

Korrosionsschutz von Stahl in Beton *)

Von Gallus Rehm, Braunschweig

1. Einleitung

Daß für den Bestand eines Bauwerkes die baustofftechnologischen Fragen genauso wichtig sind wie die Statik und Konstruktion, zeigen alle Untersuchungen von Bauschäden. Auf dem Teilgebiet der Korrosion von Stahl in Beton waren es die bekannten Schadensfälle an Spannbetondecken aus Tonerdeschmelzzement, die zur Folge hatten, daß man sich intensiver als bisher mit der Frage der Korrosion und des Korrosionsschutzes der Bewehrung im Beton befaßte.

Im folgenden soll über Untersuchungsmethoden der Korrosionsforschung und ihre Aussagefähigkeit für die Praxis sowie über den Wert zusätzlicher Schutzmaßnahmen für die Stahlbewehrung in Beton berichtet werden. Ein vorangestellter Überblick über Möglichkeiten der Korrosion von Stahl in Beton soll in früheren Veröffentlichungen [1, 2] bereits Dargestelltes noch einmal kurz wiederholen, um die weiteren Ausführungen verständlicher zu machen.

2. Voraussetzungen und Erscheinungsformen der Korrosion der Bewehrung im Beton

Es ist im Grunde ein glücklicher Umstand, daß derselbe Vorgang, der die Erhärtung von Zement und damit seine Verwendung als Bindemittel ermöglicht, nämlich seine Reaktion mit Wasser, gleichzeitig auch den Korrosionsschutz der Bewehrung sichert. Bei der Hydratation des Zementes tritt außer der Wasseranlagerung auch Hydrolyse ein, die aus den Klinkermineralien Calciumhydroxid abspaltet. Calciumhydroxid in gesättigter wäßriger Lösung stellt einen pH-Wert von 12,6 ein.

Stahl in einem Medium dieser hohen Basizität ist durch Passivierung, d. h. durch eine lückenlose Deckschicht aus Eisenoxiden, vor Korrosion geschützt.

Falls es gelingt, diesen Zustand an der ganzen Oberfläche der Bewehrung aufrechtzuerhalten, besteht kein Anlaß für Sorgen um den Korrosionsschutz des Stahls.

Leider gibt es einige Möglichkeiten dafür, daß dieser ideale Korrosionsschutz an Wirksamkeit einbüßt:

a) Fehlstellen im Beton

Es leuchtet ein, daß an Fehlstellen im Beton, wie Rissen, Kiesnestern oder Fugen, eine Passivierung der Bewehrung nicht ein-

*) Nach einem Vortrag auf der technisch-wissenschaftlichen Zementtagung vom 18. bis 20. September 1968 in München.

treten kann. Dort ist mit Korrosionserscheinungen zu rechnen, wenn außerdem ausreichende Feuchtigkeit vorhanden ist und ungehindert Zutritt von Luftsauerstoff erfolgen kann. Die beiden letzten Bedingungen müssen selbstverständlich immer zusätzlich gegeben sein, damit Korrosion überhaupt stattfindet. So ist weder bei Bauten in trockenen Wüstengegenden noch bei Bauteilen, die sich ständig unter Wasser befinden, eine Schädigung zu befürchten.

b) Carbonatisierung des Betons

Aber auch ohne das Vorhandensein von Fehlstellen kann die Passivierung der Stähle im Laufe der Zeit verlorengehen, weil Beton in carbonatisierten Bereichen seine rostschützende Wirkung nicht mehr behält.

