Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 16

Artikel: Korrosion von Armierungsstahl in Beton: kathodischer Korrosionsschutz
Autor: Tanner, Fritz E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76567

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: 07.08.2025

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

Korrosion von Armierungsstahl in Beton

Kathodischer Korrosionsschutz

Von Fritz E. Tanner, Küsnacht

Korrosion von Stahl in Beton ist ein elektrochemischer Vorgang, bei dem der (feuchte) Beton den Elektrolyten bildet. Bei den Korrosionsreaktionen gehen in der anodischen Teilreaktion Eisenatome als Ionen in Lösung; ein entsprechender Strom fliesst vom Metall zum Elektrolyten. Die entsprechende kathodische Teilreaktion läuft auf den noch intakten, d.h. passivierten Bereichen der Armierung ab. Kathodischer Korrosionsschutz wird erreicht, wenn ein Schutzstrom – anstatt in Lösung gehende Eisenatome – im Bereich der anodischen Teilreaktion genügend Elektronen liefert. Für die praktische Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes stellt sich das Problem, ein Anodenmaterial zu finden, das den Schutzstrom gleichmässig über grosse Oberflächen verteilt und selbst nicht korrodiert.

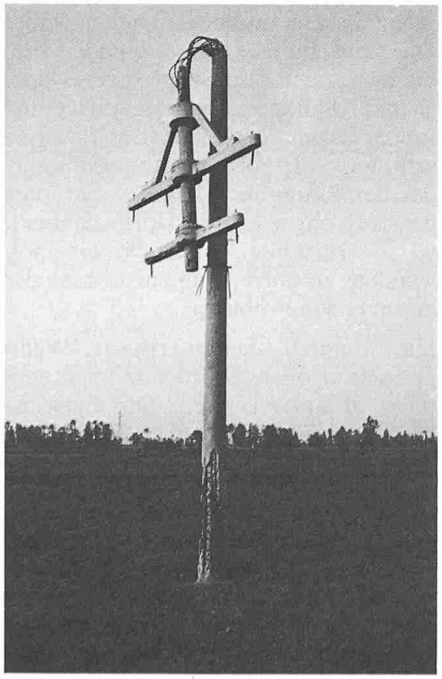
Korrosionsbeständigkeit

Die Korrosionsbeständigkeit von Stahl in Beton beruht auf einer dünnen oxydischen Schutzschicht, der Passivschicht. Diese Schutzschicht des Stahls bildet sich im stark alkalischen Milieu des Porenwassers (pH-Wert 12,5) im abgebundenen Zement. Verschiebt sich unter äusseren Einflüssen der pH-Wert in Richtung zu neutralen Lösungen, und erreicht eine solche Zone den Armierungsstahl, so wird die Schutzschicht des Stahles zerstört, womit eine lokale Korrosion der Armierung einsetzt.

Änderungen des ursprünglichen pH-Wertes werden durch die Reaktion des Betons mit *Kohlendioxid* aus der Luft – die Karbonatisierung – hervorgerufen. Der pH-Wert des karbonatisierten Betons ist kleiner als der ursprüngliche Wert und liegt etwa bei pH 9. Dabei wird die Schutzschicht zerstört und der Korrosionsprozess beginnt.

Andere agressive Stoffe, hauptsächlich *Chloridionen,* diffundieren durch die Betonüberdeckung bis zur Armierung und zerstören dort die Schutzschicht durch chemischen Angriff, selbst bei hohen pH-Werten. Chloridionen gelangen heute zur Hauptsache infolge des massiven Einsatzes von Tausalzen in den Beton und zerstören die Passivschicht des Stahls. Die Qualität und die Dicke der Überdeckung der Armierung durch Beton bestimmen im wesentlichen den Zeitpunkt, in welchem die Korrosion einsetzt. Risse und offene Poren im Beton erleichtern das Vordringen der karbonatisierten Zone und das Eindringen von Tausalz bis zur Armierung, was die Zeit bis zum Auftreten von Korrosionsschäden verkürzt (Bild 1).

