsche Berechnungsannahmen (z.B. unkorrekte, vergessene Annahmen bei Transport- oder Bauzuständen);
- Grobe Rechenfehler (z.B. falsche Anfangs- oder Eingabewerte);

- Unrichtige oder unzureichende Rechenmodelle (z. B. falsch erfasstes Tragverhalten, Bemessung nur auf Tragsicherheit ohne zusätzliche Betrachtung der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit).
- Fehleinschätzung der unterschiedlichen Temperatur- und Schwindverformungen z.B. bei der Querschnittsgestaltung und bei der Bestimmung des Bewehrungsgehaltes.

Konstruktion

- Gewählte Konstruktion war nicht ausführungsgerecht,
- Ungünstige Materialwahl,
- Bauphysikalische Mängel,
- Betonüberdeckung zu klein für vorhandene Einwirkungen,
- Bewehrungsführung (Bild 2.38):
 - Verdichtungsprobleme,
 - ungünstige Rissbreiten und schlechte Verteilung der Risse,
 - sogenannte «spannungsfreie» Zonen sind nicht bewehrt,
- Entwässerung:
 - fehlendes Gefälle, so dass das Wasser nicht abfließen kann,
 - Dimensionierung der Leitungen,
 - Leitungsführung (Gefälle kann sich z. B. durch Setzungen ändern),
- Beurteilung der Dilatations-, Setzungs- und Temperaturbewegungen,
- Starre Verbindungen von Teilen mit ungleichen Querschnittsabmessungen (Bild 2.37): z. B. Auswirkungen des differentiellen Schwindens oder des Temperaturgradienten nicht beachtet,
- Unzugänglichkeit und schlechte Belüftung von Hohlräumen,
- Überprüfbarkeit und Ausbaubarkeit von Bauwerksteilen (z. B. von Lagern, Fahrbahnübergängen, permanenten Ankern oder von Aufhängungsvorrichtungen von vorgehängten Fassaden) ist nicht gewährleistet,
- Querschnittsabmessungen (zu sparsam).
- Zusatzspannungen bei zwischenverankerten Spanngliedern oder Ermüdungsschwachstellen bei Spanngliedkoppelung.

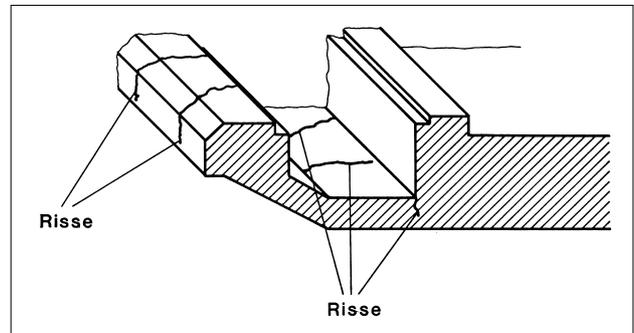


Bild 2.37 Bei starken Querschnittsänderungen kann die ungleiche Massenverteilung zu unterschiedlichen Schwind- und Temperaturverformungen und damit zu ungewollten Rissen führen

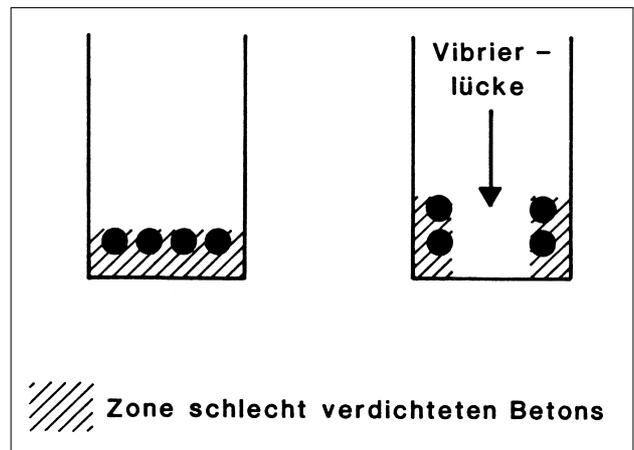


Bild 2.38 Ungenügende Platzverhältnisse für die Verdichtung des Betons infolge ungünstiger Anordnung der Spannglieder in einem Rechteckquerschnitt.

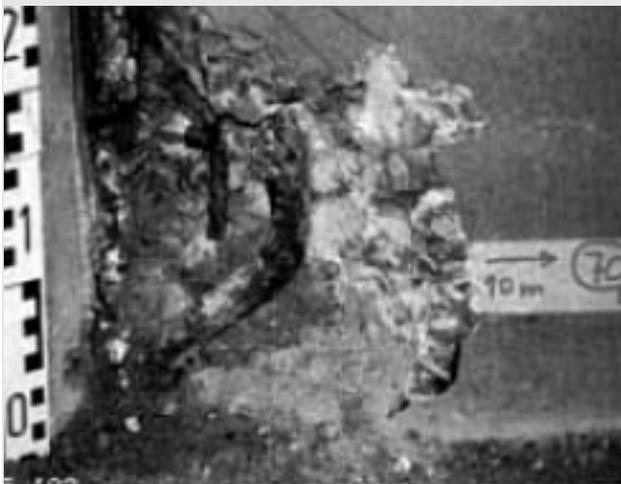


Bild 2.39 Anschlussseisen im Bereich einer Dilationsfuge wurde «zurechtgebogen»; Folge: grosses Kiesnest und frühzeitige Korrosion der Bewehrung



Bild 2.40 Nicht zurückgebogene Bindedrähte weisen eine ungenügende Betonüberdeckung auf

2.6.3 Ausführung

Die Ausführung hat vor allem dort, wo Baustoffe direkt auf der Baustelle hergestellt und verarbeitet werden, einen entscheidenden Einfluss auf die Dauerhaftigkeit. Es ist dabei zu bedenken, dass die Bauausführung in der Regel im Freien und nicht im Labor stattfindet. Schwachstellen am Bauwerk, die auf die Ausführung zurückzuführen sind, können wohl durch Massnahmen auf der Baustelle, ebenso aber durch eine Verstärkung der baustellenge-rechten Planung und einer intensiven Vorbereitung der Ausführung vermieden werden.

- Betonüberdeckung der Bewehrung zu gering (z.B. infolge ungenügender Anzahl Distanzhalter oder nicht zurückgebogene Bindedrähte),
- Beton porös (z.B. wegen zu kurzer oder falscher Betonverdichtung),
- Schlecht ausgeführte Arbeitsfugen,
- Betonrezept (z.B. Wasserdosierung, Kornzusammensetzung),
- Betonnachbehandlung unzureichend oder fehlend,
- Betonierprobleme (z.B. bei geneigten Oberflächen oder bei Schalungsfugen),
- Spannglieder ungenügend oder gar nicht verpresst,
- Abdichtungen (z.B. Erstellen der Abdichtung bei ungünstiger Witterung),
- Verwendung ungeeigneter Baustoffe oder Bauverfahren,
- Beschädigungen am Korrosionsschutz nach Montage nicht repariert,
- Baustellenschweissungen unter unkontrollierten Bedingungen durchgeführt,
- Bei Anstrichen klimatische Anforderungen nicht berücksichtigt (z.B. zu hohe Luftfeuchtigkeit, Taupunkt, Feuchtigkeit des Untergrundes).

2.6.4 Überwachung, Unterhalt

Überwachung und Unterhalt haben zum Ziel, Alterungen und Schädigungen am Bauwerk rechtzeitig zu entdecken. Rechtzeitig bedeutet dabei, zu einem Zeitpunkt, zu dem noch relativ kostengünstige Massnahmen zur Begrenzung der weiteren Schadensentwicklung möglich sind. Insbesondere sollen auch Sekundärschäden (z. B. durch eine gebrochene Entwässerung) vermieden werden.

Die Grundsätze, die bei Überwachung und beim Unterhalt zu beachten sind sind in der Empfehlung SIA 169 festgehalten. Diese Empfehlung befindet sich zur Zeit in Revision. Gleichzeitig ist eine gleichgerichtete Empfehlung für den Bereich Architektur (SIA 269) in Ausarbeitung.

Im Rahmen der Revision werden verschiedene Begriffe der heute noch gültigen Empfehlung SIA 169 (Bild 2.41) geändert. In Bild 2.42 ist der von einer Arbeitsgruppe in Koordination mit den verschiedenen Gremien ausgearbeitete Vorschlag für die neu zu verwendenden Begriffsdefinitionen abgebildet.

Vernachlässigt ein Bauwerkseigentümer die Überwachungsaufgabe, wird früher oder später eine unkontrollierte Entwicklung von Schäden eintreten, denen dann – weil sie zu spät entdeckt werden – nur noch mit sehr aufwendigen Massnahmen begegnet werden kann.

Für den Bauwerkseigentümer ist es wichtig zu realisieren, dass jedes Bauwerk und jeder Baustoff mit der Zeit Veränderungen unterliegt, die zu Schäden führen können. Vor dieser Erscheinung bleibt auch das beste Bauwerk nicht verschont.

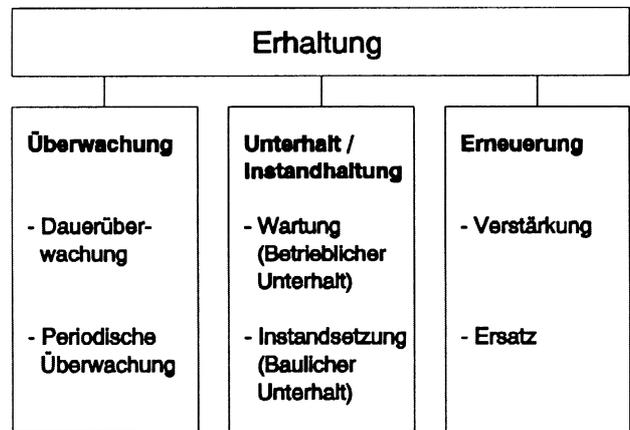


Bild 2.41 Begriffe gemäss Empfehlung SIA 169.

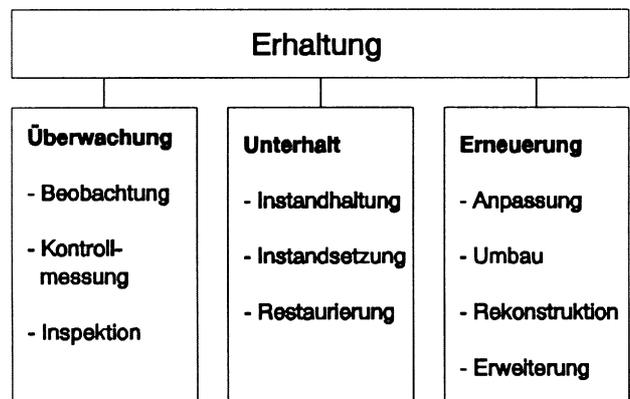


Bild 2.42 Von einer Arbeitsgruppe in Absprache mit verschiedenen Gremien neu vorgeschlagene Begriffsdefinitionen für die Verwendung im Hochbau, im Ingenieurbau und in der Haustechnik.



Bild 2.43 Solche Situationen sollten nicht zur Gewohnheit werden



Bild 2.44 Veränderte und neue Anforderungen aus der Nutzung erfordern persönliche Anpassungen und Umbauten an den bestehenden Bausubstanzen

2.7 Steigerung der Komfortansprüche

Unsere Gesellschaft hat in den letzten fünfzig Jahren eine Steigerung des Wohlstandes erlebt, wie es sie vorher im Laufe der Geschichte noch nie gegeben hat. Der Wohlstand hat dazu geführt, dass wir heute über die Mittel verfügen, unser Leben angenehm und komfortabel zu gestalten. Damit sind auch unsere Ansprüche an die um- und überbaute Umgebung gestiegen. Vieles, was vor wenigen Jahrzehnten noch als akzeptabel angesehen worden ist, ist heute nicht einmal mehr diskutabel (z.B. Schlaglöcher in Strassen, undichte Fenster, Erschütterungen, schiefe Konstruktionen).

Erhöhte Anforderungen können aus der Nutzung eines Bauwerkes resultieren. So bedingt zum Beispiel der Betrieb von Computern in einem Gebäude eine Beschränkung der Vibrationen. Hohe Verkehrsfrequenzen die entsprechende Erschütterungen verursachen, können wesentliche Massnahmen erforderlich machen, damit ein bestehendes Gebäude den heutigen Ansprüchen angepasst werden kann.

Mit der generellen Steigerung des Wohlstandes ist auch eine erhebliche Steigerung der allgemeinen Ansprüche an den Sicherheitsstandard einhergegangen. Dies drückt sich mindestens teilweise in verschärften Bestimmungen in den Normen aus. Ein bestehendes Bauwerk kann dadurch, gegenüber den heutigen Ansprüchen, ein objektiv feststellbares Sicherheitsdefizit aufweisen, obwohl es zur Zeit seiner Erstellung allen Anforderungen genügt und immer in gutem Zustand gehalten worden ist.

Eine weitere Randbedingung erfordert bei der Untersuchung von Bauwerken entsprechende Beachtung. Die Haftungssituation hat sich in den letzten Jahren zunehmend verschärft. Nicht nur, dass das Recht auf Klage bei Schäden vermehrt ausgenützt wird, auch die Haftung wird heute generell strenger beurteilt als noch vor einigen Jahren. Dieser Trend dürfte sich in den nächsten Jahren kaum umkehren.

**Literaturverzeichnis
zu Kapitel 2. Schädigungsmechanismen**

- [2.1] IP Bau: Schutzsysteme im Tief- und Ingenieurbau, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, EDMZ-Nr.724.455 d, 1992.
- [2.2] Tripel. I., Wiederkehr P.: Etude du problème des précipitations acides en Suisse, Dissertation, EPFL, März 1983.
- [2.3] Jungwirth D. u.a.: Dauerhafte Betonbauwerke, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1986.
- [2.4] Ladner M.: Zustandsuntersuchung von Bauwerken, EMPA Bericht Nr.116/3, EMPA, Dübendorf, 1988.
- [2.5] Hilsdorf H.K.: Beton, Beton-Kalender 1992, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1992.
- [2.6] Böhni H.: Korrosion und Korrosionsschutz von Stahl in Beton, in SIA Dokumentation D020, Zürich, 1988.
- [2.7] Nürnberger U. u.a.: Korrosionsschutz im Massivbau, expert verlag, Ehningen, 1991.
- [2.8] Richartz W.: Die Bindung von Chlorid bei der Zementhärtung, Zement-Kalk-Gips, Heft 20, 1969.
- [2.9] Schiessl P.: Schutzwirkung des Brückenbetons gegen Bewehrungskorrosion, insbesondere bei Tausalzeinwirkung, Sachstandsbericht, Deutsche Bundesanstalt für Strassenwesen, 1988.
- [2.10] Hartl G.: Korrosion der Bewehrung bei Tausalzeinwirkung, Zement und Beton 1/1984.
- [2.11] Elsener B.: Elektrochemische Methoden zur Bauwerksüberwachung, SIA Dokumentation D 020, SIA, Zürich, 1988.
- [2.12] Böhni H., Elsener B.: Korrosionsbeständigkeit von Armierungen, SIA Dokumentation D 72, SIA, Zürich, 1984.
- [2.13] Schiessl P.: Das besondere Problem der Risse im Beton, Korrosionsschutz im Ingenieurbau, VDI Bericht 653, 1988.
- [2.14] Schiessl P.: Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen, DAfStb Heft 370, Berlin, 1986.
- [2.15] Hartl G., Lukas W. u. Rechberger P.: Korrosionsschutz der Betonbewehrung bei Tausalzeinwirkung, Bundesministerium für Bauten und Technik, Strassenforschung, Heft 311, Wien, 1987.
- [2.16] Keller T.: Dauerhaftigkeit von Stahlbetontragwerken/Transportmechanismen/Auswirkungen von Rissen, Birkhäuser Verlag, Basel, 1991.
- [2.17] Rösli A., Harnik A.G.: Zur Frost- Tausalzbeständigkeit von Beton, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 46, 1979.

- [2.18] Rösli A.: Frost- und Frosttausalzbeständigkeit von Beton, SIA Dokumentation D 72, SIA, Zürich, 1984.
- [2.19] Springenschmid R.: Erfahrungen bei der Verwendung von Luftporenbildnern im Strassenbau, Betonwerk + Fertigteiltechnik, 8/1972.
- [2.20] SIA: Einsatz von «nichtrostenden Stählen» im Bauwesen, SIA Dokumentation D 030, Zürich, 1988.
- [2.21] Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau: B3 Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen, SN 555 001, SZS, Zürich, 1990.
- [2.22] Korrosionskommission: C2, Richtlinien zum Korrosionsschutz erdverlegter metallischer Anlagen bei Bauwerken oder anderen Installationen mit Fundamentarmierungen und Fundamenterdern, Zürich, 1984.
- [2.23] Korrosionskommission: C3, Richtlinien zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen, Zürich, 1981.
- [2.24] Vollrath F., Tathoff H.: Handbuch der Brückeninstandhaltung, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1990.
- [2.25] SIA: Grundlagen für den Nachweis der Ermüdungssicherheit in den Tragwerksnormen des SIA, SIA Dokumentation D 076, Zürich, 1991.
- [2.26] Blaich J.: Bauschäden – Analyse und Verhütung, Vorlesung ETHZ Nr. 10-528, Abteilung für Architektur, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf, 1992.
- [2.27] Mönck W.: Schäden an Holzkonstruktionen, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1987.
- [2.28] Vollenweider U.: Die neuen SIA-Normen - Bedeutung für den Grundbau, SIA Dokumentation D 064, SIA, Zürich, 1990.
- [2.29] Herth W., Arndts E.: Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1985.
- [2.30] Hilmer K.: Schäden im Gründungsbereich, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1991.
- [2.31] Schneider J, Matousek M.: Untersuchungen zur Struktur des Sicherheitsproblems bei Bauwerken, Bericht Nr. 59, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Birkhäuser Verlag, Basel, 1976.
- [2.32] Schiessl P.: Zweidimensionales Diffusionsmodell zur rechnerischen Erfassung der Chloridionendiffusion im Beton, Internationales Kolloquium Chloridkorrosion, Wien, 1983.
- [2.33] Fischer R.: Über das Verhalten von Zementmörtel und Beton bei höheren Temperaturen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 214, 1970.

3 Zielsetzung und Phasen der Zustandsuntersuchung

3.1	Zielsetzung	50
3.2	Phasen einer Zustandsuntersuchung	51

3 Zielsetzung und Phasen der Zustandsuntersuchung



Bild 3.1 Ausgangslage bei Zustandsuntersuchungen

3.1 Zielsetzung

Mittels der Zustandsuntersuchung an einem bestehenden Bauwerk soll in erster Linie die Frage geklärt werden, ob die an das Bauwerk gestellten Anforderungen bezüglich Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfüllt sind und auch in Zukunft erfüllt sein werden (Bild 3.1). Die Beantwortung dieser Frage ist aus zwei Gründen schwierig:

- In den meisten Fällen müssen die gestellten Anforderungen zuerst definiert oder zumindest konkretisiert werden. Entsprechende Vorschriften (Normen, Richtlinien usw.) fehlen heute noch weitgehend.
- Im Rahmen der Zustandsuntersuchung wird meist implizit erwartet, dass eine Prognose zur Zustandsentwicklung des Bauwerkes abgegeben wird. Dabei müssen Faktoren wie Umwelteinflüsse, Schadenentwicklungen, Zusammenwirken der einzelnen Bestandteile eines Bauwerkes usw. berücksichtigt werden. Eine solche vorausschauende Beurteilung ist naturgemäss schwierig.

Ein weiteres wichtiges Ziel der Zustandsuntersuchungen ist die - möglichst periodische - Feststellung und Dokumentation der vorhandenen Schäden. Sind die Veränderungen der Schäden zwischen zwei Zustandsuntersuchungen bekannt, so erleichtert dies die Zustandsbeurteilung wesentlich, da auf bestehendem aufgebaut werden kann. Insbesondere wird die Prognose bezüglich der Zustandsentwicklung aussagekräftiger. Eine systematische Erhebung der Schäden stellt auch eine wichtige Grundlage für die Forschung und Entwicklung dar. Denn aufgrund dieser Daten lassen sich wertvolle Schlüsse über das generelle Verhalten von Bauwerken ziehen. Diese Informationen können als Grundlage bei der Erarbeitung von neuen technischen Vorschriften sowohl für den Neubau als auch die Erhaltung dienen.

Zur Erreichung dieser Zielsetzung wird im folgenden anhand eines Ablaufschemas ein systematisches Vorgehen für die Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken einschliesslich der vorangehenden und nachfolgenden Phasen dargestellt und erläutert.

3.2 Phasen einer Zustandsuntersuchung

Bild 3.2 zeigt die einzelnen Phasen, welche bei der Erhaltung von Bauwerken zu durchlaufen sind. Demnach umfasst die Erhaltung alle Elemente von der Auslösung einer Zustandsuntersuchung bis zur Realisierung von allfällig notwendigen Unterhalts- bzw. Erneuerungsmassnahmen. Die hier behandelte Zustandsuntersuchung umfasst die Phasen «Vorbereitung», «Zustandserfassung» und «Zustandsbeurteilung» (hinterlegter Teil in Bild 3.2). In vielen Fällen kann sich an die Zustandsuntersuchung das Ausarbeiten von Massnahmenempfehlungen anknüpfen, was dann in der Regel im Rahmen des gleichen Auftrages erledigt wird. Es ist allerdings schon hier darauf hinzuweisen, dass es übergeordnete Ziele des Werkeigentümers geben kann, die ihn am Ausarbeiten oder Umsetzen von solchen Massnahmen hindern können (z.B. wirtschaftliche Überlegungen). Die Rhomben in Bild 3.2 geben an, dass die Ergebnisse des vorangehenden Arbeitsschrittes in der Regel dem Werkeigentümer vorzulegen sind, damit er über das weitere Vorgehen entscheiden kann. Der Ingenieur soll ihn dabei beraten und unterstützen. Im weiteren ist aus Bild 3.2 auch ersichtlich, dass man in gewissen Fällen zumindest Teile des Ablaufs mehr als einmal durchlaufen muss, also ein iteratives Vorgehen sinnvoll ist.

Im folgenden werden die einzelnen Phasen der Erhaltung erläutert. Dabei werden die Ausführungen zu den Phasen Vorbereitung, Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung kurz gehalten, da sie in den Kapiteln 4 bis 6 ausführlich behandelt werden.

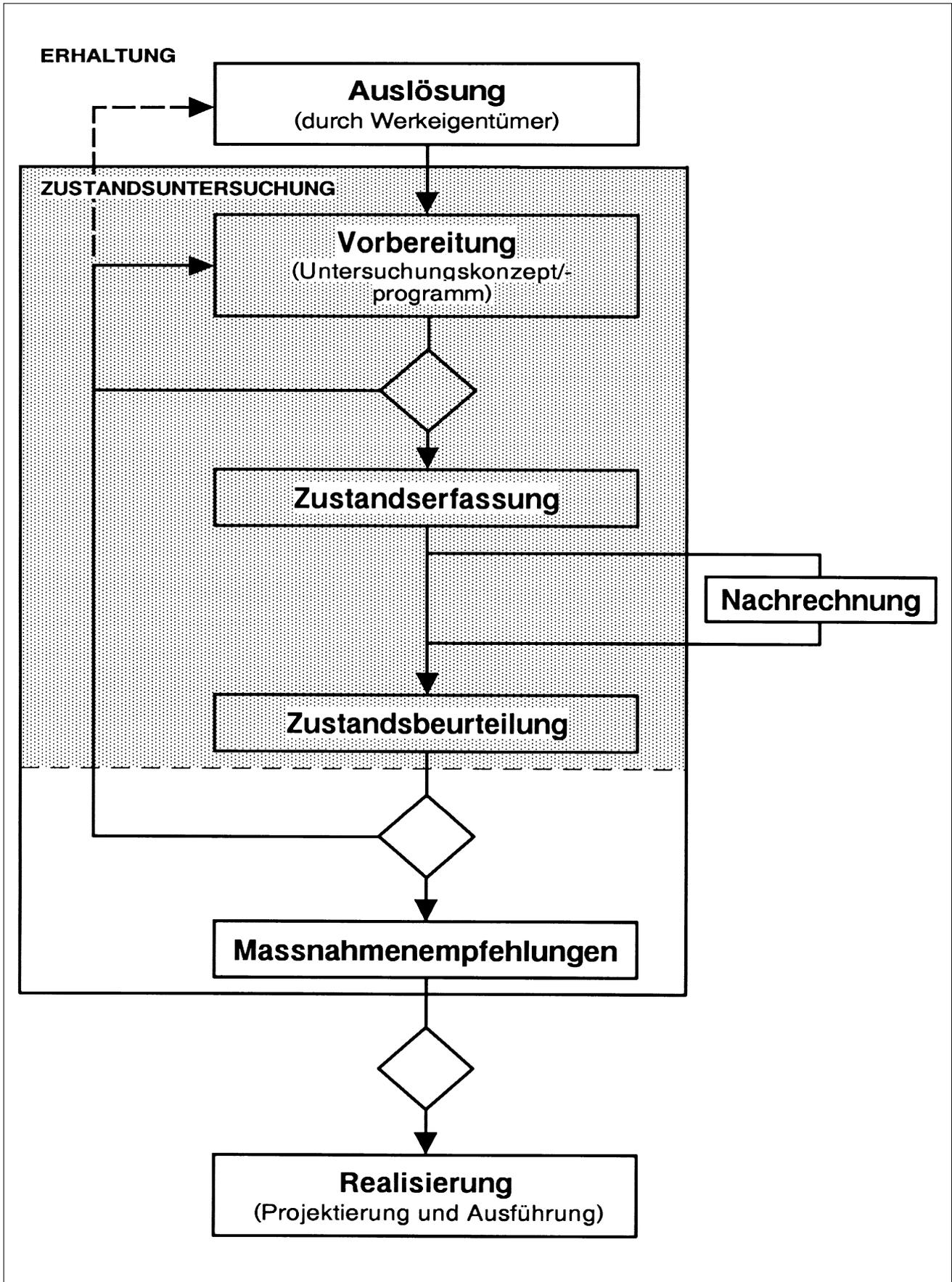


Bild 3.2 Phasen, die bei der Erhaltung von Bauwerken zu durchlaufen sind

Auslösung

Artikel 679 «Verantwortlichkeit des Grundeigentümers» des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (ZGB) und Artikel 58 «Haftung des Werkeigentümers» des Schweizerischen Obligationenrechts (OR) sowie die Notwendigkeit, die Sicherheit von Personen und eine langfristige wirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten, sollten die Werkeigentümer veranlassen, der Erhaltung ihrer Bauwerke besondere Aufmerksamkeit zu schenken (Bild 3.3). Der erste Schritt bei der Erfüllung dieser Aufgabe ist die Veranlassung einer Zustandsuntersuchung. Im Idealfall sind die Zeitpunkte von Zustandsuntersuchungen im sogenannten Überwachungsplan (vgl. SIA-Empfehlung 169), der Bestandteil der Bauwerksakten ist, festgehalten.

Bei einer Vielzahl von bestehenden Bauwerken sind solche Überwachungspläne heute noch nicht vorhanden, so dass der Werkeigentümer ohne solche Vorgaben eine Zustandsuntersuchung veranlassen muss.

Im Normalfall wird der Werkeigentümer einen Ingenieur mit der Zustandsuntersuchung beauftragen. Die Beweggründe können mannigfaltig sein:

- periodische Zustandsuntersuchungen: Hauptinspektionen, Zwischeninspektionen, Sonderinspektionen (vgl. Empfehlung SIA 169)
- Schäden infolge ausserordentlicher Einwirkungen (z.B. Anprallschäden infolge Unfall, Unterspülungen nach Hochwasser)
- vorgesehene Nutzungsänderung
- Bemessungs- und/oder Ausführungsmängel
- Schäden infolge Alterung
- usw.

Mit der Übernahme des Auftrages für die Zustandsuntersuchung übernimmt der Ingenieur eine grosse Verantwortung. Mit der Erteilung eines Auftrages für eine Zustandsuntersuchung überträgt der Werkeigentümer einen Teil seiner Verantwortung als Werkeigentümer auf den Beauftragten. Das Vertragsverhältnis zwischen Werkeigentümer und Ingenieur ist in der Regel ein einfacher Auftrag im Sinne von Art. 394 ff des Obligationenrechtes. Die Verantwortung und damit auch die Haftung richtet sich in diesem Fall nach der Sorgfaltspflicht (OR Art. 398).

V. Verantwortlichkeit des Grundeigentümers

679. Wird jemand dadurch, dass ein Grundeigentümer sein Eigentumsrecht überschreitet, geschädigt oder mit Schaden bedroht, so kann er auf Beseitigung der Schädigung oder auf Schutz gegen drohenden Schaden und auf Schadenersatz klagen.

ZGB Art. 679

E. Haftung des Werkeigentümers I. Ersatzpflicht

58. Der Eigentümer eines Gebäudes oder eines anderen Werkes hat den Schaden zu ersetzen, den diese infolge von fehlerhafter Anlage oder Herstellung oder von mangelhafter Unterhaltung verursachen.

Vobehalten bleibt ihm der Rückgriff auf andere, die ihm hiefür verantwortlich sind.

OR Art. 58

2. Haftung für getreue Ausführung

a) Im allgemeinen

398. Der Beauftragte haftet im allgemeinen für die gleiche Sorgfalt wie der Arbeitnehmer im Arbeitsverhältnis.

Er haftet dem Auftraggeber für getreue und sorgfältige Ausführung des ihm übertragenen Geschäftes.

Er hat das Geschäft persönlich zu besorgen, ausgenommen, wenn er zur Uebertragung an einen Dritten ermächtigt oder durch die Umstände genötigt ist, oder wenn eine Vertretung Übungsgemäss als zulässig betrachtet wird.

b) Bei Uebertragung der Besorgung auf einen Dritten

399. Hat der Beauftragte die Besorgung des Geschäftes unbefugterweise einem Dritten übertragen, so haftet er für dessen Handlungen, wie wenn es seine eigenen wären.

War er zur Uebertragung befugt, so haftet er nur für gehörige Sorgfalt bei der Wahl und Instruktion des Dritten.

In beiden Fällen kann der Auftraggeber die Ansprüche, die dem Beauftragten gegen den Dritten zustehen, unmittelbar gegen diesen geltend machen.

OR Art. 398, Auszug aus Verpflichtungen des Beauftragten im einfachen Auftrag

Bild 3.3 Gesetzliche Grundlagen

Für die Erreichung eines zufriedenstellenden Ergebnisses ist von entscheidender Bedeutung, dass der Auftrag vor Beginn der eigentlichen Arbeiten genau definiert wird. In den meisten Fällen ist es sinnvoll, dass der Ingenieur den Werkeigentümer bei der Auftragsformulierung unterstützt. Insbesondere bei grösseren Objekten ist es sinnvoll und notwendig, dass der Ingenieur vor der Auftragsformulierung einen Augenschein vor Ort durchführt. Eine präzise Auftragsformulierung liegt aber auch im Interesse des Ingenieurs. Denn mit der Übernahme eines solchen Auftrages kann er u.U. beim Auftreten von Schäden, welche vom beurteilten Bauwerk verursacht werden, haftbar gemacht werden.

Die wichtigsten Fragen, die bei der Auftragsformulierung beantwortet werden sollten, sind (Bild 3.4):

Auftragsumschreibung
Rahmenbedingungen
Kosten
Termine
Dokumentation
Projektorganisation
Informationsfluss

Bild 3.4 Wichtigste Punkte, die im Vertrag zwischen dem Werkeigentümer und dem Ingenieur geregelt sein müssen

- Welche Aussagen werden von der Zustandsuntersuchung erwartet?
(z. B. Beurteilung der Tragsicherheit, Prognosen zur Zustandsentwicklung, Massnahmenvorschläge)
- Welches ist der Umfang der Zustandsuntersuchung? (z. B. visuelle Untersuchung, Probeentnahmen, Belastungsversuche)
In erster Linie ergibt sich der Umfang aus dem Zustand des Bauwerkes, den Umgebungsbedingungen sowie insbesondere aus der Zielsetzung der Zustandsuntersuchung. Dabei ist allerdings zu beachten, dass zwischen dem Umfang einer Zustandsuntersuchung, und damit zur Aussagekraft der Ergebnisse, und dem dafür betriebenen Aufwand eine starke Abhängigkeit besteht. Dies ist in der Vorbereitung zu beachten und mit dem Werkeigentümer zu diskutieren. Auch zeitliche Aspekte sowie insbesondere die erwarteten Ergebnisse spielen eine grosse Rolle. In vielen Fällen empfiehlt sich deshalb ein stufenweises Vorgehen, das wenn möglich bereits in der Auftragsformulierung vorgesehen werden sollte.
- Welches sind die zu erwartenden Kosten und wie sieht der zeitliche Ablauf aus?
Neben den voraussichtlichen Kosten und den Terminen ist auch das Vorgehen festzulegen, falls die vereinbarten Mittel nicht ausreichen bzw. die festgelegten Termine nicht eingehalten werden können.

- Gibt es weitere Rahmenbedingungen, die eingehalten werden müssen?
(z.B. Verkehrslenkung bei der Zustandsuntersuchung von Brücken)
- Wie sieht die Dokumentation der Zustandsuntersuchung aus, die nach Abschluss der Arbeiten vorliegen soll?
(z.B. Fotos, statische Berechnungen, technischer Bericht, Wirtschaftlichkeitsrechnungen für verschiedene Massnahmenvarianten)



Vorbereitung (vgl. Kapitel 4)

Im Rahmen der Vorbereitung sind folgende Arbeiten zu erledigen (Bild 3.5):

- Besichtigung des zu beurteilenden Objektes, einschliesslich der unmittelbaren Umgebung (falls dies nicht schon vor der Auftragserteilung geschehen ist). Damit soll ein erster Eindruck vom Objekt gewonnen werden.
- Sammeln der Grundlagen wie Bauwerksakten, Pläne, statische Berechnungen, Nutzungs- und Sicherheitsplan, Unterlagen von früheren Zustandsuntersuchungen, Unterlagen zu ausgeführten Unterhaltsmassnahmen usw.
- Studium der Grundlagen.
Es wird festgestellt, welche der benötigten Daten und Informationen bereits vorhanden sind und welche fehlen.
- Ausarbeitung eines Untersuchungskonzeptes.
Ausgehend von den Aussagen, die am Schluss der Zustandsuntersuchung vorliegen müssen, werden die benötigten Daten und Informationen quasi rückwärts bestimmt.
- Ausarbeitung eines Untersuchungsprogramms.
Dazu gehören die Bestimmung der Zustanderfassungstechnik, der genauen Lokalisierung allfälliger Probeentnahmen, eine Abschätzung der Kosten zur Durchführung des Programms usw.