Die in der Luft vorhandene Kohlensäure (0,03 %) setzt sich mit basisch reagierenden Baustoffen chemisch um und neutralisiert sie unter Carbonatbildung. Dieser Vorgang verläuft unter normalen Verhältnissen relativ langsam. Wenn die „Carbonatisierungstiefe“ im Beton bis zur Höhe der Bewehrung vorgedrungen ist, tritt flächenhafte Korrosion unter Bildung dicker abblätternder Rostschichten auf, die nach einiger Zeit zur Absprengung der Überdeckung führen. Es ist deshalb nötig, die Überdeckungsmaße so hoch anzusetzen, daß dieser Zustand innerhalb einer vernünftigen Lebensdauer von Bauwerken nicht erreicht wird.

c) Einwirkung von Halogeniden (Chlorid)

Nach unserem heutigen Wissen besteht nur dann bei einem im alkalischen Beton einwandfrei eingebetteten Eisen die Möglichkeit der Korrosion, wenn Halogenide (z. B. Fluoride, Chloride) einwirken können. Von praktischer Bedeutung ist dabei vor allem das Chlorid. Es vermag die Passivschicht an örtlich eng begrenzten Stellen zu durchdringen und dort Narben zu erzeugen, die anschaulich als Lochfraß bezeichnet werden.

d) Spannungsrißkorrosion

Während die bisher geschilderten Korrosionsarten unabhängig von der Stahlart sind, sind die Spannungsrißkorrosion und die Wasserstoffversprödung beschränkt auf gespannte Stähle.

Die Spannungsrißkorrosion wird in der Literatur als ein inter- oder transkristallines Aufreißen von metallischen Werkstoffen unter gleichzeitiger Einwirkung eines Korrosionsmittels und von Zugspannungen beschrieben. Das Heimtückische dieser Korrosionsart ist ein Aufreißen des Werkstoffes ohne äußerlich sichtbare Schädigungen. Die Voraussetzungen für den Ablauf der Spannungsrißkorrosion sind:

ein empfindlicher Werkstoff,
die Einwirkung eines Korrosionsmittels mit schwach oxydierender Wirkung und
das gleichzeitige Vorhandensein von Zugspannungen, sei es durch äußere Belastung oder durch Eigenspannungen.

Als Korrosionsmittel sind Nitrate, Chloride, OH-Ionen und andere bekannt.

Die heute verwendeten Spannstähle müssen zunächst ohne Berücksichtigung des Herstellungsverfahrens zumindest in den höheren Festigkeitsgruppen grundsätzlich als empfindlich gegen Spannungsrißkorrosion angesehen werden. Andererseits sind aus der Baupraxis nur sehr wenig Schäden bekannt, die eindeutig auf Spannungsrißkorrosion zurückzuführen sind. Dagegen sind Schäden infolge der noch zu beschreibenden Wasserstoffversprödung wesentlich zahlreicher aufgetreten, insbesondere bei Spannbetondecken aus Tonerdeschmelzzement.

e) Wasserstoffversprödung

Bei der Wasserstoffversprödung handelt es sich um äußerlich ähnliche Phänomene wie bei der Spannungsrißkorrosion. Im Mechanismus besteht jedoch ein grundsätzlicher Unterschied insofern, als die Spannungsrißkorrosion ein anodischer Vorgang, die Wasserstoffversprödung jedoch als kathodischer Vorgang zu sehen ist. Das Kennzeichnende dieser Korrosionsart ist eine Schädigung nicht durch Metallabtragung oder Metallauflösung — obwohl auch diese stattfinden muß —, sondern durch den kathodisch gebildeten Wasserstoff. Im Normalfall rekombiniert der bei jedem Korrosionsvorgang entstehende atomare Wasserstoff innerhalb ganz kurzer Zeit zu molekularem Wasserstoff, der bei normaler Temperatur auch für Spannstähle unschädlich ist. In Gegenwart von sogenannten Katalysatorgiften, eines davon ist der Schwefelwasserstoff, wird die Rekombination des atomaren Wasserstoffes jedoch verzögert bzw. verhindert. Dieser vermag dann aufgrund seines kleinen Atomradius ins Gitter des Stahles einzudringen. Er lagert sich dort bevorzugt an Korngrenzen, Fehlstellen oder in den Gefügebestandteilen, die ein besonders großes Aufnahmevermögen für Wasserstoff haben, ab. Die damit verbundenen Eigenschaftsänderungen sind zwar noch nicht vollständig bekannt, man weiß aber, daß eingedrungener Wasserstoff die Verformungsfähigkeit der Stähle, insbesondere das plastische Verhalten, sehr ungünstig beeinflusst. Über die Ursachen der beobachteten Rißbildung im Gefüge bestehen mehrere Theorien. Als sicher erwiesen anzusehen ist die durch Umwandlung des atomar eingedrungenen Wasserstoffes in den Molekularzustand bedingte Sprengwirkung [3].

