

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 51-52

**Artikel:** Überlegungen zur Betonsanierung  
**Autor:** Flückiger, D. / Studer, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76779>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 24.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Flussübergänge als Denkmäler-Gattung der Aufmerksamkeit bedürfen.

Aus antiker Zeit haben sich erhalten die Reste des malerischen Ponte Rotto unterhalb der Tiberinsel, am Zugang zur Stadt von Norden her der Ponte Milvio, an dem sich der Sieg Konstantins vom Jahr 312 ereignete, der weitgehend erhaltene Ponte Fabricio vom linken Ufer zur Insel, von der zum rechten der Ponte Cestio führt – beide aus dem ersten vorchristlichen Jahrhundert – dann der Ponte Elio, die Engelsbrücke, als Übergang zum Grabmal des Kaisers Hadrian, der Engelsburg. Die einzige Brücke aus päpstlicher Zeit ist der Ponte Sisto von 1474 mit vier Bogen und grosser Durchlauföffnung in der Mitte. Fünf moderne Brücken mit viel Statuenschmuck schaffen die Verbindung der Stadt mit dem ausgedehnten Quartier der Prati di Castello, das in regelmässigen Strassenzügen und mit baumbestandenen Plätzen auf den Wiesen nördlich vom Vatikan entstand.

Ein besonderes Kapitel der römischen Stadtgeschichte bilden die Vorgänge der *zwanziger und dreissiger Jahre*, die heftig umstritten und diskutiert auch heute noch Anlass zu mancherlei Überlegungen geben. Ihre Veränderungen setzten wohl Ansprüche und Absichten des Risorgimento, der wieder erstande-

nen Hauptstadt, fort, waren aber dem politischen Willen entsprechend zu weit grösseren Eingriffen genötigt. Auch wer nicht im Saal des *Augusteo* einst noch Konzerte gehört hat, kommt vor dem freigelegten Monument zwischen den umgebenden Pfeilerhallen sich entfremdet vor und fühlt sich selbst vor dem Meisterwerk römischer Bildhauerkunst, der *Ara Pacis*, unvertraut und von Historie erdrückt. Grösser und folgenschwerer war der Aufwand für die Öffnung von der Piazza Venezia zum Kolosseum, auf der andern Seite von Denkmal und Kapitol zur Via del Mare. Auch da bestehen Erinnerungen eigener Besuche, wo im dicht besiedelten Gebiet über den Foren zwischen Gemüsekörben eine Säule aus dem Boden ragte oder die nun gänzlich verschwundene Piazza Montanara als der volkstümlichste Ort der Stadt erschien. Sicht und Weg vom Petersplatz nach dem Tiber frei zu machen, war alter Wunsch und Plan, trotzdem bleiben zu bedauern die niedergelegte Häuserzeile des Borgo Vecchio und die Gestaltung der Via della Conciliazione als Triumphstrasse.

Zu der Bilderwelt Roms, deren wichtigste Gattungen der vorliegende Versuch zu beschreiben unternahm, gehören die *Inschriften*: In der Nachfolge der anti-

ken Denkmäler schmücken sie vornehm und stolz kirchliche sowohl wie profane Bauten und Kunstwerke, mit Namen und Daten von Entstehung und Stifter entheben sie den gutwilligen Betrachter vom Geleit eines gedruckten – oder sprechenden – Führers. Zahllos sind Besitztäfelchen und -täfelchen an den Wänden, die Zeilen auf dem Türsturz der Häuser in engen und winkligen Gassen. Alte Verordnungen gegen Schmutz und Abfälle, vielfach bewahrt, sind an Häuserkanten, an der Grenze eines Rione angebracht. Der amerikanische Maler Cy Twombly, der die Hälfte des Jahres in einem alten Quartier der Stadt verbringt, hat diesen Inschriftenreichtum zur Quelle seines bedeutsamen Schaffens gemacht. Sich in der geschichtlich am stärksten belasteten Stadt der Welt zurecht zu finden, gestatten nicht zuletzt die Wappen: Ihre Vielfalt reicht von den wahrhaft prächtigen Gebilden an Wänden und auf Böden zu den oft kostbaren kleinen Schilden an den Hauseingängen – wiederum eine Fülle der Anregung für Auge und Denken.

Adresse des Verfassers: Max Huggler, Professor, 7554 Sent.