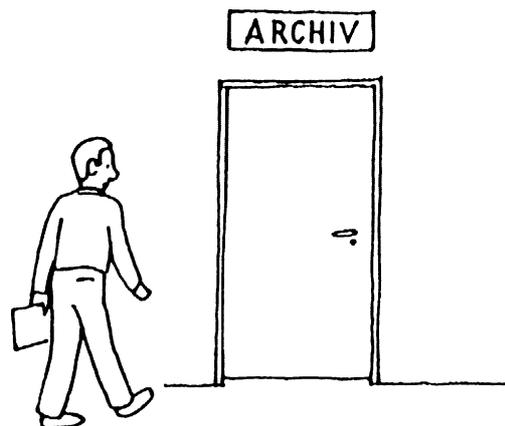


Bild 3.5 Vorbereitungsarbeiten

Festgestellte Schäden und Mängel

Zeilen Nr.	BauTeil n. Zeile	Bauwerksteile	BauTeile	Zusätzliche Lokalisierung	Risse		Sichtflächen							
					21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
					rissig	21	verwittert	näß/feucht	Putz lose	Fugen offen	Ausbeulung	Überhang	Verschleibung	21
5	Widerl													
6														
7	Aufth													
8														
9	Kamm													
10														
11	Flügel													
12														
13	Pfeiler													
14														
15	Stützen													
16														
17	Stützsw													
18														
19	Abdpl													
20														
21	Fußweg													
22														
23	Brüstg													
24														
25	Gei													
26														
27	Kab													
28														
29	Entwäs													
30														
31	Dehnhf													
32														
33														
34														

Bild 3.6 Beispiel eines Formulars für die Schaden-
aufnahme

Zustandserfassung (vgl. Kapitel 5)

Der erste Schritt in der Phase der Zustandserfassung ist deren detaillierte Planung. Dazu gehören u.a. eine genaue zeitliche Planung, die Beschaffung der benötigten Hilfsmittel, die Planung des Personaleinsatzes, die Planung von Verkehrslenkungsmassnahmen usw. Daran anschliessend werden die benötigten Daten vor Ort erhoben. Dabei reichen die Möglichkeiten je nach Bedürfnissen von visuellen Zustandserfassungen – allenfalls unter Einbezug einfacher Hilfsmittel wie z.B. Spitzhammer – bis zu umfangreichen Belastungsversuchen mit einem Messnetz für Durchbiegungsmessungen, einschliesslich Datenregistrierungen und Berechnungen vor Ort mittels EDV. Bei der Zustandserfassung ist einer genauen Registrierung der Daten grosse Beachtung zu schenken (Bild 3.6). Wird dieser Punkt vernachlässigt, vermindert sich die Aussagekraft der Messwerte rasch. Dies ist von Bedeutung im Hinblick auf eine allfällige Verwendung der Daten zur Zustandsbeurteilung im Büro sowie im Hinblick auf künftige Zustandsuntersuchungen am gleichen Bauwerk zur Feststellung von Veränderungen.

Zustandsbeurteilung (vgl. Kapitel 6)

In der Zustandsbeurteilung werden, aufgrund der Gesamtheit aller vorhandenen und gesammelten Daten und Informationen, Aussagen gemacht zu den vom Werkeigentümer bezüglich Zustand und Zustandsentwicklung formulierten Fragen. Kann aufgrund der vorliegenden Daten zu einzelnen Punkten keine Aussage gemacht werden, so muss – falls genügend Mittel und Zeit vorhanden sind – die Zustandserfassung ergänzt werden. Ist dies nicht der Fall, muss das – unvollständige – Ergebnis dem Werkeigentümer vorgelegt und das weitere Vorgehen besprochen werden.

Massnahmenempfehlungen

In vielen Fällen wird der Werkeigentümer vom Ingenieur verlangen, dass er aufgrund seiner Zustandsbeurteilung Vorschläge für das weitere Vorgehen macht.

Dabei kann das Spektrum möglicher Vorschläge von Nichtstun bis zur Einleitung von Sofortmassnahmen (z.B. Sperren einer Brücke) reichen (Bild 3.7). Damit der Ingenieur sinnvolle Massnahmen vorschlagen kann, müssen ihm von der Werkeigentümerseite Vorgaben zur zukünftigen Nutzung des Bauwerks wie Nutzungszeit, Nutzungsart usw. und allfälliger anderer Randbedingungen für die Massnahmen gemacht werden, wie zum Beispiel:

- «Die vorgeschlagene Massnahme muss die Sicherheit des Bauwerks in den nächsten fünf Jahren gewährleisten.»
- «Das Bauwerk ist langfristig zu erhalten. Die vorgeschlagene Massnahme muss langfristig wirtschaftlich sein.»
- «Das Bauwerk muss bezüglich Aussehen folgende Bedingungen erfüllen:»
- «Die vorgeschlagenen Massnahmen müssen bezüglich Umweltschutz folgende Bedingungen erfüllen:»

Es ist erwünscht, dass solche Vorgaben bereits in die vorangehenden Schritte der Zustandsuntersuchung einfließen können und damit schon in der Auftragsformulierung enthalten sind. Denn je nach Vorgabe sehen die in der Zustandsbeurteilung zu machenden Aussagen und damit auch die Zustandserfassung und die Vorbereitung wesentlich anders aus.

Realisierung

Aufgrund des Entscheides kann mit der allenfalls nötigen Planung und Projektierung der Massnahmen und letztlich der Ausführung begonnen werden. Im Hinblick auf spätere Zustandsuntersuchungen ist es wichtig, dass die realisierten Massnahmen ausführlich dokumentiert und bei den Bauwerksakten abgelegt werden.

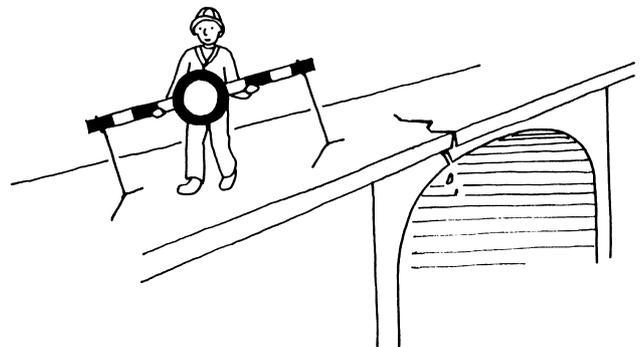


Bild 3.7 Massnahmenspektrum

4 Vorbereitung der Zustandsuntersuchung

4.1	Definition Vorbereitung	60
<hr/>		
4.2	Ausgangspunkt der Vorbereitung	60
<hr/>		
4.3	Ziel der Vorbereitung	60
<hr/>		
4.4	Ablauf der Vorbereitung	60
4.4.1	Besichtigung des gesamten Bauwerks und der unmittelbaren Umgebung	60
4.4.2	Studium der Bauwerksakten	61
4.4.3	Studium der Belastungsannahmen und Abklärungen über aussergewöhnliche Einwirkungen	64
4.4.4	Studium von vorhandenen Inspektionsgrundlagen	65
4.4.5	Konzept der Zustandserfassung und Umfang der Untersuchungen	66
4.4.6	Nutzungsbeschränkungen	69
4.4.7	Konzept der Beurteilung	70
<hr/>		
4.5	Ergebnisse der Vorbereitung	71

4 Vorbereitung der Zustandsuntersuchung

4.1 Definition Vorbereitung

Die Vorbereitung stellt die erste Phase der Zustandsuntersuchung bestehender Bauwerke dar. Sie dient als Grundlage der Zustandserfassung am Objekt sowie der Zustandsbeurteilung.

In der Vorbereitung wird detailliert geplant, wie die Zustandserfassung und die Zustandsbeurteilung in den nachfolgenden Phasen durchzuführen sind. Die Vorbereitung muss dem beauftragten Ingenieur das zu beurteilende Objekt näherbringen, damit die Zustandserfassung und die Zustandsbeurteilung gezielt, mit allen notwendigen Informationen und mit einem optimalen Aufwand vorgenommen werden können.

4.2 Ausgangspunkt der Vorbereitung

Bevor die Vorbereitung aufgenommen wird, sollten folgende Punkte zwischen Werkeigentümer und Ingenieur festgelegt sein:

- Auftragsumschreibung, in der die Leistungen des Ingenieurs mit dem Auftraggeber möglichst umfassend vereinbart sind;
- Aufgabenabgrenzung, soweit sie im Moment der Auftragserteilung überblickbar ist;
- Projektorganisation mit Regelung des Informationsflusses.

Die Formulierung dieser Teilbereiche zwingt sowohl den Werkeigentümer als auch den Ingenieur, sich mit diesen grundsätzlichen Fragen zu beschäftigen. Die Randbedingungen werden somit bereits zu Beginn der Zustandsuntersuchung festgehalten. Dadurch reduziert sich die Gefahr, dass Auftraggeber und Auftragnehmer ungleiche Vorstellungen von der Aufgabe haben.

4.3 Ziel der Vorbereitung

Das Ziel der Vorbereitung ist

- den Soll-Zustand des Bauwerks aufgrund der vorliegenden Bauwerksakten und unter Berücksichtigung evtl. Nutzungsänderungen zu ermitteln;
- sich Klarheit zu verschaffen über die Veränderungen der Baustoffe, der Nutzung, der Einwirkungen und der Gefährdungen während der bisherigen und der zukünftigen Gebrauchsdauer;
- ein Konzept für die Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung zu erarbeiten;
- in enger Zusammenarbeit mit dem Werkeigentümer eine Entscheidungsgrundlage für die weiteren Phasen der Zustandsuntersuchung auszuarbeiten.

Die Vorbereitung stellt ein Planungsinstrument dar. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sollen in einem Dokument festgehalten werden, welches sowohl den Werkeigentümer als auch den an der Zustandsuntersuchung beteiligten Ingenieur über die Ziele, die Methoden und die Absichten der Zustandsuntersuchung orientieren soll.

4.4 Ablauf der Vorbereitung

Die Vorbereitung einer Zustandsuntersuchung gliedert sich im allgemeinen in nachfolgende Teile:

4.4.1 Besichtigung des gesamten Bauwerks und der unmittelbaren Umgebung

Ziel der Besichtigung ist es, einen ersten Eindruck über den Zustand des Bauwerks zu erhalten, die Zugänglichkeit zu den einzelnen Bauteilen abzuklären und besonders kritische Zonen festzustellen. Bereits zu diesem Zeitpunkt sind Erkenntnisse in einem mitzuführenden Übersichtsplan zu notieren. Bei der Besichtigung empfiehlt es sich ausserdem, fotografische Aufnahmen zu erstellen, weil sie für die weitere Bearbeitung des Auftrages von grossem Nutzen sein können.

Es ist wichtig, dass nicht nur einzelne Bauteile für sich allein, sondern das gesamte Bauwerk einschliesslich der unmittelbaren Umgebung angeschaut wird. Es muss aber klar festgehalten werden, dass es sich bei der Besichtigung nicht um eine Inspektion handelt, sondern um einen Augenschein.

4.4.2 Studium der Bauwerksakten

Es ist Aufgabe des Ingenieurs, alle mit vernünftigem Aufwand erhältlichen Informationen über das Bauwerk zu beschaffen. Auch Unterlagen, welche anfänglich vielleicht als unbedeutend eingestuft werden, können sich im Verlaufe einer Untersuchung als wichtige Informationsquellen für die Zustandentwicklung des Bauwerks erweisen. Beim Studium der Bauwerksakten kann ein erfahrener Ingenieur bereits zu diesem Zeitpunkt vielfach Schwachstellen und problematische Bereiche eines Bauteiles erkennen. Beispiele für solche Punkte sind: Betonüberdeckung, Betonqualität, Abdichtung und deren Randanschlüsse, Fugen, Entwässerung usw. Es ist auch möglich, schon in diesem Stadium Zusammenhänge zu finden zwischen anlässlich der Besichtigung festgestellten Mängeln oder Schäden und den in den Bauwerksakten verlangten Anforderungen. In jedem Fall geben die Bauwerksakten Hinweise darauf, welche Bauwerksteile bei der Zustandserfassung am Objekt mit besonderer Aufmerksamkeit untersucht werden müssen.

Das Problem liegt allerdings darin, dass die Bauwerksakten vielfach nicht vollständig oder überhaupt nicht vorliegen. Sowohl die Ordnung für Leistungen und Honorare der Architekten (SIA 102) als auch jene der Bauingenieure (SIA 103) verlangen heute, dass die definitiven Ausführungspläne mit den während der Bauausführung vorgenommenen Änderungen an den Auftraggeber abzugeben sind. In den früheren Normen wurde diesem Aspekt jedoch wenig Bedeutung beigemessen. Damit ist auch erklärt, weshalb vor allem bei älteren Bauwerken die Ausführungsunterlagen spärlich vorhanden sind.

Dokumentation über das Bauwerk

Ziel:

- Übergabe an den Auftraggeber der für den Betrieb und den Unterhalt des Bauwerks notwendigen Unterlagen

Grundleistungen:

- Eintragen der während der Bauausführung vorgenommenen Änderungen in die wichtigsten Baupläne
- Einholen der von den Spezialisten nachgeführten Pläne, von Schemaplänen, Gebrauchs-, Wartungs- und anderen Anweisungen von Unternehmern und Lieferanten
- Zusammenstellen der Dokumentation und Übergabe an den Auftraggeber

Tab. 4.1 Dokumentation über das Bauwerk (Architekten)
(Auszug aus SIA 102)

Dokumentation über das Bauwerk

Ziel:

Dokumentation über das ausgeführte Bauwerk

Grundleistungen:

- Nachführen der massgebenden Ausführungspläne mit den Änderungen
- Einholen der von den Spezialisten, Unternehmern und Lieferanten nachgeführten Ausführungspläne und -unterlagen sowie der Betriebs- und Unterhaltsvorschriften
- Zusammenstellen der für Betrieb und Unterhalt erforderlichen Dokumente und Abgabe an den Auftraggeber

Tab. 4.2 Dokumentation über das Bauwerk (Bauingenieure)
(Auszug aus SIA 103)

Sicherheitsplan

Im Sicherheitsplan werden die für das Tragwerk zu berücksichtigenden Gefährdungsbilder zusammengestellt und festgelegt, mit welchen Massnahmen den Gefahren begegnet werden soll.

Eine oder mehrere der folgenden Massnahmen sind vorzusehen:

- Massnahmen an der Gefahrenquelle
- Überwachung, Kontrollen oder Warnsysteme
- Vorhalten eines ausreichenden Tragwiderstandes

Der Sicherheitsplan enthält beispielsweise:

- die Gefährdungsbilder
- die vorgesehenen Massnahmen
- die angenommenen Baugrundverhältnisse
- die wesentlichen Berechnungsannahmen
- die akzeptierten Risiken

Er dient als Grundlage beispielsweise für:

- die Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung
- die Wahl geeigneter Baustoffe
- den Kontrollplan für die Ausführung
- die Überwachung und den Unterhalt

Umfang und Inhalt des Sicherheitsplanes sind abhängig von der Bedeutung und der Gefährdung des Tragwerks.

Tab. 4.3 Beispiel eines Sicherheitsplanes
(Auszug aus SIA 160)

Es liegt sowohl an den Ingenieuren als auch an den Werkeigentümern, diesem wichtigen Leistungsanteil vermehrt Beachtung zu schenken. Je weniger Unterlagen bei einer Zustandsuntersuchung bestehender Bauwerke vorhanden sind, desto umfassender und aufwendiger müssen später die Kontrollen und die Untersuchungen am Bauwerk vorgenommen werden.

Zu den **Bauwerksakten**, die für die Zustandsuntersuchung eines Bauwerks vorhanden sein sollten, gehören die nachstehend aufgeführten Dokumente:

Technische Dokumente:

- Verzeichnis der einzelnen Dokumente
- Sicherheits- und Nutzungsplan
- Nutzungsanweisungen
- Überwachungs- und Unterhaltsplan
- Technischer Bericht

Ausführungsdokumente:

- Ausführungsunterlagen inkl. bauseitige Änderungen und Anpassungen gegenüber dem Entwurf während der Ausführung
- Statische Berechnungen
- Expertenberichte
- Liste der angewendeten Normen, Ordnungen, Richtlinien und Empfehlungen
- Liste der beteiligten Ingenieure und Unternehmungen
- Baugrunduntersuchungen und deren Ergebnisse
- Vermessungs- und Setzungsprotokolle
- Spannprotokolle bei permanenten Anker und von Spannbetonbauteilen, Injektionsprotokolle
- Ergebnisse früherer Zustandsuntersuchungen
- Dokumente von früheren baulichen Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten

Rechtliche Dokumente:

- Werkverträge und Arbeitsprotokolle
- Zusammenstellungen der Schlussrechnung

Die Bauwerksakten sind im Anschluss an Unterhaltsarbeiten oder bei Änderungen, Umbauten, Erneuerungen und Teilabbrüchen nachzuführen.

Das **Bauwerksbuch** ist ein Auszug aus den Bauwerksakten und sollte folgende Unterlagen umfassen:

- Verzeichnis der in den Bauwerksakten enthaltenen Dokumente
- Nutzungsanweisungen
- Überwachungsplan
- Unterhaltsplan

Das Bauwerksbuch ist ebenfalls laufend nachzuführen.

Nutzungsplan

Im Nutzungsplan werden die für das Tragwerk zu berücksichtigenden Nutzungszustände zusammengestellt und festgelegt, mit welchen Massnahmen die Gebrauchstauglichkeit gewährleistet werden soll.

Massnahmen sind beispielsweise:

- Wahl geeigneter Baustoffe
- sorgfältige konstruktive Durchbildung
- plangemässe und sorgfältige Ausführung
- zweckmässige Überwachung und Unterhalt

Die Gebrauchstauglichkeit wird vor allem durch baustofftechnologische und konstruktive Massnahmen gewährleistet.

Der Nutzungsplan enthält beispielsweise:

- die geplante Nutzungsdauer
- die Nutzungszustände
- die Anforderungen hinsichtlich Funktionstüchtigkeit, Dauerhaftigkeit und Aussehen
- die vorgesehenen Massnahmen
- die wesentlichen Berechnungsannahmen

Er dient als Grundlage beispielsweise für:

- die Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung
- den Kontrollplan für die Ausführung
- die Überwachung und den Unterhalt

Umfang und Inhalt des Nutzungsplanes sind abhängig von der Bedeutung des Tragwerks.

Tab. 4.4 *Beispiel eines Nutzungsplanes
(Auszug aus SIA 160)*

Unterhaltsplan

Der Unterhaltsplan wird aufgrund des Sicherheits- und des Nutzungsplans sowie des Überwachungsplans ausgearbeitet. Er soll insbesondere eine Liste der Arbeiten enthalten, die im Rahmen des Unterhalts auszuführen sind.

Die während der gemeinsamen Prüfung und der Inbetriebnahme gewonnenen Erkenntnisse sind bei der Ausarbeitung des Überwachungs- und Unterhaltsplans zu berücksichtigen.

Tab. 4.5 *Unterhaltsplan
(Auszug aus SIA 169)*

Nutzungsanweisungen

In den Nutzungsanweisungen sind die für den Eigentümer und den Benutzer bestimmten Angaben zusammengefasst. Sie enthalten insbesondere:

- die Nutzlasten
- die Lichtraumprofile
- die zulässigen Verformungen des Baugrundes
- die besonderen Nutzungsbedingungen

Falls notwendig, sind die Nutzlasten anzuschreiben oder durch technische Massnahmen zu begrenzen. Insbesondere sind:

- die Nennwerte der Nutzlasten in Lager- und Fabrikationsräumen anzuschreiben
- der Zugang zu den Verkehrsflächen der Kategorie E (siehe Norm SIA 160) zu beschränken.

Diese Bestimmung gilt ebenfalls für Bau- und Tragwerke, bei denen eine Beschränkung der Nutzlasten aufgrund der Ergebnisse der Überwachung erforderlich ist.

Falls die tatsächliche Nutzung von der vorgesehenen abweicht oder falls Veränderungen oder Schäden am Bauwerk festgestellt werden, sind die Nutzungsanweisungen entsprechend anzupassen.

Tab. 4.6 Beispiele für Nutzungsanweisungen (Auszug aus SIA 169)

Überwachungsplan

Der Überwachungsplan wird ausgearbeitet aufgrund des Sicherheits- und des Nutzungsplans sowie anhand der Erkenntnisse, die während der Projektierung und Ausführung gewonnen wurden. Er enthält insbesondere eine Liste der Bauteile oder Einwirkungen, die einer speziellen Überwachung bedürfen sowie Angaben über den Zeitabstand zwischen den Inspektionen.

Die Massnahmen, die getroffen wurden oder zu treffen sind, um Schäden aus den akzeptierten Risiken (siehe Sicherheitsplan) zu mindern, müssen im Überwachungsplan klar festgehalten sein.

Tab. 4.7 Überwachungsplan (Auszug aus SIA 169)

4.4.3 Studium der Belastungsannahmen und Abklärungen über aussergewöhnliche Einwirkungen

Das Studium der Belastungsannahmen ist dann notwendig, wenn einer der nachstehenden Punkte eine entsprechende Überprüfung verlangt:

- sichtbare Überbeanspruchungen am Bauwerk
- Zerstörung und/oder Zerfall infolge Alterung und Gebrauch
- Beschädigung oder Zerstörung infolge aussergewöhnlicher Einwirkungen und Gefährdungen (Unfälle)
- Nutzungsänderung
- Bedürfnis nach Abschätzung der zukünftigen Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung von neuen Nutzlasten oder von Veränderungen von Baustoffen oder Baustoffsystemen

Unter Umständen ist es in einem weiteren Schritt angezeigt, die statischen Berechnungen zu überprüfen oder Nachrechnungen durchzuführen. Die bei den Bemessungsmodellen vorhandenen Vereinfachungen und Annahmen sind vor ihrer Anwendung schrittweise sorgfältig zu überdenken und allenfalls der Situation des Bauwerks anzupassen.

Es gilt zu beachten, dass Bemessungsmodelle für die Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke nicht unbedingt geeignet sind. Bei ihnen wurden oft sehr starke und konservative Vereinfachungen vorgenommen, welche bei der Bemessung zwar unbedenklich sind, bei der Beurteilung bestehender Bauwerke jedoch bedeutungsvoll werden können.

4.4.4 Studium von vorhandenen Inspektionsgrundlagen

Jede Überwachung hat das Ziel, Mängel, Beschädigungen und Veränderungen am Bauwerk oder an seiner unmittelbaren Umgebung rechtzeitig zu erkennen.

Die Überwachung gliedert sich in die Dauerüberwachung und die periodische Überwachung.

Gegenstand der Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken ist die periodische Überwachung. Daraus muss hervorgehen, ob der Zustand, das Verhalten und die Nutzung des Bauwerks den Nutzungsanweisungen entsprechen. Sie erfolgt in Form von:

- Hauptinspektionen
- Zwischeninspektionen
- Sonderinspektionen

Die zeitlichen Abstände sowie Art und Umfang der Inspektionen werden auf der Grundlage des Überwachungsplanes festgelegt. Für die Inspektionen empfiehlt es sich, eine Checkliste mit den auszuführenden Kontrollarbeiten zu erstellen. Nach jeder Inspektion muss ein Bericht über den Zustand und das Verhalten des Bauwerks erstellt werden.

Bevor nun eine erneute Zustandsuntersuchung vorgenommen wird, ist es sinnvoll, die bereits vorhandenen Inspektionsprotokolle zu studieren und daraus gewisse Rückschlüsse für die bevorstehenden Untersuchungen zu gewinnen. Vor allem ist es möglich, die Entwicklung des Zustandes durch Vergleich der Unterlagen nachzuvollziehen. Es gelten somit die gleichen Grundsätze wie beim Studium der Bauwerksakten.

Hauptinspektionen

Die Hauptinspektionen bezwecken eine systematische Kontrolle des Bauwerks in festgelegten Abständen, um seinen Zustand und sein Verhalten feststellen zu können.

Die zeitlichen Abstände sowie Art und Umfang der Hauptinspektionen sind abhängig von der Bedeutung und Komplexität, dem Zustand der verwendeten Baustoffe als auch vom Verhalten und der Nutzungsintensität des Bauwerks. Die erste Hauptinspektion wird in der Regel vor Ablauf der Garantifrist durchgeführt.

Der durch den Überwachungsplan festgelegte zeitliche Abstand zwischen den Hauptinspektionen kann den gewonnenen Erfahrungen angepasst werden. Er soll jedoch 10 Jahre nicht überschreiten.

Die Hauptinspektion des Bauwerks erfolgt vornehmlich visuell. Eingehende Untersuchungen und Versuche können zusätzliche Informationen liefern. Das Verhalten der Bauwerksteile ist auch unter dem Einfluss von Lasten und anderen Einwirkungen zu beobachten.

Die Verschiebungen und Verformungen der Bauwerksteile sind zu kontrollieren. Art und Umfang dieser Kontrollen sind insbesondere abhängig von der Fundation, der Qualität des Baugrundes sowie der Empfindlichkeit des Bauwerks gegenüber Verschiebungen und Verformungen

Tab. 4.8 Hauptinspektionen
(Auszug aus SIA 169)

Zwischeninspektionen

Durch Zwischeninspektionen sollen Mängel und Beschädigungen, die zu Unfällen oder grösseren Schäden führen können, rechtzeitig festgestellt werden.

Diese Inspektionen werden in kürzeren Zeitabständen zwischen den Hauptinspektionen durchgeführt.

Der Umfang der Zwischeninspektionen ist beschränkt.

Die Kontrollen können aufgrund der Ergebnisse der Hauptinspektionen im einzelnen festgelegt werden.

Tab. 4.9 *Zwischeninspektion*
(Auszug aus SIA 169)

Sonderinspektion

Eine Sonderinspektion wird bei wesentlichen Änderungen im Zustand, im Verhalten oder in der Nutzungsintensität des Bauwerks angeordnet, insbesondere im Zusammenhang mit aussergewöhnlichen Ereignissen.

Die Sonderinspektion ist eine ausserordentliche Massnahme und erfordert in der Regel den Beizug von Spezialisten und den Einsatz von besonderen Instrumenten.

Die im Rahmen einer Sonderinspektion durchgeführten Belastungsversuche sollen die zuverlässige Beurteilung des Bauwerksverhaltens ermöglichen.

Tab. 4.10 *Sonderinspektion*
(Auszug aus SIA 169)

4.4.5 Konzept der Zustandserfassung und Umfang der Untersuchungen

Ein Konzept der Zustandserfassung kann erarbeitet werden, wenn das Bauwerk besichtigt und die entsprechenden Bauwerksakten studiert sind. Der erfahrene Ingenieur hat schon zu diesem Zeitpunkt einen groben Überblick über das Bauwerk und dessen Zustand gewonnen. Er hat eine Vorstellung, wo besondere Vorkehrungen bei der Zustandserfassung getroffen werden müssen, welche Bauteile schwer oder überhaupt nicht zugänglich sind.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass das Konzept der Zustandserfassung bereits auf mögliche Massnahmen beim Unterhalt oder bei der Erneuerung ausgerichtet ist. Wenn der Ingenieur zum Beispiel weiss, dass die Fahrbahnübergänge eines Brückenbauwerkes undicht sind, wird er bei der Zustandserfassung von Anfang an kontrollieren, wie die Übergänge konstruiert sind, ob das Problem mit dem Ersatz des Gummidichtungsprofils gelöst werden kann oder ob weitergehende Massnahmen notwendig sind.

Für den **Ablauf der Zustandserfassung**, der systematischen Kontrolle aller Teile eines Bauwerks, bestehen mehrere Methoden. Aufgrund der Erfahrung dürfte die folgende Inspektionsmethode am Beispiel eines Brückenbauwerkes in der Praxis den Regelfall bilden:

1. Kontrolle des Unterbaus:

- Pfähle
- Schutzvorrichtungen gegen Auskalkung
- Fundamente
- Pfeiler
- Widerlager
- Enddämme
- Verankerungen (Bodenanker)

2. Kontrolle des Überbaus:

- Haupttragelemente
- Lager
- Sekundärelemente und Verstrebungen (Verbände)
- Fahrbahnplatten mit Belag und Fahrbahnübergängen
- Gehwege und Geländer
- Leitschranken, Verkehrsabschränkungen, usw.

3. Kontrolle weiterer Elemente:

- Zufahrten
- Beleuchtung
- Ver- und Entsorgungsleitungen
- Verkehrs- und Strassenzeichen
- Elektrizitätsversorgung

Visuelle Untersuchung mit den Sinnesorganen und einfachen Hilfsmitteln:

- optische Prüfung und Messung durch Augenschein
- akustische Prüfung durch Abklopfen und Anschlagen
- Prüfung der Oberfläche mit dem Tastsinn
- Prüfung mit dem Geruchsinn (z.B. organische oder andere chemische Einwirkungen)
- Prüfung mit dem Geschmacksinn (z.B. Versalzung)

Tab. 4.11 Visuelle Untersuchung

Für die Untersuchungen stehen grundsätzlich folgende Untersuchungstechniken zur Auswahl:

- *Visuelle Zustandserfassung*
 Sie stellt die einfachste und bedeutendste Untersuchungstechnik dar. Sie basiert auf den Sinneserfahrungen (Auge, Ohr und Tastsinn) des Untersuchenden.

- *Zerstörungsfreie Untersuchungen*
 Bei den zerstörungsfreien Untersuchungen werden am Bauwerk keinerlei Beschädigungen verursacht (Vermessungen, Betonprüfhammer, Abklopfen der Oberfläche, Risslupen, Potentialmessung, Betondeckungsmessung usw.).

- *Zerstörende Untersuchungen*
 Bei den zerstörenden Untersuchungen werden Eingriffe in das Bauwerk vorgenommen. Darunter fallen alle Untersuchungen, die eine Entnahme von Proben (z. B. Bohrkern) oder das Öffnen von Beobachtungsfenstern und Sondagen erfordern.

- *Laboruntersuchungen*
 Laborprüfungen an Bauwerksproben erfordern eine Probenentnahme. Sie liefern in der Regel relativ genaue Resultate der gesuchten Zielgröße.

- *Grossversuche*
 Grossversuche dienen in den meisten Fällen dazu, das Verformungsverhalten eines Bauwerkes unter statischer und dynamischer Belastung zu überprüfen. Belastungsversuche sind meist nicht Bestandteil einer normalen Zustandsuntersuchung.

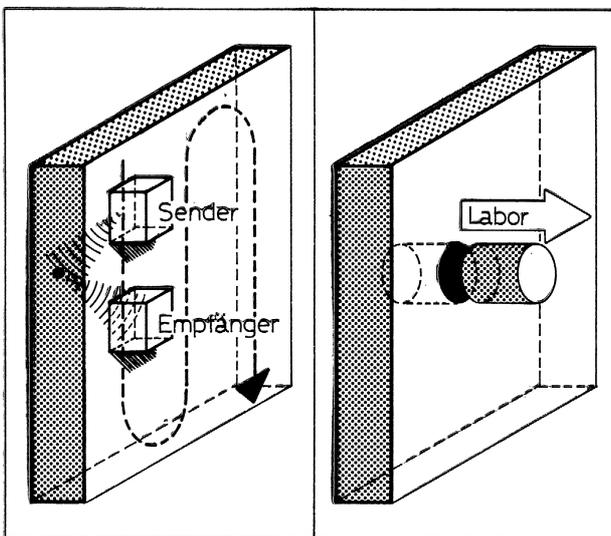


Bild 4.1 Untersuchungstechniken zerstörungsfreie/ zerstörende Untersuchung

Die Auswahl und die Reihenfolge der Untersuchungstechniken ist von der gestellten Aufgabe abhängig und erfordert entsprechende Fachkenntnisse und Erfahrung. Wesentlich ist, dass sich der verantwortliche Ingenieur laufend die Frage nach den möglichen Ursachen der Schäden stellt und die Auswahl der Untersuchungstechnik danach richtet.

Der Umfang der Untersuchungen soll in enger Zusammenarbeit zwischen dem Werkeigentümer und dem für die Inspektion verantwortlichen Ingenieur festgelegt werden. Die Untersuchungstechniken müssen dabei der Bedeutung des Bauteiles und dem Risiko beim Nichtentdecken von Mängeln angepasst sein.

In den meisten Fällen dürfte es sinnvoll sein, die Untersuchungen stufenweise vorzunehmen. Aufgrund der Resultate der einzelnen Untersuchungsstufen wird entschieden, ob und in welchem Umfang die Abklärungen auszudehnen und zu vertiefen sind. Dabei ist zu beachten, dass die Untersuchungen der höheren Stufen jene der unteren ergänzen, sie aber nicht ersetzen. Dieses stufenweise Vorgehen gestattet auch eine regelmässige Kontrolle des Untersuchungsaufwandes.

Detailliertere Angaben zu den Untersuchungstechniken sind im Kapitel 5 dieses Leitfadens und vor allem in [4.1] enthalten. Weitere Details zum Vorgehen von Belastungsversuchen können [4.2] entnommen werden.

4.4.6 Nutzungsbeschränkungen

Die vorgesehenen Inspektionen der Bauwerke haben in der Regel während der Zustandserfassung vor Ort eine Nutzungsbeschränkung des Objekts zur Folge. Vor allem bei Brückenbauwerken sind die Beeinträchtigungen so einschneidend, dass der Ablauf und der Umfang der Zustandserfassung unter Umständen stark von den einschränkenden Massnahmen der Verkehrsführung beeinflusst werden. Aus diesem Grund muss diesem Aspekt in der Vorbereitung eine besondere Beachtung geschenkt werden.

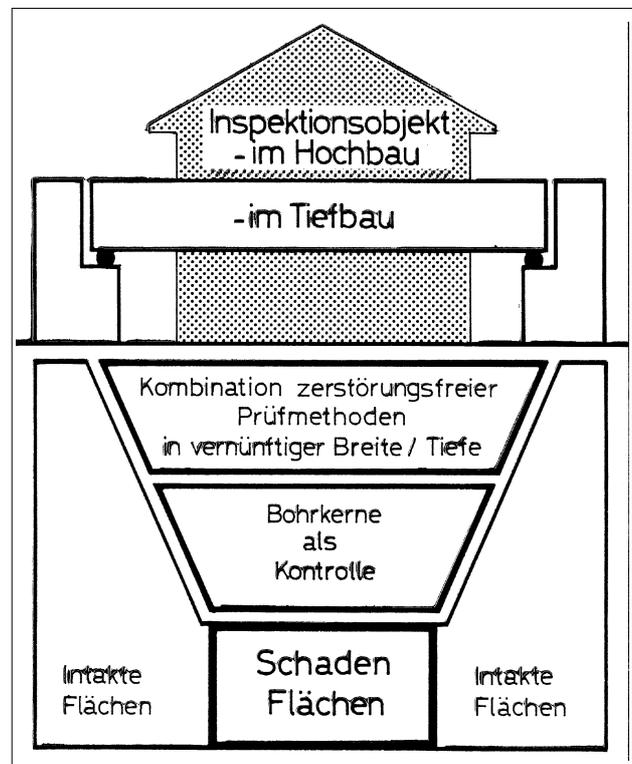


Bild 4.2 Kombination mehrerer Untersuchungstechniken

4.4.7 Konzept der Beurteilung

Die Zustandsbeurteilung liefert die Entscheidungsgrundlage für die Auslösung allfälliger Sofortmassnahmen und den Unterhalt von Bauwerken. Sie wird vom verantwortlichen Ingenieur erarbeitet.

Die Zustandsbeurteilung umfasst:

- Bewertung des Ist-Zustandes und Vergleich mit dem Soll-Zustand
- Beurteilung der Abweichung des Ist-Zustandes vom Soll-Zustand bezüglich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit sowie Dauerhaftigkeit des Bauteils und des gesamten Bauwerks. Unter Berücksichtigung der Sicherheit und der Wirtschaftlichkeit kann die Beurteilung dieser Abweichungen folgende Resultate aufzeigen (Massnahmenempfehlungen):
 - Keine Abweichungen:
keine Massnahmen bis zur nächsten Inspektion;
 - Geringe Abweichungen:
evtl. Unterhalt oder keine Massnahmen bis zur nächsten Inspektion;
 - Unklare Abweichungen:
weitere Untersuchungen, evtl. kürzere Inspektionsintervalle;
 - Unzulässige grosse Abweichungen (Schäden):
Auslösung des Unterhalts, evtl. Sofortmassnahmen, in besonderen Fällen: Erneuerung;
- Ergründung der Schadenursachen, bedingt durch Konstruktion, Baustoff, Nutzung, Umwelt;
- Beurteilung von Schadenrisiken und Schadenfolgen in bezug auf die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit inkl. Dauerhaftigkeit;

- Begründung und Beschreibung allfälliger Sofortmassnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit;
- Begründung der Notwendigkeit eines Unterhaltes und Beschreibung der dazugehörigen Erfordernisse unter Berücksichtigung von zusätzlichen Randbedingungen wie Wirtschaftlichkeit, Verfügbarkeit von Ressourcen in materieller, finanzieller oder personeller Hinsicht usw.

4.5 Ergebnisse der Vorbereitung

Nach Abschluss der Vorbereitung der Zustandsuntersuchung muss Klarheit über folgende Punkte bestehen:

- Gesamteindruck des Bauwerks aufgrund einer ersten Besichtigung
- Definition des Soll-Zustandes aufgrund von Studien der Bauwerksakten
- Abschätzung der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit nach Studium der Belastungsannahmen und nach Abklärungen über aussergewöhnliche Einwirkungen
- Ergebnisse des Studiums von vorhandenen Inspektionsgrundlagen
- Vorschläge für den Ablauf der Zustandserfassung, für den Umfang der Untersuchungen und die Wahl der Untersuchungstechniken
- Orientierung über die Nutzungsbeschränkungen während der Zustandserfassung am Objekt
- Abschätzung des Zeit- und Kostenaufwandes für die vorgesehene Zustandserfassung

Die Ergebnisse der Vorbereitung müssen dem Werkeigentümer vom verantwortlichen Ingenieur in schriftlicher Form abgegeben werden. Zweckmässigerweise wird dann gemeinsam das weitere Vorgehen festgelegt.