Nach Auffassung der überwiegenden Zahl von Wissenschaftlern kann die Wasserstoffversprödung nur in einem Medium mit saurer bzw. schwach alkalischer Reaktion ablaufen. Als oberer Grenzwert wird $\text{pH} = 9$ angegeben. Neuere Ergebnisse lassen es jedoch als nicht ausgeschlossen erscheinen, daß der beschriebene Vorgang auch noch bei höherer Alkalität ablaufen kann.

3. Diskussion der Untersuchungsmethoden und deren Aussagefähigkeit für die Praxis

3.1 Elektro-chemische Verfahren

Das Wesen dieses Verfahrens besteht darin, durch Messung der Gesetzmäßigkeit zwischen Stromstärke und Potential (Spannung) eine Aussage darüber zu machen, ob die untersuchte Stahlprobe

passiv ist, und gegebenenfalls festzustellen, unter welchen Bedingungen die Passivität aufgehoben wird. Die Stromstärke entspricht dabei der Eisenauflösung.

Die Versuche können grundsätzlich an Stäben in Lösung oder an mit Beton umhüllten Stäben, sogenannten Beton-Elektroden, durchgeführt werden. Für einen passiven Stahl charakteristisch ist eine Strom-Spannungskurve, die zunächst sehr flach verläuft und erst im Bereich der Wasserersetzung eine sehr rasche Zunahme der Stromdichte aufweist [4]. Mit Hilfe dieses Verfahrens läßt sich aber nicht nur feststellen, ob die untersuchte Probe passiv ist oder nicht, sondern es läßt sich beispielsweise auch deutlich der Einfluß von Zusätzen, die die ursprüngliche Passivierung aufheben, nachweisen.

Durch die Zugabe von Chlorid wird die für eine passive Oberfläche charakteristische Strom-Spannungskurve verändert. Das Potential, bei welchem die Eisenauflösung schlagartig beginnt, wird als Durchbruchpotential bezeichnet [5]. Selbstverständlich kann die Auswirkung beliebiger Zusatzmittel ebenso wie die von Chloriden geklärt werden.

In besonders gelagerten Fällen kann durch verfeinerte Meßmethoden nach Aktivierung der Stahloberfläche die Intensität der Eisenauflösung gemessen und damit eine weitergehende Aussage über die Wirkung des Angriffsmittels gemacht werden.

Das elektro-chemische Verfahren eignet sich auch, die Wirkung von Inhibitoren — das sind Stoffe, die von sich aus eine Passivierung der Stahloberfläche bewirken — und Zinküberzügen im carbonatisierten und nicht carbonatisierten Beton aufzuzeigen. Bei Kunstharzüberzügen und allgemein bei dichtenden Anstrichen ist es einfacher, den Isolationswiderstand zu messen.

Bei Inhibitoren interessiert zunächst die Feststellung, ob sie nicht selbst eine Aktivierung der Stahloberfläche bewirken. Weiterhin, ob ihre passivierende Wirkung auch im carbonatisierten Beton erhalten bleibt.

Auch die Schutzwirkung von Zinküberzügen läßt sich an einbetonierten Stäben messen. Dabei kann der Beton sowohl carbonatisiert als auch nicht carbonatisiert sein. Im Prinzip können folgende Aussagen gemacht werden:

Löst sich die Zinkschicht?

In welchem Umfang wird in Abhängigkeit von der Zeit eine Passivierung der Oberfläche erreicht?

In welchem Maße wird die Empfindlichkeit eines mit Zink überzogenen Stahlstabes gegenüber Chlorideinwirkung vermindert?