Bild 1. Infolge Korrosion der Armierung zerstörter Betonmast



Der Korrosionsmechanismus

Natürlich vorkommendes Eisen besteht aus Eisenoxiden und kann nur unter Aufnahme von Energie in den metallischen Zustand gebracht werden. Metallisches Eisen hat die Tendenz, unter Abgabe von Energie wieder in seinen stabilen Oxidzustand zurückzukehren: es korrodiert. Die Korrosion von Stahl in Beton ist ein elektrochemischer Vorgang, wobei der – im natürlichen Zustand feuchte – Beton den Elektrolyten bildet. Die elektrochemische Reaktion der Auflösung des Armierungsstahls kann mit den in der Tabelle 1 dargestellten Reaktionsgleichungen (1) bis (4) umschrieben werden.

Tabelle 1. Korrosionsreaktion

(1)	$Fe \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e^-$	anodische Reaktion
(2)	$H_2O + \frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2(OH)^-$	kathodische Reaktion
(3)	$Fe^{2+} + 2(OH)^- \rightleftharpoons Fe(OH)_2$	
(4)	$Fe + H_2O + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons Fe(OH)_2$	

Eisen nimmt in einem Elektrolyten bei der Ionisation des Metalls unter Abgabe von zwei Elektronen ein Eigenpotential gegenüber einer Referenzelektrode an. Hat das Metall sein Gleichgewichtspotential erreicht, und tritt keine elektronenverbrauchende Reaktion auf, so kommt die Reaktion (1) zum Stillstand. Wird dagegen der Elektrolyt belüftet, z.B. wenn Sauerstoff im Beton vorhanden ist, so werden gemäss Reaktion (2) Elektronen verbraucht, und es bilden sich Hydroxidionen. Diese werden gemäss Reaktion (3) mit den zweiwertigen Eisenionen zu Eisenhydroxid der ersten Stufe der Rostbildung umgesetzt. Die chemische Summengleichung (4) zeigt, dass die Korrosion so lange fortschreitet, als Elektronen verbraucht werden bzw. das System belüftet wird.

In allen wässerigen Elektrolyten, zu denen Erdböden oder feuchter Beton zählen, gehen bei den Korrosionsreaktionen Atome des Eisens als Ionen in Lösung. Die Bewegung dieser elektrisch geladenen Teilchen bedeutet auch einen elektrischen Stromfluss, der dem Transport der in Lösung gehenden Eisenionen vom Metall zum Elektrolyten entspricht. Der Zusammenhang zwischen Materialabtrag und Grösse des Stroms beim Durchtritt des Stroms durch die Phasengrenze Metall/Elektrolyt gehorcht dem Faradayschen Gesetz.

Ein Elektronenverbrauch, der gemäss Reaktion (2) mit dem Korrosionsvorgang auftritt, kann auch dadurch zustandekommen, dass sich eine metallische Konstruktion in einem inhomogenen Elektrolyten befindet, z.B. miteinander elektrisch leitend verbundene Armierungseisen, die einerseits mit gesundem Beton mit pH-Wert 12,5 und anderseits mit karbonatisiertem oder versalzenem Beton in Berührung stehen. Unter solchen Bedingungen nimmt Stahl, entsprechend dem umgebenden Elektrolyten, verschiedene Eigenpotentiale an.

Die gesamte Korrosionsreaktion besteht also aus einer anodischen und einer kathodischen Teilreaktion. Anode und Kathode weisen unterschiedliche Potentiale auf, und da sowohl Metall als auch belüfteter feuchter Beton elektrische Leiter sind, bilden die beiden Teilreaktionen ein galvanisches Element. Der darin fliessende Strom ist gemäss der Reaktion (1) direkt proportional zur Metallauflösung, und er bildet somit ein Mass für die Korrosionsgeschwindigkeit. In Betonkonstruktionen ist in der Praxis meist die Kathode örtlich von der Anode getrennt infolge von Inhomogenitäten (z.B. gesunder Beton, karbonatisierter Beton). In einem solchen Makroelement findet

die Metallauflösung bzw. Korrosion an den unedlen - versalzenen oder karbonatisierten - Bereichen statt, während die kathodische Teilreaktion auf den noch intakten, d.h. passivierten Bereichen abläuft (Bild 2).