Literatur:

- [4.1] IP Bau: Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, EDMZ, Nr. 724.453 d, 1991
- [4.2] Ladner M: Zustandsuntersuchung von Bauwerken EMPA-Bericht Nr. 116/3, 1988

5 Zustandserfassung

5.1	Einleitung	74
<hr/>		
5.2	Detailplanung und -vorbereitung	76
<hr/>		
5.3	Die Zustandserfassung am Objekt	83
5.3.1	Die visuelle Zustandserfassung	83
5.3.2	Zerstörungsfreie Untersuchungen	86
5.3.3	Ergänzende zerstörende Untersuchungen	87
5.3.4	Laboruntersuchungen	88
5.3.5	Kombination verschiedener Untersuchungstechniken	89
5.3.6	Grossversuche	90
<hr/>		
5.4	Auswertung und Zusammenstellung der Ergebnisse	91

5 Zustandserfassung

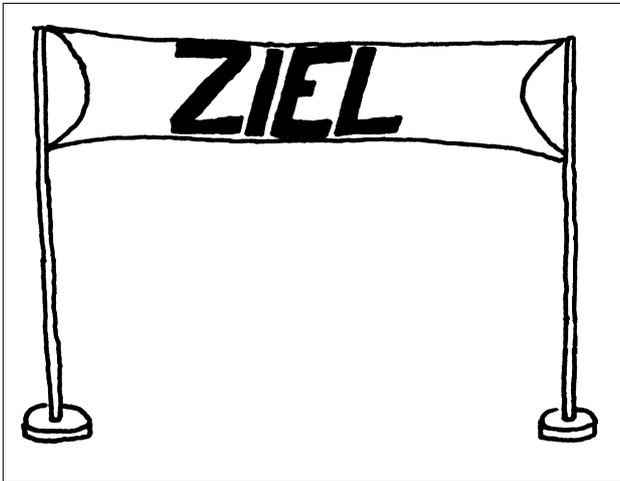


Bild 5.1 Die im Konzept für die Zustandserfassung enthaltenen Zielsetzungen im Auge behalten!

Bauwerksabmessungen:

Drei Dimensionen: Länge, Breite und Tiefe!

Bedeutung und Gefährdungspotential:

Gesamtbauwerk – Bauwerksteile

Mittel:

Finanzmittel
Zur Verfügung stehende Zeit
Personelle Mittel

Tab. 5.1 Randbedingungen für die Zustandserfassung

5.1 Einleitung

Grundlage für die detaillierte Planung und Durchführung der Zustandserfassung ist das Konzept für die Zustandserfassung. Darin sind insbesondere die Zielsetzungen für die Zustandserfassung festgehalten. Diese dürfen während des gesamten Ablaufs der Planung und Durchführung der Arbeiten am Bauwerk nicht aus dem Auge verloren werden (Bild 5.1). Dieser Fall kann schneller eintreten als man glauben möchte, denn zahlreiche Schritte der Zustandserfassung können nur beschränkt vorausgeplant werden. Die Erkenntnisse vor Ort verlangen oft Anpassungen und Ergänzungen, die unter Berücksichtigung der Zielsetzung vorgenommen werden müssen.

Ziel der Zustandserfassung ist es, den Ist-Zustand eines Bauwerkes bzw. von Bauwerksteilen in seiner gesamten Ausdehnung und Tiefe zu erfassen. Dabei können bestimmte Aspekte (z. B. Risse, Verformungen, Verwitterung der Materialien, chemische Verunreinigungen, usw.) im Vordergrund stehen. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen wie Ausdehnung des Bauwerkes, Zugänglichkeit, zur Verfügung stehende Mittel (finanziell, personell und terminlich) sind oft Einschränkungen des Untersuchungsumfanges unumgänglich, wobei dadurch nicht zwingend wesentliche Einschränkungen der Aussagekraft der Resultate verbunden sind. So viel wie nötig und so wenig wie möglich zu untersuchen, ist auch bei der Zustandserfassung der richtige Grundsatz. Der Umfang und die Tiefe der Untersuchungen ist in jedem Fall auf die Bedeutung und das Gefährdungspotential des Bauwerkes bzw. des Bauteiles abzustimmen.

Wie in Kapitel 3 erwähnt, übernimmt der Ingenieur mit der Übernahme eines Auftrages zur Zustandsuntersuchung eine grosse Verantwortung. Gerade bei der Zustandserfassung am Objekt ist es wichtig, dass sich der Ingenieur seiner Sorgfaltspflicht gegenüber dem Auftraggeber bewusst ist. Ungeöhnliche Feststellungen oder Veränderungen am Bauwerk, dabei insbesondere solche am Tragwerk, dürfen nicht einfach übergangen werden. Es ist sorgfältig abzuklären, ob diese Feststellungen eine besondere Gefährdung darstellen könnten. Diese grosse Verantwortung bedingt, dass die Zustandsuntersuchung und insbesondere die Untersuchungen am Objekt durch einen erfahrenen Ingenieur und nicht durch eine Hilfsperson vorgenommen werden (Bild 5.2).

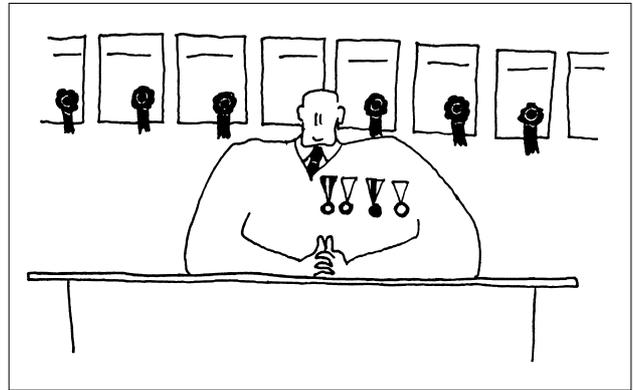


Bild 5.2 Die Zustandserfassung ist durch einen erfahrenen Ingenieur vorzunehmen

Die Zustandserfassung gliedert sich grob in drei Phasen (Tabelle 5.2), nämlich die Phase der Detailplanung und Detailvorbereitung, die Phase der Zustandserfassung am Objekt sowie die Phase der Auswertung und Zusammenstellung der Ergebnisse der Untersuchungen als Grundlage für die nachfolgende Zustandsbeurteilung.

Detailplanung und Detailvorbereitung	
Zustandserfassung am Objekt	
Auswertung und Zusammenstellung der Ergebnisse	

Tab. 5.2 Phasen der Zustandserfassung

Arbeiten	Ausführung	1992		
		09 Feb.	16 Feb.	23 Feb.
Bergseitige Tunnelwand		■		
Sichtprüfung	Steiger	■		
Detaillierte Darstellung der Wand	Steiger		■	
Detaillierte Aufnahme des Gewölbes	Steiger			■
Messung des Mauernpotentials	Helbling	■		
Messung des Gewölbepotentials	Helbling			■
Umfragen	Knupp		■	
Karotierung Wand	Interbohr		■	
Bohrung Gewölbe	Interbohr			■
Reparatur - Beton	Knupp		■	
Reparatur - Farbe	Knupp			■
Gerüste	Lawil		■	

Arbeiten
 Wartezeit, Reserve

Bild 5.3 Zeitplan für die Durchführung der Untersuchungen am Objekt

5.2 Detailplanung und -vorbereitung

In der Phase der Detailplanung und -vorbereitung werden die Voraussetzungen für einen reibungslosen Ablauf der Untersuchungen am Objekt geschaffen. Mängel bei der Planung und Vorbereitung können sich auf die Untersuchungen am Objekt auswirken, da vor Ort meist Zeit und Mittel fehlen, entsprechende Mängel rechtzeitig zu beheben. Man denke z.B. nur einmal an die Auswirkungen, wenn die Bereitstellung einer genügenden Anzahl an Hilfspersonal oder sogar von Gerüstmitteln vergessen geht oder die Terminkoordination mit einem Spezialisten nicht klappt!

Im Rahmen der Detailplanung ist vorerst der zeitliche Ablauf der Untersuchungen im Detail zu planen (Bild 5.3). Der Ablaufplan bildet die Grundlage für die Einholung von Offerten von Dritten, die Bestellung und Terminierung von Drittleistungen und die Disposition sämtlicher Einsätze und Hilfsmittel. Im Laufe der weiteren Vorbereitungsarbeiten ist dieser Ablaufplan regelmässig zu aktualisieren.

Die weiteren Detailvorbereitungen können entsprechend der in Tabelle 5.3 aufgeführten Punkte gegliedert werden.

Hauptbeauftragter:

Der mit der Untersuchung Beauftragte muss klar festlegen, welche Arbeiten er selbst durchführen kann und für welche Arbeiten Dritte beizuziehen sind. Dabei sind die personellen (Anzahl und Qualifikation des zur Verfügung stehenden Personals) und materiellen (zur Verfügung stehende Geräte und Hilfsmittel) Mittel zu berücksichtigen.

<ul style="list-style-type: none"> – Hauptbeauftragter (personelle und materielle Mittel) – Spezialisten – Hilfspersonal – Zugänge (Gerüste, usw.) – Versorgung (Energie, Wasser, usw.) – Verkehrsführung – Sicherheitsmassnahmen – Absprache/Information (Polizei, Werke, Ämter) – Inspektionsplan – Inspektionsprotokoll – Bezugssystem – Bauwerksunterlagen
--

Tab. 5.3 Punkte der Detailvorbereitung

Spezialisten:

Meist werden für die Anwendung von speziellen Untersuchungstechniken bzw. für die Durchführung von Laborversuchen Spezialisten beigezogen (Bild 5.4). Die Hauptgründe sind dabei oft nicht in erster Linie die Kosten für die erforderlichen Geräte, sondern die grosse Erfahrung, die für den Einsatz spezieller Untersuchungstechniken und die Beurteilung der Messergebnisse erforderlich ist.

Als Grundlage für die Auftragserteilung an einen Spezialisten müssen eine oder mehrere Offerten eingeholt werden. Dabei ist es für den Offertsteller wichtig zu wissen, was die Zielsetzung der Untersuchung ist, unter welchen Randbedingungen die Untersuchungen durchzuführen sind, welche Leistungsanteile (Messung, Auswertung, Beratung, Stellung von Hilfskräften und Hilfsmitteln wie z. B. Gerüsten, usw.) zu erbringen sind und wann die Untersuchungen zur Ausführung kommen. Bei der Offerteinholung für Laborversuche dürfen die Angaben über die Abmessungen und allfällige besondere Merkmale der angelieferten Proben nicht vergessen werden.

Als Grundlage für die Offerteinholung erarbeitet der Hauptbeauftragte am besten einen Kurzbeschreibung (Ausgangslage, Zielsetzungen, Randbedingungen, Zeitplan, zu erbringende Leistungen, bauseitige Leistungen, was muss als Resultat abgegeben werden, usw.) und ein Leistungsverzeichnis für die vorgesehenen Untersuchungen durch die Spezialisten (Tabelle 5.4). Allenfalls ist für die Ausarbeitung dieser Grundlagen bereits eine erste Absprache mit den entsprechenden Spezialisten erforderlich. Es lohnt sich, dieser Vorbereitung die nötige Aufmerksamkeit zu schenken, da der Erfolg der Untersuchung sowie die sich ergebenden Aufwendungen dadurch entscheidend mitbeeinflusst werden.

Bei der Vergabe von Aufträgen an Spezialisten sind neben dem Preis auch Erfahrung, termingerechte Auftrags erledigung, Breite und Tiefe der Angebotspalette, usw. zu berücksichtigen.



Bild 5.4 Für die Potentialmessung wird in der Regel ein Spezialist beigezogen

Kurzbeschreibung der Untersuchungen

- Ausgangslage
 - Zielsetzungen
 - Randbedingungen
 - Zeitplan
 - zu erbringende Leistung
 - was muss abgegeben werden
- Leistungsverzeichnis mit Leistungspositionen und Vorausmass

Tab. 5.4 Inhalt der Offertgrundlagen



Bild 5.5 Hilfskräfte eingesetzt für das Öffnen von Sondierfenstern

Hilfspersonal:

Für die Zustandsuntersuchung am Objekt sind oft Hilfspersonen erforderlich (Bild 5.5). Der Untersuchende muss sich bewusst sein, dass er sich während der Untersuchung auf das zu untersuchende Bauwerk konzentrieren muss, und seine Zeit nicht für Hilfsarbeiten (Umstellen von Gerüsten, Aufspitzen von Sondierstellen, usw.) verschwenden sollte.

Im Rahmen der Detailplanung muss deshalb abgeklärt werden, wieviele Hilfspersonen zu welcher Zeit erforderlich sind und wer diese stellt. Schlussendlich geht es auch darum die Kosten abzuschätzen und die Abrechnungsmodalitäten vorgängig zu regeln.



Bild 5.6 Untersichtgerät im Einsatz bei einer Brückenuntersuchung

Zugänge:

Bei vielen Bauwerken ist die Zugänglichkeit für die Zustandserfassung nicht ohne weiteres gegeben. Für die Zustandserfassung sind zusätzliche Gerüstungen, Leitern oder allenfalls sogar der Einsatz von Spezialgeräten wie Skyworker oder Untersichtgerät (Bild 5.6) erforderlich. Vereinzelt sind auch Gerüstungen beim Objekt eingelagert, die aber noch eingerichtet werden müssen. Bei der Detailplanung müssen diesbezüglich die materiellen und personellen Vorkehrungen getroffen werden. Bei der Vorbereitung, aber besonders während der Untersuchungen am Objekt ist der Sicherheit der Gerüstungen und Leitern ein besonderes Augenmerk zu schenken. Auch für eine Zustandsuntersuchung gelten die SUVA-Vorschriften! Die Bereitstellung von Hilfspersonal für die Vorbereitung der Gerüste ist dafür eine Voraussetzung.

Versorgung (Energie, Wasser):

Für zahlreiche Geräte (Kernbohrgeräte, Bohrmaschinen, Hochdruckreiniger, Spitzhammer) und Hilfsmittel (Beleuchtung) ist ein Elektro- oder Wasseranschluss erforderlich. Fehlt eine entsprechende Anschlussmöglichkeit sind zusätzliche Hilfsgeräte (Stromaggregat, Wassertank, Wasserpumpe) erforderlich. Vor der Einholung der Offerten bei den Spezialisten müssen diese Randbedingungen geklärt sein, da sonst entscheidende Aufwendungen in den Offerten nicht eingerechnet sind, was regelmässig zu unliebsamen und zeitaufwendigen Diskussionen führt.



Bild 5.7 Für die Ausführung von Kernbohrungen ist die Versorgung mit Strom und Wasser abzuklären



Bild 5.8 Hinweise für die Verkehrsführung sind in der IP Bau-Dokumentation «Strassenerneuerung, Erhaltung von Hochleistungsstrassen unter Verkehr» zu finden [5.1].

Verkehrsführung/Nutzung:

Bei den meisten Bauwerken soll die Nutzung bzw. der Verkehr durch die Zustandserfassung möglichst wenig eingeschränkt werden. Für den beauftragten Ingenieur ist es wichtig, zu erkennen und zu akzeptieren, dass dies ein berechtigtes und ernst zu nehmendes Anliegen des Eigentümers und der Benützer ist. Der Ingenieur muss rechtzeitig mögliche Vorgehensvorschläge unter Berücksichtigung dieser Zielsetzung ausarbeiten und entsprechende Absprachen mit dem Eigentümer und weiteren Betroffenen (z. B. Polizei) vornehmen. Bei der Erarbeitung und Umsetzung von Verkehrsbeschränkungen oder Umleitungen ist darauf zu achten, dass die Sicherheit sowohl für den Verkehrsteilnehmer wie auch für den Untersuchenden gewährleistet ist. Es ist zu berücksichtigen, dass Verkehrsschilder allein oft für die Durchsetzung einer Massnahme nicht genügend wirkungsvoll sind. So wird schon zur Sicherung des Untersuchungsortes verschiedenenorts ein Fahrzeug (Lastwagen oder Lieferwagen) eingesetzt. Dieses Sicherungsfahrzeug wird ca. 30 bis 50 m vor dem Arbeitsort der Untersuchungsequippe (gegen die Verkehrsrichtung) im abgesperrten Bereich abgestellt.

Sicherheitsmassnahmen:

Der Aspekt Sicherheit wurde schon mehrfach erwähnt. Vor, während und nach Abschluss der Zustandserfassung am Objekt sind für alle Beteiligten (Benutzer, Verkehrsteilnehmer, Ingenieur, Hilfspersonal, Spezialisten, usw.) die üblichen Sicherheitsvorkehrungen zu gewährleisten. Einige Hinweise wurden vorstehend gegeben. In diesem Zusammenhang ist zu vermerken, dass eine Zustandsuntersuchung unter Umständen mit einem erhöhten Risiko verbunden sein kann, das allenfalls auch durch eine zusätzliche Versicherung abgedeckt werden muss. Das Abschliessen einer entsprechenden Versicherung ist Sache des jeweiligen Auftragnehmers. Der Auftragnehmer trägt die Verantwortung für das von ihm eingesetzte Personal. Da dieser oft nicht genügend mit den speziellen Randbedingungen eines Bauwerkes vertraut ist, sollte auf Besonderheiten in den Offertunterlagen hingewiesen werden.

Abprache/Information (Polizei, Ämter, Werke):

Damit die Zustandserfassung reibungslos ablaufen kann, ist auch auf eine möglichst frühzeitige Information der betroffenen Ämter und Werke inkl. Polizei zu achten. Ein kurzgefasster, schematischer Zeitplan mit allen wichtigen Randbedingungen, der zur Information abgegeben werden kann, leistet diesbezüglich nützliche Dienste.



Bild 5.9 Untersuchungen müssen oft in unmittelbarer Nähe des rollenden Verkehrs durchgeführt werden.

Legende zum Aufnahmeblatt	
<u>Elemente</u>	
Arbeitsfuge Stiel-Gewölbe - ungerissen	
- gerissen	
Bindedrähte	x
Freiliegende Armierung	‡
Flächenhafte Frost-Tausalz-Schäden	FT
Hohlstellen	○
Durchfeuchtungen / Wasseraustritte / Ausblühungen	W
Abplatzungen (Beton + Farbe)	Δ
Risse - Verlauf	
- Breite (max.)	0.2 (mm)
Lunker	⊗
Kiesnester (Entmischungen)	
<u>Elementfugen</u>	
Beschädigungen an den Kanten (Abplatzungen)	Δ
Fugenmasse beschädigt	F
Fugenbewegungen	↔
Durchfeuchtung / Wasseraustritte	W

Zusätzlich zu den angeführten Vorbereitungen, müssen die eigentlichen Arbeiten für die Zustandserfassung am Objekt vorbereitet werden. Diese betreffen in der Regel primär Untersuchungen, die der Hauptbeauftragte selbst durchführt. Damit bei der Zustandserfassung am Objekt nichts vergessen geht, müssen die Arbeiten nach einem vorbereiteten Inspektionsplan ablaufen. Vorbereitete Inspektionsprotokolle und definierte Signaturen für die Aufzeichnung der Feststellungen (Bild 5.10) erleichtern die Arbeit am Objekt. Damit von allen Beteiligten die gleichen Ortsbezeichnungen verwendet werden, ist ein Bezugssystem zu definieren, das wo immer möglich auf das Objekt übertragen werden sollte. Für die Untersuchungen am Objekt sollten die wichtigsten Unterlagen des Bauwerkes zusammengestellt werden. Damit können während der Zustandserfassung am Objekt auftauchende Fragen ohne Umweg über das Büro rasch geklärt werden.

Bild 5.10 Beispiel einer vorbereiteten Liste von Signaturen für die visuelle Zustandserfassung

5.3 Die Zustandserfassung am Objekt

5.3.1 Die visuelle Zustandserfassung

Die visuelle Untersuchung eines Bauwerkes ist das wichtigste Verfahren zur Erfassung des Ist-Zustandes. Es erfolgt dabei eine intensive Auseinandersetzung des Inspizierenden mit dem Bauwerk. Hilfsmittel bei der visuellen Zustandserfassung sind primär das Auge, der Tastsinn und das Gehör. Einfache Geräte, die in einem tragbaren Koffer gut Platz finden und Aufzeichnungsmittel (Inspektionsprotokolle, Schreibutensilien, Fotoapparat, Diktiergerät) sind ergänzende Hilfsmittel (Bilder 5.11–5.13). Eine ausführliche Liste der benötigten Hilfsmittel ist in der IP Bau-Dokumentation «Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau» [5.2] zu finden. Die Hilfsmittel sollten ohne grosse Behinderung während der Untersuchung mitgetragen werden können. Es ist oft vorteilhaft, Untersuchungen, die grössere Gerätschaften erfordern und dadurch die Beweglichkeit einschränken, in einem zweiten Arbeitsgang einzusetzen.

Die Auseinandersetzung mit dem Bauwerk, die während der visuellen Untersuchung erfolgen muss, erfordert eine hohe Konzentration und entsprechende Übung. Die Erfahrung des Untersuchenden spielt bei der visuellen Untersuchung eine grosse Rolle. Das Auge hat die Fähigkeit, auf einer relativ grossen Fläche rasch eine grosse Anzahl von Details wie etwa Risse, Abplatzungen, Rostspuren, Farbunterschiede, Ausblühungen, Feuchtstellen, usw. wahrzunehmen. Die Wahrnehmungen mit dem Auge werden ergänzt durch Wahrnehmungen mit dem Tastsinn (Rauigkeit einer Oberfläche) und dem Gehör (z.B. Abklopfen der Betonoberfläche mit Spitzhammer auf Hohlstellen, Ablösungen, Abplatzungen).



Bilder 5.11, 5.12, 5.13
Werkzeuge, Mess- und Aufzeichnungsgeräte für die visuelle Untersuchung



Bild 5.14 Die Dokumentation «Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau» enthält zahlreiche wertvolle Informationen für die Zustandserfassung [5.2]

Auch bei der visuellen Zustandserfassung ist eine Gewichtung nach Bedeutung und Gefährdungspotential vorzunehmen. Es ist wichtig, relativ rasch zu differenzieren, was als in Ordnung beurteilt werden kann und wo etwas zusätzlich, genauer zu untersuchen ist. Ein systematisches Vorgehen ist unerlässlich. Die Bauteile bzw. das Bauwerk und nicht die Materialien sind in den Vordergrund zu rücken. Es dürfen keine Bauteile (z. B. Lager, Fundamente) vergessen werden. Es hat sich bewährt, analog zum Vorgehen bei der Ausarbeitung der Gefährdungsbilder Gefahrenszenarien durchzugehen.

Die Checklisten und Musterbilder von Schäden in den Anhängen B und C sollen eine Auswahl bei der visuellen Untersuchung häufig angetroffener und erfasster Schäden veranschaulichen. Die Schadensbilder (Anhang B) sind nach Bauteilen und Baustoffen gegliedert. Es sind Beispiele für die Baustoffe Beton, Stahl, Naturstein, Mauerwerk, Holz sowie für ausgewählte Elemente von Bauwerken (Fundationen, Lager, Fahrbahnübergänge, Abdichtungen, Geländer/Leiteinrichtungen, Entwässerungseinrichtungen, elektromechanische Einrichtungen) sowie für Befestigungselemente aus Stahl zusammengestellt.

Die Checklisten für die visuelle Untersuchung (Anhang C) geben dem Inspizienten Hinweise auf baustofftypische Schäden, wie diese ermittelt und im Rahmen der visuellen Untersuchung genauer abgeklärt werden können. Die Checklisten sind nach Baustoffen gegliedert (Bauteile und Bauwerke aus Holz; aus Beton, Stahl- und Spannbeton; aus Stahl sowie aus Natur- und Kunststeinmauerwerk). Eine separate Checkliste umfasst allgemeine Feststellungen an Bauwerken.

Hinweise für das Vorgehen bei der Zustandserfassung von Strassen sind in [5.3] enthalten.

Anschliessend ist ein Beispiel eines Inspektionsprotokolles zu finden (Tabelle 5.6). Die wichtigsten Angaben, die jedes Inspektionsprotokoll enthalten sollte, sind in Tabelle 5.5 aufgeführt. Weitere Hinweise finden sich z. B. in [5.5].

- Datum der Inspektion
- Name des Inspizienten
- Witterung (evtl. falls relevant)
- genaue Bezeichnung des Bauwerkes
- Charakterisierung festgestellter Schäden
- Hinweise auf mögliche Schadensursachen
- Feststellungen müssen lokalisierbar sein
- Fotos (lokalisierbar)
- Sofortmassnahmen (falls erforderlich)

Tab. 5.5 Wichtige Angaben auf dem Inspektionsprotokoll

Fahrbahn	Unterbau	Überbau	Überbau
Abdichtung	Pfeiler	STAHL	NATUR-, KUNSTSTEIN
Belag	Widerlager	Rost	Formänderungen
Frostschäden	Widerlagerentwässerung	Anstrich	Risse
Randsteine	Stützmauern	Druckstäbe	Wasseraustritt
Geländer	Fundamente	Schrauben, Nieten	Frostschäden
Geländerbefestigung	Fundamentsetzungen	Schweisstellen	Zustand der Fugen
Konsolköpfe	Feste Lager	Verbundfugen	HOLZ
Dilatationsfugen	Bewegliche Lager	BETON	Zustand
Fahrbahnentwässerung	Werkleitungen	Risse	Fäulnis
Fahrbahnübergänge	Leitungskulissen	Abblätterungen	Schädlinge
		Rostige Armierungen	Belüftung
		Kalkaussinterungen	Bruch
		Nasse Stellen	Quetschungen, Stauchungen

Tab. 5.6 Stichwortliste aus einem Zustandsrapport



Bild 5.15 Zerstörungsfreie Messung der Betonüberdeckung der Bewehrung

5.3.2 Zerstörungsfreie Untersuchungen

Auf die zerstörungsfreien Untersuchungstechniken wird in der vom Impulsprogramm herausgegebenen Dokumentation «Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau» [5.2] (Bild 5.14) im Detail eingegangen. Sie werden deshalb hier nicht vertieft behandelt. Die erwähnte Dokumentation gibt dem interessierten Ingenieur detaillierte Informationen zu einer grossen Anzahl von vorwiegend zerstörungsfreien Untersuchungstechniken für verschiedene Bauwerkstypen. Sie enthält in Tabellenform Übersichten, welche Untersuchungstechniken zur Feststellung einer spezifischen Zielgrösse (Festigkeit, Risse, usw.) eingesetzt werden können. Hinweise für die Untersuchung von Bauteilen aus Beton sind zudem im SIA-Merkblatt 2002 «Inspektion und Instandsetzung von Bauteilen aus Beton» [5.4] zu finden.

Zerstörungsfreie Untersuchungstechniken kommen zum Teil bereits bei der visuellen Untersuchung zum Einsatz (z.B. Messung der Betonüberdeckung der Bewehrung, Messung der Betonfestigkeit mit dem Rückprallhammer). Sie liefern zusätzliche Informationen, die unter Umständen Rückschlüsse auf die Ursachen festgestellter Schäden erlauben. Die Aussage zerstörungsfreier Untersuchungstechniken beschränkt sich meist wie die visuelle Untersuchung auf die Oberfläche des Bauwerkes. Zerstörungsfreie Untersuchungstechniken ermöglichen aber eine objektivere Beurteilung als die visuelle Untersuchung. Mit einzelnen zerstörungsfreien Untersuchungstechniken ist es auch möglich, bis zu einer beschränkten Tiefe in das Bauwerk «hineinzuschauen». Ihr Einsatz als Flächen-, Linien- oder Punktmessungen geben Informationen über die lokale Veränderung und Streuung von Merkmalen.

5.3.3 Ergänzende zerstörende Untersuchungen

Zerstörende Untersuchungen sind mit einem physischen Eingriff in das Bauwerk verbunden. Zur Überprüfung visuell festgestellter Schäden, zur Eichung von zerstörungsfreien Messungen (Bild 5.16) sowie zur Abklärung von Schadensursachen ist es meist nicht möglich auf zerstörende Untersuchungstechniken zu verzichten. In der Dokumentation «Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau» [5.2] werden die zerstörenden Untersuchungstechniken im Detail behandelt. Es wird deshalb hier nicht weiter darauf eingegangen.

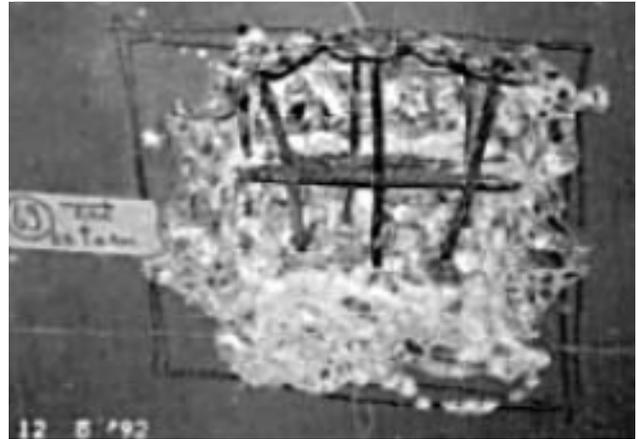
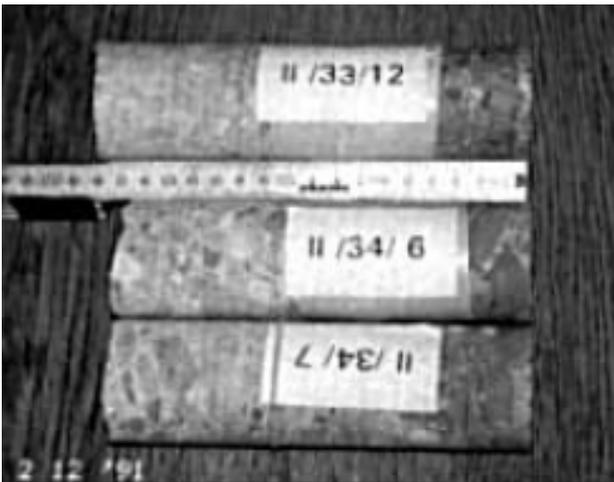


Bild 5.16 Sondierstelle zur Kontrolle der Betonüberdeckung und des Korrosionszustandes der Bewehrung



Bilder 5.17 und 5.18
Entnahme von Bohrkernen aus Betonbau-
teilen für die Untersuchung im Labor

5.3.4 Laboruntersuchungen

Untersuchungen im Labor bilden eine Ergänzung zur der visuellen Untersuchung, sowie zu Messergebnissen aus zerstörungsfreien und zerstörenden Untersuchungen. Sie liefern zwar meist lokal begrenzt aussagekräftige Ergebnisse, sind dafür aber relativ objektiv und genau, wenngleich auch die Genauigkeit nicht überschätzt werden darf. Bei der Durchführung von Laborversuchen kommt der Auswahl, der Entnahme und der Behandlung der Proben eine grosse Bedeutung zu (Bilder 5.17, 5.18). Ein einzelner Laborversuch gibt im besten Fall einen Hinweis, keinesfalls aber ein Resultat, auf das sich eine Beurteilung abstützen lässt. Das Kapitel «2.4 Planung und Beurteilung von Messungen» der Dokumentation «Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau» [5.2] gibt detaillierte Informationen zu diesem Problemkreis. Einzelne Laboruntersuchungen sind in SIA-Normen geregelt [SIA 162/1, 162/2, 162/3].

Bei Laboruntersuchungen stehen Festigkeitsprüfungen und chemische Analysen (z.B. Materialzusammensetzung, Quantifizierung chemischer Verunreinigungen) im Vordergrund. Einzelne Versuche erlauben zudem Rückschlüsse auf die Dauerhaftigkeit von Baustoffen (Bewitterungsversuche wie Frostwechsel, UV-Bestrahlung, usw.). Da weder visuelle noch zerstörungsfreie oder zerstörende Untersuchungen am Bauwerk selbst Auskunft auf diese spezifischen Fragen geben können, sind Laboruntersuchungen für die Zustandsbeurteilung ein äusserst wichtiges Hilfsmittel.

5.3.5 Kombination verschiedener Untersuchungstechniken

Wie mehrfach erwähnt, werden visuelle, zerstörungsfreie und zerstörende Untersuchungen meist in Kombination eingesetzt. Das in Tabelle 5.7 und Bild 5.19 aufgezeigte Vorgehen bei der Zustandsaufnahme eines Belagsfensters auf einer Stahlbetonbrücke veranschaulicht dies eindrücklich.

1. Fenster einmessen
2. Foto 1: vor Untersuchung
3. Betonüberdeckung (flächendeckend) messen
4. Potentialmessung (Punktmessung)
5. Spitzsondierung (1x Konstruktionsbeton, 1x Schleppplatte)
6. Foto 2: Korrosionszustand der Bewehrung
7. Bohrmehlentnahme gezielt aus Konstruktionsbeton (evtl. auch Schleppplatte)
8. Bohrkernentnahme ($d = 50 \text{ mm}$) aus Konstruktionsbeton
9. Foto 3: über Untersuchungsstellen im Belagsfenster

Tab. 5.7 Vorgehen bei der Zustandsaufnahme an einem Belagsfenster (Standspur).



Bild 5.19 Aufnahme eines Belagsfensters, Foto 3 gemäss Tabelle 5.7



Bild 5.20 Belastungsversuch an einer Brücke

5.3.6 Grossversuche

Grossversuche bilden eine Möglichkeit, um Rückschlüsse auf den Zustand eines Bauwerkes zu gewinnen. Grossversuche dienen in den meisten Fällen dazu, das Verformungsverhalten eines Bauwerkes unter statischer oder dynamischer Belastung zu überprüfen [5.10]. Der traditionelle Belastungsversuch bei Brücken (Bild 5.20) hatte zum Ziel, nachzuweisen, dass ein Bauwerk die vorgesehenen Nutzlasten schadensfrei aufnehmen kann. Heute geben andere Fragestellungen den Anlass zu Grossversuchen.

Bei der Durchführung von Belastungsversuchen bildet die zuverlässige Messung der Deformationen während des Versuchsablaufes oft ein grosses Problem. In der Detailvorbereitung muss dieses Problem deshalb entsprechend berücksichtigt werden. Weil Belastungsversuche doch eher die Ausnahme bei der Zustandsuntersuchung bilden und in jedem Fall eine auf das Objekt abgestimmte Feinplanung und Durchführung durch Spezialisten erforderlich ist, wird hier nicht näher darauf eingegangen.

5.4 Auswertung und Zusammenstellung der Ergebnisse

Mit dem Abschluss der Arbeiten am Objekt ist die Phase der Zustandserfassung nicht abgeschlossen. Die gewonnenen Ergebnisse müssen noch einer ersten Auswertung und Begutachtung unterzogen werden. Ziel dieser Phase ist es, die Messresultate übersichtlich zusammenzustellen (Bild 5.21), sie einer ersten Bewertung zu unterziehen, erste Schlussfolgerungen zu ziehen sowie weitere Bemerkungen zu den Messresultaten festzuhalten. Bevor eine weitergehende Auswertung erfolgt, sind die Resultate einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen. Zur Gewinnung einer besseren Übersicht ist oft eine graphische Darstellung oder/und eine statistische Auswertung der Einzelresultate erforderlich (Bild 5.22).

Wieweit in dieser Phase die Auswertung der Resultate gehen soll und welche Darstellung zu wählen ist, muss von Fall zu Fall festgelegt werden. Der grössere Teil dieser Arbeiten kann im Büro ausgeführt werden. Handelt es sich um eine routinemässige Zustandserfassung ohne besondere weitere Feststellungen, kann sich diese Arbeit auf eine Bereinigung und Ergänzung der Aufnahmeformulare beschränken.