## Überlegungen zur Betonsanierung

Von D. Flückiger, Zürich und W. Studer, Dübendorf

Bei der Beobachtung des in- und ausländischen Baumarktes lässt sich feststellen, dass das Gebiet der Bauwerksanierung, insbesondere der Betoninstandsetzung, einen grossen Aufschwung erfahren hat. Das rasche Anwachsen der Nachfrage nach Sanierungsleistungen führte zu einem starken Anschwellen auf der Angebotsseite. Die beschriebene Entwicklung hatte indessen nicht nur gute Aspekte. In der Folge machte sich eine grosse, noch andauernde Unsicherheit breit. Sie herrscht sowohl in der Öffentlichkeit als auch bei den Bauherren, z. B. bei den verantwortlichen Stellen der Kantone.

### Einleitung

Die Vielzahl der sich zum Teil widersprechenden Publikationen zur Bausanierung [6, 14] konnte bis heute diesen komplexen Bereich des Bauwesens nicht erhellen. Im Gegenteil, es entstand eine Vielzahl von Meinungen, eine Vielzahl von Sanierungssystemen, eine Vielzahl von Sanierungsprodukten sowie verschiedene Vorgehensweisen.

Ernüchtert muss festgestellt werden, dass einmal mehr die «Forschung» der Praxis nicht zu folgen vermag.

Auf der Angebotsseite hat man indessen schnell reagiert und die Forschungslücke aufgefüllt. Es wurden Kriterien zur Beurteilung der Qualität geschaffen, ohne dass systematisch untersucht worden wäre, ob die vermutete und propagierte «sichere Beziehung» zwischen geprüfter Eigenschaft und dem Verhalten der Materialien in der

Praxis auch tatsächlich bestehe. Da Entscheide gefällt werden mussten, übernahm man zudem kritiklos ausländische Anforderungen. Wie sich jetzt nachträglich herauszustellen beginnt, beruhen aber auch diese eher auf Vermutungen als auf Tatsachen.

Ein Beispiel dafür ist die Karbonatisierung des Betons. Diese Eigenschaft bot sich als Beurteilungskriterium an, weil sie vermeintlich einfach zu bestimmen ist [7]. Rechenmodelle wurden entwickelt, welche den Fortschritt der Karbonatisierung voraussagen. Man ging sogar so weit, anhand dieser einzelnen Eigenschaft im Zusammenhang mit dem Rechenmodell die «Lebensdauer» eines Bauwerkes oder einer Sanierungsmassnahme zu berechnen [13]. Ein Produkt war dann besser, wenn es einen höheren Widerstand gegenüber der CO<sub>2</sub>-Diffusion aufweisen konnte.

Es ist leicht einzusehen, dass eine solch einseitige Betrachtungsweise zu falschen Beurteilungen führen kann. In der Tat zeigt gerade das Modell für die Berechnung der Karbonatisierung grosse Mängel.

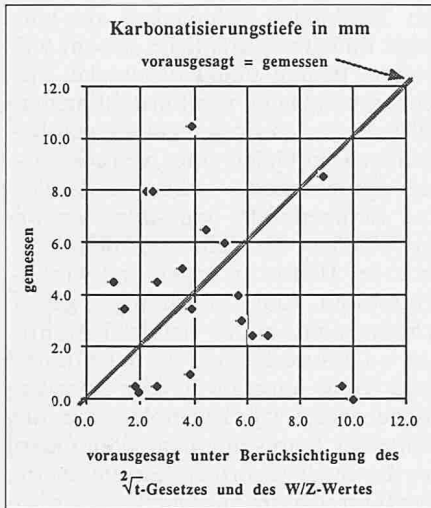


Bild 1. Vergleich zwischen gemessenen und gerechneten Karbonatisierungstiefen

Bild 1 zeigt einen Vergleich zwischen gemessenen und vorausgesagten Karbonatisierungstiefen. Auf der Abszisse sind die Werte in [mm], die sich unter Berücksichtigung des  $\sqrt[2]{t}$ -Gesetzes und des W/Z-Wertes nach [15, Bild 5] ergeben, auf der Ordinate sind die tatsächlich gemessenen Werte aufgetragen.

