

# Zur Einwirkung von Tausalzlösungen auf Tragwerke in Beton

Autor(en): **Wilk, Willy**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **92 (1974)**

Heft 21

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-72378>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Zur Einwirkung von Tausalzlösungen auf Tragwerke in Beton

Von Willy Wilk, Wildegg

DK 666.98 : 553.63

An der im Oktober 1972 in Zürich durchgeführten Studientagung der SIA-Fachgruppe für Brückenbau und Hochbau wurde in erfreulich offener Weise über Erfahrungen an Tragwerken berichtet. Prof. Dr. Ch. Menn wies in seinen Ausführungen «Die Entwürfe (von Brücken) und deren Lehre» darauf hin, dass «auf Grund der Erfahrungen an ausgeführten Bauten der Qualität, der Dauerhaftigkeit von Tragwerken viel grössere Bedeutung zukomme, als dies bis dato berücksichtigt worden sei, und deshalb nicht mehr nur die eigentlichen Erstellungskosten, sondern die Gesamtwirtschaftlichkeit, also Erstellungskosten und voraussichtlicher Unterhalt für den Bauherrn, von entscheidender Bedeutung» seien. Es sei sinnvoll und notwendig von der «Dauerhaftigkeit eines Tragwerks» zu sprechen. Ing. E. Rey, Adjunkt im Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, konfrontierte die Zuhörer mit ernüchternden Beispielen von Schäden an nur wenige Jahre alten Brücken. Unter den vorgeführten Schäden waren auch etliche, die auf irgendeine Weise mit der Verwendung von Tausalzen im Winterdienst auf unsern Strassen in Zusammenhang stehen. Mit diesen Berichten wurden bedeutende Impulse zu einer umfassenderen Betrachtungsweise des Tragwerkes als bisher gegeben. Der Ingenieur ist gehalten, nicht mehr nur die Reaktionen seines Tragwerks auf einwirkende Kräfte in Rechnung zu stellen, sondern auch die zeitlichen Veränderungen der innern und oberflächlichen Strukturen gebührend zu beachten.

So mag denn die Mitteilung von Erkenntnissen, wie sie dem Erfahrungsbereich der Betonbelagstechnik entstammen, für einen weiteren Kreis von Fachleuten von Interesse sein, steht doch die Strassendecke seit je unter Beanspruchungsformen, die von einer vergleichsweise viel grösseren Vielfalt gegenüber den Tragwerken des konstruktiven Ingenieurbauwes sind.

## Die Strasse und der Winterdienst

In der Dokumentation eines Herstellers von Auftausalzen steht zu lesen: «Die Sicherheit im Strassenverkehr während der Wintermonate verlangt eine sofortige Intervention. Um einen reibungslosen und sicheren Verkehrsablauf während der Wintermonate zu gewährleisten, bedienen sich die Verantwortlichen der Strassenunterhaltsdienste je länger, je

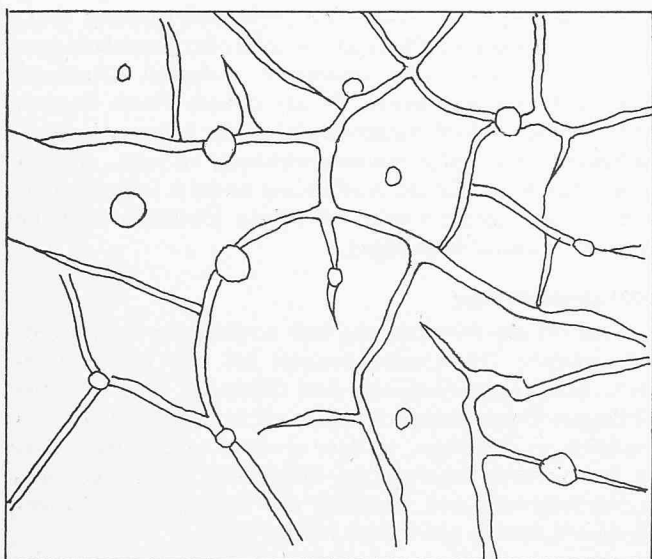


Bild 1. Idealisierte Darstellung des Porennetzes (Kapillar- und Kugelporen) im Luftporenbeton

mehr der Hilfe chemischer Streusalze. Diese Entwicklung ist auf folgende Fakten zurückzuführen: starke Erhöhung des Fahrzeugbestandes, zunehmende Verkehrsdichte auch im Winter, ausgeprägter Wunsch der Automobilisten, im Winter fast gleich gute Strassenverhältnisse wie im Sommer vorzufinden.»