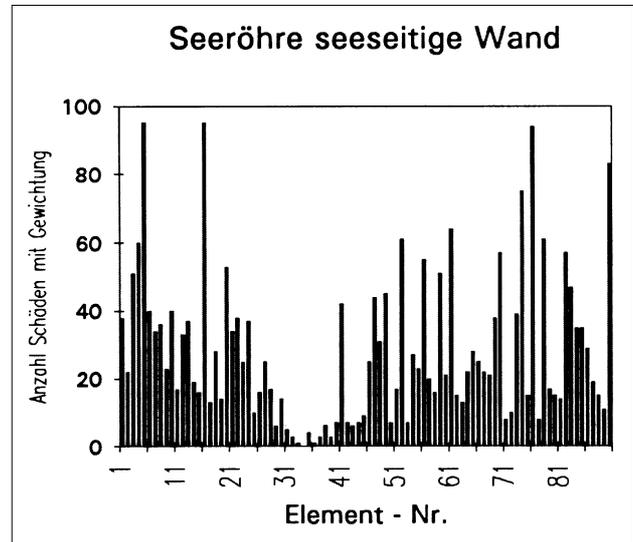


Bild 5.21 Graphische Aufzeichnung der Verteilung der gewichteten, visuell erfassten Schäden pro Element an einer Tunnelwand über die Länge des Bauwerkes

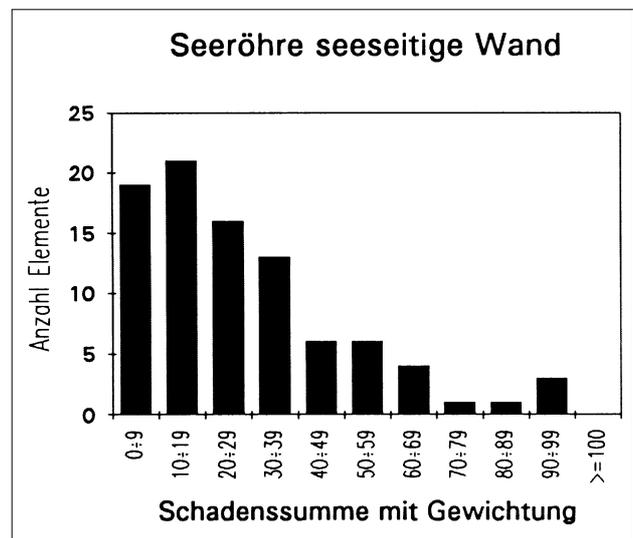


Bild 5.22 Statistische Auswertung (Häufigkeitsverteilung) der gewichteten, visuell erfassten Schäden aus Bild 5.21

Literaturverzeichnis zu Kapitel 5. Zustandserfassung

- [5.1] IP Bau: Strassenerneuerung, Erhaltung von Hochleistungsstrassen unter Verkehr, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.452, Bern, 1991.
- [5.2] IP Bau: Untersuchungstechniken im Tief- und Ingenieurbau, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Nr. 724.453, Bern, 1991.
- [5.3] VSS: Zustandserfassung und Beurteilung von Strassen, Norm mit Schadenkatalog (Beilage), SN 640 925, Zürich, 1990/91.
- [5.4] SIA: Inspektion und Instandsetzung von Bauteilen aus Beton, Merkblatt SIA 2002, Zürich, 1990.
- [5.5] SIA: Periodische Untersuchung der Brücken, Richtlinie SIA 160/3, Zürich, 1975.
- [5.6] Ladner M.: Zustandsuntersuchung von Bauwerken, EMPA Bericht Nr. 116/3, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf, 1988.

6 Beurteilung

6.1	Allgemeines	94
6.2	Grundlagen der Beurteilung	95
6.3	Beurteilung der Zustandsdaten	95
6.4	Grobbeurteilung des Bauwerkszustandes	97
6.5	Gliederung des Bauwerks	98
6.6	Vorgehen bei der Beurteilung	99
6.7	Hinweise zur Zustandsbeurteilung eines Bauwerks	100

6 Beurteilung

Beurteilung stellt den Zusammenhang zwischen dem Ist-Zustand des Bauwerkes und dem weiteren Vorgehen her, unter Berücksichtigung der Randbedingungen

Tab. 6.1 Wesen der Beurteilung

6.1 Allgemeines

Nachdem der Zustand, wie im Kapitel 5 beschrieben, erfasst worden ist und die Ergebnisse der Untersuchungen vorliegen, geht es in der Folge darum, diese Ergebnisse und Befunde zu analysieren und ihre Auswirkungen auf das weitere Vorgehen abzuklären. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Beurteilungsvorgang ein dynamischer Prozess ist, bei dem die Bedeutung und die Auswirkungen des aktuellen Bauwerkszustandes ebenso zu beachten sind wie die Bedeutung des untersuchten Bauwerks selbst sowie dessen Umfeld. Insbesondere muss auf die Schadensursachen sowie auf mögliche zukünftige Entwicklungen der beobachteten Schadensformen gebührend Rücksicht genommen werden.

Erst wenn aufgrund dieser Analyse entschieden werden kann, dass die vorhandenen Zustandsdaten genügend präzise Antworten auf die gestellten Fragen geben oder, falls dies nicht zutrifft, wenn man zur Einsicht gelangt, dass weitere Untersuchungen am Objekt selber nicht mehr sinnvoll oder möglich sind, kann das weitere Vorgehen festgelegt werden. Dieses wird in einigen Fällen auch eine statische Überprüfung des Bauwerkes beinhalten. Dabei sollen die Erkenntnisse aus der Zustandserfassung dazu beitragen, für den Nachweis der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit realistische Annahmen bei der Modellbildung sowohl auf der Einwirkungsseite als auch auf der Widerstandsseite zu machen.

Die Beurteilung bezieht sich somit immer auf zwei Gegenstände: Auf die Untersuchungsdaten einerseits sowie auf das Bauwerk und dessen Zustand andererseits.

Damit ist die gegenseitige Abhängigkeit, die zwischen Zustandserfassung, Analyse und Beurteilung der Zustandsdaten, den allenfalls notwendigen rechnerischen Nachweisen sowie zwischen den sich aus diesem Gesamtprozess ergebenden Folgerungen besteht, gezeigt; sie findet letztlich ihren Niederschlag im Sicherheits- und Nutzungsplan sowie in den Nutzungsanweisungen.

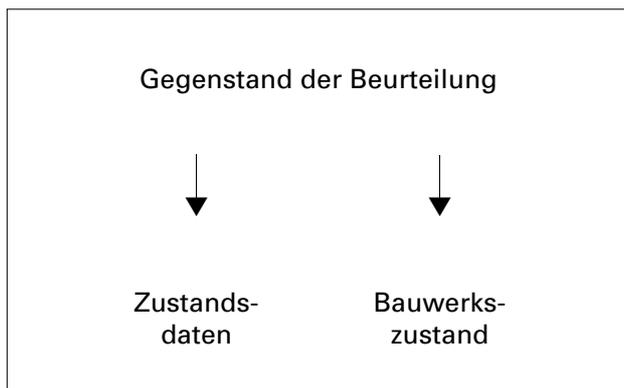


Bild 6.1 Gegenstand der Beurteilung

In diesem Kapitel wird erläutert, wie die Befunde zu analysieren und zu beurteilen sind; auf die statische Überprüfung wird hingegen nicht eingetreten, da diese im Rahmen der SIA-Kommission 462 "Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke" [6.1] behandelt wird. Es soll jedoch gezeigt werden, wo und wie Verknüpfungen zu diesem Bereich bestehen.

6.2 Grundlagen der Beurteilung

Grundlage der Beurteilung bilden auf der einen Seite die in den Inspektionsprotokollen enthaltenen Informationen sowie die Ergebnisse von Proben am oder aus dem Bauwerk, die im Rahmen einer Bauwerksinspektion gewonnen worden sind. Auf der anderen Seite sind im Sicherheitsplan, im Nutzungsplan und in den Nutzungsanweisungen gewisse Anforderungen an das Bauwerk festgelegt; diese sind bei der Beurteilung ebenfalls zu berücksichtigen, indem gefragt wird, ob der aktuelle Bauwerkszustand (Ist-Zustand) diesen Anforderungen noch gewachsen sei.

6.3 Beurteilung der Zustandsdaten

Zunächst gilt es, die anlässlich der Bauwerksinspektion erhaltenen Zustandsdaten vertieft zu analysieren und zu beurteilen. Dieser Vorgang umfasst wenigstens die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Sind die Ergebnisse genügend aussagekräftig?

Die Aussagekraft der Ergebnisse ist unter anderem abhängig von den angewandten Untersuchungsverfahren, von der Art der Probenahme (punktuell/flächendeckend), von der Messgenauigkeit und weiteren Einflüssen.

Beurteilung der Zustandsdaten hinsichtlich:

- Aussagekraft
- Vollständigkeit
- innerer Widerspruchsfreiheit

Tab. 6.2 Beurteilungskriterien der Zustandsdaten

– Sind die Ergebnisse vollständig?

Es ist zu kontrollieren, ob wirklich alle im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten als unbedingt notwendig betrachteten Werte erhoben worden sind oder ob wichtige Informationen doch noch fehlen.

Es kann sich nämlich im Verlauf einer Bauwerksinspektion zeigen, dass die wirklichen Verhältnisse von den erwarteten wesentlich abweichen, sodass sich überraschend neue Perspektiven ergeben. Gerade in solchen Fällen ist zu überprüfen, ob alle wesentlichen Informationen vorliegen.

– Enthalten die vorliegenden Ergebnisse innere Widersprüche?

Bei der Beurteilung der Untersuchungsergebnisse ist unbedingt darauf zu achten, dass sich die einzelnen Ergebnisse logisch zu einer widerspruchsfreien Aussage über den Bauwerkszustand zusammenfügen lassen. Sollten dennoch scheinbare Widersprüche auftreten, dann ist entweder nach einer plausiblen Erklärung für diesen Sachverhalt zu suchen, oder es müssen ergänzende Untersuchungen zur Klärung dieses Sachverhaltes am Bauwerk selber vorgenommen werden.

Erst wenn die Beurteilung der Zustandsdaten positiv verlaufen ist, sollen diese für die Beurteilung des Bauwerkszustandes weiterverwendet werden.

6.4 Grobbeurteilung des Bauwerkszustandes

Um zu einer Grobbeurteilung des Zustandes des Bauwerks oder des Bauteils zu gelangen, genügt es in vielen Fällen, die in den Anhängen A1 bis A4 zusammengestellten Kriterien anzuwenden. Danach erfolgt eine Einstufung des zu beurteilenden Elementes aufgrund der bei der visuellen Inspektion gemachten Beobachtungen in eine der fünf Zustandsstufen 1 bis 5.

Solange sich die Bewertung des Gesamtbauwerks oder der einzelnen Teile innerhalb der Stufen 1 und 2 bewegt, befindet sich das Bauwerk in einem guten bis annehmbaren Zustand. Unter der Voraussetzung, dass das Bauwerk oder der Bauteil nur für sich allein betrachtet wird, sind keine Massnahmen erforderlich; die Tragsicherheit wird als gegeben angenommen und auch die Gebrauchstauglichkeit ist nicht in Frage gestellt. Bezüglich der Dauerhaftigkeit ist mit keiner raschen Veränderung des Momentanzustands zu rechnen.

Liegt die Bewertung im Bereich der Stufen 3 oder 4, dann dürften sich, wird wiederum das Bauwerk oder der Bauteil nur für sich allein betrachtet, unmittelbar kleinere Instandstellungsarbeiten an einzelnen Teilen oder am Bauwerk aufdrängen; die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit sind aber noch immer als gegeben anzunehmen. Gegebenenfalls sind noch genauere Untersuchungen am Bauwerk vorzunehmen. Hingegen ist die Dauerhaftigkeit über eine Zeitspanne von mehr als 10 bis 15 Jahren als nicht gesichert zu betrachten.

Für eine Bewertung der Stufe 5 muss die Gebrauchstauglichkeit als nicht mehr voll gegeben, die Tragsicherheit als möglicherweise reduziert angesehen werden. Genaue Aussagen sind im allgemeinen jedoch erst nach gezielt vorgenommenen, ergänzenden Untersuchungen sowohl am Bauwerk selber als auch durch rechnerische Nachweise möglich. Zur Erreichung der vollen Gebrauchstauglichkeit müssen, wenn auch hier wieder nur das Bauwerk oder der Bauteil für sich allein betrachtet wird, Instandsetzungsmassnahmen als notwendige Massnahmen angesehen werden, die Tragsicherheit ist unbedingt rechnerisch zu überprüfen. Damit ist auch die Dauerhaftigkeit nicht mehr als gegeben anzusehen.

Bewertungsstufen:

- 1: guter Zustand
- 2: annehmbarer Zustand
- 3: schadhafter Zustand
- 4: schlechter Zustand
- 5: alarmierender Zustand

Tab. 6.3 *Bewertungsstufen*

Es ist jedoch mit allem Nachdruck darauf hinzuweisen, dass eine isolierte Betrachtungsweise des Bauwerks oder des Bauteils, ohne sein Umfeld oder übergeordnete Ziele in den Beurteilungsprozess miteinzubeziehen, nicht abschliessend sein kann; die hier erwähnten Massnahmevorschläge sind somit nur als eine Auswahl aus vielen anderen Möglichkeiten zu betrachten. Werden übergeordnete Ziele in den Entscheidungsprozess miteinbezogen, dann können sich durchaus auch andere Folgerungen als sinnvoll erweisen.

Diese Beurteilung betrifft somit, mit Ausnahme der Stufe 5, in erster Linie die Gebrauchstauglichkeit. Für eine grobe Beurteilung der Dauerhaftigkeit des Bauteils oder Bauwerks können im weiteren die Angaben herangezogen werden, die im Anhang B enthalten sind. Eine abschliessende Beurteilung der Tragsicherheit hingegen ist immer erst aufgrund einer genauen statischen Überprüfung möglich. Grundsätze für den Nachweis der Tragsicherheit bestehender Bauwerke enthält die in Bearbeitung begriffene Richtlinie SIA 462 über die «Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke» [6.1].

6.5 Gliederung des Bauwerks

Eine genauere Beurteilung des Bauwerks- oder Bauteilzustandes verlangt jedoch ein systematisches Vorgehen. Um den Überblick über die Fülle der Informationen zu behalten, gliedert man das Bauwerk zweckmässigerweise in einzelne Teile. Hierbei sind die Elemente so auszuwählen, dass sich für den Unterhalt und die Überwachung möglichst gleichartige und auch hinsichtlich ihrer Grösse ähnliche Bauteile ergeben. Das Aufgliedern eines Bauwerks in sinnvolle Elemente ist eine äusserst wichtige und anspruchsvolle Tätigkeit; sie muss daher von einem erfahrenen Bauingenieur ausgeführt werden.

Ein Beispiel für die Aufgliederung eines Bauwerks ist im Anhang D angegeben.

6.6 Vorgehen bei der Beurteilung

Da der Informationsgehalt der Zustandsdaten hinsichtlich Thematik und Genauigkeit sehr unterschiedlich ist, ist es sinnvoll, sie nach ihren hauptsächlichsten Aussagen zu ordnen; es sind dies vor allem Aussagen, welche die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit oder die Dauerhaftigkeit betreffen. Dabei kann es durchaus vorkommen, dass einzelnen Befunde in mehr als nur einer Kategorie Einfluss haben.

Hierzu kann es nützlich sein, für jeden wichtigen Bauteil eine Tabelle zu erstellen, in der die den jeweiligen Befund charakterisierende Grösse jenem Wert gegenübergestellt wird, der bei der Be-

messung des Bauwerks eingesetzt worden ist. Auf diese Weise lässt sich recht schnell überblicken, wo wesentliche Veränderungen gegenüber dem Entwurf schon aufgetreten oder in der Zukunft zu erwarten sind. Dabei handelt es sich bei den hier zu erfassenden Grössen in erster Linie um geometrische Grössen (Abmessungen, Lage der Bauteile, Querschnittsform usw.), Materialeigenschaften (Materialart, Festigkeits- und Verformungswerte), Ausführungsfehler und zum Teil auch um Beobachtungen bezüglich der Art und Grösse der Einwirkungen auf das Bauwerk. Tabelle 6.4 zeigt einen Ausschnitt einer solchen Zusammenstellung für die Feinanalyse.

Bauelement: Hauptträger T2

Charakteristische Grösse			Auswirkung bei positiver Abweichung Ist - Soll-Werten auf		
Typ	Ist	Soll	Tragsicherheit	Gebrauchstauglichkeit	Dauerhaftigkeit
Spannweite	4.45	4.49	+	+	±
Querschnitt t	82.5	75.6	-	-	-

Tab. 6.4 Ausschnitt einer Tabelle zur Beurteilung des Zustandes eines Bauelementes

6.7 Hinweise zur Zustandsbeurteilung eines Bauwerks

Obwohl sich – streng genommen – die Beurteilung des Zustands eines Bauwerks erst dann abschliessend vornehmen lässt, wenn auch die Ergebnisse einer statischen Nachprüfung betreffend die Tragsicherheit vorliegen, ist es doch in den meisten Fällen möglich, eine Zustandsbeurteilung schon aufgrund der Ergebnisse der Zustandsuntersuchung vorzunehmen. Insbesondere können hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit aus den Beobachtungen oder Messungen am Objekt selber meistens schon genügend klare Erkenntnisse gewonnen werden, die eine Beurteilung zulassen. Die schwierigste Art der Beurteilung bezieht sich jedoch auf eine Aussage über die zu erwartende Dauerhaftigkeit. Für die Beurteilung dieser Eigenschaft ist man auch heute noch weitgehend auf die Erfahrung des verantwortlichen Ingenieurs angewiesen.

Neben der Beurteilung der einzelnen Bauteile ist aber auch eine solche für das Bauwerk als Ganzes unter Einbezug seines Umfeldes hinsichtlich seiner Gebrauchstauglichkeit, Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit vorzunehmen.

Wie die aus der Zustandsuntersuchung gewonnenen Einsichten und Erkenntnisse in den Beurteilungsprozess über den Bauwerkszustand einfließen können, soll nun noch abschliessend kurz skizziert werden.

Zur Gebrauchstauglichkeit:

Unter dem Begriff Gebrauchstauglichkeit wird das positive Verhalten des Bauwerks unter genormten und vereinbarten Nutzungszuständen verstanden. Dazu gehören die Funktionstüchtigkeit des Bauwerks (z.B. hinsichtlich seiner Dichtigkeit), die Anforderungen hinsichtlich seiner Verformungen, Schwingungen, Risse usw. sowie auch die Anforderungen hinsichtlich der Ästhetik und Benützersicherheit.

Im Gegensatz zur Tragsicherheit steht bei der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit nicht so sehr das Bauwerk als solches, sondern vielmehr sein Verhalten im Hinblick auf die Interessen des Benützers im Mittelpunkt.

Es muss abgeklärt werden, inwiefern das Bauwerkverhalten die Nutzungsmöglichkeiten beeinflussen kann; deshalb muss beim Anordnen von Massnahmen zur Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit immer vom Nutzungsplan ausgegangen werden.

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit kann zwar formal in ähnlicher Weise wie der Tragsicherheitsnachweis geführt werden, indem gezeigt wird, dass die massgebenden Verhaltensparameter unter den genormten und vereinbarten Nutzungszuständen mit den ebenfalls genormten oder vereinbarten Grenzwerten dieser Parameter verglichen werden. Dieser Vergleich kann grundsätzlich entweder auf rechnerischem oder auf experimentellem Weg erfolgen.

Zur Tragsicherheit:

Unter dem Begriff Tragsicherheit wird die Sicherheit eines Bauwerks gegenüber Versagen verstanden. Dabei kann die Art des Versagens im Wesentlichen die folgenden, verschiedenen Formen annehmen:

- Es kann eine örtliche Überbeanspruchung in der Weise erfolgen, dass in einem einzelnen Querschnittsbereich eines Bauteils die aufnehmbaren Schnittkräfte ihre Grenzwerte erreichen.
- Es können einzelne Teile oder Teilbereiche des Bauwerks versagen, ohne dass deshalb das gesamte Tragwerk ausfällt.
- Das Tragwerk, einschliesslich seiner Gründung, kann in seiner Gesamtheit versagen, so dass das Tragwerk als ganzes ausfällt.

Das allgemeine Verfahren, mit welchem der Nachweis der Tragsicherheit geführt wird und das grundsätzlich für alle drei der erwähnten Versagensformen Gültigkeit hat, lässt sich formal wie folgt beschreiben:

$$S_d \leq \frac{R}{Y_R}$$



Bild 6.2 *Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit durch hochsteigendes Wasser im Mauerwerk*

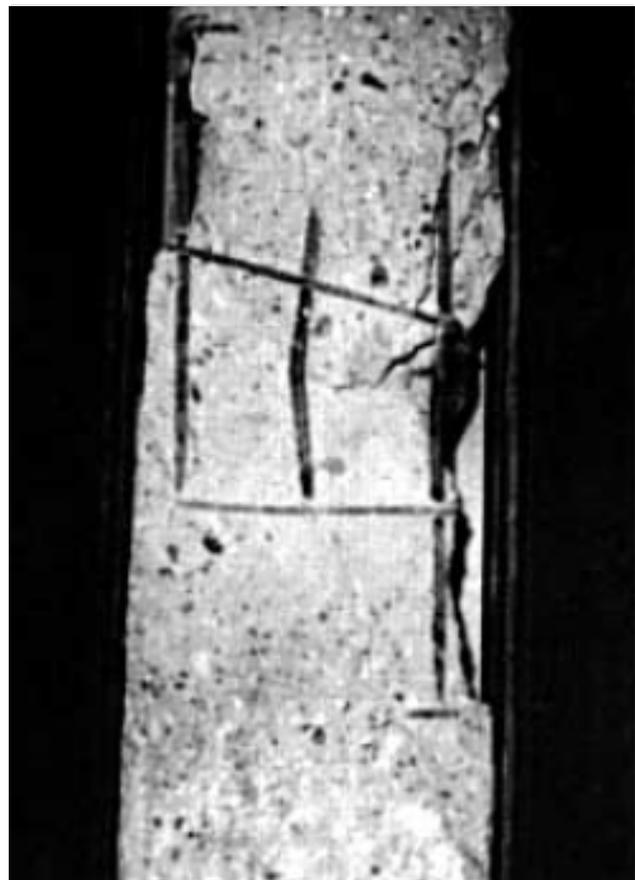


Bild 6.3 *Gebrochene Stahlbetonstütze in einem Geschäftshaus. Zur provisorischen Sicherung sind Stahlstützen eingezogen*

Hierin bedeuten:

S_d = Rechnerischer Wert der Beanspruchung aus den Einwirkungen

R = Rechnerischer Wert des Tragwiderstandes

γ_R = Widerstandsbeiwert

Da aus der Zustandsuntersuchung Erkenntnisse über die geometrischen Grössen, über die Materialkennwerte und über die tatsächlichen Ausführungsgrössen gewonnen werden, ist sowohl die Einwirkungsseite (z. B. Eigenlast infolge der besseren Information bezüglich Rohdichte und Abmessungen) als auch die Widerstandsseite (z. B. Querschnittsabmessungen und Materialkennwerte) durch die Ergebnisse der Zustandsuntersuchung beeinflusst. Es ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit darauf einzugehen, wie sich diese Erkenntnisse auf die Bestimmung der rechnerischen Werte der Einwirkungen und damit auf S_d auswirken, noch soll hier gezeigt werden, wie aus den gemessenen Materialkennwerten der rechnerische Tragwiderstand R mit dem Widerstandsbeiwert γ_R ermittelt wird; diese Fragen werden gegenwärtig – wie schon erwähnt – im Rahmen der SIA-Kommission 462 bearbeitet.

Zur Dauerhaftigkeit:

Die Dauerhaftigkeit ist die Fähigkeit der Materialien und der daraus hergestellten Bauteile und Bauwerke, während einer gewissen Zeit den Einwirkungen so zu widerstehen, dass keine wesentlichen Veränderungen eintreten, welche die Tragsicherheit und/oder die Gebrauchstauglichkeit des Bauteils oder des Bauwerks in Frage stellen. Über die Länge dieser Zeitspanne wird mit diesem Begriff aber keine Aussage gemacht.

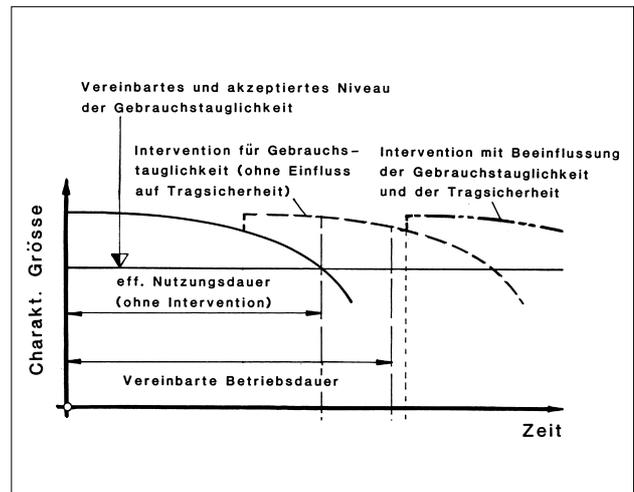


Bild 6.4 Auswirkungen von Interventionen am Bauwerk auf die Nutzungsdauer und damit auf die Dauerhaftigkeit

Zur Quantifizierung dieser Zeitspanne wird der Begriff der Nutzungsdauer verwendet, mit dem ausgesagt wird, wie lange ein Bauwerk ohne Verlust der Tragsicherheit oder der Gebrauchstauglichkeit effektiv verwendet werden darf (effektive Nutzungsdauer) oder wie lange eine solche Nutzung möglich sein sollte (vereinbarte Nutzungs- oder Betriebsdauer).

Anders als bei den beiden anderen Nachweisen gibt es weder einen eigentlichen Formalismus noch eindeutige Messverfahren, mit welchem der Nachweis der Dauerhaftigkeit erbracht werden kann. Der Nachweis erfolgt letztlich aufgrund der Erfahrung.

Deshalb ist es wünschenswert, dass die Ergebnisse von Zustandsuntersuchungen systematisch gesammelt und ausgewertet werden. Damit könnte für die Zukunft ein wertvoller Erfahrungsschatz zur Verfügung gestellt werden, der über die Zustandsveränderungen und damit über das Langzeitverhalten der einzelnen Bauwerksteile oder des Gesamtbauwerks unter wirklichkeitsnahen Bedingungen Auskunft geben kann; ausserdem würden auf diese Weise grundlegende Erkenntnisse gewonnen, welche die Erfahrung auf diesem noch wenig bearbeiteten Gebiet entschieden verbesserten.

Literatur:

[6.1] Richtlinie SIA 462: Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke (Entwurf 1992)

Anhang A **Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Bauteilen**

Anhang A1	Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Betonbauteilen	106
Anhang A2	Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Stahlbauteilen	109
Anhang A3	Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Bauteilen aus Mauerwerk	111
Anhang A4	Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Holzkonstruktionen	114

Anhang A Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Bauteilen

A1 Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Betonbauteilen

Nachfolgend werden Vorschläge für die Bewertung des Zustandes von Betonbauteilen gegeben.

Diese Vorschläge sollen dazu dienen, die Bewertung des Zustandes der Bauwerksteile nach einheitlichen Gesichtspunkten vornehmen und in das Zustandsprotokoll übertragen zu können. Die Bewertung erfolgt in Anlehnung an die Kunstbautendatei des ASB in 5 Stufen.

Zustandsstufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
1	Guter Zustand	<p>Es werden keine erwähnenswerte Mängel, Schäden oder Probleme beobachtet. Kleinere Risse ohne Abplatzungen, Abschieferungen oder Ausblühungen können auftreten. Flecken, die auf verschiedene Feuchtigkeitsgrade hinweisen, sind unbedeutend.</p> <p>Feine Risse (Haarrisse) infolge Biegebeanspruchungen oder Schwindens können vorhanden sein, die Bewehrung liegt jedoch noch nicht frei. Die Feststellungen sind zu dokumentieren.</p> <p>Der auf Höhe der Bewehrung gemessene Chloridgehalt ist kleiner als 0.1 %, bezogen auf den PC-Gehalt.</p>
2	Annehmbarer Zustand	<p>Einige kleinere Schäden, wie beispielsweise abdichtbare Risse in Fahrbahnplatten, leichte Abplatzungen usw., die im Rahmen von Routineunterhaltsarbeiten behoben werden können, sind feststellbar. Insgesamt sind aber weniger als 10% der Tragkonstruktion beschädigt, einschliesslich der schon reparierten Flächen.</p> <p>Bei auftretenden Haarrissen sind keine Betonzerstörungen zu beobachten. Auch hier können Flecken auf unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte im Beton hinweisen; da ihre Ausbreitung aber örtlich sehr begrenzt ist, sind sie noch nicht als gravierend einzustufen, können aber infolge der Frostgefahr auf mögliche zukünftige Schadensbildungen hinweisen. Überdies können Risse mit Ausblühungen vorhanden sein.</p> <p>Bei Verkehrsbauten sind kleinere Anfahr- oder Anprallschäden bei nichttragenden Elementen festzustellen.</p> <p>Bei Abstützungen in fliessenden Gewässern liegt die Fundamentoberseite nur teilweise frei; Fundamentverschiebungen sind hingegen noch keine festzustellen.</p> <p>Der gemessene Chloridgehalt ist kleiner als 0.2%.</p>

Zustandsstufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
3	Schadhafter Zustand	<p>Starke Rissbildung und starke Abschuppungen an der Bauwerksoberfläche, die 20 bis 40% der Oberfläche betreffen (einschliesslich der schon reparierten Stellen) sind feststellbar. Es treten einige durchgehende Risse mit bedeutenden Ausblühungen auf. Die schlaffe Bewehrung weist lokale Korrosionen auf, nicht jedoch der Spannstahl.</p> <p>Alle Tragelemente sind zwar noch funktionstüchtig, weisen aber Risse, Abplatzungen oder starke Abschuppungserscheinungen auf.</p> <p>Die Lager sind infolge starker Verschmutzung nicht mehr voll funktionsfähig.</p>
4	Schlechter Zustand	<p>Fortgeschrittener Korrosionsabtrag bei der Hauptbewehrung, Zerstörungen oder Abplatzungen sind feststellbar. Die Hauptbewehrung ist zwar noch genügend verankert, ist aber streckenweise freiliegend. Bei auf Ermüdung beanspruchten Bauteilen ist den örtlichen Kerbwirkungen infolge Lochfrass besonders Rechnung zu tragen.</p> <p>40 bis 60% der Betonoberfläche sind zerstört oder verseucht, einschliesslich der schon reparierten Stellen. Umfangreiche durchgehende Risse mit Ausblühungen treten über die ganze Oberfläche verteilt auf. Es können sowohl Biegerisse wie auch Schubrisse vorhanden sein.</p> <p>Bei Druckgliedern ist der von der Bügelbewehrung umschlossene Betonkern noch nicht durch Risse oder durch Querschnittsverringern betroffen.</p> <p>Funktionsuntüchtige Lager können infolge Zwängungen in den direkt betroffenen Bauteilen zu örtlichen Schäden führen.</p> <p>Beim Überbau können möglicherweise schon kleinere Setzungen festgestellt werden.</p>
5	Alarmierender Zustand	<p>Ein grosser Teil des Bauwerks ist stark angegriffen: Die Zerstörung der Hauptbewehrung ist stark vorangeschritten. Es sind weit geöffnete Biege- und Schubrisse (Rissbreite > 0.5 mm) vorhanden. Die Zugsbewehrung liegt teilweise frei. Die Haupttragelemente weisen deutlich erkennbare, nicht planmässige, bleibende Verformungen auf.</p>

Zustands- stufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
--------------------	----------------------------	----------------------------

Bei der Spannbewehrung können örtlich Querschnittsverluste infolge gebrochener Drähte auftreten, die sich durch Rissbildungen im Beton bemerkbar machen.

Bei Stützenköpfen können grössere Risse unter den Lagern auftreten sein.

Bei Abstützungen in fliessenden Gewässern können Kolkerscheinungen oder Unterspülungen der Fundamente möglich sein, wodurch Stabilität und Standsicherheit des Bauwerks gefährdet sein können. Es sind auch schon grössere Setzungen eingetreten.

Die Nutzung muss u.U. eingeschränkt, eventuell sogar temporär eingestellt werden, bis Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen vorliegen.

A2 Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Stahlbauteilen

Nachfolgend werden Vorschläge für die Bewertung des Zustandes von Bauwerksteilen im Stahlbau gegeben. Bei Stahltragwerken ist besonders der Ermittlung der vorhandenen Stahlgüte Beachtung zu schenken, da Schweissarbeiten als mögliche Instandsetzungsmassnahme nicht bei jeder Stahlgüte durchgeführt werden können.

Diese Vorschläge sollen dazu dienen, die Bewertung des Zustandes der Bauwerksteile nach einheitlichen Gesichtspunkten vornehmen und in das Zustandsprotokoll übertragen zu können. Die Bewertung erfolgt in Anlehnung an die Kunstbautendatei des ASB in 5 Stufen.

Zustands- stufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
1	Guter Zustand	<p>Es sind keine Mängel oder Schäden zu beobachten. An der Oberfläche können leichte Verfärbungen festgestellt werden.</p> <p>Bei Flusspfeilern oder Stützen sind Kratzspuren infolge Geschiebe oder Anprallvorgänge möglich.</p>
2	Annehmbarer Zustand	<p>Oberflächlich sind kleinere Schäden auf der Schutzschicht festzustellen, eine Schwächung der Querschnitte ist jedoch noch nicht aufgetreten. Insgesamt sind weniger als 10% der Tragkonstruktion betroffen. Vereinzelt ist beginnender Lochfrass bei vorwiegend statisch beanspruchten Bauteilen zu beobachten. Ebenfalls können bei solchen Bauteilen ganz vereinzelt gelockerte Verbindungsmittel (Niete oder Schrauben) festgestellt werden.</p>
3	Schadhafter Zustand	<p>Leichte Korrosionen können über grössere Flächen verteilt vorkommen. Es können bis etwa 20% der Gesamtoberfläche betroffen sein. Es ist aber noch kein merklicher Metallabtrag festzustellen; der Querschnittsverlust beträgt aber weniger als 5%. Zwischen Platten kann Kontaktkorrosion stattfinden. Gelockerte Verbindungsmittel sind vereinzelt erkannt worden.</p> <p>Lager sind infolge starker Verschmutzung nicht mehr voll funktionsfähig.</p> <p>Bei Verkehrsbauten sind kleinere Anfahr- oder Anprallschäden bei nichttragenden Elementen festzustellen.</p>
4	Schlechter Zustand	<p>Fortgeschrittener Querschnittsverlust infolge Korrosionsabtrag ist feststellbar. Etwa die Hälfte der Haupttragelemente sind davon betroffen.</p>

Zustands- stufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
--------------------	----------------------------	----------------------------

Bei Druckgliedern sind grössere seitliche Auslenkungen feststellbar (Knick- und Beulgefahr!).

Die Verbindungsmittel in untergeordneten Bauteilen können teilweise gelockert sein, aber noch nicht gebrochen; bei Schweissnähten treten bei diesen Bauteilen gelegentlich Anzeichen von Anrissen auf.

Funktionsuntüchtige Lager können infolge Zwängungen in den direkt betroffenen Bauteilen zu örtlichen Schäden führen.

5	Alarmierender Zustand	<p>Die Querschnittsverluste infolge Korrosionsabtrag sind nicht mehr vernachlässigbar, sie machen mehr als 10% aus. Bei auf Ermüdung beanspruchten Bauteilen ist den örtlichen Kerbwirkungen infolge Lochfrass besonders Rechnung zu tragen.</p> <p>Es sind deutlich erkennbare, nicht planmässige, bleibende Verformungen zu erkennen, insbesondere bei Druckgliedern, welche auf Ausknicken oder Ausbeulen hindeuten.</p> <p>Neben gelockerten Verbindungsmitteln sind auch gebrochene festzustellen. Risse bei Schweissnähten treten über grössere Längen auf.</p> <p>Es sind auch schon grössere Setzungen eingetreten. Bei Stützenköpfen können grössere Risse unter den Lagern aufgetreten sein.</p> <p>Die Nutzung muss u.U. eingeschränkt, eventuell sogar temporär eingestellt werden, bis weitere Untersuchungsergebnisse vorliegen.</p>
---	-----------------------	--

A3 Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Bauteilen aus Mauerwerk

Nachfolgend werden Vorschläge für die Bewertung des Zustandes von in Mauerwerk ausgeführten Bauteilen und Bauwerken gegeben.