Als Sonderfälle sind die aus der Literatur bekannten Potentialmessungen an einbetonierten Stäben anzusehen [6]. Dabei wird das Stahlpotential an verschiedenen Stellen gegenüber einer Bezugselektrode bestimmt (Kalomel-Elektrode). In meßtechnischer Hinsicht ergeben sich zwar keine besonderen Schwierigkeiten, jedoch ist die Zuordnung von bestimmten Potential-Grenzwerten zu Korrosionserscheinungen nach wie vor schwierig. Es scheint jedoch möglich zu sein festzustellen, ob sich der Stahl in bestimmten Bereichen noch im passiven Zustand befindet oder

nicht. Auf keinen Fall ist mit Hilfe der Potentialmessungen eine Aussage über das Ausmaß einer Schädigung durch Korrosion möglich. Die Potentialwerte sagen nämlich grundsätzlich nur etwas über den Aktiv- oder Passivzustand des Stahles aus.

3.2 Versuchsmethoden zur Bestimmung der Empfindlichkeit verschiedener Stahlsorten gegen Korrosion

Wenn wir einmal davon absehen, daß die im Stahlbetonbau verwendeten Stähle gegenüber normaler Korrosion gleich empfindlich sind, bleibt im wesentlichen die Frage der Empfindlichkeit von Spannstählen, insbesondere gegen Wasserstoffversprödung, zu behandeln. Die Literatur enthält eine Fülle von Versuchen, die als sogenannte Zeitraffer-Versuche in hochkonzentrierten, den spezifischen Angriff stark fördernden Lösungen durchgeführt wurden. Als einziges Unterscheidungsmerkmal bietet sich dabei die sogenannte Standzeit vom Versuchsbeginn bis zum Bruch der Probe an. Dies schränkt die Aussagefähigkeit der Prüfung naturgemäß stark ein.

Zweifellos ist es von Vorteil, verschiedene Stahlsorten hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit grob einstuft zu können bzw. durch stark unterschiedliches Verhalten die betroffene Industrie anzuregen, eine Verbesserung in einer bestimmten Richtung vorzunehmen. Allerdings sollte dies nicht dazu führen, daß einseitige, gezüchtete Entwicklungen forciert werden, die ohne Beachtung weiterer, wesentlicher Einflußgrößen zu Produkten führen, die zwar gegenüber *einer* Angriffsart außerordentlich resistent, aber nicht mehr generell gebrauchsfähig sind. Die Aussagefähigkeit solcher Versuche ist sehr begrenzt, da ein direkter Zusammenhang zwischen Standzeit und Eignung für die Praxis nicht bekannt ist. Hierzu sind Versuche an einbetonierten Stäben mit „Zeitraffung“ und Langzeitversuche unerlässlich. Selbstverständliche Voraussetzung müßte sein, „richtige“ Prüflösungen zu verwenden und nicht mittels Ammoniumrhodanid Spannungsrißkorrosion studieren zu wollen.

3.3 Chemische und physikalische Laboruntersuchungen

Um die Einflußgrößen im einzelnen zu studieren, die für das Auftreten und die Geschwindigkeit der Korrosion maßgebend sind, müssen Laborversuche durchgeführt werden.

Wenn man bedenkt, wie wichtig der pH-Wert des Betonporenwassers für das hier behandelte Problem ist, kann es nur verblüffen, daß es keine allgemein anerkannte Methode zu seiner Messung gibt. Es gibt zwar eine Reihe von Vorschlägen, aber wie es scheint, liefern alle vorgeschlagenen Verfahren zu hohe Werte. Ein weiteres rein chemisch-analytisches Problem ist das des korrosionswirksamen Chlorides. Bei der üblichen Bestimmung erhält man stets den Gesamtgehalt; je nach Zementart, C_3A -Gehalt und eventuell nach Herstellungsbedingungen ist aber nur ein Teil des Gesamtgehaltes als korrosionswirksam anzusehen.