Die Unterhaltsdienste gebrauchen je länger, je mehr chemische Streusalze, auch wenn die Verhältnismässigkeit ihrer Verwendung kaum über jeden Zweifel erhaben sein dürfte.

Die Vor- und Nachteile dieser Praxis müssten doch eigentlich nun nach genügend langer Erfahrung unter den folgenden Gesichtswinkeln beurteilt werden, bevor sie als «unentbehrlich» qualifiziert wird [1]:

- Verkehrssicherheit
- Gesamtwirtschaftlichkeit (unter Berücksichtigung höherer Leistungsfähigkeit der Verkehrsachsen im Falle der Schwarzräumung, Unfallkostenrechnung, Korrosionsschäden an Fahrzeugen und Bauwerken, vergleichende Aufwand-Kosten-Rechnung für Unterhaltsdienste)
- Beeinflussung der Umwelt durch chemische Streusalze.

Dies insbesondere auch, nachdem die Schweiz. Beratungsstelle für Unfallverhütung (BfU) statistisch den Nachweis zu erbringen vermochte, dass auf Strassenzügen, die häufiger schneebedeckt sind, die Zahl der schweren Verkehrsunfälle geringer ist als auf im Winter aperen Strassen [2].

Sei dem, wie ihm wolle, der Bauingenieur hat sich vorläufig offenbar damit abzufinden, dass Streusalze verschiedener Art mit seinen Bauwerken in Kontakt kommen.

Es lassen sich drei verschiedene Arten korrosiver Einwirkung auf Tragwerke unterscheiden:

- Tragwerksteile, die direktem Streusalzwurf ausgesetzt sind (Belagsfläche, über die Fahrbahn hinausragende Betonteile wie Schrammbord, oberster Gesimsteil)
- Tragwerksteile, die nicht direkt vom Streusalzwurf betroffen sind (Untersichten auskragender Platten, aussenliegende Längsträger), indessen wegen mangelhafter oder fehlender «Abtropfvorrichtung» über längere Zeit von Schmelzwasser benetzt bleiben, und schliesslich
- jene von «innen» her eingeleitete Korrosion bei Brückentragwerken: Fahrbahnplatten unter schadhafte Isolierungen.

Mit den folgenden Ausführungen soll die Wirkungsweise von Tausalzen auf den Beton skizziert und einige Hinweise gegeben werden, ob und, wenn ja, wie dem Angriff zu begegnen sei.

## Wirkungsweise von Streusalzen auf Beton, der diesen direkt ausgesetzt ist

Die heute überwiegend verwendeten Auftaumittel im Unterhaltsdienst der Strassen in der Schweiz sind Industrierisalze des Typs Natriumchlorid ( $\text{NaCl}$ ), während Calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) weit weniger eingesetzt wird. Beide aber wirken grundsätzlich in derselben Weise auf die Unterlage:

Um kristallisiertes Wasser (Eis und Schnee) zu schmelzen, benötigen die Salze die Zufuhr einer bestimmten Wärmemenge, weil die für das Schmelzen des Eises nötige Wärme vom Eis selbst nicht in genügendem Mass angeboten wird.