Diese Vorschläge sollen dazu dienen, die Bewertung des Zustandes der Bauwerksteile nach einheitlichen Gesichtspunkten vorzunehmen und in das Zustandsprotokoll übertragen zu können. Die Bewertung erfolgt in Anlehnung an die Kunstbautendatei des ASB in 5 Stufen.

Zustands- stufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
1	Guter Zustand	<p>Es sind keine erwähnenswerten Mängel ausser kleineren Abplatzungen, Abschieferungen oder Ausblühungen sowie oberflächliche Zersetzungerscheinungen der Steine feststellbar. Auch in den Fugen sind vereinzelt Risse oder örtlich sehr begrenzte Ausbrüche festzustellen. Der Fugenmörtel ist aber noch hart. Flecken, die verschiedene Feuchtigkeitsgrade andeuten, sind unbedeutend.</p> <p>Bei Flusspfeilern oder Stützen sind Kratzspuren infolge Geschiebe oder Anprallvorgänge möglich.</p>
2	Annehmbarer Zustand	<p>Einige kleinere Schäden, wie beispielsweise leichte Abplatzungen und Verwitterungen, die im Rahmen von Routineunterhaltsarbeiten behoben werden können, sind feststellbar. Insgesamt sind aber weniger als 10% der Konstruktion angegriffen oder beschädigt.</p> <p>Flecken können auf unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte in den Steinen hinweisen; da ihre Ausbreitung örtlich begrenzt ist, sind sie noch nicht als gravierend einzustufen, können aber infolge der Frostgefahr auf mögliche zukünftige Schadensbildungen hinweisen.</p> <p>Es treten Risse mit Ausblühungen oder abgeplatzten Teilen auf.</p> <p>Der Fugenmörtel ist stellenweise ausgebrochen, die Steine berühren sich teilweise direkt und punktförmig.</p> <p>In der Umgebung der Fundamente von Abstützungen in fließenden Gewässern liegt die Fundamentoberseite noch nicht frei.</p> <p>Die Schädigungen sind zu dokumentieren.</p>

Zustandsstufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
3	Schadhafter Zustand	<p>Stärkere Rissbildung, Abwitterungen, Abplatzungen, Spaltungen und chemische Veränderungen, die bis in tiefere Zonen der Steine reichen, können festgestellt werden. Infolge starker Abschuppungserscheinungen können 20 bis 40% der Oberfläche zerstört oder angegriffen sein. Nassstellen sind weit verbreitet.</p> <p>Es treten einige durchgehende Risse mit bedeutenden Ausblühungen auf.</p> <p>Der Fugenmörtel ist über grössere Partien hinweg ausgebrochen, die Steine sind teilweise gelockert.</p> <p>Die Lager sind infolge starker Verschmutzung nicht mehr voll funktionsfähig.</p>
4	Schlechter Zustand	<p>Fortgeschrittene Abwitterungen oder Abplatzungen sind feststellbar. Über 25% der Oberfläche sind abgeplatzt oder angegriffen.</p> <p>Ausblühungen können aber auch flächenhaft über ganze Bauteile auftreten, ebenso feuchte Stellen.</p> <p>Gelockerte Steine und verbreitete Fugenmörtelausbrüche sind zu beobachten. In den durchfeuchteten Zonen setzen sich Algen und Moos an.</p> <p>Es treten umfangreiche durchgehende Risse mit Ausblühungen über die ganze Oberfläche auf.</p> <p>Funktionsuntüchtige Lager können infolge Zwängungen in den direkt betroffenen Bauteilen zu örtlichen Schäden führen.</p>
5	Alarmierender Zustand	<p>Örtlich haben sich Steine aus dem Verband gelöst, damit können lokale Verformungen auftreten. Verwitterungen, Abplatzungen, Ausblühungen und Nassstellen treten über mehr als 50% der Oberfläche auf.</p> <p>Grosse, durch Fugen und/oder Steine verlaufende Risse zeigen, dass sich einzelne Bauteile wie Flügelmauern oder Wangen vom Widerlager oder vom Gewölbe lösen. Über mehr als 15% der Oberfläche sind einzelne Steine oder Steinpartien aus dem Verband gelöst. Überdies weisen starke Risse auf Überbeanspruchungen im Bauwerk hin.</p>

Zustandsstufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
---------------	-------------------------	----------------------------

In Anwesenheit von Stahlteilen entstehen korrosionsbedingte Abplatzungen. Ausserdem haben sich auch Pflanzen mit ihren Wurzeln in den Fugen festgesetzt und beginnen das Gefüge aufzusprengen.

Es treten deutlich erkennbare, nicht planmässige, bleibende Verformungen auf.

Der Fugenmörtel ist über mehr als 50% der Oberfläche ausgebrochen oder ausgeschwämmt.

Bei Stützenköpfen können grössere Risse unter den Lagern auftreten.

Bei Flusspfeilern können Kolkerscheinungen oder Unterspülungen der Fundamente möglich sein, wodurch die Stabilität und die Standsicherheit des Bauwerks gefährdet ist. Es sind auch schon grössere Setzungen eingetreten.

Die Nutzung muss u.U. eingeschränkt, eventuell sogar temporär eingestellt werden, bis Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen vorliegen.

A4 Vorschläge zur Bewertung des Zustandes von Holzkonstruktionen

Nachfolgend werden Vorschläge für die Bewertung des Zustandes von Holzkonstruktionen gegeben.

Diese Vorschläge sollen dazu dienen, die Bewertung des Zustandes der Bauwerksteile nach einheitlichen Gesichtspunkten vornehmen und in das Zustandsprotokoll übertragen zu können. Die Bewertung erfolgt in Anlehnung an die Kunstbautendatei des ASB in 5 Stufen.

Zustands- stufe	Bewertung des Zustandes	Beschreibung des Zustandes
1	Guter Zustand	Keine erwähnenswerten Mängel (vereinzelte Insektenausfluglöcher, Spalten, Verfärbungen sind möglich)
2	Annehmbarer Zustand	Oberflächenschäden infolge Insekten und mechanischer Beanspruchung resp. Abnutzung Mangelhafte Belüftung Verwitterung (graue Verfärbung) Gelockerte Schrauben Verschmutzung
3	Schadhafter Zustand	Durchnässung, Pilzbefall, morsche Stellen Tiefreichender Insektenbefall Sichtbare Durchbiegung, Stauchungen, Quetschungen, Anfahr-schäden Korrosion an Verbindungsmitteln
4	Schlechter Zustand	Querschnittsverminderung an voll beanspruchten Hölzern und Verbindungsmitteln Morsche Stellen im Bereich von Holzverbindungen und Auflagern Starke Verformungen
5	Alarmierender Zustand	Bruch einzelner Hölzer oder Verbindungsmittel Befall durch den Kellerhausschwamm

Anhang B Typische Schadensbilder

Geometrie des Bauwerkes	116
Foundation	117
Lager	118
Fugenübergänge	119
Abdichtung (Belag)	120
Geländer/Leiteinrichtungen	121
Entwässerungseinrichtungen	122
Nebenanlagen	123
Beton 1: Qualität der Oberfläche	124
Beton 2: Äussere Einwirkungen	125
Beton 3: Vernässung	126
Schutzschichten auf Beton	127
Bewehrung 1	128
Bewehrung 2	129
Spannglieder	130
Risse in Betonkonstruktionen 1	131
Risse in Betonkonstruktionen 2	132
Stahlkonstruktionen Korrosionsschutz	133
Stahlkonstruktionen Verbindungen	134
Stahlkonstruktionen Wasserableitung	135
Befestigungselemente aus Stahl	136
Natursteinmauerwerk 1	137
Natursteinmauerwerk 2	138
Holzkonstruktionen	139

Anhang B Typische Schadensbilder

Geometrie des Bauwerkes



Verformung des Konsolkopfes infolge Pfeilereinsenkungen



Fachwerkstab verformt durch mechanische Einwirkung



Durchhängende einfeldrige Holzbrücke

Generelles

Jedes Bauwerk weist eine ganze Anzahl natürlicher geometrischer Elemente auf, die bei einer Überprüfung Rückschlüsse auf Unregelmässigkeiten erlauben. So ist z. B. ein Brückenrand horizontal oder er weist ein kontinuierliches Gefälle auf oder die Fugenränder zwischen zwei Stützmaurelementen sind parallel. Die normalen Verformungen infolge Temperatur, Kriechen, Schwinden und Belastungen sind in der Regel klein und nicht oder kaum sichtbar. Grössere Abweichungen von dieser natürlichen Sollage sind von Auge relativ einfach festzustellen.

Typische Mängel und Schäden

Bei den von blossen Auge sichtbaren Veränderungen der Geometrie eines Bauwerkes handelt es sich vorwiegend um Einsenkungen in einem horizontalen über mehrere Felder durchlaufenden Tragelement, Veränderungen der Fugenweite zwischen zwei Bauteilen oder Absätze zwischen zwei Bauelementen.

Spezielle Hinweise

Die Ursachen für solche Unregelmässigkeiten in der Geometrie sind z. B. Verkippungen und Setzungen der Foundationen infolge Verformungen des Baugrundes, Ausfall von Tragelementen (einzelne Stützelemente, Aufhängeelemente, Spannglieder, Verbindungselemente wie Dornen, Schrauben, usw.), Deformationen oder Blockierung von Lagern.

Fundation

Generelles

Die Fundamente eines Bauwerkes stellen die Verbindung zwischen dem künstlich geschaffenen Bauwerk und dem natürlich vorhandenen oder allenfalls künstlich erstellten Untergrund dar. Die Fundamente haben sämtliche Lasten aus dem Bauwerk sicher in den Baugrund zu übertragen. Der Baugrund darf unter diesen Lasten keine unzulässigen Verformungen erleiden. Fundamente müssen so tief in den Untergrund eingebettet sein, dass der Baugrund unterhalb der Fundation keinen klimatischen Einflüssen (v.a. Frost, Wasser) unterworfen ist. Fundamente sind deshalb nur erschwert einsehbar.

Unvorhergesehene oder rasch ablaufende Ereignisse (Kolkbildungen, Erosionen, Rutschungen, Setzungen, usw.) können den Baugrund unterhalb der Fundation beeinträchtigen. Solche Ereignisse sind die häufigsten Ursachen für den vollständigen oder weitgehenden Verlust der Benützbarkeit von Bauwerken.

Typische Mängel und Schäden

Neben Baugrundsetzungen sind Unterkolkungen und Erosionen durch Hochwasser, Schlammlawinen, usw. die häufigsten Ursachen für Schäden. Schadenverursachende Unterkolkungen sind aber auch ohne Hochwasser möglich. Meist sind dann menschliche Eingriffe in den Wasser- oder Geschiebehalt (z.B. Geschiebeentnahme, Absenkung eines Sohlenfixpunktes oder Stauhaltung) eines Gewässers die indirekte Ursache.

Spezielle Hinweise

Bei der Zustandsuntersuchung von Fundationen kommt es immer wieder vor, dass zuverlässige Angaben über die Lage und Geometrie der Fundamente oder über den Baugrund fehlen. Noch vor wenigen Jahren wurden heute selbstverständliche Abklärungen der Baugrundverhältnisse immer wieder unterlassen. Der Untersuchende ist gezwungen, aufgrund sorgfältiger Abwägung zwischen Bedeutung, Gefährdung und Aufwand dem Bauwerkseigentümer allenfalls ergänzende Abklärungen zu beantragen.



Unterkolkung eines Brückenwiderlagers



Unterkolkung der Fundation eines Strompfeilers



Freigelegte Fundation eines Landpfeilers durch Seitenerosion während Hochwasser

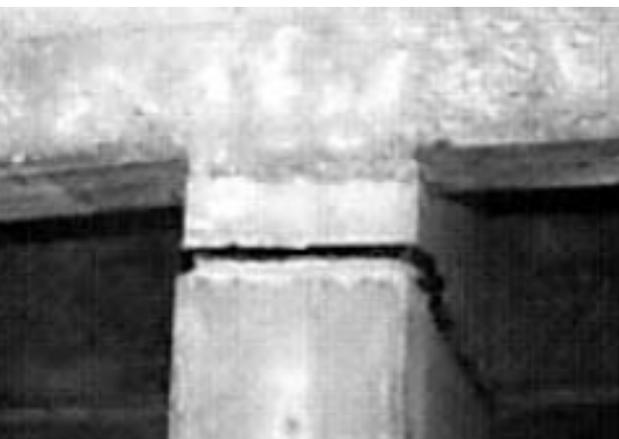
Lager



Lagerblockierung infolge übermässiger Verschiebung



Rostspuren infolge Korrosion an Lagerkörper



Auspresen von Neopren aus einem undichten Lagerkörper

Generelles

Allseitig oder beschränkt bewegliche Lager gewährleisten die statischen Randbedingungen eines Tragwerkes. Behinderungen der Beweglichkeit der Lager können zu schwerwiegenden Schäden am Tragwerk infolge unzulässiger Beanspruchungen aus Zwang führen. Die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit der Lager hat eine hohe Priorität im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Sicherheit eines Tragwerkes. Lager sind Bauelemente, die aufgrund der hohen Belastung im Vergleich mit anderen Tragwerksteilen eine kürzere Lebensdauer aufweisen können. Der Ersatz eines Lagers ist deshalb nicht unbedingt eine aussergewöhnliche Massnahme.

Typische Mängel und Schäden

- Verschmutzung
- Korrosion an den Lagerkörpern
- Blockierung der Lager (z.B. Anstehen an der Konstruktion oder zu grosse Bewegung von Lagerrollen bis über die Lagerplatte)
- Auspressen von Neopren aus undichten Topflagern

Spezielle Hinweise

Lager müssen auch zwischen den Inspektionen durch das Unterhaltspersonal überwacht werden. Es ist daher zweckmässig, wenn die Lagerstellung anhand einer fest am Lager angebrachten Markierung überprüft werden kann. Die Lagerstellung ist jeweils auf einem Protokollformular (inkl. Datum und meteorologischen Angaben wie Wetter und Temperatur) festzuhalten.

Werden blockierte Lager an einem Bauwerk entdeckt, so ist umgehend auf allenfalls bereits eingetretene Sekundärschäden zu achten.

Fugenübergänge

Generelles

Fugenübergänge (inkl. Fahrbahnübergänge) sind an Bewegungsfugen zwischen einzelnen Teilen oder an der Begrenzung eines Bauwerkes angeordnet. Sie haben in erster Linie die Gebrauchstauglichkeit sicherzustellen. Zudem werden den Übergangskonstruktionen Schutz Aufgaben für andere Teile des Bauwerkes zugewiesen. Insbesondere Fahrbahnübergänge bei Strassen sind höchsten Belastungen und Verschleiss ausgesetzt. Ihre Lebensdauer ist daher begrenzt. Damit weitere Teile des Bauwerkes (Widerlager, Pfeiler, Lager, Verankerungsbereiche von Vorspannkabeln, usw.) nicht der Beanspruchung durch Salzwasser ausgesetzt werden, sind Fahrbahnübergänge heute in der Regel wasserdicht. Diese Massnahme kann auch in Gebäuden (z.B. Parkgaragen) ergriffen werden, um Fugen vor dem Eindringen schädlicher Medien zu schützen.

Typische Mängel und Schäden

- Verschmutzung
- Behinderung der Bewegungsfreiheit
- Absätze zwischen den Fugenrändern
- relative Querverschiebung der Fugenränder
- mangelhafte Verankerung im Bauwerk
- Risse in der Stahlkonstruktion
- Wasserundichtigkeit

Spezielle Hinweise

Die Wasserundichtigkeit von Fugenübergängen sollte während und nach Niederschlägen kontrolliert werden.

Werden Wasserundichtigkeiten festgestellt, ist auf Folgeschäden infolge Versalzung weiterer Bauteile zu achten.



Querverschiebung



Wasserundichtigkeit eines Fahrbahnüberganges

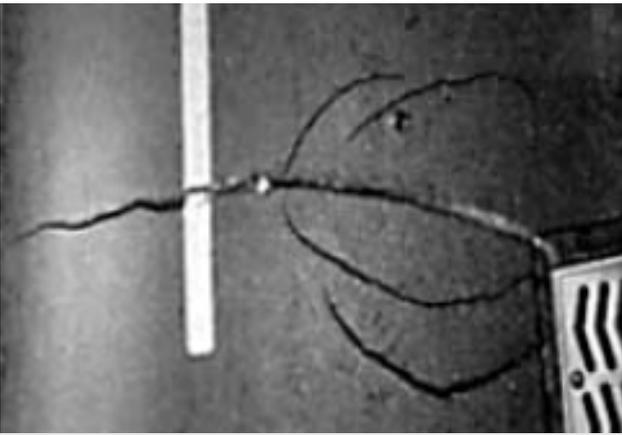


Gelöste Befestigung eines Fahrbahnüberganges

Abdichtung (Belag)



Blasenbildung im Belag und in der Abdichtung



Risse in Belag und Abdichtung (?) ausgehend von Schachtecke



Pflanzenwuchs im Bereich des Randabschlusses des Belages und der Abdichtung

Generelles

Wie die Erfahrungen der letzten Jahre klar vor Augen geführt haben, sind funktionstüchtige Abdichtungen für die Dauerhaftigkeit von Bauwerken im Einflussbereich aggressiver Medien (vor allem Salzwasser) von entscheidender Bedeutung. Die Abdichtungen im Verkehrsbereich sind andererseits einer gewaltigen Belastung ausgesetzt und weisen deshalb ähnlich den Belägen eine begrenzte Lebensdauer auf. Der periodische Ersatz einer Abdichtung ist deshalb nichts Aussergewöhnliches.

Typische Mängel und Schäden

- Undichte Randanschlüsse
- Ablösung vom Untergrund und Unterläufigkeit (bei geklebter Abdichtung)
- Blasenbildung (evtl. ungenügende Dampfdruckentlastung)
- Undichtigkeiten der Randanschlüsse, Anschlüsse bei Schächten, Entwässerungen, usw.
- Verletzungen durch Baumassnahmen
- Beschädigung durch Brand

Spezielle Hinweise

Hinweise auf undichte Abdichtungen lassen sich am besten bei einer Inspektion nach einer Niederschlagsperiode gewinnen. Wasserdurchtritte durch die Brückenplatte sind z.B. eindeutige Indizien.

Werden Undichtigkeiten festgestellt, ist auch auf allenfalls bereits eingetretene Folgeschäden (Versalzung der Fahrbahnplatte, evtl. Korrosion der Bewehrung, Zutritt von Salzwasser zu Vorspanngliedern durch unvollständig verschlossene Hüllrohrinjektionsanschlüsse) zu achten.

Für Hinweise zur Erfassung des Zustandes von bituminösen Belägen und Betonbelägen siehe Schadenkatalog VSS, SN 640 925, 1991.

Geländer/Leiteinrichtungen

Generelles

Geländer und Leiteinrichtungen sind Einrichtungen zur Erhöhung der Sicherheit für die Benutzer eines Bauwerkes. Der laufende Unterhalt dieser Elemente erfolgt durch die Unterhaltsequippen. Insbesondere die Befestigungen sind im Bedarfsfall hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Deren Überwachung kann deshalb nicht alleine dem Unterhaltungspersonal überlassen werden.

Typische Mängel und Schäden

- Verschmutzung
- alle Stufen von Korrosionsangriffen (punktförmige bis flächenhafte Angriffe)
- Schäden durch mechanische Beanspruchung
- fehlende oder lose Befestigungen (Schrauben, Nieten)
- gerissene Schweissnähte
- Versprödung von Befestigungen (Dübel) durch Chlorideinwirkung
- beschädigte oder zerstörte Verankerungen, die direkt im Bauwerk einbetoniert worden sind

Spezielle Hinweise

Eine Beurteilung der Befestigungsmittel auf Versprödung ist schwierig, d.h. praktisch nur durch Laborversuche an ausgebauten Elementen möglich. Immerhin sollten entsprechende Abklärungen eingeleitet werden, wenn bei einem Unfall Sprödbrüche bei den Befestigungen aufgetreten sind.

Mit direkt ins Bauwerk einbetonierten Verankerungen sind keine guten Erfahrungen gemacht worden. Heute werden vorwiegend nachträglich gebohrte Dübel oder mittels einer Lehre in die Schalung versetzte Schlaudern mit Gewindeenden verwendet. Letztere haben den Nachteil, dass sie beim Einbringen und Vibrieren des Betons eine Behinderung darstellen, wodurch die Qualität des Betons an der höchstbeanspruchten Konsoloberfläche beeinträchtigt werden kann.



Korrosion an einem ursprünglich verzinkten Stahlgeländer infolge Abtrag der Verzinkung



Gefährliches Geländer



Zerstörte Pfostenbefestigung in Mauerkrone

Entwässerungseinrichtungen



Undichter Einlauf der Brückenentwässerung



Im Innern eines Brückenkastens gebrochene Entwässerungsleitung



Durch Kalkausscheidungen verstopfte Drainageleitung

Generelles

Entwässerungseinrichtungen sind in unseren Breitengraden bei praktisch allen Bauwerken zu finden. Sie haben sowohl bezüglich der Gebrauchstauglichkeit in verschiedenen Fällen aber auch für die Sicherheit eine grosse Bedeutung. Einerseits haben sie die Aufgabe, Wasser, das bei Eindringen ins Bauwerk Schaden anrichten könnte, abzuleiten. Andererseits müssen Entwässerungseinrichtungen verhindern, dass im Baugrund bzw. zwischen Baugrund und Bauwerk unzulässige Wasserdrücke entstehen können, die die Standsicherheit des Bauwerkes gefährden könnten.

Typische Mängel und Schäden

- Verstopfung durch Schmutz, Laub, Kalkausscheidungen, usw.
- Bruch infolge mechanischer Einwirkungen, Verschiebungen infolge Temperatur, Deformationen des Baugrundes, usw.

Spezielle Hinweise

Entwässerungseinrichtungen müssen regelmässig überprüft und gewartet (gereinigt) werden. Die Funktionstüchtigkeit wird am besten während oder kurz nach einem Niederschlag überprüft. Bei sicherheitsrelevanten Drainageeinrichtungen, z.B. Drainage eines sonst instabilen Hanges, sind regelmässig Kontrollmessungen vorzunehmen, zu protokollieren und zu beurteilen. Ist eine Entwässerung während längerer Zeit nicht mehr funktionstüchtig (z.B. gebrochene Leitung hat sich in eine Brückenkasten entleert), ist unbedingt auf allfällige Folgeschäden (z.B. Chloridinfiltrationen) zu achten.

Nebenanlagen

Generelles

Nebenanlagen wie auch elektromechanische Einrichtungen wie Geländer, Beleuchtungs- und Belüftungseinrichtungen, Licht- und Verkehrssignale, usw. sind insbesondere bei Verkehrsanlagen äusserst wichtig für die Funktion des Systems.

Typische Mängel und Schäden

- Verschmutzung
- Chloridablagerungen
- alle Varianten von Korrosionsangriffen
- Beschädigungen an Befestigungen
- fehlende oder lose Verbindungsmitel
- Schäden durch mechanische Einwirkungen

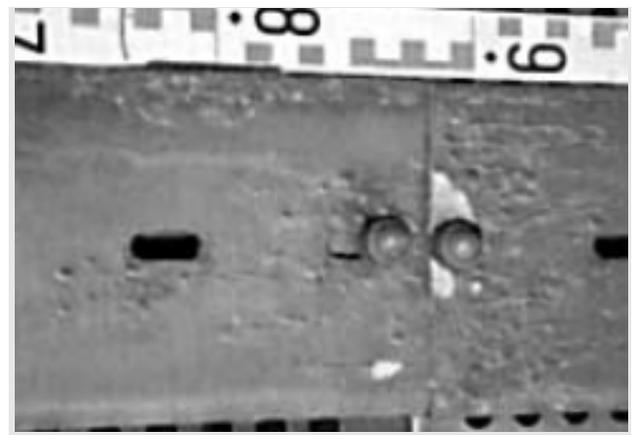
Spezielle Hinweise

Ein gemeinsames Merkmal der Nebenanlagen ist, dass sie meist nur schwer zugänglich sind und deshalb nur mit entsprechenden Hilfsmitteln geprüft werden können.

Für Werkleitungen, die ein Bauwerk queren, sind zwar die entsprechenden Werke zuständig. Bei einer Zustandserfassung sollten die Werkleitungen jedoch miteinbezogen werden. Besondere Feststellungen betreffend deren Zustand sind festzuhalten und an das entsprechende Werk weiterzuleiten. Das zu untersuchende Bauwerk kann z.B. durch unsachgemässe Befestigungen oder Durchbrüche, die für die Führung der Werkleitungen vorgenommen worden sind, beeinträchtigt sein.



Signalanlagen sind wichtig für die Funktion

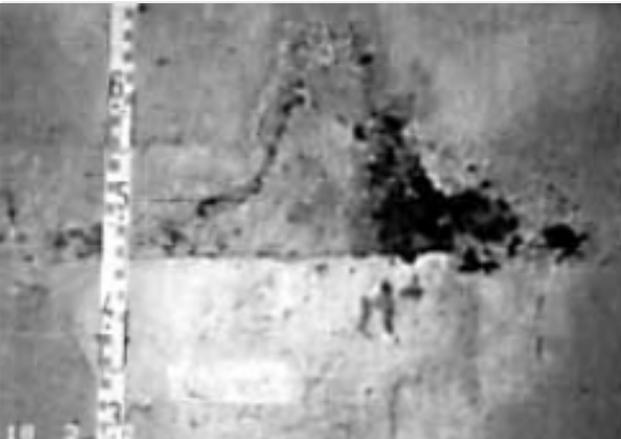


Ablösung des Anstriches eines Befestigungsbleches für Lärmschutzelemente

Beton 1: Qualität der Oberfläche



Farbunterschiede zwischen zwei Betonieretappen



Kiesnester an der Oberfläche verursacht durch undichte Schalung



Holzeinschluss

Generelles

Beton ist im allgemeinen ein an Ort verarbeiteter Baustoff. Lokale Randbedingungen wie etwa Qualifikation des Personals, Sorgfalt beim Betonieren, Schalungsmaterial, Witterung, usw. beeinflussen die Verarbeitung des Betons. Selbst der meist als Fertigbeton angelieferte Baustoff schwankt in seiner Zusammensetzung (z.B. im Vergleich mit einem Baustoff wie Stahl).

Diese Randbedingungen beeinflussen die Erscheinung der Oberfläche einer Betonkonstruktion. Nicht alle Abweichungen von der optimalen Oberflächenbeschaffenheit sind hingegen als Mangel oder Schaden zu betrachten. Die Einstufung ist allerdings abhängig von den Anforderungen, die an ein Bauwerk bzw. eine Betonoberfläche gestellt werden (z.B. Ästhetik, aggressive Umgebung).

Typische Mängel und Schäden

- Farbunterschiede
- Lunker
- Kiesnester
- Abzeichnung der Schalungsstruktur
- Verschmutzung
- Holzeinschlüsse
- Einschlüsse von anderen Fremdstoffen

Spezielle Hinweise

Mängel, die die Dicke oder Dichtigkeit der Betonüberdeckung der Bewehrung reduzieren, können mittel- bis längerfristig die Dauerhaftigkeit der Bewehrung gefährden (Stichworte: Karbonatisierung, Chlorideindringung).

Werden an ein Bauteil hohe Anforderungen bezüglich Dichtigkeit gestellt (z.B. bei Salzwasserangriff), sind Oberflächenmängel nicht tolerierbar. Kiesnester und Hohlstellen können auch durch eine dünne Zementschicht verdeckt sein, durch Abklopfen von verdächtigen Stellen mit dem Hammer sind diese leicht zu eruieren.

Holzeinschlüsse haben eine Sprengwirkung auf den Beton, sobald das Holz Wasser aufsaugen kann. Sie führen zudem zu Korrosion an der Bewehrung.

Beton 2: Äussere Einwirkungen

Generelles

Jedes Bauwerk ist neben der Nutzung auch klimatischen Einflüssen ausgesetzt. Insbesondere die Baustoffe erleiden durch die verschiedenen Einflüsse eine Veränderung (Alterung). Solche Veränderungen sind nicht als Schäden zu bezeichnen, solange die Gebrauchstauglichkeit (Funktionsfähigkeit und Aussehen), die Sicherheit und die Dauerhaftigkeit eines Bauwerkes nicht beeinträchtigt werden.

Typische Mängel und Schäden

- Absanden
- Abblättern
- Abplatzungen an der Oberfläche
- mechanische Schäden

Spezielle Hinweise

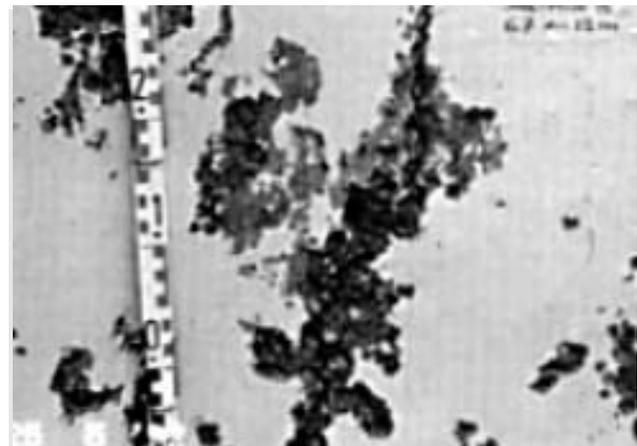
Witterungs- und nutzungsbedingte Oberflächenveränderungen reduzieren den Schutz der Bewehrung vor Korrosionsangriffen, weil die ursprünglich vorhandene Betonüberdeckung in Dicke und Dichtigkeit allmählich verringert wird.

Andererseits erleidet jedes der Witterung und Nutzung ausgesetzte Bauwerk eine Abnutzung. Dies ist normal und bis zu einem bestimmten Mass auch zu tolerieren. Das Verhindern jeglicher Abnutzung wäre eine äusserst unwirtschaftliche Strategie. Bei der Erstellung ist diesem Umstand allerdings Rechnung zu tragen und eine entsprechende Reserve vorzusehen.

Es ist aber darauf zu achten, dass das Ausmass dieser witterungs- und nutzungsbedingten Alterung begrenzt bleibt, sich solche Erscheinungen nicht plötzlich zu Schäden entwickeln und damit zu einer Gefahr für einzelne Bauteile oder das Bauwerk werden können.



Absanden der Betonoberfläche

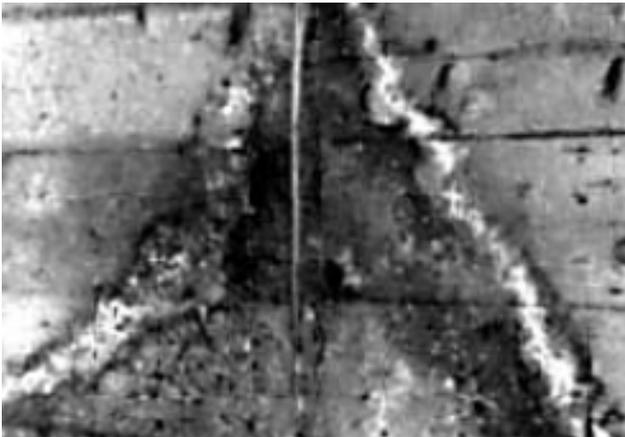


Frost-/Frosttausalzschäden an der Betonoberfläche, teilweise konzentriert im Rissbereich



Kantenschäden infolge mechanischer Einwirkungen

Beton 3: Vernässung



Durchfeuchtung im Bereich einer undichten Arbeitsfuge



Fehlende Wassernase



Ablagerungen und Ausblühungen an der Untersicht einer Brücke

Generelles

Stahlbetonkonstruktionen weisen grundsätzlich immer mehr oder weniger grosse Risse auf. Bei Vorhandensein von Wasser, kann insbesondere durch die grösseren Risse eine Wasserzirkulation einsetzen. Je nach chemischer Zusammensetzung des Wassers löst dieses im Inneren des Betons Kalziumkarbonat, das dann beim Austritt an der Oberfläche des Betons wieder ausgeschieden und abgelagert wird. Auch kann durch das Porensystem des Betons Wasser transportiert werden. Verdampft das durchsickernde Wasser nicht an der Oberfläche, kondensiert es. Es bilden sich Feuchtstellen oder Wasserflecken.

Typische Mängel und Schäden

- Wasserflecken
- Vernässungen
- Wasseraustritte
- Kalkablagerungen
- Versinterung von Rissen
- fehlende Wassernasen

Spezielle Hinweise

Zu einem Wasseraustritt aus einer Betonoberfläche gehört notwendigerweise auch eine Wassereintrittsstelle. Wasser kann zudem immer noch andere ungünstige Stoffe, z.B. Chloride mittransportieren.

Bei Vernässungen ist es deshalb wichtig, der Ursache (z.B. gebrochene oder verstopfte Entwässerungsleitungen, undichte Abdichtungen oder unwirksame Drainagen) auf die Spur zu kommen und auf allfällige Sekundärschäden zu achten.

Zur Abklärung einer möglichen Chloridinfiltration sind meist Laboruntersuchungen erforderlich.

Eine stetige Wasserzirkulation kann einen Riss mit der Zeit aufweiten und statisch unerwünschte Folgen haben. Ebenso ist ein Korrosionsangriff auf die Bewehrung möglich.

Schutzschichten auf Beton

Generelles

Schutzschichten werden heute immer häufiger zum Schutz des Betons vor aggressiven Medien eingesetzt.

Solche Schutzschichten können die ihnen zugewiesene Aufgaben selbstverständlich nur erfüllen, wenn sie richtig appliziert worden sind und nicht durch andere Einflüsse in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

Typische Mängel und Schäden

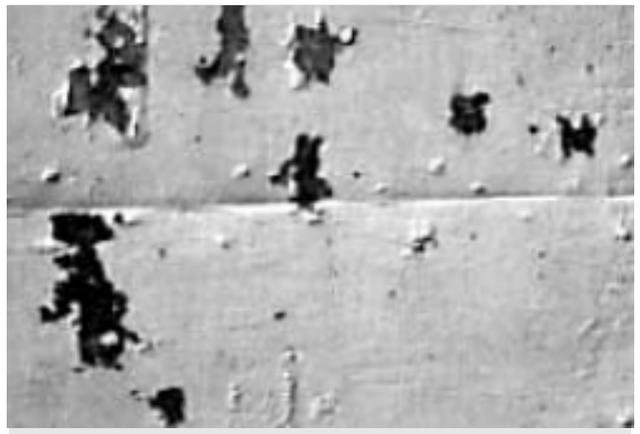
- nicht geschlossene Oberfläche
- Porosität infolge Alterung (z. B. Auskreiben)
- Reduzierte Schichtstärke (z. B. als Folge von UV-Strahlung)
- Verletzung durch mechanische Einwirkungen
- Risse
- mangelhafte Haftung
- Ablösungen (Dampfdruck)

Spezielle Hinweise

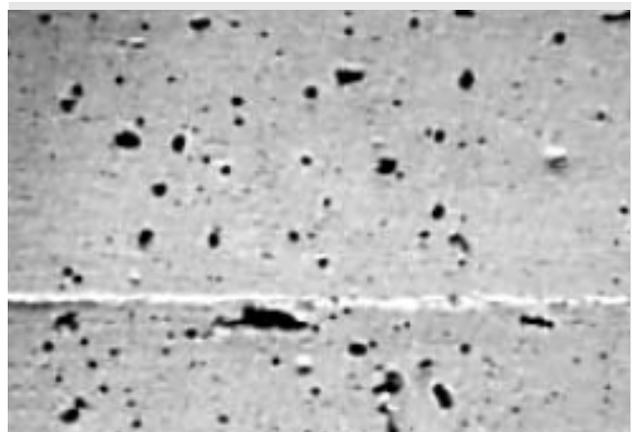
Während mechanische Schäden oder Ablösungen relativ einfach festzustellen sind, sind Alterungsercheinungen, die ebenso zu einer reduzierten Funktionstüchtigkeit führen können, meist nur mittels speziellen Versuchen festzustellen (z. B. Restwirkung einer Hydrophobierung oder der Dichtigkeit eines Anstriches).