Diese Werte wurden im Rahmen einer Untersuchung von Bauwerken (Alter 0,2–32 Jahre) im Raum Basel gewonnen. Lägen alle Punkte auf der Geraden unter 45° Neigung, so würde eine vollkommene Übereinstimmung zwischen Theorie und Wirklichkeit bestehen. Die aufgetragenen Werte können jedoch in keiner Weise mit einer bestimmten Funktion angenähert werden. Sowohl Unter- als auch Überschätzungen sind möglich. Dieses Resultat vermag indessen nicht zu erstaunen. Die Ficksche Diffusion ( $\sqrt[2]{t}$ -Gesetz) ist nämlich neben vielen anderen nur ein möglicher Transport-Mechanismus und gilt zudem nur für ungefähr gleichbleibendes, relativ trockenes Klima, also z. B. für Innenräume [11, 12].

Die Karbonatisierung fügt dem Beton selbst keinen Schaden zu. Im Gegenteil, der Beton gewinnt beispielsweise an Festigkeit [4]. Einzig die Armierung verliert ihre Passivierung durch das Fehlen des alkalischen Milieus. Dadurch wird eine der Voraussetzungen für eine flächenhafte Korrosion geschaffen. Die Neutralisierung allein genügt jedoch noch nicht. Für die flächenhafte Korrosion muss neben Feuchtigkeit auch genügend Sauerstoff vorhanden sein [5]. Es gibt Beispiele in der Praxis, wo trotz vollständiger Karbonatisierung bis in den Armierungsbereich auch nach Jahren noch keine Korrosion aufgetreten ist.

Aus obigen Ausführungen lässt sich ableiten, dass von einer Beurteilung der

Bausubstanz aufgrund der Karbonatisierungstiefe allein abzuraten ist. Lebensdauerprognosen und entsprechende Wirtschaftlichkeitsanalysen, die sich hauptsächlich auf die – vielfach nur zu einem einzigen Zeitpunkt gemessene – Karbonatisierung stützen, dürften kaum sehr genau sein.

Ein weiteres Beispiel ist die Chlorideindringung in unsere Bauwerke. Die daraus entstehenden Probleme sind als viel ernster zu bewerten, da bei vorhandenen freien Chloridionen Stahl auch in intaktem alkalischem Milieu zu korrodieren beginnen kann. Zudem ist dann die Gefahr von lokaler Korrosion, wie Lochkorrosion bei Bewehrungsstählen und Spannungsrisskorrosion bei Spannstählen, sehr gross. Beide Korrosionsarten sind deshalb gefährlich, weil in sehr kurzer Zeit massive Querschnittsreduktionen auftreten können [9].

Der Zementstein besitzt die Fähigkeit, eine gewisse Menge von Chloridionen zu binden. Bis heute wurde aus diesem Grund eine Chloridionen-Konzentration unter etwa 0,4 Masse-%, bezogen auf den Zementgehalt, als ungefährlich angesehen. Diese Angaben über Grenzwerte sind jedoch ebenfalls gefährlich. Beispiele in der Praxis zeigen, dass einerseits auch bei tieferen Konzentrationen Schäden möglich sind, andererseits aber auch bei wesentlich höheren Konzentrationen noch keine gravierenden Schädigungen auftreten müssen.

Ähnliches wie über die Karbonatisierung und die Chlorideindringung sowie deren Auswirkungen liesse sich auch über die Frost-Tausalz-Beständigkeit und über die Rissbildung sagen.

### Ad-hoc-Studiengruppe

Bei der Betonbeständigkeit und auch bei der Betoninstandsetzung spielen offenbar immer eine grosse Anzahl von Faktoren eine Rolle. Diese Faktoren beeinflussen sich gegenseitig, wirken also nicht unabhängig voneinander. Ein wesentlicher Teil der Faktoren und deren Wirkungsweise ist nur ungenau bekannt. Hier sei nur auf die *Salzbelastung* und das *Mikroklima* hingewiesen. Eine weitere Gruppe von massgebenden Faktoren, wie das *Können*, die *Zuverlässigkeit* und die *Motivation aller Beteiligten*, liegt sogar ausserhalb der Materialwissenschaften.