Von grundsätzlicher Bedeutung sind auch Messungen über Betonporosität. Die Porenverteilung und Gesamtporosität sind von unmittelbarem Einfluß auf die Carbonatisierungsgeschwindigkeit.

Diese Messungen erfordern heute noch einen großen apparativen Aufwand und entsprechende Erfahrung, so daß eine breitere Anwendung leider nicht möglich ist.

Die bisher aufgeführten Versuchsverfahren liefern Grundlagen für die Beurteilung möglicher Einflüsse auf den Korrosionsschutz der Bewehrung. Sie erlauben aber keine direkte Aussage über das Verhalten in der Praxis, da zeitabhängige Vorgänge, Umwelteinflüsse und Inhomogenitäten im Beton durch sie nicht erfaßt werden. Daraus ergibt sich, daß sie durch weitere, sehr praxisnahe Versuche ergänzt werden müssen.

3.4 Auslagerungsversuche

Bei den auch sonst in der Korrosionsforschung unerläßlichen Auslagerungsversuchen sind zwei große Nachteile zu verzeichnen: Einmal sind die Kosten sehr hoch, da — um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten — alle die Betonqualität im Hinblick auf den Korrosionsschutz beeinflussenden Größen variiert werden und die Prüfkörper außerdem bei verschiedenen Klimabedingungen gelagert werden müssen. Zum anderen sind wesentliche Ergebnisse erst nach langen Auslagerungszeiten zu erhalten.

So wächst das Bedürfnis nach einer Auslagerungsart, die zwar praxisnahe Bedingungen schafft, aber trotzdem Ergebnisse nach kürzerer Zeit liefert.

In solchen Zeitraffungsversuchen werden im allgemeinen die Angriffsbedingungen so weit verschärft, daß nach etwa ein bis zwei Jahren wesentliche Aussagen möglich sind.

Es bietet sich z. B. an, durch Lagerung von Prüfkörpern bei erhöhtem CO_2 -Gehalt die Carbonatisierung zu beschleunigen. Hier wird auch die Grenze solchen Vorgehens sofort deutlich, da wir sowohl andere Carbonatisierungsprodukte als auch einen niedrigeren pH-Wert im Vergleich zu natürlichen Bedingungen erhalten. Wenn man sich dieser Abweichungen bewußt bleibt, sind in kürzerer Zeit jedoch wertvolle Auskünfte zu erzielen.

Man kann durch entsprechende Lagerung auch eine Beschleunigung der Korrosion selbst erzielen. Natürlich müssen die Prüfkörper nicht nur genügend Feuchtigkeit erhalten, sondern auch für Sauerstoff durchlässig sein, d. h. wenn sie zwischendurch nicht austrocknen können, ist keine Korrosion zu erwarten. Es muß auch berücksichtigt werden, daß bei einer Berieselung mit Wasser lösliche Bestandteile aus dem Beton herausgewaschen werden können.

Zusammenfassend kann man feststellen: Bei den elektrochemischen und physikalischen Prüfverfahren handelt es sich um wissenschaftliche Untersuchungen, die in jedem Falle mit großer Sorgfalt durchzuführen sind und durch weitere spezielle, für den jeweiligen Fall besonders geeignete Untersuchungsverfahren ergänzt werden sollten. Hierzu bieten sich Langzeitversuche und sogenannte Zeitraffungsversuche an. Es ist somit nach dem derzeitigen Stand unseres Wissens kaum möglich, mit Hilfe einer einzigen Versuchsmethode eine umfassende Klärung des Korrosionsproblems zu erreichen. Aus der Summe der Einzelergebnisse

ergibt sich jedoch für den Fachmann ein zusammenhängendes Bild. Dieses kann nur dann objektiv sein, wenn die Versuche gewissenhaft ausgeführt und die Ergebnisse kritisch interpretiert wurden.

Dies ist um so wichtiger, als Versuche durch die Wahl der Versuchsmethode, der angewandten Meßverfahren und der Art der Deutung der Ergebnisse in eine gewünschte Richtung gelenkt werden können.