Tritt ein Gleichstrom aus einer Eisenoberfläche in einen Elektrolyten (Beton) aus, so werden pro 96 500 As (1 F) 27,9 g Eisen aufgelöst. Dies entspricht bei einem dauernd austretenden Strom von 1 mA im Jahr 9,2 g Eisen oder einem Volumen von 1,3 cm^3.

Folgen der Korrosion

Korrosion ist nach DIN 50900 die Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einem Korrosionsschaden führen kann. Beim Eisen im Beton ist das Volumen der Korrosionsprodukte etwa viermal grösser als das ursprüngliche Volumen des Stahls. Diese Volumenvergrösserung beim Rosten verursacht innerhalb der Betonkonstruktion Kräfte, die zum Aufplatzen der Betonoberfläche führen. Die Korrosions-Stimulatoren finden nachher noch leichter Zugang zur Armierung, und der Zerfall schreitet beschleunigt fort. Schon das Auftreten von Rostflecken auf einer Betonoberfläche oder gar das Aufplatzen der Beton-Deckschicht zeigen an, dass die darunterliegende Armierung korrodiert (Bild 3).

Schutz der Amierung vor Korrosion

Prinzipiell stehen folgende drei Methoden zum Schutz von korrosionsanfälligem Armierungsstahl im Beton zur Verfügung:

1. Eine Vergrösserung der *Impermeabilität* des Betons soll verhindern, dass karbonatisierte Zonen oder Chloride bis zur Armierung vordringen. Dieser Effekt wird beispielsweise angestrebt durch Zumischung von Zusatzstoffen wie Latex oder Kunststoffen zum frischen Beton, oder durch eine Abdekkung des gesamten Bauwerks mit einer undurchlässigen Kunststoffolie.

2. Eine Veränderung der Oberfläche des Armierungsstahls soll diesen korrosionsresistent halten. Dies wird möglich durch *Beschichten* des Armierungsstahls mit Kunststoffen oder durch die Verwendung entsprechender Stahllegierungen. Bei kunststoffbeschichteten Armierungsstählen ist jedoch darauf zu achten, dass die Beschichtung absolut fehlerfrei und auch beim Einbau der Armierung unverletzt bleibt.

3. Eine Änderung der elektrochemischen Natur der Stahloberfläche und *Absenkung des elektrischen Potentials* durch dort eintretenden Gleichstrom, also durch kathodischen Korrosionsschutz.

Herkömmliche Reparaturmethoden

Zur Reparatur der infolge Korrosion der Armierung zerstörten Teile einer Betonkonstruktion wird heute die «Reprofilierung» angewendet. Dabei wird der korrodierte Armierungsstahl teilweise ersetzt und mit neuem Beton überdeckt. Diese Massnahme kann auf die Dauer nur bedingt wirksam bleiben, da die galvanische Elementbildung nicht aufgehoben wird. Nach kurzer Zeit kann die Betonoberfläche an neuen Orten oder sogar an reparierten Stellen wiederum aufbrechen.

Bei einer anderen Reparaturmethode werden wasserdichte Überzüge auf bestehenden Bauwerken angebracht, um das Eindringen von Wasser, Kohlendioxid und Tausalzen in die Betonkonstruktion und das Vordringen dieser aggressiven Stoffe bis zur Armierung zu stoppen. Bei dieser Methode können Sauerstoff, Salze und Feuchtigkeit, die bereits im Beton vorhanden sind, weiterhin Korrosionsprozesse verursachen. In gewissen Fällen kann die Korrosionsgeschwindigkeit sogar ansteigen, da der Überzug das saisonal bedingte Austrocknen des Betons verhindert, das sonst wenigstens während einiger Monate im Jahr die Korrosionsgeschwindigkeit herabsetzt. Wasserdichte Überzüge können den Korrosionsprozess daher nur bedingt stoppen.

Die bisher bekannten Sanierungsmethoden wie Reprofilierung, Abdichtung usw. entziehen sich zudem einer langfristigen Qualitätskontrolle.

Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)

Verbesserten Schutz des Armierungsstahles gegen Korrosion und damit einen Schutz vor dem Zerfall eines Betonbauwerks kann der seit über 50 Jahren bei erdverlegten Objekten wie Pipelines oder Tankanlagen angewendete kathodische Korrosionsschutz bringen. Ein Schutzstrom führt dem Armierungsstahl Elektronen zu, die jetzt anstelle der sonst aus der Metallauflösung gelieferten Elektronen den Bedarf für die Reduktion des an die Metalloberfäche gelangenden Sauerstoffs decken (Bild 4). Negative Chloridionen werden aus der Umgebung des Armierungsstahles abtransportiert und zur Anode gebracht, wo sie zu Chloridgas oxidieren und in die Atmosphäre entweichen.

Der kathodische Schutzstrom senkt das Potential des Armierungsstahls soweit ab, dass eine Lösung von Eisenionen aus dem Stahl nicht mehr möglich ist. Der Armierungsstahl ist somit gegen Korrosion geschützt.

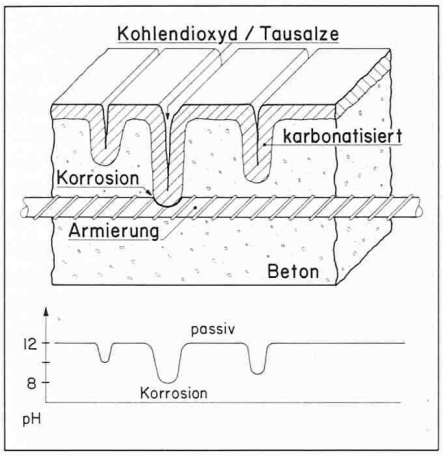


Bild 2. Lokale Korrosion des Armierungsstahls als Folge der Veränderung des pH-Wertes in teilweise karbonatisiertem oder versalzenem Beton

Bild 3. Aufgeplatzte Betonoberfläche

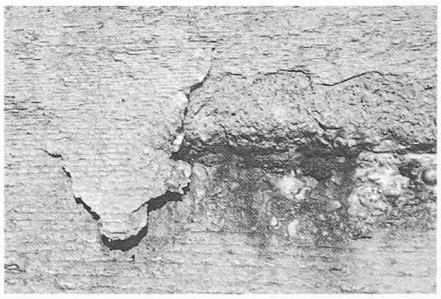
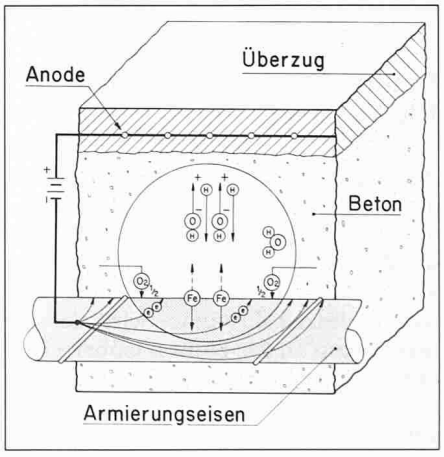


Bild 4. Kathodischer Korrosionsschutz von Armierungseisen in Beton



In der Praxis jedoch bestand das Problem darin, ein Anodenmaterial zu finden, das in der Lage ist, den Strom für den kathodischen Schutz gleichmässig über eine grosse Oberfläche zu verteilen und dabei selber keine Korrosionserscheinungen aufweist. Kathodischer Schutz für Betonbauwerke ist kein neues Konzept. Das erste System, das mit einzelnen Anoden aus platiniertem Titan arbeitet, die in einem leitfähigen Asphaltüberzug eingebettet wurden, ist seit 1973 [4] in den USA in Kalifornien auf einer Strassenbrücke eingebaut. Der Erfolg dieses Systems - es funktioniert noch heute zufriedenstellend - zeigt, dass ein Langzeitschutz von Betonbauwerken erreichbar ist.

Im Bereich Bautenschutz hat die Raychem Corporation die Forschung auf dem Gebiet des Anodenmaterials für KKS-Anlagen weitergeführt und ihre Erfahrung in der Technologie leitfähiger Polymere für die Produktion eines Polymeranodennetzes angewendet. Das «Ferex»-Anodenkabel besteht aus einem inneren Leiter aus Kupfer und einem elektrisch leitenden Polymermantel, der die eigentliche Anodenoberfläche bildet. Das Kabel ist selbst unter rauhen Baustellenbedingungen widerstandsfähig gegen Verletzungen. Das Anodennetz aus flexiblem, elektrisch leitendem Polymer erlaubt einen einwandfrei kontrollierbaren kathodischen Schutz von Betonbauwerken.