Netzrissbildung in Beschichtung



Ablösung eines Anstriches



Ungenügend geschlossene Oberfläche einer Beschichtung

Bewehrung 1



Rostspuren verursacht durch ungenügende Betonüberdeckung der Bindedrähte



Abplatzungen verursacht durch die korrodierende Bewehrung



Freiliegende Bewehrungsstäbe mit fortgeschrittener Korrosion

Generelles

Eine genügend dicke und dichte Betonüberdeckung der Bewehrung ist eine unabdingbare Voraussetzung für einen langfristigen Korrosionsschutz der Bewehrung. Die Dicke der Betonüberdeckung lässt sich heute mit einfachen Geräten relativ genau bestimmen. Schwieriger ist die Bestimmung der Dichtigkeit der Betondeckung. Rostspuren an der Betonoberfläche sind ein sicheres Anzeichen dafür, dass im Innern des Betons Korrosionsvorgänge ablaufen. Schreitet die Korrosion fort, so kommt es infolge der Volumenzunahme der rostenden Bewehrung zu Abplatzungen. Es gibt Beispiele, wo solche Abplatzungen und Absprengungen zur Loslösung ganzer Bereiche der Betondeckung bzw. zur Zerstörung ganzer Bauteile geführt haben.

Typische Mängel und Schäden

- Rostflecken
- Abplatzungen
- Absprengungen
- Rissbildung

Spezielle Hinweise

Korrosionsvorgänge an der Bewehrung sind nur möglich, wenn der durch die hohe Alkalität des Porenwassers im Zementstein vorhandene Korrosionsschutz aufgehoben ist. Als Ursachen sind möglich: Verlust der Alkalität des Porenwassers durch Karbonatisierung, Auslösung der Korrosion durch Chloride, die bis zur Bewehrung vorgedrungen sind (punktförmige Korrosion) oder Korrosion, ausgelöst durch elektrochemische Vorgänge wie Streuströme oder Makroelementbildung. Chloride können heute sicher nur durch Untersuchungen an Bohrkernen oder Bohrmehlproben im Labor bestimmt werden [SIA 162/2]. Beginnende Abplatzungen lassen sich von feinen Haarrissen durch Abklopfen mit dem Hammer unterscheiden.

Bewehrung 2

Generelles

Korrosion beginnt immer an der Oberfläche der Bewehrungsstäbe. Der Angriff kann punktförmig oder eher flächig erfolgen. Der punktförmige Angriff ist meist auf Chloride zurückzuführen und weitet sich als Lochfrass in die Tiefe des Stahles aus. Die Querschnittsreduktion kann bereits bei einer relativ kleinen Angriffsstelle beträchtlich sein. Flächenhafte Korrosion führt zu einem ausgedehnten Korrosionsabtrag, die Querschnittsreduktion des Stabes ist gut erkennbar.

Typische Mängel und Schäden

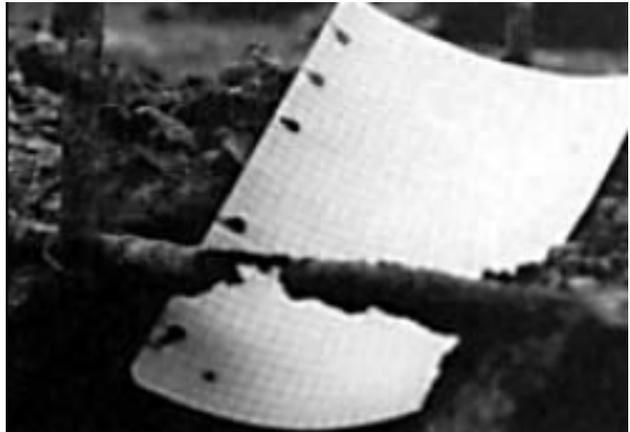
- punktförmige Korrosionsangriffe
- Oberflächenabtrag
- Aufquellen infolge Volumenzunahme der Korrosionsprodukte
- Querschnittsreduktion durch Flächenabtrag oder Lochfrass

Spezielle Hinweise

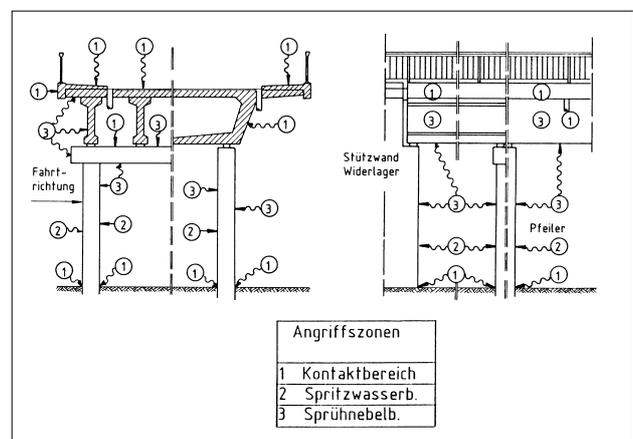
Die Korrosion ist ein elektrochemischer Prozess. Ausgelöst wird die Korrosion durch unterschiedliche elektrochemische Potentiale an einem elektrisch leitenden Werkstoff. Die Potentialunterschiede können mittels der sogenannten Potentialmessung ermittelt werden. Fortgeschrittene Korrosion mit Querschnittsreduktion an der Bewehrung kann zu einer Gefährdung der Sicherheit eines Bauwerkes führen.



Beginnende punktförmige Korrosion an einem Bewehrungsstab verursacht durch Chloride

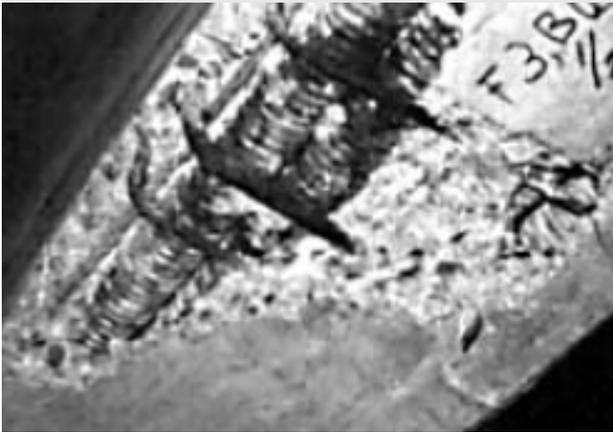


Durchkorrodierte Bewehrungsstäbe



Chloridangriffszonen aus [2.3]

Spannglieder



Ungenügende Umhüllung und Betonqualität bei einem Spannglied



Risse entlang Spannglied an der Betonoberfläche



Zu nahe an der Oberfläche liegende Kabelverankerungen sind korrosionsgefährdet

Generelles

Spannglieder bilden einerseits wichtige Tragelemente eines vorgespannten Tragwerkes, andererseits handelt es sich dabei um relativ empfindliche Bauteile. In der Schweiz kommen überwiegend in Hüllrohren eingelegte, nachträglich gespannte Vorspannsysteme zur Anwendung. Der Korrosionsschutz erfolgt meist mittels Injektion der Hüllrohre nach dem Spannen, womit gleichzeitig der dauernde Verbund zwischen Spannkabel und Betonkonstruktion hergestellt wird.

Beim Spannbettverfahren liegen die Spanndrähte ohne zusätzlichen Schutz durch ein Hüllrohr und eine Hüllrohrinjektion im Beton. Der Abklärung einer allfälligen Chloridverseuchung oder einer fortgeschrittenen Karbonatisierung ist in diesem Falle ganz besondere Beachtung zu schenken.

Typische Mängel und Schäden

- unvollständig oder nicht injizierte Hüllrohre
- Abplatzungen entlang Hüllrohren
- Wasseraustritte aus Rissen entlang Hüllrohren
- Rostspuren entlang Hüllrohren bzw. im Bereich der Kabelverankerungen

Spezielle Hinweise

Nicht injizierte Hüllrohre können sich mit Wasser füllen. Bei Frost können dadurch Risse und Abplatzungen entstehen, die dem Hüllrohrverlauf folgen. Bei nicht injizierten Spannelementen fehlt der Korrosionsschutz.

Spannkabel sind im Unterschied zum normalen Bewehrungsstahl sprödebruchgefährdet. Bereits kleine Korrosionsnarben können deshalb die Funktionstüchtigkeit eines Spannkabels beträchtlich herabsetzen. Diese Gefährdung ist noch ausgeprägter bei Bauteilen, die einer erheblichen Wechselbelastung unterworfen sind (Ermüdung).

Risse in Betonkonstruktionen 1

Generelles

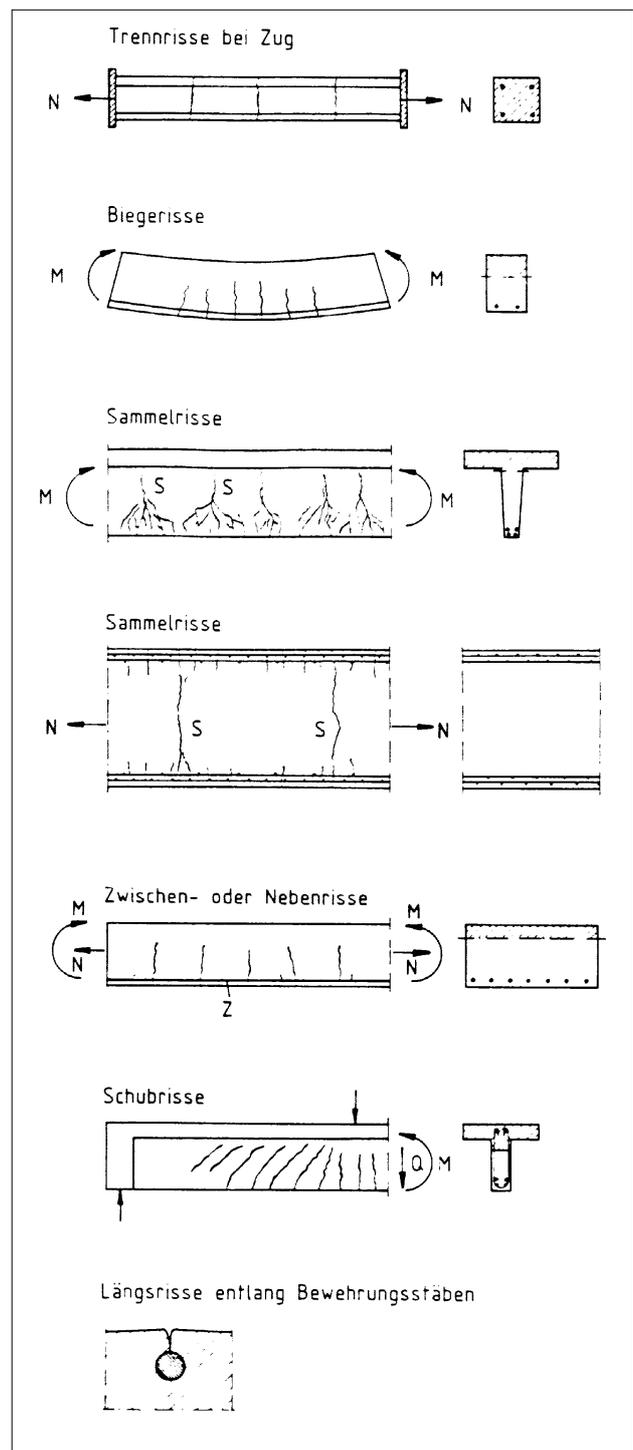
Risse sind in jedem Betonbauwerk vorhanden; Beton ist eine gerissene Bauweise! Einzig das Vorspannen von Bauteilen oder ein hoher Bewehrungsgehalt ermöglichen es, Risse weitgehend zu vermeiden. Viele Risse sind aber weder für die Sicherheit, die Gebrauchstauglichkeit, noch für die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken ein Problem.

Neben den Rissen, die ihre Ursache in der statischen Tragwirkung (z. B. Biegerisse) oder der konstruktiven Ausbildung (z. B. Zwängungsrisse infolge Temperatur, Schwinden oder Setzungen) haben, können auch Risse auftreten, die durch die Herstellung (z. B. infolge Setzungen im Frischbeton) bzw. Veränderungen im Material (z. B. Treiberscheinungen) verursacht sind.

Typische Mängel und Schäden

- oberflächennahe Risse, richtungsorientiert, relativ breit (Setzungsrisse des Frischbetons, Trocknungsschwinden, Korrosionssprengnisse)
- oberflächennahe Risse, netzartig, geringe Breite (Treiberscheinungen, Eigenspannungen der Aussenschale)
- Trennrisse durch wesentliche Teile des Querschnittes (Beanspruchungen aus Last und Zwang)
- Sulfatangriff
- Alkaliaktion (Reaktion alkalilöslicher Kieselsäuren aus dem Zuschlag mit Alkalihydroxid aus dem Zementstein)

Spezielle Hinweise vgl. nächste Seite



Übersicht über statisch und konstruktiv bedingte Risse nach Leonhardt aus [2.3]

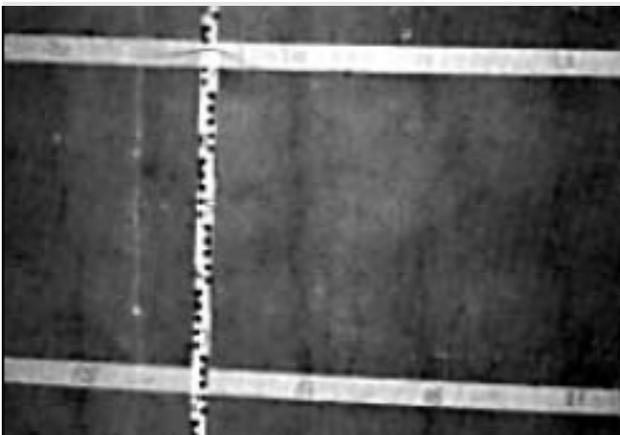
Risse in Betonkonstruktionen 2



Netzrisse



Wasserführender Riss in Brückenplatte



Feine Rissbildung entlang Bewehrung, verursacht durch beginnende Bewehrungskorrosion

Spezielle Hinweise

Neben der Art eines Risses sind auch der Verlauf, die Rissbreite, die Veränderung der Rissbreite und der Zustand der Rissufer von Bedeutung.

Trockene Risse mit einer Breite bis 0.40 mm sind meist ohne grosse Bedeutung. Bei erhöhter Beanspruchung z.B. durch Salzwasser können hingegen bereits feine Risse zu unerwünschtem Eindringen von Chlorid in den Beton führen.

Tritt durch einen Riss Wasser bis zur Bewehrung in den Beton vor, so kann sich an der Bewehrung ein lokales Makroelement bilden. Das Wasser im Riss hat nämlich unter Umständen eine andere Zusammensetzung als das Porenwasser im Beton. Die Bewehrung steht damit im Kontakt mit zwei unterschiedlichen Elektrolyten. Die daraus resultierende Potentialdifferenz kann in der Folge einen Korrosionsvorgang auslösen.

Stahlkonstruktionen Korrosionsschutz

Generelles

Dass Stahlkonstruktionen zur Erreichung einer ausreichenden Dauerhaftigkeit einen sorgfältigen Oberflächenschutz benötigen, ist bekannt, seit diese Bauweise Verbreitung gefunden hat. Der Oberflächen- oder Korrosionsschutz hat in der Regel ein kürzere Lebensdauer als das Bauwerk; eine regelmässige Erneuerung oder Ersatz des Schutzsystems ist deshalb erforderlich. Eine reduzierte Wirkung eines Schutzsystems zeigt sich beim Auftreten durch Korrosionserscheinungen.

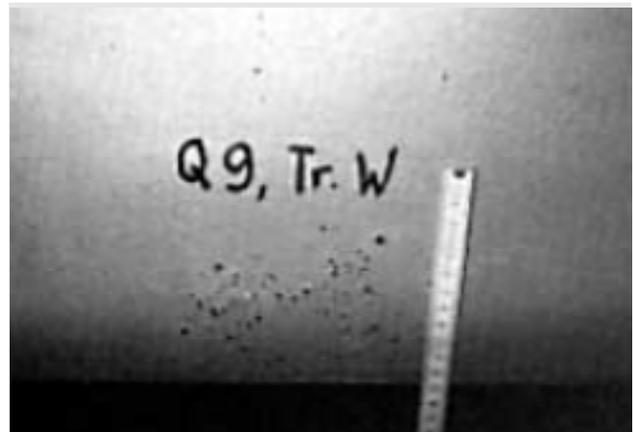
Typische Mängel und Schäden

- reduzierte Beschichtungsdicke durch Alterung
- mechanische Beschädigung
- Abplatzungen, Abblättern
- Korrosionsbefall, flächig oder lokal
- Unterrosten der Beschichtung

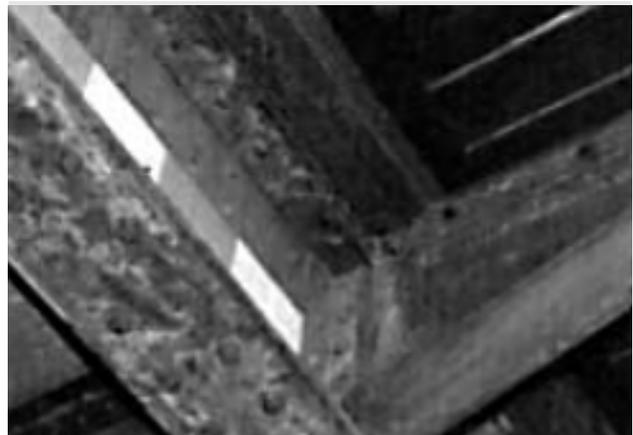
Spezielle Hinweise

Ansammlungen von Wasser und Schmutz auf Teilen der Konstruktion können zu einem beschleunigten Abbau der Beschichtung und zu einem Korrosionsangriff führen.

Spezielle Beachtung ist dem Innern von schlecht oder nicht zugänglichen Hohlkästen von Stahlkonstruktionen zu schenken.



Beginnende punktförmige Korrosion bei ungenügender Reststärke der Beschichtung



Fortgeschrittene flächige Korrosion



Durchrostung, Trägerquerschnitt reduziert

Stahlkonstruktionen Verbindungen



Aufwölbungen infolge Spaltkorrosion im Kontenbereich



Aufwölbungen infolge Korrosion zwischen Fachwerkstäben

Generelles

Verbindungen sind insbesondere bei älteren Stahlkonstruktionen die für Schäden anfälligsten Stellen. Dort können in schwer zugänglichen Winkeln Korrosionsangriffe auftreten. Verbindungsmittel können beschädigt sein oder als Folge von unvermeidbaren Spannungsspitzen können Risse (Ermüdung) auftreten.

Typische Mängel und Schäden

- Korrosion, Spaltkorrosion
- fehlende oder lockere Verbindungsmittel (Schrauben, Nieten)
- Risse in Schweissnähten
- Risse in Blechen
- mechanische Schäden
- gebrochene Teile (z.B. Aufhängungen)

Spezielle Hinweise

Weitere Schäden und Mängel bei Stahlkonstruktionen sind z.B. durch mechanische Einwirkungen verbogene Tragwerksteile, Risse in Stegblechen (Spannungsspitzen), Beulen von Blechen, Knicken von Druckelementen, Schlupf zwischen Betonplatte und Stahlelement bei Verbundkonstruktionen. Insbesondere bei älteren Stahlkonstruktionen, die einer erheblichen Wechselbelastung ausgesetzt sind, besteht die Gefahr von Ermüdungsrissen. Diese treten an den am höchsten und mit der grössten Wechselbeanspruchung belasteten Teilen der Konstruktion auf. Ermüdungsrisse gehen meist von Niet- oder Schraubenlöchern, Schweissnähten oder anderen «Kerbstellen» mit Spannungsspitzen in der Konstruktion aus.

Stahlkonstruktionen Wasserableitung

Generelles

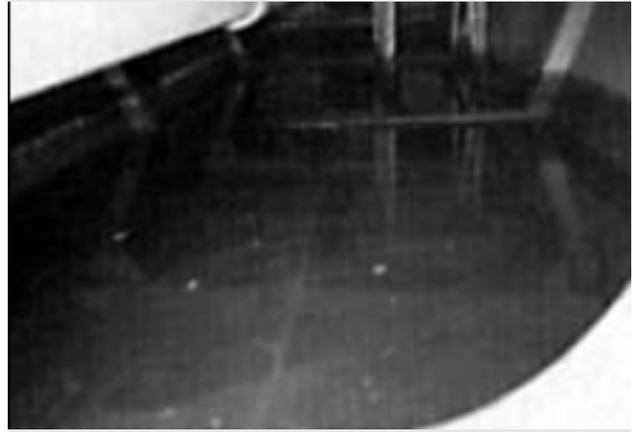
Die Ableitung des Wassers ist bei witterungsbeanspruchten Stahlkonstruktionen eine der wichtigsten Massnahmen im Hinblick auf die Gewährleistung einer guten Dauerhaftigkeit. In Wasseransammlungen herrschen oft Bedingungen, die zu einer Schwächung der Beschichtung und später zu einem Korrosionsangriff führen können.

Typische Mängel und Schäden

- Stehende Wasseransammlungen
- Schmutzansammlungen
- Chloridablagerungen
- fehlende Wassernasen (am Rand oder bei Wasserabläufen)
- undichte Entwässerungsleitungen
- undichte Abdichtungen

Spezielle Hinweise

Zur Feststellung von Wasser- und Schmutzansammlungen sollte die Konstruktion sowohl nach Niederschlägen wie auch im trockenen Zustand inspiziert werden.

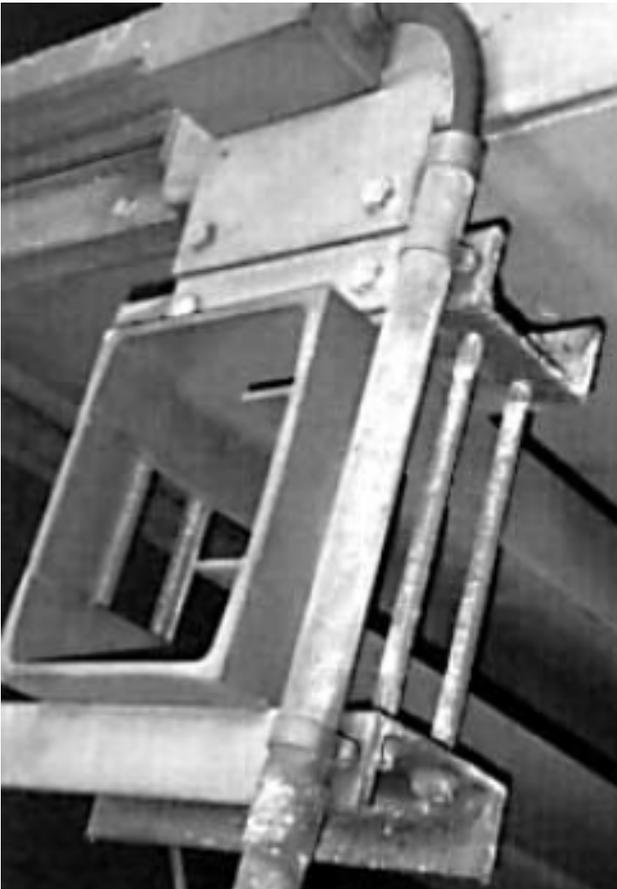


Stehendes Wasser in einem Stahlbrückentrog als Folge einer gebrochenen Entwässerungsleitung und eines fehlenden Auslaufes

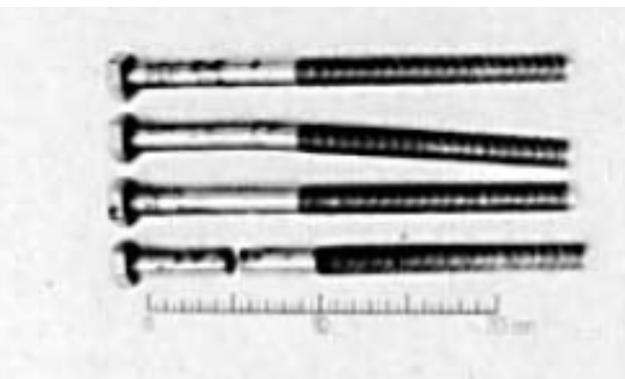


Chloridablagerungen an der Untersicht einer Stahlverbundbrücke

Befestigungselemente aus Stahl



Chloridablagerungen an einem Aufhängeelement



Gebrochene und angerissene Befestigungsschrauben von Wandelementen aus einem Tunnel

Generelles

Befestigungselemente aus Stahl werden zur Befestigung verschiedenster Bauteile wie z. B. Deckenplatten, Wandverkleidungen, elektromechanischer Installationen eingesetzt. Zur vermeintlichen Vermeidung von Korrosionsproblemen werden vorwiegend legierte, nicht rostende Stähle verwendet. Unter den heute praktisch in allen Bereichen durch Verkehr oder Industrie beeinträchtigten atmosphärischen Verhältnisse gibt es aber praktisch keine Legierungen mehr, bei denen auch langfristig keine Veränderungen auftreten. Verschiedene Materialien neigen unter aggressiven Bedingungen bei gleichzeitig andauernder Zugbelastung sogar zu Sprödbbruch mit all seinen unangenehmen Folgen.

Typische Mängel und Schäden

- Verschmutzung
- Chloridablagerungen
- punktförmiger Korrosionsangriff
- flächige Korrosion
- Spannungsrisskorrosion

Spezielle Hinweise

Korrosionsnarben an legierten, zugbeanspruchten Befestigungen sollten unbedingt näher abgeklärt und allenfalls entsprechende Vorsichtsmassnahmen ergriffen werden, da eine Sprödbbruchgefahr vorhanden sein kann.

Neueste Untersuchungen zeigen, dass die Wahl der Stahlsorte unter Berücksichtigung der Umweltbedingungen sowie der Belastungen erfolgen muss. Für besonders hohe Anforderungen oder spezielle Verhältnisse steht heute eine ganze Reihe verschiedener Legierungen zur Verfügung. Diese Spezialstähle sind allerdings oft sehr teuer. In den meisten Fällen lohnt es sich deshalb die Lösung über ein günstiges Konzept zu suchen (z. B. Ersatzmöglichkeit der Befestigungselemente, andere Lösung). Für die Auswahl einer geeigneten Legierung sollte ein Fachmann beigezogen werden.

Natursteinmauerwerk 1

Generelles

Konstruktionen aus Natursteinmauerwerk können innerhalb des Tragwerkes keine Zugspannungen übertragen. Die Dimensionierung basiert auf dem Grundsatz, dass sämtliche Belastungen über Druckkräfte aufgenommen werden. Eine Veränderung der Geometrie kann bei solchen Bauwerken grosse Auswirkungen auf deren Standfestigkeit haben, weil dadurch der ganze Kraftfluss verändert wird. Infolge Änderungen im Kraftfluss können einzelne Steine oder ganze Partien druckentlastet werden und dadurch ihren Zusammenhalt verlieren.

Typische Mängel und Schäden

- Verformungen
- Verschiebungen
- Einsenkungen
- Ablösungen zwischen einzelnen Bauteilen
- Risse
- Hohlstellen

Spezielle Hinweise

Schäden an den Materialien (Steine, Fugen) vgl. nächste Seite.



Verformungen einer Natursteinmauer

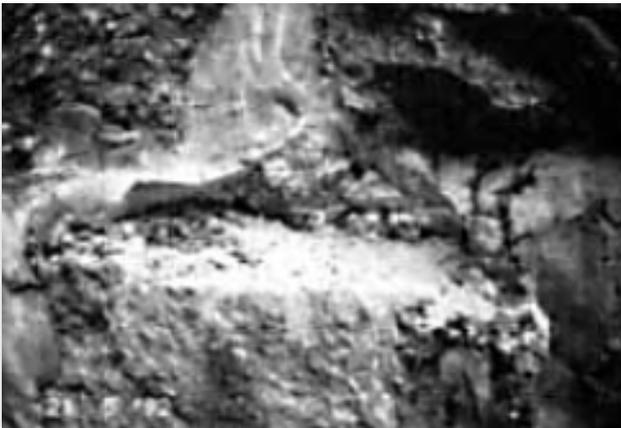


Hohlstellen in Gewölbemauerung eines Durchlasses

Natursteinmauerwerk 2



Risse durchlaufend durch Mauersteine



Frostschaden an einer Fuge



Eiszapfenbildung als Folge von Wasserdurchsickerungen durch Gewölbebogen

Generelles

Natursteinmauerwerk ist eine sehr heterogene Bauweise. Zwischen den Steinen und dem Fugenmaterial bestehen teilweise grosse Unterschiede bezüglich Temperaturdehnung und anderen Verformungseigenschaften. Fugen und Steine weisen deshalb unterschiedliche und veränderliche Verformungen auf; das Natursteinmauerwerk «arbeitet».

Fugenmaterial und Mauersteine sind aber auch der Abnützung durch Verwitterung und Nutzung ausgesetzt.

Typische Mängel und Schäden

- Verschmutzung
- Abblättern, Verwittern, Treiben
- Absplittern
- Risse
- Ausblühungen, Versalzung
- Frostschäden an Steinen und Fugen
- loser Fugenmörtel
- Vernässung
- Ablösungen
- mechanische Schäden
- Pflanzenwuchs, Wurzeln
- herausgefallene Steine

Spezielle Hinweise

Beim Natursteinmauerwerk ist eine periodische Erneuerung der Fugen erforderlich, da der Fugenmörtel nur begrenzt witterungsresistent ist und zusätzlich durch Bewegungen im Mauerwerk geschwächt wird. Auch die Erschütterungen aus dem Verkehr können zu einer Zerstörung des Mörtelgefüges Anlass geben. Bei Reparaturen ist auf eine gute Verträglichkeit zwischen Mörtel und Mauersteinen zu achten. Ein ungeeigneter Mörtel kann zu ästhetischen Beeinträchtigungen (Ausblühungen), im Extremfall zur Zerstörung der Steine (Abplatzungen) führen.

Holzkonstruktionen

Generelles

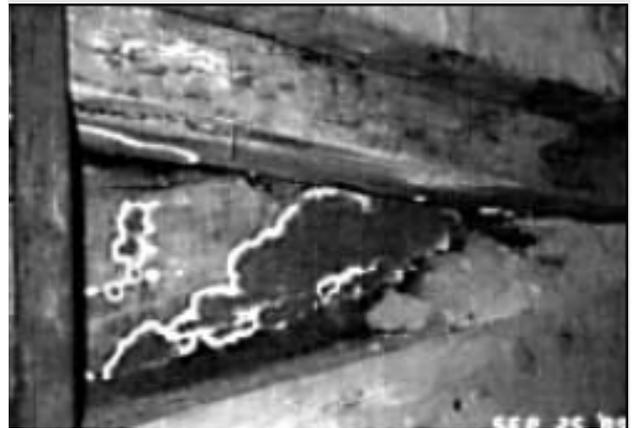
Noch vor weniger als hundert Jahren war Holz der Baustoff schlechthin. Die traditionelle Holzbauarchitektur hat sich über Jahrhunderte weiterentwickelt und Konzepte gefunden, den relativ empfindlichen Baustoff optimal einzusetzen und insbesondere vor Feuchtigkeit zu schützen. Neuere Konstruktionen verstossen oft gegen grundsätzliche Regeln der Holzbaukunde. Auch bei Änderungen an bestehenden Konstruktionen wird nicht immer mit der erforderlichen Umsicht vorgegangen.

Typische Mängel und Schäden

- Verschmutzung
- Durchnässung, behinderter Wasserabfluss
- Pilzbefall
- Insektenbefall
- mechanische Beschädigungen
- Quetschungen, Brüche, Spalten
- beschädigte Verbindungsmittel (Korrosion, Überbeanspruchung, Abnutzung)
- gestauchte Holzverbindungen
- unfachgemässe Änderungen
- Verschiebungen, Blockierung und Beschädigungen bei Auflagerbereichen
- mangelhafte Belüftung

Spezielle Hinweise

Holztragwerke sind extrem feuchtigkeitsempfindlich. Bei keinem anderen Baustoff ist deshalb die Ableitung von Wasser und die Verhinderung von Schmutzablagerungen so wichtig wie bei Holz. Die meisten Hölzer weisen zudem in Richtung der Fasern eine sehr gute Wasserleitfähigkeit auf. An den Hirnholzenden (z.B. bei Verbindungen oder am Trägerende beim Widerlager) in einen Träger eindringende Feuchtigkeit hat deshalb weitreichende Auswirkungen. Schadhafte Tragwerke zeigen oft deutliche Durchbiegungen. Überlastungsschäden zeigen sich oft zuerst im Bereich von Verbindungen, weil dort die höchsten Beanspruchungen auftreten.