Das Sanieren von Betonbauwerken ist also eine äusserst anspruchsvolle Ingenieuraufgabe [2], bei deren Lösung in Zukunft auch vermehrt bauphysikali-

sche Erkenntnisse und Methoden angewendet werden sollten. Ein unkoordiniertes Vorgehen, wie es zurzeit häufig praktiziert wird, kann deshalb leicht zu Misserfolgen führen. Eine wirkliche Lösung der Probleme ist nur durch eine ganzheitliche Betrachtung [8] zu erwarten.

Als ein Schritt in diese Richtung kann die Bildung der Ad-hoc-Studiengruppe für Schadenfälle an Brückenbrüstungen im Jahre 1977 angesehen werden. Dieser Studiengruppe gehören Vertreter verschiedener Kantone sowie der ETH/EMPA an. Von der Gründung bis 1986 stand sie unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Rösli. Sie befasste sich eingehend mit Problemen der Schäden, insbesondere an Brückenkonstruktionen, und deren Sanierung.

Diese Gruppe erreichte den notwendigen interkantonalen Dialog. Sie regte schon bald Vergleichsversuche mit verschiedenen Sanierungssystemen und das Anlegen von Versuchsstrecken an und besichtigte eine Vielzahl von beschädigten und sanierten Brücken in der ganzen Schweiz. Die dabei gemachten Erfahrungen fanden ihren Niederschlag in bisher vier Zwischenberichten [1].

Daneben wirkte sie als Begleitkommission für das Forschungsprojekt «Frost-Tausalz-Beständigkeit von Beton», welches in den Jahren 1979–1983 am Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion der ETH-Zürich durchgeführt wurde [10]. Heute bildet sie auch das Bindeglied zur Praxis für das Nachfolgeprojekt «Schutz und Sanierung von Betonbauwerken im Bereich von Strassen», welches am Institut bearbeitet wird. Dieses Forschungsprojekt soll im folgenden näher vorgestellt werden.

### Forschungsprojekt

Die Forschungsschwerpunkte wurden in Zusammenarbeit mit der Studiengruppe festgelegt. Es sollten ja Antworten auf die dringenden Fragen erarbeitet werden.

Eine Betonsanierung wird nach der eigentlichen Schadenaufnahme von zwei wesentlichen Einflussgrössen geprägt (Bild 2).

Deshalb ist auch das Forschungsprojekt in zwei Hauptteile gegliedert:

#### Angebotsseite

Das rasche Anschwellen des Marktes führte zu einer Fülle von Produkten, die unter grossen Anstrengungen verbessert wurden und einer ständig wachsenden Anzahl von Anforderungen zu

genügen hatten. Zu jeder Anforderung wurden auch entsprechende Prüfmethoden entwickelt, wobei wegen mangelnden Dialogs und ungenügender Kenntnis der effektiv vorhandenen Zusammenhänge ein einheitliches Konzept fehlte: Verschiedene Prüfstellen führten unterschiedliche Prüfungen durch! Der direkte Vergleich zwischen den verschiedenen Prüfungen und somit auch der Vergleich der Produkte war und ist immer noch unmöglich. Heute werden von verschiedenen Kantonen verschiedene Prüfatteste verlangt, bevor eine Anwendung überhaupt in Frage kommt. Die Firmen sehen sich gezwungen, sehr viel Geld in Prüfungen zu investieren. Sie sind andererseits aber auch in der Lage, durch Auswahl der Prüfinstitute «günstige» Resultate zu erzielen.

Dies ist ein äusserst unbefriedigender Zustand, und deshalb wurde im Rahmen des Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit der EMPA ein Prüfprogramm entwickelt, welches die Prüfung von Schutzschichten für Stahlbetonoberflächen beschreibt. Dieses Prüfprogramm wurde anschliessend zusammen mit folgenden Institutionen bereinigt:

- Laboratoire des matériaux de construction LMC in Lausanne
- Labor für Präparation und Methodik LPM AG in Beinwil am See
- Fachgruppe für Betonschutz und -sanierung des Verbandes Schweizerischer Lack- und Farbenfabrikanten VSLF.

Es wurden bewusst viele, zum Teil neue und wenig erprobte Prüfungen ins Programm aufgenommen. In einem ersten Schritt sollen nun weniger aussagekräftige Versuche eliminiert, die Prüfmethoden vereinheitlicht und deren Reproduzierbarkeit verbessert werden. Dazu werden einige Produkte bei der EMPA geprüft. Parallel dazu erfolgt ein Ringversuch bei den Prüfstellen LMC, LPM und EMPA. Mit diesen Untersuchungen sollen die Grundlagen geschaffen werden für eine künftige schweizerische Prüfnorm.