Praktische Ausführung eines KKS-Systems

Im Gegensatz zu herkömmlichen Reparaturmethoden erfordert der kathodische Schutz relativ geringen Aufwand für die Sanierung eines Bauwerks. Nach einer eingehenden Aufnahme des Ist-Zustandes wird der defekte Beton an der Bauwerksoberfläche mit Handwerkzeugen, leichten Druckluft- oder Elektrogeräten, gelegentlich auch mit einem Hochdruckwasserstrahl, entfernt. Der Betonquerschnitt wird anschliessend mit Reparaturmörtel ergänzt.

Das Armierungsnetz muss nach diesen Vorbereitungsarbeiten überall eine gleichmässige Betonüberdeckung von mindestens 2 cm aufweisen. Auf der so entstandenen ebenen Fläche wird nun das Anodennetz befestigt. Zum selben Zeitpunkt werden an dafür geeigneten Stellen im Bauwerk Silber/Silberchlorid-Messelektroden (Ag/AgCl) eingebaut. Diese gestatten nach Inbetriebnahme der Schutzanlage eine genaue Kontrolle des elektrischen Potentials der Armierung und sichern somit die Überwachung und die langfristige Qualitätskontrolle. Im Anschluss an diese Arbeiten wird das Anodennetz mit Beton überdeckt und der Deckbelag aufgebracht (Bild 5).

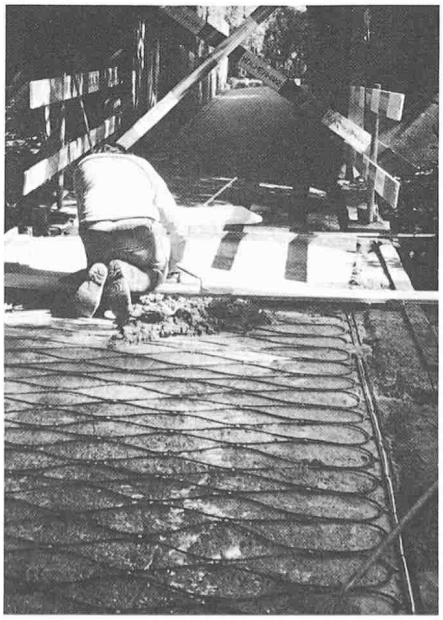
Der Schutzstrom

Als Lieferant des Schutzstromes dient ein spezieller, netzgespeister Gleichrichter, der einerseits mit dem Pluspol an der Anode und andererseits mit dem Minuspol an die zu schützende Stahlarmierung angeschlossen wird. Der Schutzstrom führt dem Schutzobjekt Elektronen zu und senkt damit das Potential der Metalloberfläche, gemessen gegen die Silber/Silberchlorid-Elektrode, in negativer Richtung. Ein Loslösen positiver Eisenionen aus dem geschützten Objekt ist somit nicht mehr möglich. An Orten, wo vorher eine anodische Reaktion ablaufen konnte, erfolgt jetzt eine kathodische Reduktion des aus dem Elektrolyten herandiffundierenden Sauerstoffs. Die Stahloberfläche des zu schützenden Objektes, also die Bauwerkarmierung, wird zur Kathode, d.h. sie ist kathodisch geschützt.

Überwachung des KKS-System-Ferex

Bei der Inbetriebnahme der kathodischen Korrosionsschutzanlage wird der Schutzstrom stufenweise erhöht, bis die gewünschten Werte der sich einstellenden Schutzpotentiale erreicht sind. Der Schutzstrom liegt in der Regel zwischen 10 und 15 mA/m² der Eisenoberfläche.

Bild 5. Aufbringen der Überdeckung auf das Anodennetz



Das Schutzpotential, gemessen nach Ausschalten des Schutzstromes, wird über 4 Stunden mit registrierenden Messinstrumenten aufgezeichnet und mittels eines Rechenprogrammes ausgewertet. Die Kontrollmessungen erfolgen im ersten Betriebsjahr alle drei Monate und in den folgenden Jahren alle sechs Monate.