4. Möglichkeiten, die Stahleinlagen im Beton durch besondere Maßnahmen zu schützen

Zusätzliche Schutzmaßnahmen sollten nur dann in Erwägung gezogen werden, wenn alle Möglichkeiten, die sich von der Beton-technologie her bieten, voll ausgeschöpft sind. Aus „Sicherheitsgründen“ solche zusätzlichen Schutzmaßnahmen vorzusehen, ist übertrieben und unter Umständen gefährlich.

Zur Zeit sind drei Arten von Schutzverfahren in der Diskussion:

Zinküberzüge auf dem Stahl,
Kunsthharzbeschichtungen auf dem Stahl,
Zugabe von Inhibitoren zum Beton.

Bei der Verzinkung hat man die Vorstellung, daß die Verbesserung des Korrosionswiderstandes von Stahlteilen, die man damit gegenüber atmosphärischen Angriffsbedingungen erzielt, sich auch bei Beton nutzen lassen müßte. Es ist jedoch zu bedenken, daß Zink im alkalischen Milieu des Betonporenwassers nicht beständig ist. Wie weit dieser Vorgang abläuft oder durch Selbsthemmung zum Stillstand kommt, müßte noch geklärt werden. Bei sehr geringer Betondeckung oder bei schnell zu erwartender Carbonatisierung könnte eine Verzinkung durchaus sinnvoll sein. Es ist auch prüfenswert, ob verzinkter Stahl nicht eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen chloridhaltigen Beton aufweist. Dies gilt jedoch höchstens für den normalen Stahlbeton; bei Spannstählen geht man dagegen hohe Risiken ein. Bei örtlichen Beschädigungen des Zinküberzuges ist der Spannstahl als Kathode eines Lokalelementes anzusehen, und bei Gegenwart von Katalysatorgiften (z. B. Sulfid) und alkalischen Stoffen kann es dann sehr rasch zu der gefürchteten Wasserstoffversprödung und zu Stahlbrüchen kommen.

Bei der Beschichtung mit Kunsthharzen handelt es sich um einen passiven Korrosionsschutz, d. h. er beruht lediglich auf der Abschirmwirkung der Überzüge. An die Stabilität — auch für sehr lange Zeiträume — solcher Überzugsmassen müssen sehr hohe Ansprüche gestellt werden. Es könnte sein, daß die Epoxidharze den Forderungen zum großen Teil entsprechen, wozu beispielsweise auch die Porenfreiheit des Überzuges gehört. Deshalb dürfen die Kunsthharze nicht durch Lösungsmittel leicht verarbeitbar gemacht werden, die beim Verdunsten Poren zurücklassen. Auch ein Verschnitt mit anderen Stoffen, der den hohen Preis etwas senken würde, kommt aus dem oben genannten Grund nicht in Frage. Die Überzüge dürfen aber auch nicht zu dick aufgetragen werden, da sonst erhebliche Verminderungen des Verbundes zu

befürchten sind. Die Gefahr einer Beschädigung beim Einbau muß berücksichtigt werden. Die Entwicklung auf dem Gebiet der Kunstharzüberzüge wird sicher noch weiter gehen.

Bei den sogenannten Inhibitoren handelt es sich um Chemikalien, die — in geringer Menge dem Beton zugesetzt — die Korrosion verhindern sollen. Bekannte, z. T. bereits verwendete Inhibitoren sind: Natriumnitrit, Natriumbenzoat und Chromat. Nach den bisherigen Ergebnissen wird ein vollkommener Schutz, wie wir ihn bei hochalkalischem Beton haben, nicht erreicht.

An die Löslichkeitseigenschaften der Inhibitoren werden z. T. einander widersprechende Forderungen gestellt. Um ihre Schutzwirkung entfalten zu können, müssen sie im Betonporenwasser löslich sein und dürfen keine unlöslichen Calciumsalze bilden. Sie dürfen aber auch andererseits nicht so löslich sein, daß sie zu Ausblühungen an Betonflächen führen. Zum Schutz von Stahl in carbonatisiertem Beton wären Inhibitoren erwünscht, die bei hohem pH-Wert unlöslich bleiben und erst mit abnehmendem pH-Wert ihre Schutzwirkung gewinnen.