Pilzbefall



Gestauchte Verbindung



Vermorschtes Ende eines Hauptträgers

Anhang C Checklisten für die visuelle Untersuchung

Allgemeine Feststellungen an Bauwerken	142
Bauteile und Bauwerke aus Beton, Stahl- und Spannbeton	143
Bauteile und Bauwerke aus Stahl	145
Bauteile und Bauwerke aus Natur- und Kunststeinmauerwerk	146
Bauteile und Bauwerke aus Holz	147

Anhang C Checklisten für die visuelle Untersuchung

Übersicht über Schadensmerkmale, Hilfsmittel zu deren Feststellung sowie Hinweise zur Protokollierung bei der visuellen Untersuchung

Allgemeine Feststellungen an Bauwerken

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Allgemeines Aussehen	Augenschein, Feldstecher, Fotoapparat	Zustandsüberblick, Fotodokumentation	
Temperatur, Wetter	Thermometer	Luft-, Wasser-, Baustoff-, Bauteiltemperatur, Windverhältnisse	
Orientierung (Exposition)	Kompass	Wetterseite	
Zustand der Gründungen	Augenschein	Ausmass von Setzungen, Kippungen, Unterkollungen	Achtung: oft verdeckte Schäden
Zustand von Lager, Gelenken, Übergängen, Abdichtungen, Entwässerungen, Belägen	Augenschein, Fotoapparat, Spiegel	Gebrauchstauglichkeit, Fotodokumentation	Augenschein nach Niederschlägen oft aufschlussreich

Bauteile und Bauwerke aus Beton, Stahl- und Spannbeton

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Verfärbungen z.B. durch Rost	Augenschein, Spitz- hammer, Fäustel	Form, Farbe, Lage, Ausmass, Besonderheiten (z.B. Bindedraht)	hohltönende Stellen suchen (abklopfen), evtl. aufspitzen
Abplatzungen, Abblätterungen	Augenschein, Spitz- hammer, Fäustel	Fläche, Tiefe, Lage, Kor- rosion der Bewehrung	hohltönende Stellen suchen (abklopfen)
Feuchte Stellen	Augenschein, Spitz- hammer	Lage, Ausmass des Wasser- austrittes, evtl. aufspitzen des Austrittes	Abklopfen zur Überprüfung von Ge- fügeauflockerungen, (Frost), evtl. Wasser- probe (Chlorid), voran- gegangene Wetter- periode beachten
Aussinterungen, Ausblühungen	Augenschein, Spitz- hammer	Form, Farbe, Lage, Ausmass, Besonder- heiten	Hohltönende Stellen, suchen (abklopfen), evtl. aufspitzen
Abwitterungen	Augenschein, Abtasten Spitzhammer	Form, Lage, Tiefe, Beson- derheiten (Zementstein, und/oder Zuschlagstoffe)	Hauptwindrichtung, Immissionen
Oberflächenstruktur, Lunker, Entmischungen	Augenschein	Form, Ausmass, Lage, Be- sonderheiten (z.B. Arbeitsfugen)	Wasseraufnahme der Oberfläche
Risse: – Art u. Verlauf	Augenschein, Lupe	Rissart, Lage, Länge, Rissende	Hohltönende Stellen suchen (abklopfen), evtl. aufspitzen, Begleiterscheinungen (z.B. Versinterungen) festhalten
– Breite	Risslupe, Rissmasstab	Rissbreite (genaue Lage)	Datum, Temperatur, Wetter
– Rissbreitenänderung	Siegel, Setz- dehnungsmesser	Rissbewegung (Änderung- mit der Zeit) unter Belastungs bzw. Temperaturänderungen	Datum, Temperatur, Wetter, Verkehr (Einwirkungen)
– Rissufer	Augenschein, Spitz- hammer, Lupe	Verfärbungen, feuchte Stellen, Korrosion der Bewehrung	Abklopfen, Hohlstellen
Wasseraufnahme der Oberfläche	Wasserspritzflasche Augenschein	Lage, relative Unterschiede	Oberflächenstruktur

Bauteile und Bauwerke aus Beton, Stahl- und Spannbeton (Fortsetzung)

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Fugen, Kanten, Anschlüsse	Augenschein	Besonderheiten	Beschädigungen, Korrosion, Schmutz- ablagerungen
Verformungen	Augenschein	Lage, Richtung	Risse, Art und Verlauf
Karbonatisierung	aufspitzen, Indikator- lösung aufspritzen auf frische und saubere Bruchfläche	Farbumschlag (Tiefe in welcher pH \geq 9)	

Bauteile und Bauwerke aus Stahl

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Korrosion	Augenschein, Drahtbürste, Schraubenzieher, Spitzhammer	Ausdehnung und Tiefe, Restprofilstärke, Farbtönung, Art des Rostbefalls (fein körnig, schuppig), Stahloberfläche	Anstrich entfernen
Anrisse	Augenschein, Risslupe,	Lage, Länge, Rissende, Rissbreiten, Rissbewegung	Verkehr (Einwirkungen) Temperaturen, Farbeindringverfahren, Datum
Fliesslinien, Spannungskonzentrationen	Augenschein, Fotoapparat	Lage und Richtung von Fliesslinien in der Walzhaut, Fotodokumentation	
Verformungen, Beulen	Augenschein	Grösse, Richtung, Ausdehnung der Verformung	
Gelockerte Verbindungsmittel (Nieten, Schrauben)	Augenschein, Nietkontrollhammer, Drehmomentenschlüssel	Lage und allfällige Verformung gelockerter Verbindungsmittel, Anrisse im Schraubenkopf, abgescherte Verbindungsmittel	
Zustand der Anstriche u. Beschichtungen	Augenschein, Messer, Abreissprüfung mit Klebband	Haftung mit Klebband, Ausmass	Gitterschnittprüfung (Kennwerte Gt 0-5)

Bauteile und Bauwerke aus Natur- und Kunststeinmauerwerk

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Aussehen, Absplittierungen (Schuppen, Schalen), Verwitterungen	Augenschein, Spitzhammer (abklopfen)	Ausmass, Tiefe und Lage gelockerter Partien, Farb- und Strukturunterschiede der Oberfläche	abspitzen gelockerter Partien, Rauigkeitsunterschiede
Fugen	Augenschein, Spitzhammer (abklopfen)	Umfang und Tiefe von Zerstörungen an den Mörtelfugen und Fugenflanken, Bewuchs und Wurzeln in den Fugen Fugenmörtelausbrüche	Sitz der Steine im Mörtelbett
Gelockerte oder ausgebrochene Steine	Augenschein Fäustel	Lage und Ausmass der locker liegenden oder ausgebrochenen Steine	
Wasseraustritte, feuchte Stellen	Augenschein, Spitzhammer	Lage und Ausdehnung	vorangegangene Wetterperiode, evtl. aufspitzen
Verformungen	Augenschein	Lage und Grösse der Verformungen	
Risse	Augenschein, Siegel, Risslupe	Lage, Länge, Breite, Rissbewegungen, Verlauf durch Steine oder entlang Fugen	Datum, Einwirkungen
Ausblühungen, Krusten, Steinversalzungen	Augenschein	Ausmass, Art	Abklopfen auf Gefügelockerungen

Bauteile und Bauwerke aus Holz

Merkmal	Hilfsmittel	Ergebnis Dokumentation	Kontrollen Ergänzungen
Allgemein	Augenschein	Zustand und Dichtigkeit von Eindeckungen und Belägen, mechanische Beschädigungen, Verformungen	Belüftung
Fäulnis, Schädlinge Pilze	Augenschein, Hammer, Kernbohrer, Endoskop, Feuchtigkeitsmessgerät	Veränderungen im Farbton, Zersetzungen	Eindringwiderstand Feuchtigkeitsmessung
mech. Schäden Bruch, Quetschungen, Stauchung	Augenschein	Lage, Länge, evtl. Breite	Kontrolle der Leimfugen
Auflager	Augenschein	Verkantungen, Quetschungen	
Gelockerte, deformierte Verbindungen	Augenschein, Hammer	Lage und Ausmass	

Anhang D Beispiele

Beispiel 1: Strassenbrücke	150
1. Allgemeine Angaben über das Bauwerk	150
2. Bauwerksgliederung	152
3. Typische Schadensbilder	154
4. Ergänzende Untersuchungen	156
5. Grobbeurteilung	157
6. Feinanalyse mit Beurteilung	157

Beispiel 2: Lehnenviadukt	159
----------------------------------	------------

Beispiel 3: Zustandsuntersuchung an einem Tagbautunnel	167
1. Einleitung	167
2. Vorbereitung der Zustandsuntersuchung	167
3. Zustandserfassung	169

Publikationen des Impulsprogrammes IP BAU	181
--	------------

Anhang D Beispiele

BEISPIEL 1: Strassenbrücke

1. ALLGEMEINE ANGABEN ÜBER DAS BAUWERK

Baujahr: 1930

Material: Stahlbeton: Würfeldruckfestigkeit: $f_{cw} = 20 \text{ N/mm}^2$,
Zugfestigkeit des Betonstahls: $f_t = 360 \text{ N/mm}^2$ (Rundstahl)

Belastungsannahmen:

Fahrbahn: $4 \text{ kN/m}^2 + 140 \text{ kN Wagen} + 180 \text{ kN Walze}$ gemäss Verordnung vom 7. Juni 1913, Art. 8 mit einem Stosszuschlag $\delta = 10.2\%$

Gehweg: Einzellast mit Raddruck 30 kN ohne Stosszuschlag

Beläge: Fahrbahn: $40 \text{ mm Gussasphalt auf Gefällsmörtel}$
Gehweg: $40 \text{ mm magerer Gussasphalt}$

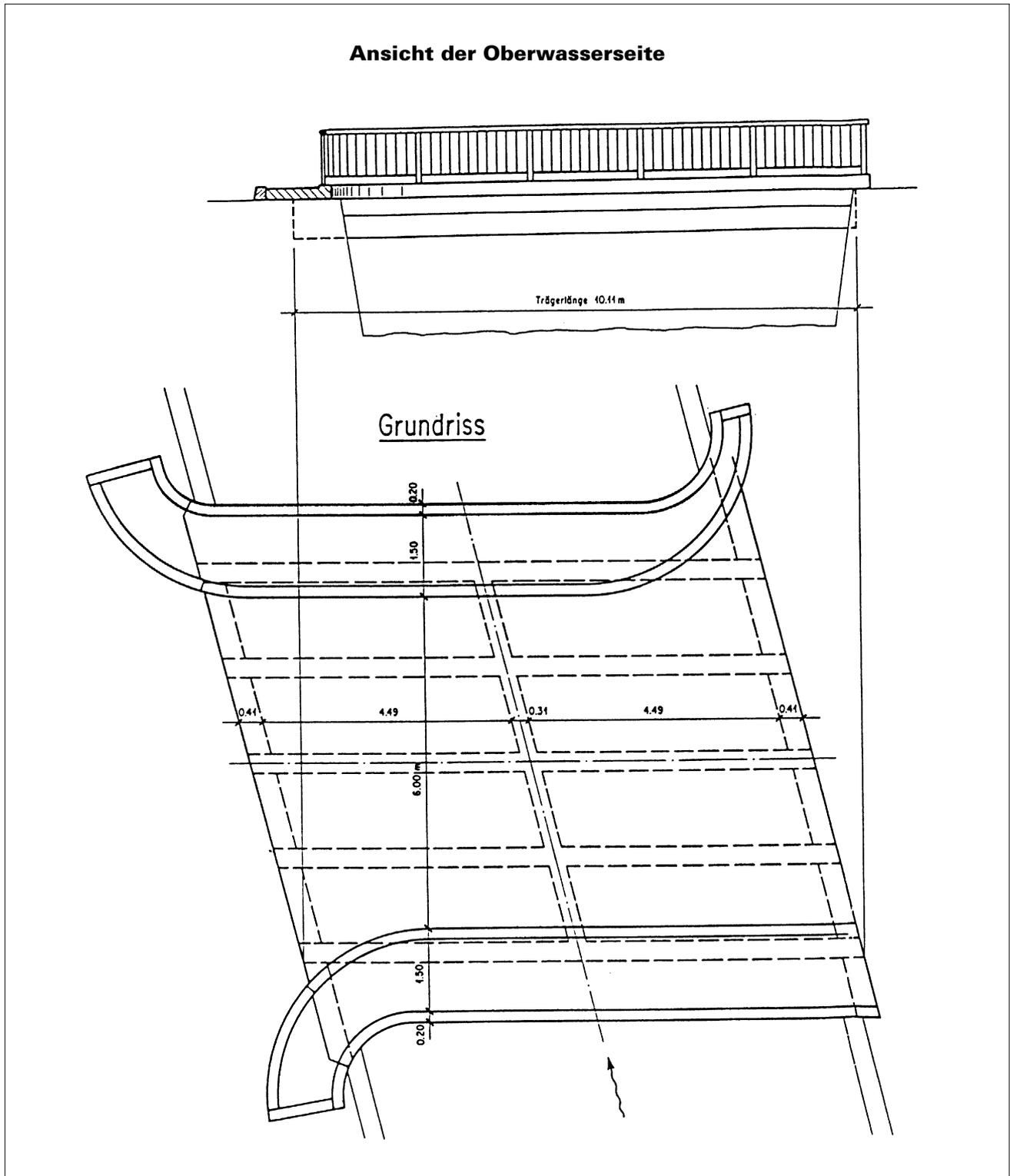
Stat. System (gemäss statischer Berechnung):

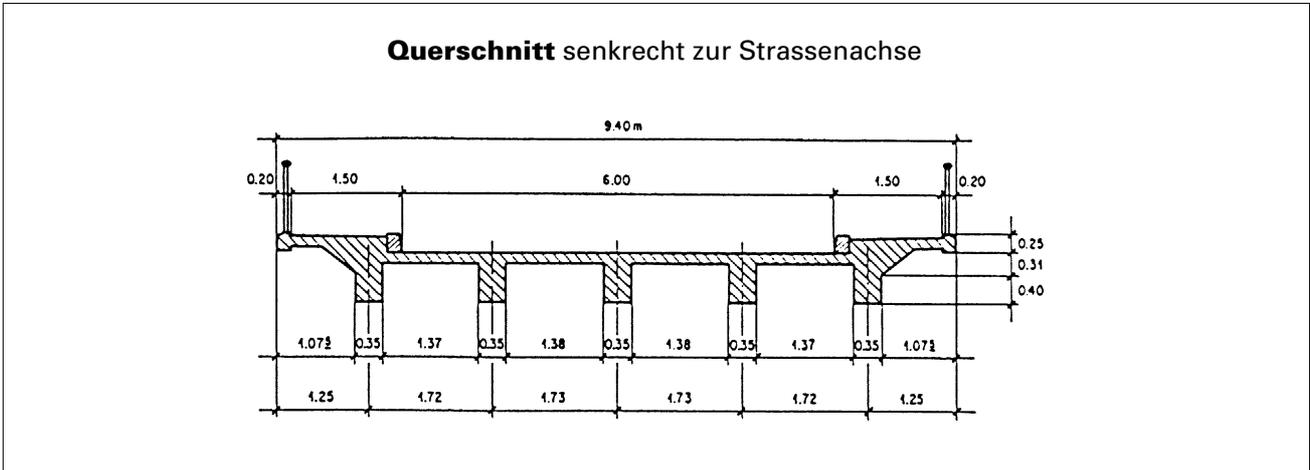
Längsträger: als einfache Balken gerechnet
Fahrbahnplatte: als Durchlaufträger über 4 Felder gerechnet

Geometrie: Spannweite: $l = 9.70 \text{ m}$
Konstruktionshöhe: $h = 0.85 \text{ m}$
Mittl. stat. Höhen: Randträger: $d = 0.81 \text{ m}$
Innenträger: $d = 0.64 \text{ m}$
Fahrbahnplatte: im Feld und über Träger: $d = 0.125 \text{ m}$

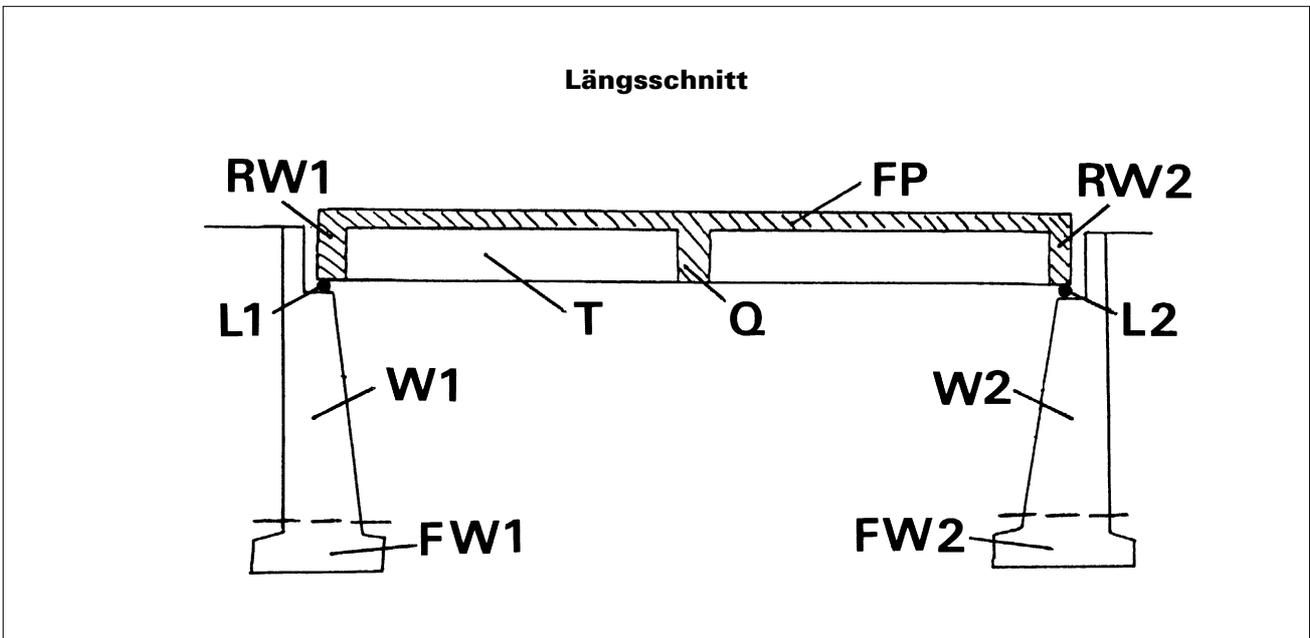
Bemessung: Innenträger: $5\phi 38 + 4\phi 36 \rightarrow Fe = 97.4 \text{ cm}^2$
Randträger: $5\phi 30 + 4\phi 28 \rightarrow Fe = 60.0 \text{ cm}^2$
Fahrbahnplatte:
Innenfeld: $\phi 14/16, e = 0.15 \text{ m} \rightarrow Fe = 11.8 \text{ cm}^2/\text{m}$
Randfeld: $\phi 16, e = 0.15 \text{ m} \rightarrow Fe = 13.4 \text{ cm}^2/\text{m}$
Über Träger: $\phi 16, e = 0.15 \text{ m} \rightarrow Fe = 13.4 \text{ cm}^2/\text{m}$

Abmessungen

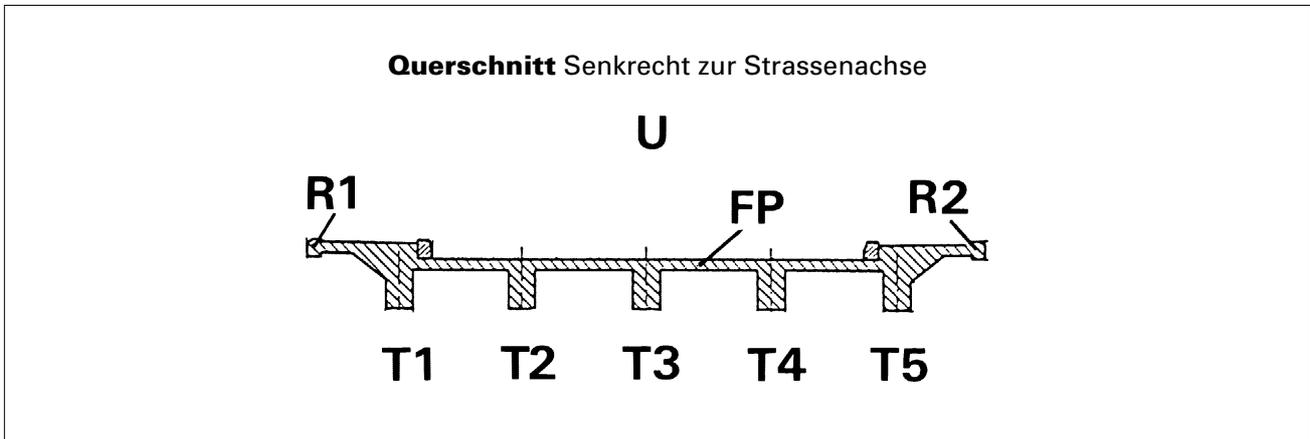




2. BAUWERKSGLIEDERUNG



Legende: siehe nächste Seite



Bauteile des Tragwerks:

U: Überbau
 W1: Widerlager 1
 W2: Widerlager 2
 FW1: Fundament Widerlager 1
 FW2: Fundament Widerlager 2
 L11 bis L15: Lager 1 bis 5 auf
 Widerlager 1
 L21 bis L25: Lager 1 bis 5 auf
 Widerlager 2

Lokale Bezeichnungen:

FP: Fahrbahnplatte
 Q: Querträger
 R1: Randbord 1
 R2: Randbord 2
 RW1: Randquerträger 1
 RW2: Randquerträger 2
 T1 bis T5: Längsträger 1
 bis 5

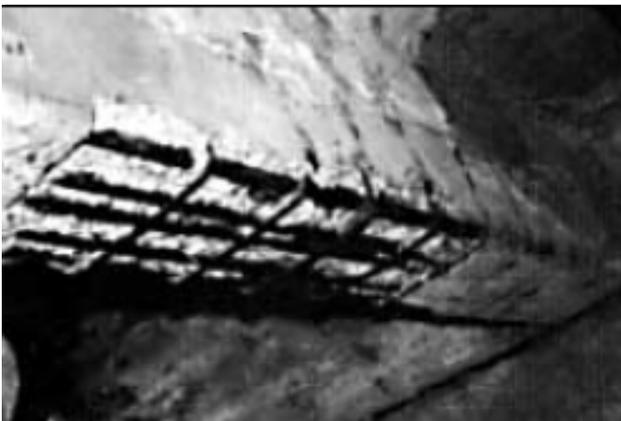
3. TYPISCHE SCHADENSbilder



Ansicht der Brücke, oberwasserseits



Fahrbahnplatte FP zwischen den Trägern T1 und T2, Blick gegen Querträger Q: Kalkablagerungen und örtliche Bewehrungskorrosion infolge eindringendem Wasser durch Fahrbahnplatte



Oberwasserseitiger Randträger T1, Widerlager links W1: Absprengen des Betons infolge Bewehrungskorrosion



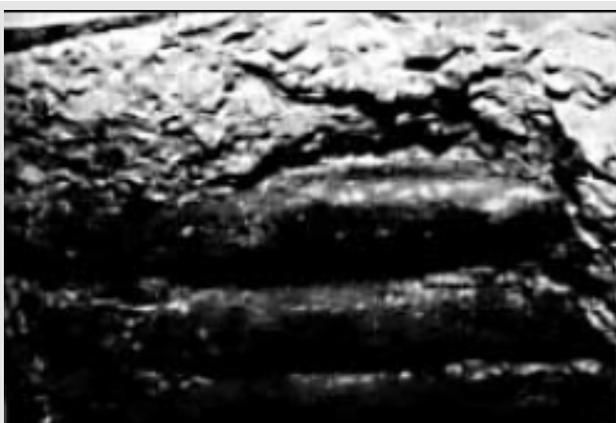
Träger T2, linkes Widerlager W1: Kalkablagerungen im Bereich des Trägerendes und Randquerträgers RW1 infolge eindringendem Wasser



Fahrbahnplatte FP zwischen den Trägern T2 und T3, Blick gegen Querträger Q: Kalkablagerungen infolge eindringendem Wasser durch Fahrbahnplatte, Entnahmestelle von Betonbohrkernen



Zustand der Geländeverankerung auf der Unterwasserseite



*Randträger T5: Örtliche Korrosionskerben an Längsbe-
wehrung (Lochfrass)*

4. ERGÄNZENDE UNTERSUCHUNGEN

Zur Ergänzung der Erkenntnisse aus der visuellen Inspektion sind auch noch Untersuchungen am Beton vorgenommen worden, deren Ergebnisse nachfolgend zusammengestellt sind.

Ort der Probenentnahme	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Druckfestigkeit f_c [N/mm ²]	Lage, Tiefe ¹⁾ [mm]	Chloridgehalt ²⁾ [%]	Karbonatisierungstiefe [mm]
Träger 1	2'360	49.4	OW, 0 ÷ 10	0.16	14
			UW, 0 ÷ 10	0.08	12
Träger 2	2'390	46.7	OW, 0 ÷ 10	1.7	13
			OW, 14 ÷ 35	0.43	—
			UW, 0 ÷ 10	0.09	20
Träger 5	2'390	44.5	OW, 0 ÷ 10	0.08	21
			UW, 0 ÷ 10	1.8	19
			UW, 14 ÷ 40	1.2	—
Platte 1/2	2'390	50.1	UK, 0 ÷ 10	0.27	12
Platte 2/3	2'420	58.3	UK, 0 ÷ 10	0.63	16
			UK, 14 ÷ 27	0.83	—
Platte 4/5	2'470	80.6	UK, 0 ÷ 10	0.35	2

¹⁾ Tiefe, in welcher der Chloridgehalt bestimmt worden ist.

²⁾ bezogen auf Zementgehalt, unter Annahme einer PC-Dosierung von 300 kg/m³ und einer Rohdichte von 2'400 kg/m³ berechnet (Bestimmung im Heisswasseraufschluss).

5. GROBBEURTEILUNG

Als hauptsächlichste Schäden treten Korrosionserscheinungen an der Haupt- und Bügelbewehrung der Träger T1 bis T5 sowie an der unteren Bewehrung der Fahrbahnplatte FP auf. Diese Schäden sind infolge des leichten Längsgefälles der Brücke auf der Seite links ausgeprägter als auf der gegenüberliegenden Seite. Diese Korrosionen haben teilweise zu grösseren Abplatzungen des Betons geführt.

Neben der flächenartigen Korrosion der Bewehrung sind lokal auch Lochkorrosionen an der Längsbewehrung festzustellen. Bei einer Brücke kann infolge der Kerbwirkung dieser örtlichen

Querschnittsreduktionen die Ermüdungssicherheit beeinflusst werden.

Orientierend ist auch die Betonfestigkeit festgestellt worden und zeigt Werte, die als genügend angesehen werden dürfen. Allerdings ist der Beton stellenweise bis in tiefere Schichten recht stark mit Chloriden verseucht.

Aufgrund dieser vorliegenden Ergebnisse ist der Überbau der Brücke gemäss den Vorschlägen im Anhang A1 in die Zustandsstufe 4 "Schadhafter Zustand" einzuordnen.

6. FEINANALYSE MIT BEURTEILUNG

Stellvertretend für alle übrigen Teile des Tragwerks wird hier der Vorgang am Beispiel des Trägers T2 aus dem Überbau gezeigt.

Charakteristische Grösse				Auswirkung der Abweichung zwischen Istwert und Sollwert auf		
Typ	Dimension	Istwert	Sollwert	Tragsicherheit	Gebrauchstauglichkeit	Dauerhaftigkeit
Spannweite	m	4.45	4.49	+	+	
Bewehrung	cm ²	91.7	97.4	—	—	—
Betonfestigkeit	N/mm ²	46.7	> 20	+	+	+
Chloridgehalt	%	z.T. > 1	0			
Allgemeines Aussehen	—	gut	+	+	+	

Beurteilung des Trägers T2:

Die gemessene Querschnittsfläche der Bewehrung weicht um ca. 6% nach unten von der Sollquerschnittsfläche ab; damit ist grundsätzlich mit einer Einbusse des Tragwiderstandes zu rechnen. Genauere Angaben hierüber können erst nach der Durchführung eines statischen Tragsicherheitsnachweises gemacht werden.

Die örtlich hohe Chloridkonzentration im Beton stellt die Dauerhaftigkeit der Bewehrung ernsthaft in Frage.

Beurteilung des Gesamtbauwerks:

Die abschliessende Zustandsbeurteilung des Gesamtbauwerks kann erst dann vorgenommen werden, wenn eine solche Analyse mit Beurteilung für alle Teile des Tragwerks mit den zugehörigen Elementen vorliegt.

BEISPIEL 2: Lehnenviadukt

Das folgende Beispiel zeigt eine andere Möglichkeit auf, wie eine systematische Dokumentation über die häufigsten Schäden an Bauwerken mit Hilfe von Standardformularen erstellt werden kann. Es wurde uns freundlicherweise von der CISO-OA (Conférence des ingénieurs de la Suisse occidentale responsables de la construction des routes nationales, Arbeitsgruppe Ouvrage d'art) zur Verfügung gestellt.

Schadensdokumentation an Kunstbauten			CISO-Kunstbauten			
BAUWERKSCODE: VS 658'502	SCHADEN-CODE	3	1	01	Seite 1	
Datenblatt erstellt am: 25.05.88		Schaden repariert: 1986/87				
ALLGEMEINE ANGABEN ÜBER DAS BAUWERK						
1. TECHNISCHE DATEN						
.1 Bauwerkstyp:	Lehnenviadukt					
.2 Materialien:	Spannbeton					
.3 Baujahr:	1962/63					
.4 Geometrie/Grundriss:	gekrümmt (1/R = 0.15)					
.5 Spannweiten:	8.00–30.00 m (Bild 1)					
2. KONSTRUKTION						
.1 Längsschnitt (Bild 1):	Durchlaufträger m. Gerberträgern					
.2 Querschnitt (Bild 2):	4 Hauptträger mit Querträgern					
.3 Lagerung (Bild 1):	N (Neopren), R (Rollenlager), L (Linienlager)					
.4 Foundationen:	Flachfoundationen					
.5 Abdichtung/Belag:	AB 16					
.6 Korrosionsschutz:	–					
3. MATERIALIEN						
.1 Überbau:	Spannbeton					
.2 Stützen:	Stahlbeton					
.3 Widerlager:	Stahlbeton					
4. BAUGRUND						
.1 Kiesige Moräne						
5. WEITERE FÜR DIE SCHÄDEN RELEVANTE ANGABEN						
– keine Abdichtung und keine Nischen für Hubpressen						
– keine Leitplanken						

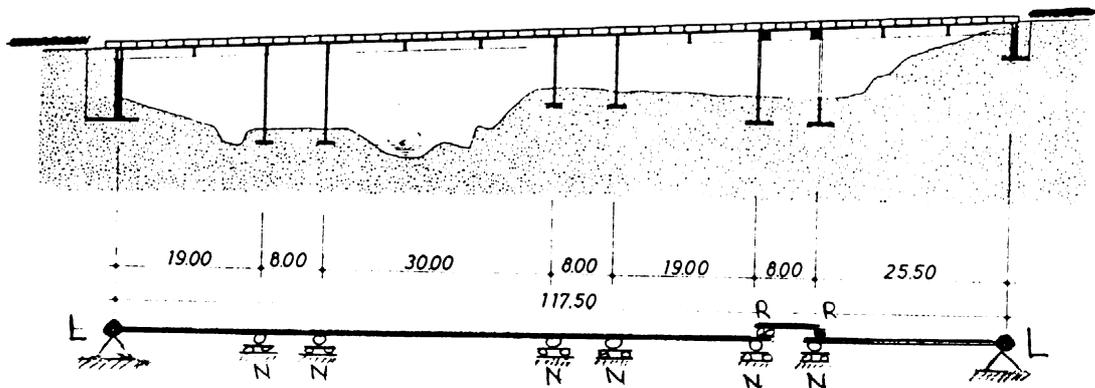
Schadensdokumentation an Kunstbauten			CISO-Kunstbauten																
BAUWERKSCODE: VS 658'502	SCHADEN-CODE	3	1	01	Seite 2														
Datenblatt erstellt am: 25.05.88		Schaden repariert: 1986/87																	
<p>SCHADENTYP UND REPARATUR</p> <table> <tr> <td>1. Hauptschaden:</td> <td>Horizontale Verschiebung</td> </tr> <tr> <td>2. Zustandsstufe:</td> <td>2 bis 3</td> </tr> <tr> <td>3. Schadenerkennung:</td> <td>visuelle Inspektion</td> </tr> <tr> <td>4. Weitere Schäden:</td> <td>Abplatzungen freiliegende Bewehrung</td> </tr> <tr> <td>5. Reparaturkosten:</td> <td>Arbeiten: Fr. 684'000 Honorar/Gutachten: Fr. 77'000</td> </tr> <tr> <td>6. Einfluss auf Nutzung:</td> <td>keine</td> </tr> <tr> <td>7. Verschiedenes:</td> <td>Verbesserung des Querprofils durch Verzicht auf Trottoirs, neuer Rand- abschluss, Einbau von Leitschranken Typ III, Einbau einer Abdichtung</td> </tr> </table>						1. Hauptschaden:	Horizontale Verschiebung	2. Zustandsstufe:	2 bis 3	3. Schadenerkennung:	visuelle Inspektion	4. Weitere Schäden:	Abplatzungen freiliegende Bewehrung	5. Reparaturkosten:	Arbeiten: Fr. 684'000 Honorar/Gutachten: Fr. 77'000	6. Einfluss auf Nutzung:	keine	7. Verschiedenes:	Verbesserung des Querprofils durch Verzicht auf Trottoirs, neuer Rand- abschluss, Einbau von Leitschranken Typ III, Einbau einer Abdichtung
1. Hauptschaden:	Horizontale Verschiebung																		
2. Zustandsstufe:	2 bis 3																		
3. Schadenerkennung:	visuelle Inspektion																		
4. Weitere Schäden:	Abplatzungen freiliegende Bewehrung																		
5. Reparaturkosten:	Arbeiten: Fr. 684'000 Honorar/Gutachten: Fr. 77'000																		
6. Einfluss auf Nutzung:	keine																		
7. Verschiedenes:	Verbesserung des Querprofils durch Verzicht auf Trottoirs, neuer Rand- abschluss, Einbau von Leitschranken Typ III, Einbau einer Abdichtung																		
<p>BESCHREIBUNG DES SCHADENS</p> <p>Verschiebung der Rollenlager bei Gerberträgern, Risse infolge Querkraft – Verschiebung der Querträger über den Stützen, übermässige Pressung der Neoprenlager, Abplatzungen des Betons bei Stützenköpfen - Abplatzung der Verankerungen in den Randabschlüssen – Ausreissen der Verankerungen der Fahrbahnübergänge – örtliche Abplatzungen des Betons unter den Randabschlüssen, Korrosion der Bewehrung – örtliche Kalkablagerungen und Ausblühungen – Anprallschäden auf Geländer – Korrosion der Lager bei Widerlagern – Lochkorrosion der oberen Bewehrung.</p>																			
<p>UNTERSUCHUNGSTECHNIKEN</p> <p>Visuelle Inspektion mit Untersichtswagen – geodätische Messungen der Brückenpfeiler – Karbonatisierung mittels Phenolphthalein – Betonprüfhammer und Profometer – Bohrkernentnahme und Messung des Chloridgehaltes – örtliches Aufspitzen des Betons zur Untersuchung der Bewehrung.</p>																			
<p>URSACHEN DER SCHÄDEN</p> <p>Ungeeignete konstruktive Ausbildung: zu kurze Auflager der Gerberträger – zu kurze Auflager bei den Widerlegern – ungenügende Qualität des Neoprens – zu leichte und undichte Ausführung der Fahrbahnübergänge – keine Abdichtung der Fahrbahnplatte – ungenügende Geländerverankerung – Anprall auf Geländer.</p>																			

Schadensdokumentation an Kunstbauten				CISO-Kunstbauten		
BAUWERKSCODE: VS 658'502	SCHADEN-CODE	3	1	01	Seite 3	
Datenblatt erstellt am: 25.05.88			Schaden repariert: 1986/87			
<p>BESCHREIBUNG DER REPARATURARBEITEN</p> <p>Anbringen von Stahlkonsolen bei den Stützenköpfen, Anheben des Fahrbahnträgers, Auswechseln der Lager (nachts, unter Verkehr) – Ersatz der Gerbergelenke durch eine in den Stützenköpfen verankerte Stahlkonstruktion – Abbruch der Randabschlüsse und Betonierung von neuen Randabschlüssen – Ausbrechen des Belags, Einbau einer Abdichtung und eines neuen Belags (Verkehrsführung einspurig, mit Verkehrssignalen) – Ausbau der Fahrbahnübergänge bei den Widerlagern, Ersatz durch an die Fahrbahnplatte anbetonierte Übergangsplatten – Verbindung der Fahrbahnplatte über dem unverschieblichen Lager des Gerberträgers – Einbau eines neuen Fahrbahnübergangs bei talseitigem Gerberträger – örtliche Ausbesserung des Betons Einbau von Leitschranken des Typs III – Anbringen einer tausalzabweisenden Beschichtung auf den Randabschlüssen.</p>						
<p>LEHREN UND FOLGERUNGEN</p> <p>Die für die horizontalen Verschiebungen vorgesehenen Ausrüstungen müssen ein grösseres Spiel aufweisen – bei beweglichen Lagern müssen die ungünstigsten minimalen und maximalen Reibungswerte in Rechnung gestellt werden – die Lager müssen verstellbar und auswechselbar sein – der Belag AB 16 war fast dicht, sein Abbruch mittels Löffelbagger war äusserst mühsam – der Abbruch der Randabschlüsse mittels Presslufthammer ist nicht zu empfehlen (starke Erschütterungen) – bei provisorisch angebauten Hebevorrichtungen müssen die tatsächlich aufbrachten Kräfte mit ihren Exzentrizitäten in Rechnung gestellt werden.</p>						
<p>VERHALTEN DES REPARIERTEN BAUWERKS</p> <p>Bis jetzt noch keine Aussage möglich.</p>						
<p>EXPERTENBERICHTE UND SONSTIGE PUBLIKATIONEN</p> <p>Bericht Nr. 3.4/6-128, Zschokke, vom 26.11.86.</p>						

Schadensdokumentation an Kunstbauten			CISO-Kunstbauten			
BAUWERKSCODE: VS 658'502	SCHADEN-CODE	3	1	01	Seite 4	

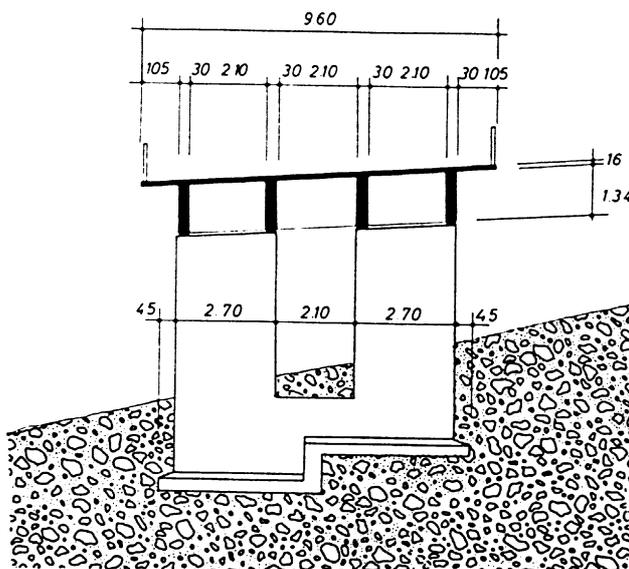
Figuren und Fotos

COUPE LONGITUDINALE



Figur 1

COUPE TRANSVERSALE



Figur 2

Schadensdokumentation an Kunstbauten			CISO-Kunstbauten			
BAUWERKSCODE: VS 658'502	SCHADEN-CODE	3	1	01	Seite 5	

Figuren und Fotos



Figur 3



Figur 4

Schadensdokumentation an Kunstbauten			CISO-Kunstbauten		
BAUWERKSCODE: VS 658'502	SCHADEN-CODE	3	1	01	Seite 6
Figuren und Fotos					
					
<i>Figur 5</i>			<i>Figur 6</i>		

Schadensdokumentation an Kunstbauten			CISO-Kunstbauten			
BAUWERKSCODE: VS 658'502	SCHADEN-CODE	3	1	01	Seite 7	

Figuren und Fotos



Figur 7



Figur 8

Schadensdokumentation an Kunstbauten			CISO-Kunstbauten			
BAUWERKSCODE: VS 658'502	SCHADEN-CODE	3	1	01	Seite 8	
Figuren und Fotos						
						
<i>Figur 9</i>						
						
<i>Figur 10</i>						

Beispiel 3 Zustandsuntersuchung an einem Tagbautunnel

1. Einleitung

Das dargestellte Beispiel wird anlässlich der IP-Bau-Veranstaltung "Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken" eingehend vorgestellt. Es wird primär die Phase der Zustandserfassung (Kapitel 4) behandelt. Abbildungen von ausgewählten Hilfsmitteln und Formularen, die für die Zustandserfassung verwendet werden, können dem Leser Anregungen für eigene, auf das jeweilige Projekt und die Aufgabenstellung zugeschnittene Hilfsmittel geben.