Anwendungsbeispiel

Nach etwa zehnjährigen Erfahrungen mit grösseren Objekten in den USA wurde erstmals in Europa die vom bekannten Brückenbauer *Robert Maillart* 1926 erstellte *Muristalden-Brücke* in Bern 1985 nachträglich mit einer kathodischen Korrosionsschutzanlage versehen (System Ferex, durch die Helbling Bau Ingenieurunternehmung AG, Zürich). Bei dieser unter Denkmalschutz stehenden Brücke durfte die Bausubstanz nicht verändert werden. Daher bot sich der kathodische Korrosionsschutz bei der Sanierung der infolge Karbonatisierung und Versalzung stark geschädigten Brücke an. Unter der Aufsicht des Tiefbauamtes der Stadt Bern wurden die Sanierungsmassnahmen projektiert und ausgeführt. Um Erfahrungen und Erkenntnisse über längere Zeit sammeln zu können, führte das Institut für Baustoffe, Werkstoffe und Korrosion der ETHZ vorgängig entsprechende Messungen durch.

Die Ausführung der Arbeiten wie Montage der Anodenanlage, der Messelemente und des Gleichrichters wurde nach dem beschriebenen Vorgehen in die übrigen Sanierungsarbeiten einbezogen, die dem Bauherrn termingerecht ein nach neusten Erkenntnissen saniertes Bauwerk brachten.

Literatur

[1] *Clear, K. C.; Hay, R. G.* Federal Highway Administration Report No. FHWA 73-32 Vol.1, 1973.

[2] *Clay, G. H. C.; Aposteles, J. A.; Mehres, F. A.* California Departement of Transportation Report No. FHWA/CA/TL-o2/1981.

[3] *Clear, K. C.; Virmani, Y. P.* Solving Rebar Corrosion Problems in Concrete: Methods and Material. Federal Highway Administration 9./1982

[4] *Barnhart, R. A.* Federal Highway Administrator: Memorandum entitled: FHWA Position of Cathodic Protection Systems.

[5] *Tanner, F. E.* Einführung in den praktischen Korrosionsschutz. Gas-Wasser-Abwasser 1983, H.8.

[6] *Elsener, B.; Böhni, H.* Elektrochemische Untersuchung der Korrosion von Armierungsstahl in Beton. Schweizer Ingenieur und Architekt 102 (1984) H.14, S.

[7] *Slater, J. E.* Corrosion of Metals in Association with Concrete. ASTM Special Technical Publication 818, 1986.

[8] *Böhni, H.* Korrosionsverhalten metallischer Werkstoffe. SIA-Dokumentation 99, EMPA/SIA/SVMT-Studientagung 1985.

Zusammenfassung

Der kathodische Korrosionsschutz kann in Zukunft als Methode dienen, die Zerstörung von Bauwerken durch Korrosion der Armierung zu stoppen, und er kann damit einen wesentlichen Beitrag zur Werterhaltung unserer Betonbauwerke darstellen.

Allerdings ist in diesem Zusammenhang festzuhalten, dass heute bezüglich dieser Technik noch einige Probleme gelöst werden müssen.

So zum Beispiel die Frage, bis zu welchem Chloridgehalt des Betons der kathodische Schutz wirksam bleibt, oder die Frage der Wasserstoffversprödung von Vorspannstählen unter der Einwirkung des Schutzstroms. An der Beantwortung dieser Fragen wird zurzeit gearbeitet.

Adresse des Verfassers: *F. E. Tanner*, Helbling Bau Ingenieurunternehmung AG, Energie-, Anlagen und Bauplanung, Hohlstrasse 610, 8048 Zürich.