Das vorliegende Prüfprogramm beschränkt sich bewusst auf die äusserste Schicht eines Betonsanierungssystems. Produkte für den Korrosionsschutz oder die Reprofilierung sind also ausgeschlossen. Diese Beschränkung wurde eingeführt, um den Aufwand im Rahmen zu halten. Später sollte es möglich sein, das Prüfprogramm auch auf die weiteren Komponenten eines Sanierungssystems zu erweitern.

## Ausführungsseite

Das Resultat einer Untersuchung nach diesem Prüfprogramm kann aber – wie oben angedeutet – keine Garantie abgeben für das Gelingen einer Sanierung. Vielmehr kann damit nur die grundsätzliche Eignung eines Systems festgestellt werden. Laborversuche zeigen in der Regel nur, was ein Produkt unter optimalen Bedingungen zu leisten imstande ist. Inwieweit das Produkt am Bauwerk diese Werte erreicht, hängt davon ab, wie genau die wichtigen Randbedingungen bei der Applikation eingehalten werden.

Daraus können zwei Dinge abgeleitet werden:

□ Prüfungen müssen auch an Probekörpern durchgeführt werden können, die einem Bauwerk entstammen. Nur so kann abgeklärt werden, ob eine bestimmte Eigenschaft oder Anforderung überhaupt relevant ist in bezug auf die Eignung eines Sanierungssystems. Anforderungswerte zu stellen ist somit nur dann sinnvoll, wenn eine Überprüfung am Bauwerk möglich ist.

□ Zur Qualitätssicherung bei Sanierungsarbeiten gehört auch die klare Ausschreibung und die konsequente Überwachung der Ausführung.

Um in diesem zweiten Bereich dem Bauherrn die Aufgabe zu erleichtern, werden bzw. wurden im Rahmen des Forschungsprojektes Empfehlungen erarbeitet.

Die Empfehlungen für die Ausschreibung von Schutz- bzw. Sanierungsarbeiten sollen dem Bauherrn zeigen, welche Punkte bereits bei der Ausschreibung zu beachten sind. Sie wurden in der Form von Hinweisen und dem Beispiel eines Leistungsverzeichnisses abgefasst. Die Empfehlungen wurden zusammen mit dem 4. Bericht der Ad-hoc-Studiengruppe im April 1986 an alle Kantone versandt.

Die Empfehlungen für Kontrolle und Abnahme von Sanierungsarbeiten dienen dazu, die Qualität der Arbeiten bei Sanierungen zu steigern. Sie setzen sich aus zwei Teilen zusammen:

Der Hauptteil beschreibt im Detail die einzelnen Punkte, welche bei einer Sanierung beachtet werden müssen. In Übereinstimmung mit der Neufassung der SIA-Norm 160 soll vorgeschlagen werden, auch für Sanierungsarbeiten eine Art «Nutzungsplan» aufzustellen. Er ist Teil eines Geschichts- bzw. Wartungsbuches des Bauwerkes und fasst unter anderem alle vorhandenen Angaben zum Ist-Zustand, zum Soll-Zustand

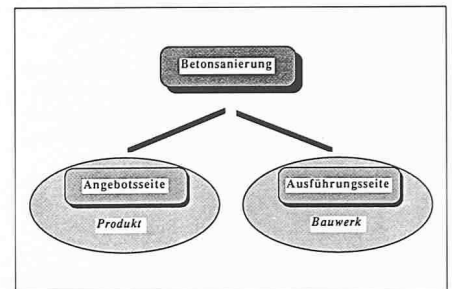


Bild 2. Zusammenhänge der Betonsanierung

und zu den verwendeten Sanierungssystemen zusammen. Auch hier soll im Anhang ein konkretes Beispiel gegeben werden.

## Kontrollflächen

Als Kern der Empfehlungen kann das Kapitel «Methoden zur Überwachung und Kontrolle der Arbeiten» bezeichnet werden. Darin wird das Anlegen von sog. «Kontrollflächen» vorgeschlagen, das sich beim Korrosionsschutz von Stahlbauten bewährt hat [3]. Man versteht darunter genau abgegrenzte und dauerhaft gekennzeichnete Felder einer Konstruktionsoberfläche, auf welche das Sanierungssystem unter genau festgehaltenen Bedingungen appliziert worden ist. Sie stehen stellvertretend für einen gewissen, ähnlich beanspruchten Bereich der übrigen Fläche.