Diese zusätzlich erforderliche Wärme wird der Umgebung entzogen, insbesondere der Unterlage, dem Belag beispielsweise. Dadurch erfolgt im Festkörper innert weniger Minuten ein schroffer Temperatursturz in den obersten Schichten mit einem gewöhnlich hohen Temperatur-Gradienten, der ausgehend von der vorher in der Platte herrschenden

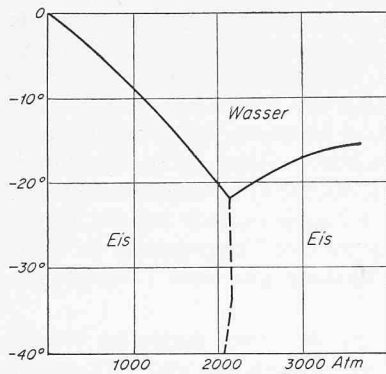


Bild 2. Druck-Temperatur (P-T)-Diagramm Wasser-Eis (bei konstantem Volumen). Von praktischer Bedeutung ist der fallende Kurventeil links, welcher die Drucke in einer geschlossenen, völlig wassergefüllten Pore von 0° bis -22 °C gibt. Die gestrichelte Linie trennt zwei Eismodifikationen.

Temperatur in etwa 4 cm Tiefe (ab Oberfläche) auf Temperaturen an der Oberfläche selbst von bis zu -20 °C gehen kann. Jeder Streusalzdurchgang hat von neuem diesen kurzfristig ablaufenden Abkühlungsvorgang der äussersten Schichten zur Folge, so dass im Verlaufe eines Winters die dem Streusalz ausgesetzten Betonobjekte einer Reihe von «Frost/Tausalz-Zyklen» zu widerstehen haben.

Was geschieht nun aber in der Struktur des Betons unter der Einwirkung dieses physikalischen Vorganges?

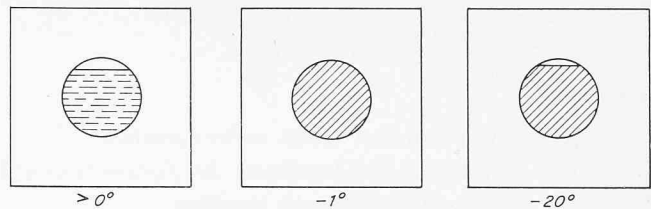
Mit Bezug auf unsere Problemstellung betrachten wir den Beton als dreiphasigen Körper, bestehend aus Feststoff, Wasser und Luft. Innerhalb dieses «kompositen Festkörpers» kommt dem ihm eigenen Porensystem, im Hinblick auf den Frost- und Tausalzwiderstand, hervorragende Bedeutung zu.

Der Gesamtporenraum von Beton umfasst die Poren im Zementstein (als Gel-, Kapillar- und Luftporen unterschieden) und diejenigen im Zuschlag.

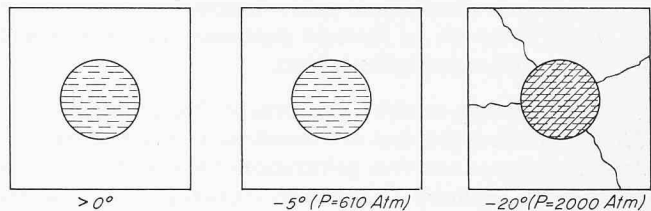
Unter der Voraussetzung, dass für Tragwerke im Freien frostbeständige Zuschlagstoffe ausgewählt werden, sind wir berechtigt, uns im folgenden nur mit der Matrix (Zementstein) des Betons und ihrem Porensystem zu beschäftigen. Der frische, vollständig verdichtete Zementstein besteht aus Zement, der Zuschlagstoff-Fraktion < 0,2 mm, Luft und Wasser [3], [5]. Das Wasser füllt die Räume zwischen den einzelnen Zementteilchen, die Kapillarporen, aus. In die Kapillaren wachsen im fortschreitenden Erhärtungsprozess die Hydratationsprodukte hinein. Dadurch wird das ursprüngliche Zementkorn langsam zersetzt, und die Kapillaren verkleinern sich, der Kapillar(poren)raum nimmt ab, verliert aber seinen inneren Zusammenhang nicht.