Diskussionsbeitrag zum Thema wärmegedämmte Steildachkonstruktionen

Thermografische Messungen als Hilfsmittel zur zerstörungsfreien Qualitätskontrolle

Von Stefan Svrcek und Klaus Zimmermann, Zürich

Der in der Dezembernummer 51/86 dieser Zeitschrift erschienene Beitrag über wärmegedämmte Steildächer behandelt ein aktuelles Thema, das in der Fachwelt noch nicht zu Ende diskutiert ist.
Der Bau einer durchgehenden, warmseitigen, dampfbremsenden Luftdichtung wird empfohlen, um das Eindringen feuchter Raumluft in die Dachkonstruktion mit den bekannten Folgen Kondensatbildung und Pilzentwicklung zu verhindern. Zusätzliche Erkenntnisse, die aus zahlreichen Untersuchungen mit Hilfe der Infrarotmesstechnik gewonnen wurden, werden im folgenden aufgezeigt.

Wohnbehaglichkeit

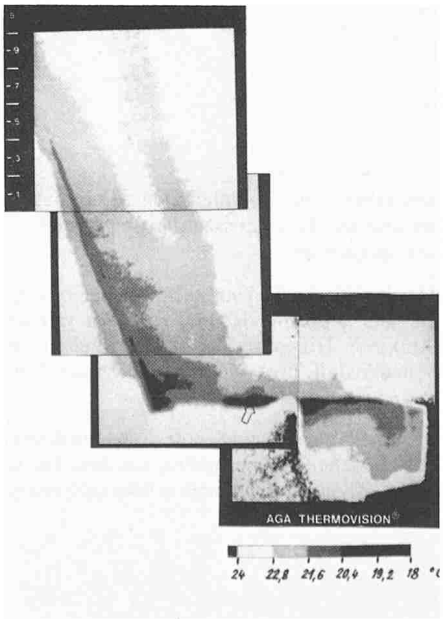
Zugluftserscheinungen und damit verbundene Wärmeverluste werden im obengenannten Beitrag kurz erwähnt. Präzisierend wird hier festgestellt, und mit Abbildungen eines a. a. O. ausführlich dargestellten Schadensfalles [1] dokumentiert, dass Zugerscheinungen vor allem bei Wind auftreten. Wie das Messergebnis (Bild 1) zeigt, wird kalte Luft durch Undichtigkeiten in die Dachkonstruktion geblasen und verteilt sich dort in die Hohlräume. An undichten Stellen dringt Kaltluft in den Innenraum. Dabei kann die Wärmedämmung teilweise mit Kaltluft unterspült werden, wodurch raumseitig unterkühlte Oberflächen entstehen, auch wenn sie in diesem Bereich luftdicht sind.

Sowohl der Kaltluftstrom als auch die unterkühlten Flächen werden als unbehaglich empfunden. Bei offener Bauweise mit einer über mehrere Geschosse durchgehenden Dachkonstruktion werden Zugerscheinungen oft durch die Hausthermik verstärkt.

Die Bilder 1 und 2 zeigen, wie durch einen undichten Anschluss der Dämmschichten von Dachfläche und Kniestock Kaltluft eingeblasen wird. Diese fällt hinter der Kniestockschalung nach unten und unterkühlt die Täferung (links im Bild ist die kalte Täferung durch das warme Sofakissen verdeckt).

Teilweise wird die kalte Luft im Sparrenzwischenraum nach oben gedrückt, wobei im unteren Bereich die Wärmedämmung unterspült ist. Im oberen Teil hängt die Dämmung offensichtlich durch und hat Kontakt mit der Täferung, eine Oberflächenunterkühlung findet dort nicht statt. Im Anschluss Täferung/Innenwand sind offensichtlich Undichtigkeiten vorhanden, die das Eindringen der Kaltluft in den Innenraum ermöglichen.

Bild 1. Fünfstufenthermogramm einer Raumecke



Anschlussprobleme

Bild 2 zeigt das Detail des Trennwand-Anschlusses. Es ist offensichtlich, dass in der beengten Situation ein luftdichter Anschluss der Dämmung nicht gewährleistet ist. Ähnliches gilt für das Kniestockdetail, wo nach Montage des Unterdaches unter beengten Verhältnissen die Dämmung aus dem Zweischalen-Mauerwerk und die Dachdämmung ohne Wärmebrücken und luftdicht verbunden werden müssen. Generell ist festzustellen, dass nicht ein perfektes Normaldetail, sondern vor allem die sorgfältige Ausführung der An-

Bild 2. Normalaufnahme der Raumecke von Bild 1