Mit Ausnahme der Ostblockländer, wo Natriumnitrit als „Gegengift“ gegen hohe Chloridgehalte verwendet wird, ist keine allgemeine Anwendung von Inhibitoren bekannt. Deshalb sind auch keine Erfahrungen vorhanden, die ausgewertet werden könnten.

5. Zusammenfassung

Die Stahl- und Spannbetonbauweise hat in konstruktiver Hinsicht einen hohen Stand erreicht. Er kann nur gehalten werden, wenn auch die baustoff-technologische Seite gebührend berücksichtigt wird und Schäden infolge vermeidbarer Fehler verhindert werden.

Die Korrosionsprobleme sind ihrem Wesen nach bekannt. Zumindest wissen wir, welche Maßnahmen in definierten Fällen zu ergreifen sind, um den in alkalischem Beton vorhandenen Korrosionsschutz auf die Dauer sicherzustellen.

Wegen der teilweise stark unterschiedlichen Eigenschaften der verwendeten Baustoffe, sowohl auf der Beton- als auch auf der Bindemittel- als auch auf der Stahlseite, stellen sich jedoch einige Fragen, die nur durch systematische Untersuchungen geklärt werden können.

Der Spannbeton stellt hierbei ein besonders schwieriges Gebiet dar. Er erfordert in vielen Punkten ein Umdenken, insbesondere deshalb, weil in den meisten Fällen nicht die normale abtragende Korrosion, sondern andere, weitaus gefährlichere Korrosionsarten zu Schäden führen können.

Auf einen Punkt sei noch besonders hingewiesen, das ist die Gestaltung der Versuchsprogramme. Diese erfordern ausreichende Grundkenntnisse über die ursächlichen Zusammenhänge. Das Gebiet der Korrosion ist so umfassend, daß es nur durch die Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen, das sind die Mineralogie, die Chemie, die Metallkunde und das Ingenieurwesen, ohne Gefahr einer einseitigen Behandlung bewältigt werden kann. Eine einseitige „Betreuung“ ist immer problematisch und läßt zumin-

dest Zweifel daran aufkommen, ob es gelingt, alle Versuchsdaten voll auszuschöpfen und eine objektive bzw. umfassende Klärung der Beobachtungen vorzunehmen. Daher sollte man die zukünftige Forschung auf eine breite Basis stellen und die Zusammenarbeit zwischen den angrenzenden Fachgebieten nicht nur fördern, sondern sogar fordern.

SCHRIFTTUM

- [1] Rehm, G., und A. Rauen: Korrosion von Stahl in Beton. Jahrbuch des Bauwesens 1966. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1965, S. 149/173.
- [2] Rehm, G., und A. Rauen: Korrosion von Stahl in Beton. Betonstein-Zeitung 34 (1968) H. 5, S. 258/264.
- [3] Bäuml, A., und H.-J. Engell: Korrosion von Stahl in Beton. Archiv für das Eisenhüttenwesen 30 (1959) H. 7, S. 417/428.
- [4] Naumann, F. K., und A. Bäuml: Bruchschäden an Spanndrähten durch Wasserstoffaufnahme in Tonerdezementbeton. Archiv für das Eisenhüttenwesen 32 (1961) H. 2, S. 89/94.
- [5] Kaesche, H.: Untersuchungen über die Korrosion unlegierter Stähle in Kalziumhydroxydlösung und in feuchtem Beton. Archiv für das Eisenhüttenwesen 36 (1965) H. 12, S. 911/922.
- [6] Delarue, J., A. Espresati und A. Siboni: Etude de certains phénomènes de corrosion d'armatures du béton armé en climat chaud et humide — Pont sur le Loukhos à Larache. RILEM-Bulletin, Neue Serie, Nr. 24, September 1964, S. 51/60.