Im erhärteten Zustand haben die Kapillaren Durchmesser in der submikroskopischen Grössenordnung von 0,1 µm (= 0,0001 mm). Das freie Wasser kann in den Kapillaren nach vorheriger Unterkühlung gefrieren. Nun kann das System der saugfähigen Porenräume auch von mehr oder wenig kugelförmigen Luftporen durchsetzt sein, etwa nach dem idealisierten Schema gemäss Bild 1. Diese sind 200- bis 1000mal grösser im Durchmesser als die Kapillaren und vermögen bei guter Verteilung in der Matrix das bei der Eisbildung aus den Kapillaren verdrängte Wasser aufzunehmen und beim Tauen wieder abzugeben; gerade diese Eigenschaft vermag Betonschäden durch Frost- und Tausalze zu vermeiden.

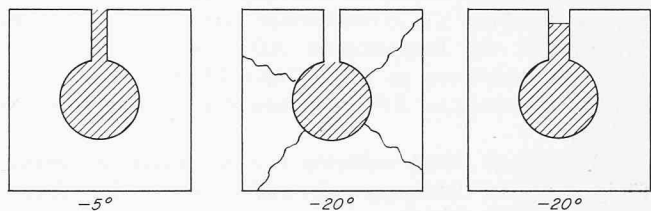
Aus den vorstehenden Ausführungen ist ersichtlich, dass die Wirkungen des direkten Streusalzens von Beton haupt-



Fall 1: Geschlossene Pore, zu 91 % mit Wasser gefüllt. Druckwirkung weder bei -1° (= Grenzfall, Pore zu 100 % mit Eis gefüllt) noch bei -20° (weil Pore infolge Kontraktion des Eises nicht mehr gefüllt ist)



Fall 2: Geschlossene Pore ganz mit Wasser gefüllt. Bei Abkühlung starke Druckzunahme entsprechend dem P-T-Diagramm (Bild 2). Hauptmenge des Wassers bleibt flüssig. Bei einem bestimmten Druck entwickeln sich Risse im Festkörpergefüge; die Rissbildung erzeugt sofort Druckentlastung und damit Gefrieren



Fall 3: Pore nicht geschlossen (Volumen = konstant). Bei enger Kapillare ist ein Druckausgleich nur bei langsamer Abkühlung möglich, bei rascher Abkühlung wird das Gefüge zersprengt. Bei grösserer Kapillaröffnung tritt bei rascher Abkühlung keine Druckwirkung ein.

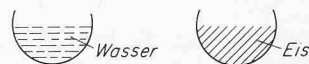


Bild 3. Schematische Darstellung der Frostwirkung in einer geschlossenen Pore

(Bilder 2 und 3 aus: F. De Quervain, Technische Gesteinskunde. Verlag Birkhäuser, Basel, 2. Auflage 1967)

sächlich physikalischer Natur sind und durch häufig sich wiederholende Volumenänderungen der Matrix zu Schäden führen können.

Beginnt das Wasser in den Kapillaren zu gefrieren, so ist es bestrebt, sich um rund 9% auszudehnen. Wird die Raumvergrösserung behindert (bei einem Füllgrad der Kapillaren > 92%), entsteht ein hydrostatischer Druck im Zementsteingefüge (Bilder 2 und 3).

Das Wasser im Kapillarsystem gefriert nun aber nicht schlagartig, sondern stufenweise über einen gewissen Zeitraum, weil beim Gefrieren Wärme frei wird (exothermer Vorgang), infolge des entstehenden Druckes der Gefrierpunkt des Wassers weiter herabgesetzt wird und schliesslich auch wegen der im Wasser gelösten Salze. Dadurch wird das noch nicht zu Eis gewordene freie Wasser durch das zunehmend Raum beanspruchende Eis ausgepresst.

Aus dem Vergleich zwischen dem infolge hydrostatischen Druckes aus einer Kapillare in freie Nebenräume entweichenden, noch nicht gefrorenen Wasser und der Zunahme des Wasserraumes infolge Gefrierens lässt sich nach [6] der Höchstwert für den hydrostatischen Druck

$$p \max = 0,09 W_f \frac{\partial m}{\partial t} \cdot \frac{f(W)}{k F}$$

errechnen.