Beim vorgestellten Beispiel handelt es sich um die Zustandsuntersuchung an einem zweiröhri-

gen Tagbautunnel von rund 250 m Länge (Bild D3.1). Beide Röhren sind je 12.7 m breit und bieten Platz für je zwei Fahrspuren und eine Standspur.

Chloridbestimmungen an Bohrkernen, die im Rahmen der Hauptinspektion entnommen wurden, haben gewisse Hinweise auf Chloridinfiltrationen in die Tunnelwände gegeben und damit diese Inspektion ausgelöst. Es handelt sich also um eine Sonderinspektion gemäss SIA-Empfehlung 169. Übergeordnetes Ziel der Untersuchung ist die Abklärung allfälliger Chloridinfiltrationen in die armierten Tunnelwände.

2. Vorbereitung der Zustandsuntersuchung

Aufgrund der regelmässig durch die kantonalen Instanzen durchgeführten Inspektionen (sogenannte Hauptinspektionen) ergaben sich Hinweise auf mögliche Chloridinfiltrationen in die armierten Tunnelwände, wodurch die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes längerfristig in Frage gestellt sein könnte. Nachdem die Strategie des Bauherren darauf abzielt, möglichst frühzeitig mit präventiven Massnahmen das zukünftige Schadenausmass zu begrenzen hat sich eine eingehendere Untersuchung des Problems aufgedrängt. In der Folge wurde ein Ingenieur mit der Ausarbeitung eines auf die genannte Problemstellung ausgerichteten Untersuchungskonzeptes beauftragt. Das Untersuchungskonzept baut auf den Erfahrungen aus einer analogen Untersuchung an einem anderen Tunnel auf. Die einzelnen Abschnitte aus dem Konzeptvorschlag sowie die Zielsetzung sind in Tabelle D3.1 angeführt.

Für die Festlegung des zeitlichen Ablaufes der Untersuchungen am Objekt war eine Vorab-sprache mit den Polizeiorganen notwendig. Für die Kostenschätzung wurden Richtpreisofferten bei einzelnen Spezialisten eingeholt.

1. Ausgangslage

2. Zielsetzung der Zustandsuntersuchung

Die vorgesehene Zustandsuntersuchung soll primär Aufschluss über den Stand der Chloridinfiltrationen und damit über eine allfällige Gefährdung der Bewehrung des Tunnelgewölbes geben. Gleichzeitig sollen allfällige weitere Schäden am Tunnel erfasst und beurteilt werden. Die Ergebnisse der Untersuchung können als Grundlage für spätere Inspektionen verwendet werden.

3. Konzept für die Zustandserfassung

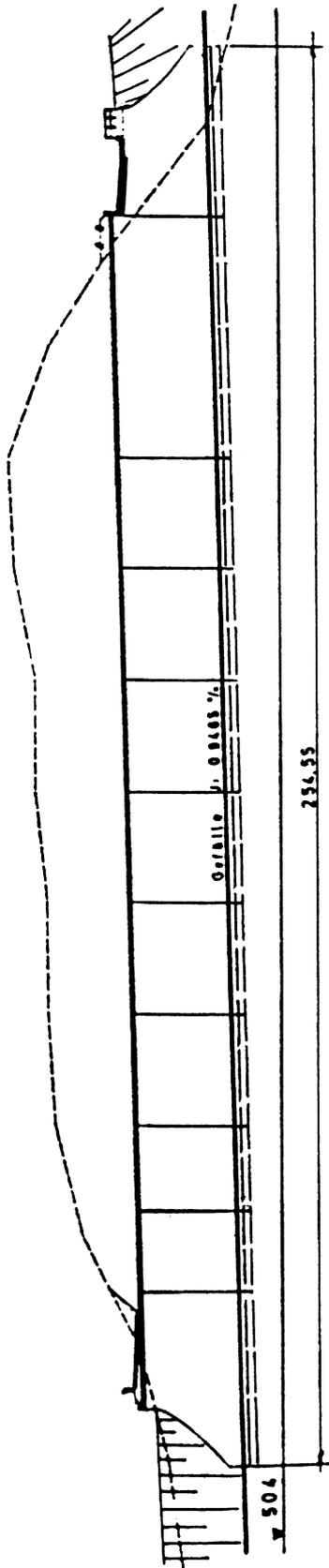
Vorbereitungsarbeiten
Visuelle Untersuchung
Potentialmessung der Tunnelwände
Auswahl der Messquerschnitte
Detailuntersuchung in den Messquerschnitten

4. Zeitliche Durchführung der Zustandserfassung am Objekt

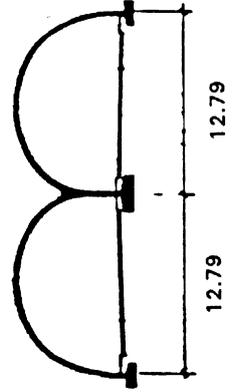
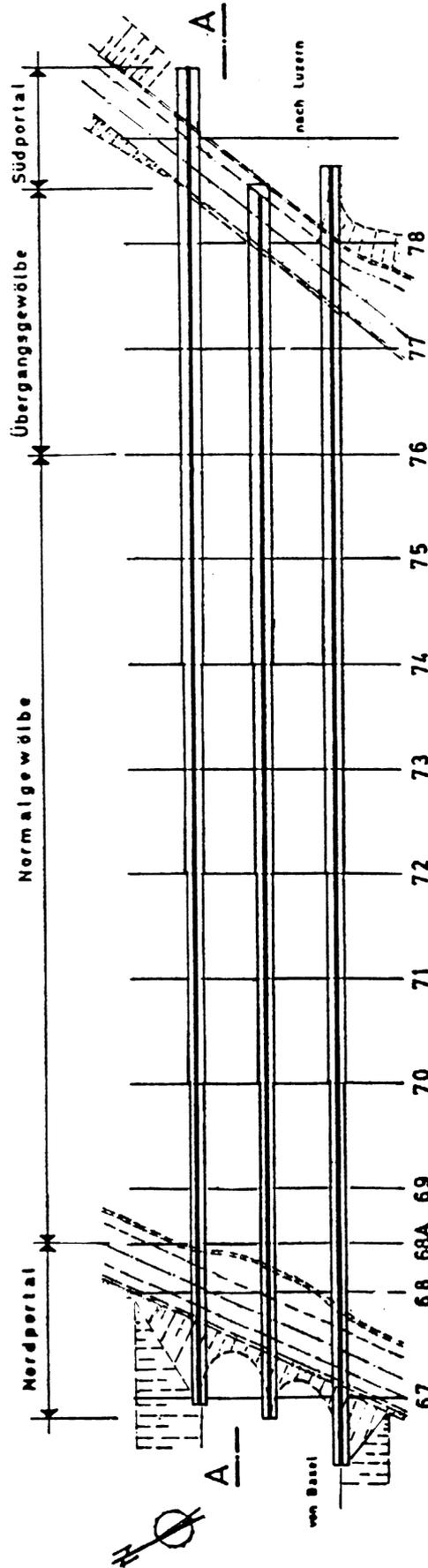
5. Kostenschätzung

Tab. D 3.1 Auszug aus dem Konzeptvorschlag für die Zustandsuntersuchung mit Kostenschätzung

Längenprofil A-A 1:625/250



Grundriss 1:625



Normalgewölbe 1:250

Bild D3.1 Situation, Längenprofil und Normalgewölbe des untersuchten Tagbautunnels

3. Zustandserfassung

3.1 Detailplanung und Detailvorbereitung

Nach der Auftragserteilung durch den Bauherrn an das Ingenieurbüro müssen die Detailplanung und die spezifischen Vorbereitungsarbeiten an die Hand genommen werden. Die wichtigsten Arbeitsschritte dieser Teilphase sind in Tabelle D3.2 angeführt.

Untersuchungskonzept:

Das Untersuchungskonzept ist im vorliegenden Beispiel bereits mit dem Konzeptvorschlag weitgehend festgelegt worden. Dieses basiert auf den Erfahrungen des früher untersuchten, analogen Bauwerkes. Es sieht eine Kombination von flächenhaften Untersuchungstechniken, die eine Übersicht über die gesamte Länge der Tunnelwände ergeben und von detaillierteren Untersuchungen in sogenannten Messquerschnitten vor. Nach Bedarf können weitere ergänzende Untersuchungen vor Ort angeordnet werden.

Als flächenhafte Untersuchungstechniken kommen die visuelle Untersuchung sowie die Potentialmessung zum Einsatz. Mit beiden Untersuchungstechniken werden bei allen vier Tunnelwänden je die untersten 2 m untersucht.

In jeder Tunnelröhre werden zwei Messquerschnitte vorgesehen. Je ein Messquerschnitt wird im Portalbereich, der zweite etwa bei 2/3 der Tunnellänge vorgesehen. Die definitive Platzierung erfolgt vor Ort unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse. Jeder Messquerschnitt liegt bei einer Elementfuge (Dilatationsfuge). Damit können insbesondere bei der Überdeckungsmessung allfällige Unterschiede bei der Ausführung besser erkannt werden. In den Messquerschnitten werden an jeder Wand vier Bohrkerne entnommen (Höhe ab Gehweg 0.2, 0.9, 1.4 und 2.1 m). Diese Bohrkerne werden später zur Bestimmung der Chloridkonzentration in verschiedenen Tiefen im Beton, der Porosität des Betons und der Karbonatisierungstiefe verwendet. Diese Versuche werden im Labor ausgeführt. Die Lage von Sondieröffnungen wird vor Ort aufgrund der Ergebnisse der Potentialmessung sowie der Überdeckungsmessung festgelegt. Sie dienen in erster Linie zur Eichung und Verifizierung dieser beiden Messungen.

Verfeinerung Untersuchungskonzept Zeitplan Offerten von Spezialisten und für Beihilfearbeiten einholen Unterlagen für Zustandserfassung vorbereiten (Pläne, Skizzen, Formulare) Material bereitstellen
--

Tab. D3.2 Die wichtigsten Schritte der Detailplanung und Detailvorbereitung

Zeitplan:

Bei der vorliegenden Untersuchung bildet die Zeitplanung einen zentralen Punkt. Der Zeitplan wird aufgrund der Absprache mit den Polizeiorganen erstellt. Für die Untersuchungen am Objekt wird jeweils der an die Tunnelwand angrenzende Verkehrsstreifen benötigt. Bei der Absprache mit der Polizei zeigt sich, dass eine gleichzeitige Sperrung nur bei den beiden Standspuren möglich ist. Daraus ergibt sich, dass am ersten Untersuchungstag

die beiden Aussenwände untersucht werden. Beide Standspuren bleiben dafür während des ganzen Tages gesperrt. Am zweiten Tag wird am Vormittag die eine, am Nachmittag die zweite Innenwand untersucht. Es ist jeweils nur eine Überholspur gesperrt, die Umstellung der Signalisation erfolgt vor der Mittagspause durch den Unterhaltsdienst. Der detaillierte Zeitplan für den ersten Untersuchungstag ist in Bild D3.2 abgebildet.

Zustandsuntersuchung Tunnel Maria Zell N2
Untersuchungsprogramm Aussenwände

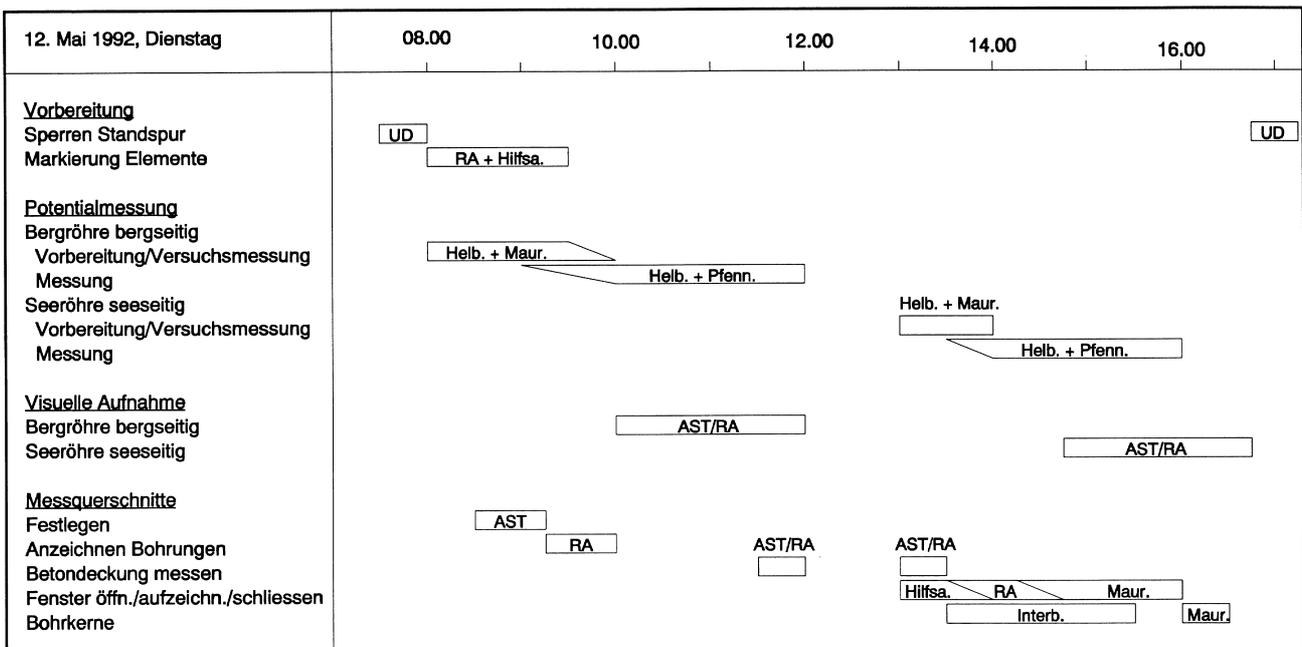


Bild D3.2 Detaillierter Zeitplan für den ersten Untersuchungstag
(Untersuchung der Aussenwände, beide Standspuren gesperrt)

Einholen von Offerten:

Für verschiedene Untersuchungen kommen Spezialisten zum Einsatz: Potentialmessung, Bohrkernentnahmen und Laboruntersuchungen. Es sind zudem verschiedene Beihilfearbeiten notwendig (Aufspitzen von Sondieröffnungen, Zuputzen von Bohrkernentnahmestellen und Sondieröffnungen, Gerüstarbeiten, Benetzen der Tunnelwand für Potentialmessung). Da für alle diese Arbeiten entsprechende Aufträge erteilt werden müssen, ist das Einholen von detaillierten Offerten erforderlich. Die Offertunterlagen umfassen nebst einer Leistungsaufstellung einen Beschrieb der Untersuchungen (Tabelle D3.3). Bild D3.3 zeigt das Leistungsverzeichnis für die Beihilfearbeiten.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Zustandserfassung (zeitlicher Ablauf)2. Bauherrschaft3. Leitung der Zustandserfassung4. Konzept der Zustandserfassung5. Bauseitige Leistungen6. Ausmass und Abrechnung7. Mitgeltende Bestimmungen |
|--|

Tab. D3.3 Hauptpunkte aus den Bestimmungen in den Offertgrundlagen

Unterlagen für die Zustandserfassung:

Ein wichtiger Punkt bei den Vorbereitungen ist die Festlegung eines Bezugssystems für die Aufnahmen vor Ort. Im vorliegenden Fall kann das für den Bau verwendete Axensystem für die Aufnahme verwendet werden. Die Hauptachsen werden als eine der ersten Arbeiten bei der Zustandserfassung am Bauwerk mit Farbe markiert. Für die Aufnahmen wird das Bauwerk in Elemente von 10 m Länge unterteilt. Ein Element bildet jeweils eine Untersu-

chungseinheit. Bild D3.3 zeigt einen Ausschnitt aus dem für die visuelle Untersuchung verwendeten Formular. Auf einer A4-Seite sind alle vier einem Element zugeordneten Wandabschnitte aufgetragen. Die Wände sind heruntergeklappt dargestellt. Während der Untersuchung muss das Blatt je nach dem untersuchten Wandabschnitt gedreht werden. Die Feststellungen werden direkt vor Ort mit vereinbarten Symbolen von Hand in das Formular eingetragen.

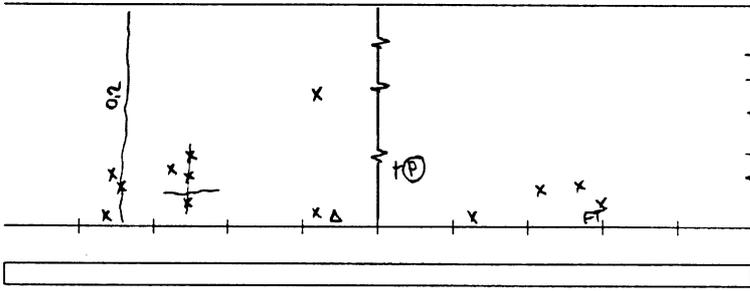
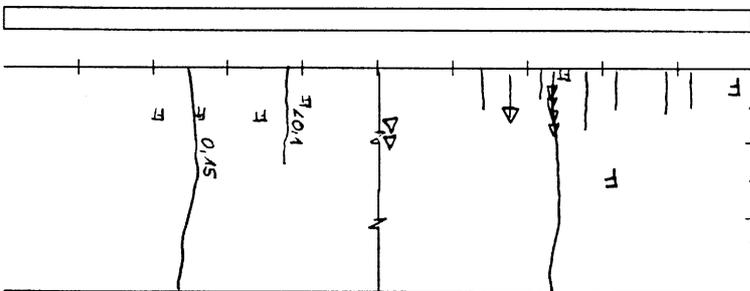
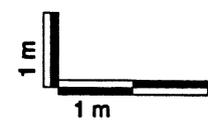
Visuelle Aufnahme der Oberfläche	Element 67b/68
Typ: Nordportal / Normalgewölbe / Übergangsgewölbe / Südportal	
Bemerkungen: <p>P: Anschlussstelle Potentialmessung</p> <hr/>	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">Axe-Nr.</div> <div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">68</div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">Ansicht Wand Seeröhre bergseitig (Überholspur)</div>  <div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">89</div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">Ansicht Wand Seeröhre seeseitig (Standspur)</div> 
	

Bild D3.4 Ausschnitt aus einem ausgefüllten Formular für die visuelle Untersuchung

Weitere Formulare werden für die Aufzeichnung der Untersuchungen in den Messquerschnitten (Lage der Bohrkerne, Ergebnisse der Messung der Betonüberdeckung, Lage der Sondieröffnungen,

usw.) sowie die Erfassung der Bohrkerne benötigt. Beispiele dieser Formulare sind in den Bildern D3.5 und D3.6 abgebildet.

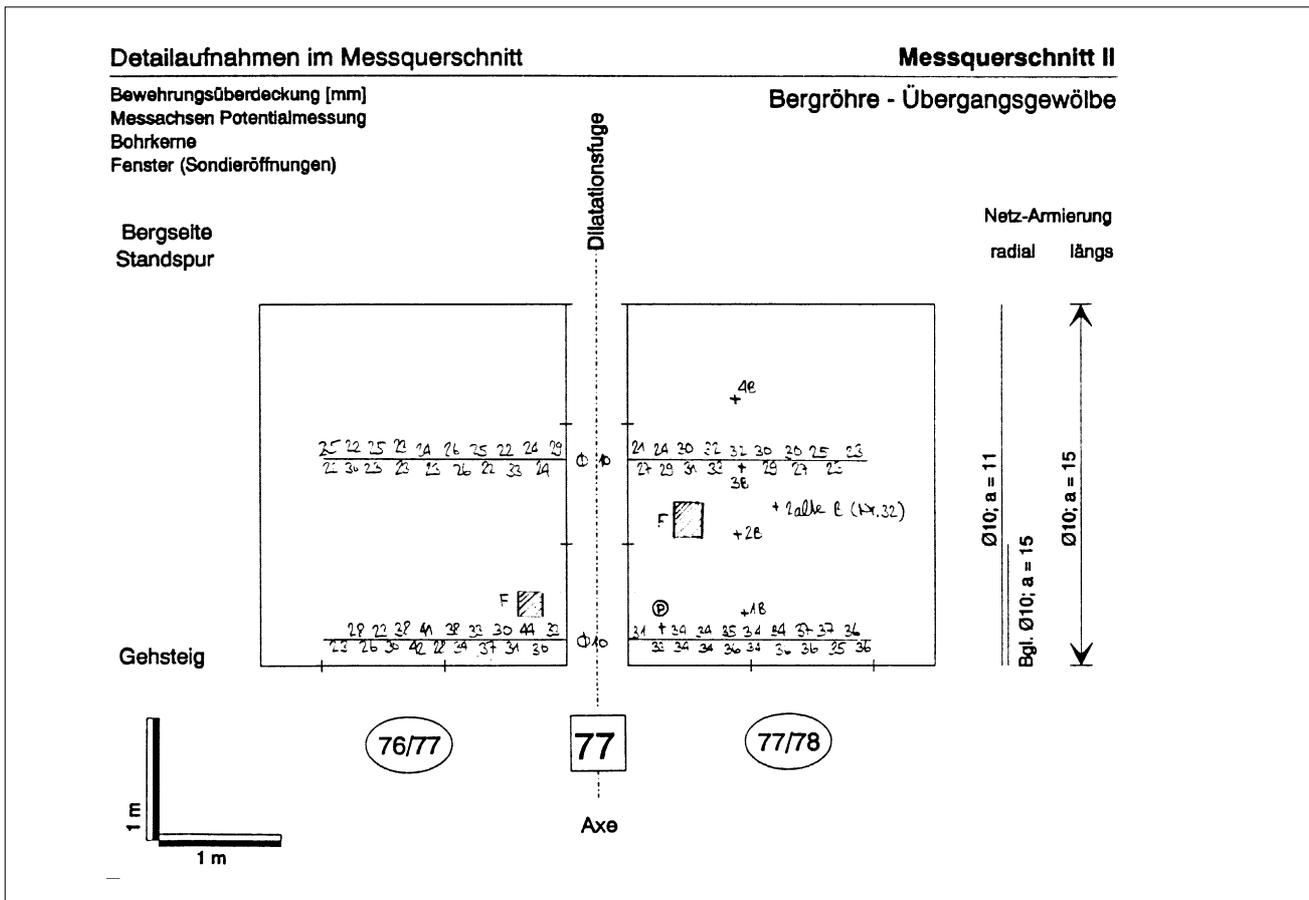
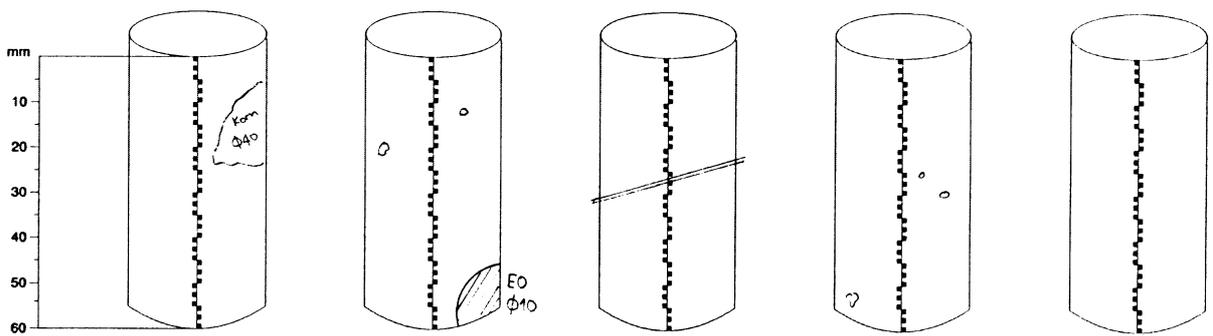


Bild D3.5 Ausschnitt aus einem ausgefüllten Formular für die Erfassung der Untersuchungen in den Messquerschnitten

Bohrkernprotokoll: Messquerschnitt II - Bergröhre - Axe 77 - Element 77/78
 Beschreibung der Bohrkerne und Festlegung der Einzelprüfungen

Kern-Nr.:	I/1R	I/2R	I/3G	I/4B
Lage:	0,45 m ab OK Bankett	1,1 m ab OK Bankett	1,8 m ab OK Bankett	2,3 m ab OK Bankett m ab OK Bankett
Oberfläche:	Bladen - A	Bladen - A	Bladen - A	Bladen - A



Untersuchungen:	I/1R	I/2R	I/3G	I/4B
Porosität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chloridgehalt					
10 - 20 mm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20 - 30 mm	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30 - 40 mm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bemerkungen:	pH-10 mittel: 2 mm max.: 3 mm	pH-10 mittel: 1 mm max.: 2 mm	pH-10 mittel: 1 mm max.: 1 mm	pH-10 mittel: 1 mm max.: 1 mm	pH-10 mittel: mm max.: mm

Legende:

E0 = Eisen ohne Korrosion	— Fiss	◊ Keenest
E1 = Eisen mit geringer Korrosion	≡≡≡ Bruch	⊙ Lunker
E2 = Eisen mit starker Korrosion		

Datum: 25.06.92
 Unterschrift: *[Signature]*

Bild D3.6 Ausschnitt aus einem ausgefüllten Formular für die Erfassung der Bohrkerne

Bereitstellen des Materials:

Für die Zustandserfassung ist zusätzlich zu den benötigten Werkzeugen auch das für die Sicherheit nötige Material vorzubereiten. Bild D3.7 zeigt das für die Zustandserfassung vorbereitete Material.



Bild D3.7 Material für die Zustandserfassung

3.2 Zustandserfassung am Objekt

Die Zustandserfassung wird ohne weiteren Beschrieb mit einer Auswahl von Bildern, die während der Arbeiten aufgenommen wurden dokumentiert.



Bild D3.8 Markierung des Bezugssystems am Bauwerk, eine der ersten Arbeiten vor Ort



Bild D3.9 Vorbereitende Messungen für die Potentialmessung: ist die Bewehrung genügend gut vermascht und ist der Anstrich nicht zu stark elektrisch isolierend?



Bild D3.10 Wegen des vorhandenen Anstriches ist eine Vernetzung der Wandabschnitte für die Potentialmessung notwendig

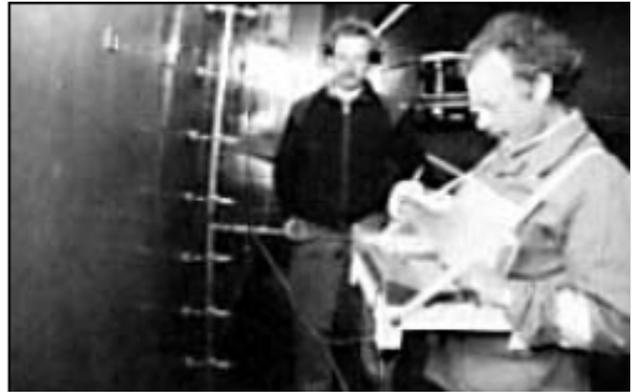


Bild D3.11 Potentialmessung: acht Cu/CuSO₄-Elektroden sind an einem «Rechen» befestigt, die Messungen werden gleichzeitig registriert



Bild D3.12 Das wichtigste Werkzeug für die visuelle Untersuchung ist der Spitzhammer



Bild D3.13 Messung der Rissbreite mit dem Rissmassstab



Bild D3.14 Messung der Betonüberdeckung entlang vorgegebener Messlinien mit dem Profometer



Bild D3.15 Die Ablesungen werden auf dem Aufnahmeblatt festgalten



Bild D3.16 Aufspitzen von Sondieröffnungen zur Überprüfung der Überdeckungsmessungen sowie zur Bestimmung des Korrosionsgrades der Bewehrung

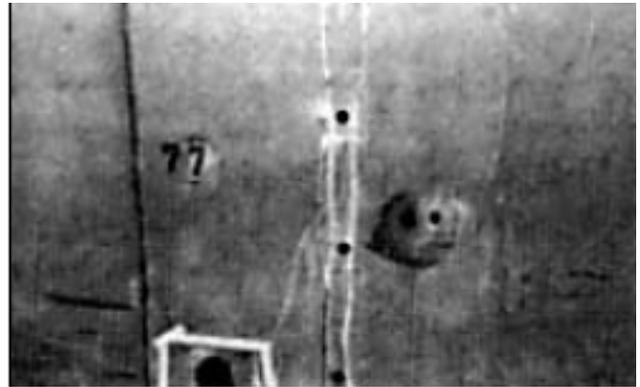


Bild D3.17 Messquerschnitt nach Entnahme der Bohrkern, links unten ist eine Sondieröffnung zu erkennen



Bild D3.18 Die Sondieröffnungen werden fotografiert (wichtig ist die Identifizierbarkeit im Bild)

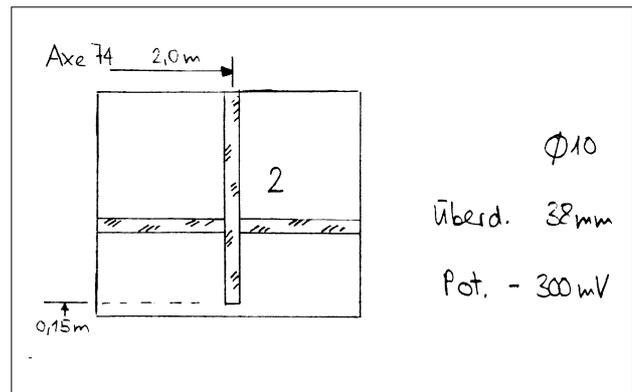


Bild D3.19 Aufnahme der Sondieröffnungen aus Bild D3.18, die Zahlen entsprechen dem beobachteten Korrosionsgrad an der Bewehrung



Bild D3.20 Die Sondieröffnungen müssen fachgerecht zugeputzt werden

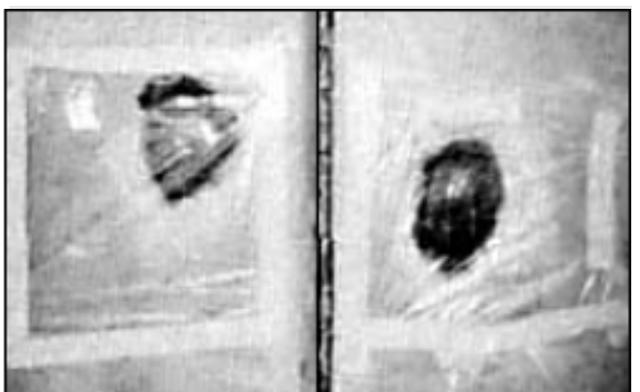


Bild D3.21 Als Nachbehandlung werden die Reparaturstellen mit Plasticfolie abgedeckt

3.3 Resultatzusammenstellung und -auswertung

Nach Abschluss der Arbeiten am Objekt müssen die Feldaufnahmen im Büro bereinigt werden. Zu diesen Arbeiten gehört auch die Erfassung der Bohrkerns und die Festlegung der Laboruntersuchungen an den einzelnen Bohrkernen. Ein Teil der Aufnahmen muss als Vorbereitung für die anschließende Beurteilung noch zusammengefasst

und weiter ausgewertet werden. Als Beispiele sind in den Bildern D3.22 und D3.23 die Verteilung der visuell erfassten Schäden an einer Tunnelwand sowie die statistische Auswertung der Resultate der Potentialmessung an einer Tunnelwand dargestellt.

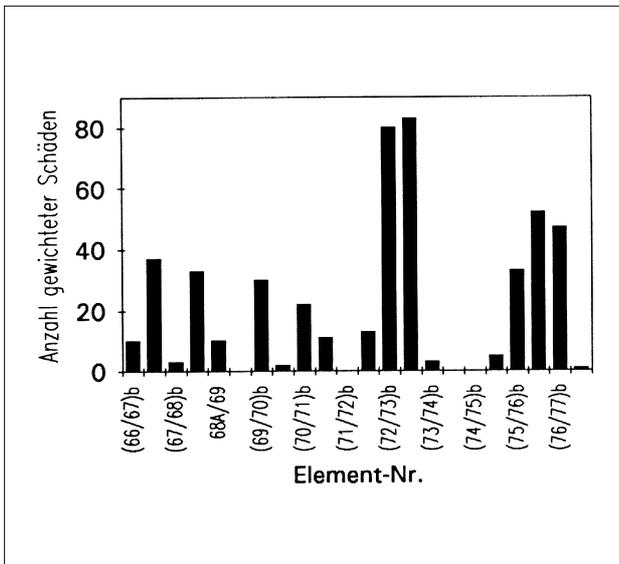


Bild D3.22 Verteilung der visuell erfassten Schäden über eine Tunnelwand. Die Anzahl Schäden bezieht sich immer auf ein Untersuchungselement von 10 m Länge. Die Schäden sind gewichtet.

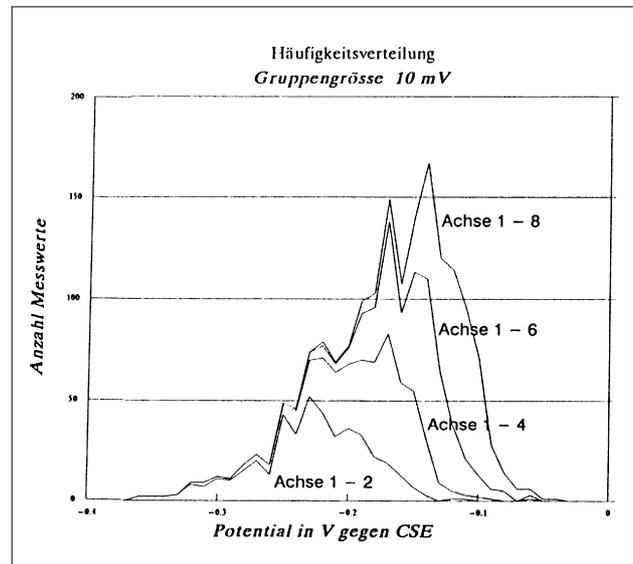


Bild D3.23 Statistische Auswertung der Ergebnisse der Potentialmessung an einer Tunnelwand. Die Messaxe 1 entspricht dem untersten Messpunkt ca. 0.1 m über dem Gehweg, die Messaxe 8 liegt ca. 1.85 m über dem Gehweg. Deutlich ist auszumachen, dass die tiefen Potentialwerte von den unteren Messaxen stammen. Dort ist der Einfluss des Chlorids am grössten.