Bei jedem Bauwerk werden in der Regel mehrere Kontrollflächen angelegt, je nach Grösse und Vielfalt der Beanspruchungen. Während der Arbeiten wird das Kontrollflächenprotokoll erstellt. Dieses Vorgehen ermöglicht es der Bauherrschaft, einen «Qualitätsstandard» aufzuzeigen. Später folgende Prüfungen wie etwa Haftfestigkeit, Rissüberbrückungsfähigkeit usw. werden immer an den bezeichneten Flächen durchgeführt. Damit kann der Zustand des Bauwerkes bzw. der Sanierung einigermaßen sicher überwacht werden. Zudem sind alle gesammelten Daten reproduzierbar und können für die Lösung künftiger Probleme herangezogen werden.

Der Hauptgedanke ist, den oft grossen Aufwand an Kontrollen bei Sanierungsarbeiten auf ein Minimum zu reduzieren. Die Arbeiten müssen nicht mehr dauernd überwacht werden, sondern nur stichprobenweise – natürlich mindestens beim Anlegen der Kontrollflächen. Die übrigen Flächen werden dann am «Qualitätsstandard» gemessen.



## Literatur

- [1] Ad-hoc-Studiengruppe für Schadenfälle an Brückenbrüstungen: 1.-4. Zwischenbericht von 1978, 1979, 1982 und 1986, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion ETH Zürich
- [2] Basler, K.: Ausbildungsüberprüfung im Bereich des Hochbaues, Postulat an den Schweizerischen Schulrat vom 2. April 1987
- [3] B 3 Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen, Empfehlungen der TK-SZS, Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau 1982
- [4] Czernin, W.: Zementchemie für Bauingenieure, Bauverlag GmbH Wiesbaden + Berlin 1977
- [5] Elsener, B., und Böhm, H.: Elektrochemische Untersuchungen der Korrosion von Armierungsstahl in Beton. Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 14, 1984, S. 264-269
- [6] Frey, R.: Einwirkung von Streusalzen auf Beton unter gezielt praxisnahen Bedingungen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 384, Berlin 1987
- [7] Hensel, W.: Chemische Reaktionen von Atmosphärien mit zementgebundenen Baustoffen, Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 11 1985, S. 714-721
- [8] Lüthi, P.: Ganzheitliches Denken – eine Lösung unserer Probleme? Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 14, 1987, S. 119ff.
- [9] Nürnberger, U.: Chloridkorrosion von Stahl in Beton Teil I und II, Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 9 und 10, 1984
- [10] Rösl, A., und Mitarbeiter: Frost- und Tausalzbeständigkeit von Beton, Forschungsprojekt 9/78, Eidg. Dep. des Innern, Schlussbericht März 1983
- [11] Schiessl, P.: CEB-Working Guide for Durable Concrete Structures, Part 1, Protection of reinforcement, CEB-Rilem International Workshop, May 1983, Copenhagen
- [12] Schröder, F. et al.: Einfluss von Luftkohlenensäure und Feuchtigkeit auf die Beschaffenheit des Betons als Korrosionsschutz für Stahleinlagen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 182, Berlin 1967
- [13] Stocker, W.: Entscheidungshilfen bei Beschichtungen, Schweizer Baublatt, Heft Nr. 4 1987
- [14] Weber, J.: Die Karbonatisierung des Betons und deren Einfluss auf die Betonbeständigkeit, Strasse und Verkehr Nr. 4 1987
- [15] Wittmann, F.: Gefüge und Beständigkeit des Betons, Dokumentation des SIA Nr. 72: Beständigkeit des Stahlbetons, Zürich 1984, S. 7-12

Die Anordnung der Kontrollflächen ist von zentraler Bedeutung. Ein geschicktes Vorgehen kann einen aktiven Beitrag zur Erhöhung der Qualität der

Ausführung liefern. Andererseits ergeben sich einige Probleme daraus, dass der Beton einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Dauerhaftig-

keit der Sanierung haben kann. Unter diesem Blickwinkel muss noch abgeklärt werden, ob die Kontrollflächen besser an durchschnittlichen oder an extremen Stellen, ob sie besser zufällig oder geplant angelegt werden sollen. Dabei muss unbedingt die Frage der Garantieleistung berücksichtigt werden.