- $p$  hydrostatischer Druck in der Kapillare  
 $k$  Durchlässigkeitskoeffizient der Zementsteinwand  
 $F$  innere Wandfläche der Kapillare  
 $f(W)$  Funktion der Wanddicke zwischen den Poren-  
 räumen  
 $W_f$  Raum des in der Kapillare gefrierfähigen Wassers  
 $m$  Bruchteil (dieser gefrierfähigen Wassermasse), der  
 bei der in Betracht gezogenen Temperatur und  
 Konzentration gefriert.

Die Höhe des entstehenden Druckes hängt also u. a. von der Wanddicke  $w$  zwischen den benachbarten Porenräumen ab. Aus dem Abstand von einer gefrierenden Stelle der Wand bis zu einem nahe liegenden wasserfreien Ausweichraum (kugelige Luftpore) wurde von Powers [7] der «Abstandsfaktor» abgeleitet und als Kennwert (im Sinne einer statistischen Grösse) für den Frostwiderstand eingeführt. Powers gab für sein von ihm entwickeltes Linienzählverfahren bei Verwendung von Betonanschliffen an, dass der Druck nicht zerstörend wirke, wenn der Abstand von einem beliebigen Punkt im Zementstein zur nächsten Pore  $\leq 0,25$  mm betrage. Nach den mehrjährigen Erfahrungen der Betonstrassen AG/LPM-Labor mit dem Flächenzählverfahren an Beton-Dünnschliffen soll der zugehörige Abstandsfaktor  $AF \leq 0,10$  mm sein, im Sinne grösserer Sicherheit.

Der Druck hängt weiterhin von der Menge an gefrierfähigem Wasser (Sättigungsgrad) und weiter von der Abkühlungsgeschwindigkeit ab.

Enthält das in den Beton eingedrungene Wasser gelöste Salze (infolge Tausalzstreuungen), entwickeln sich auch osmotische Vorgänge, weil sich Unterschiede in den Konzentrationen ausgleichen wollen; auch hier wirken Luftporen druckentlastend.

Im wesentlichen besteht also die Wirkung der heftigen, kurzzeitigen Unterkühlung in einem Wettlauf zwischen der Druckzunahme bei der Abkühlung und der Druckentlastung durch vorhandene Möglichkeiten des Ausweichens von Wasser in benachbarte, freie Porenräume. Damit sind diejenigen Elemente der Betonstruktur herausgearbeitet, die von Bedeutung sind für Beton, der beständig sein soll gegen Frost und direkten Tausalzwurf.

- Gesamtporenraum, in welchem unterschieden wird zwischen Porenraum, der mit Wasser gefüllt, und solchem, der nicht gefüllt werden kann.
- Grösse und Form der Luftporen (genügend Poren der wirksamen Grösse von 0,02 bis 0,3 mm Durchmesser, Form: kugelig).
- Gute Verteilung der Luftporen in der Matrix, gekennzeichnet durch den Abstandsfaktor.

Es genügt demzufolge nicht zu wissen, dass der Frischbeton über einen bestimmten «Luftporengehalt» verfügt; massgebend ist die Kontrolle am erhärteten Beton, ob die Qualitätskriterien, wie sie eben grob und summarisch formuliert wurden, erfüllt sind. Damit kommen wir auch auf Forderungen zurück, welche der Mineraloge und Petrograph Prof. Paul Niggli bereits 1930 erhoben hat [8]. In seinem Beitrag über «Die Mitwirkung des Mineralogen und Petrographen bei der Beurteilung der natürlichen und künstlichen Bausteine und Strassenbaumaterialien» zum 1. Kongress des Neuen Internationalen Verbandes für Materialprüfungen, 1931 in Zürich, stellte Niggli das Folgende heraus:

«Eine weitere Eigenschaft, deren Bedeutung für die Druckfestigkeit, Frostbeständigkeit, Wetterbeständigkeit, Ab-

nutzbarkeit, Polierbarkeit usw. schon lange erkannt wurde, ist die *Raumerfüllung*. Es genügen indessen Angaben über das Porenvolumen allein nicht; mikroskopische und Färbeverfahren müssen über die Gestalt der Hohlräume Auskunft geben... Auch gilt es, die ersten Anzeichen der Lockerung eines Gefüges zu beachten. Besonders wichtig ist es, die Zusammenhänge zwischen Poren, Kapillaren, wasserlöslichen oder ausschlembaren Stoffen festzustellen, weil bei der Einwirkung von wässrigen Lösungen eine Vergrösserung der Porosität und eine unliebsame Bildung gesättigter Lösungen eintreten kann...»