## Schlussbemerkung

Die Lage auf dem Betonsanierungsmarkt ist sehr unübersichtlich. Dies kann unter anderem daherrühren, dass zwar viele Beteiligte viel unternehmen, aber meist zu wenig von den Bemühungen anderer wissen. Deshalb stellt dieser Artikel neben der Arbeit einer schon 10 Jahre auf diesem Gebiet tätigen Studiengruppe auch die wichtigsten Aspekte eines Forschungsprojektes vor, obwohl dieses bei weitem noch nicht abgeschlossen ist. Wir hoffen, damit einen kleinen Schritt zur Klärung der Situation zu tun.

Adressen der Verfasser: D. Flückiger, dipl. Ing. ETH, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich, und W. Studer, dipl. Ing. ETH, Vorsitzender der Ad-hoc-Studiengruppe für Schadenfälle an Brückenbrüstungen, c/o EMPA, 8600 Dübendorf.

## Physikalische Spielzeuge stellen Fragen

# 1. Zum Beispiel der Bumerang

Von Wolfgang Bürger, Karlsruhe

Prof. Dr. W. Bürger ist seit 1975 Leiter des Instituts für Theoretische Mechanik der Universität Karlsruhe. Sein wissenschaftliches Arbeitsgebiet ist die Mechanik und Thermodynamik der Kontinua und – neuerdings – die Theorie physikalischer Spielzeuge.

## Wer erfand den Bumerang?

«War einmal ein Bumerang; war ein wenig zu lang. Bumerang flog ein Stück, aber kam nicht mehr zurück. Publikum – noch stundenlang – wartete auf Bumerang», reimte Hans Böttcher, der sich Joachim Ringelnatz nannte.

Doch der Meister irrte: An der Länge kann es nicht gelegen haben. Alle möglichen krummen Hölzer mit tragflächenartigen Armen kehren zum Werfer zurück, wenn sie vorschriftsmässig geworfen werden und der Wind nicht zu heftig mit ihnen spielt. Bei den Ureinwohnern Australiens, den Aborigines, sind allerdings auch Wurfhölzer im Gebrauch, die nicht zurückkommen. Es sind schwere Hölzer für die

Jagd, deren Tragflächen den Zweck haben, den Flugweg bis zu 100 m und mehr zu verlängern.

Entgegen einem verbreiteten Vorurteil ist Australien nicht die einzige Wiege des Bumerangs. Archäologische Funde machen es wahrscheinlich, dass auch die steinzeitlichen Kulturen Europas, Asiens und Nordamerikas fliegende Wurfhölzer kannten.

Die Wissenschaft wurde früh auf die Flugeigenschaften der Bumerangs aufmerksam, die deshalb schon in den Anfängen der Aerodynamik Beachtung fanden.

## Kreuzbumerangs

Bumerangs sind – etwas drastisch defi-

niert – eine Kreuzung von Hubschrauber und Kreisel. Luftkräfte an den Tragflächen, die den Bumerang aus seiner Lage zu bringen suchen, wecken «Kreiselkräfte», mit denen er sich solchem Zwange widersetzt. Das Wechselspiel beider macht den erstaunlichen Flug des Bumerangs möglich: die Präzession eines Kreisels wird zum Wendemanöver in der Luft. Typische Rückkehrbumerangs, wie die Australier sie aus Hartholz schnitzen, haben zwei ungefähr gleich lange Flügel, die einen stumpfen Winkel einschliessen. Sie fliegen weite Bögen mit über 50 m Durchmesser, die Flugbahnen sind wellig, weil das gekrümmte Flugholz seinen ausserhalb des Körpers liegenden Schwerpunkt umkreist.

Vierflügelige «Kreuzbumerangs» sind die Ausnahme. Das Science Museum in St. Paul, Minnesota, zeigt Bumerangs aus Nordostaustralien, deren gekreuzte Flügel kunstvoll mit Lederschnüren verbunden sind. Was der moderne Mensch leicht mit Klebstoff fertigbringt, zwei Hölzer über Kreuz fest zu verbinden, stellte die Steinzeitmenschen vor eine schwierige Aufgabe.