Diese von Niggli vor gut 40 Jahren skizzierten Vorstellungen, nach denen die durch Mineralogie und Petrographie bereitgestellten analytischen Untersuchungsmethoden auch in der Technologie «keramischer» Werkstoffe allgemein Eingang finden sollten, haben nichts, aber auch gar nichts an Aktualität eingebüsst; denn noch immer werden bei uns mikroskopische Untersuchungen von Betonstrukturen als wenig oder gar nicht für die baupraktischen Kontrollen geeignet angesehen. Es wäre endlich an der Zeit, dass die Möglichkeiten solcher Strukturanalysen an Beton erkannt würden und ihnen im besonderen auch Platz in der baupraktischen Untersuchungsreihe zugewiesen würde. Im Sektor «Strassenbeton» für Beläge hat die Betonstrassen AG in den letzten Jahren systematisch die gemeinsam mit dem LPM-Labor erarbeiteten Erkenntnisse aus der gefügestrukturellen Analyse aus erhärtetem Beton in die Praxis eingeführt und zu einem wirkungsvollen Instrument der Gütekontrolle ausgebaut [13] [14] [15].

#### Tragwerksteile, die nicht direkt den Streusalzeinsätzen ausgesetzt sind

Diejenigen Ingenieure, welche mit dem Unterhalt von Strassenbrücken zu tun haben, wissen, dass im allgemeinen Teile der Fahrbahn zuerst schadhaf werden und erneuert werden müssen. Durch das niedrige Verhältnis von Eigengewicht zu Verkehrslasten sind sie meist auch massgebend bei der Nachrechnung alter Brücken oder für Schwertransporte und es besteht die dringende Forderung, den Fahrbahnplatten auch bei der Projektierung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Gerade wegen der hohen statischen und dynamischen Beanspruchung dieses Tragwerksteiles stellt sich hier die Frage der Haltbarkeit besonders dringlich.

Weil bis heute die einwandfreie Abdichtung von Strassenbrücken ein ungelöstes Problem ist [9], muss damit gerechnet werden, dass Salzlösungen die Dichtungen unterwandern können und in wechselnder Konzentration über längere Zeiträume auf den Fahrbahnplatten liegen bleiben und auf den Beton in korrosivem Sinn einwirken. Dabei sollen im Begriff Betonkorrosion alle Erscheinungen chemischer und physikalisch-chemischer Natur verstanden werden, welche zur Zerstörung des Zementsteins führen. Indessen ist es wahrscheinlich, dass beim korrosiven Angriff der Streusalzlösungen auf den Beton unter den Fahrbahnisolierungen chemische Reaktionen eine erhebliche Rolle spielen, weil die Salzlösung in langdauerndem Kontakt mit dem Zementstein bleibt. Welcher Art können denn an diesen Tragwerksteilen die Schadenursachen sein?

Die Natur der Oberfläche spielt hier die entscheidende Rolle, denn es gibt nach unsern heutigen Kenntnissen keinen Festkörper mit absolut inerten Oberflächen [3]. Alle Festkörper weisen Oberflächenspannungen auf. Festkörper bestehen also aus innern und oberflächlichen Zonen mit einer oder mehreren Schichten von Molekülen, bei denen die Wahrscheinlichkeit von Reaktionen grösser ist als bei den inneren Partikeln. Für Festkörper vergrössert sich diese Zone erhöhten Reaktionsvermögens mit dem Anstieg des Quotienten aus Oberfläche und Volumen.

Welche Mechanismen zur Zerstörung des Betons unter undichten, schadhafte Fahrbahnisolierungen führen, ist nicht hinreichend bekannt. Das Zusammenfallen der Verwendung von Tausalzen mit dem häufigen Auftreten von schweren Korrosionsschäden kann aber kaum Zweifel offenlassen, dass den Tausalzen eine spezifische Wirkung zukommt. Auch sind die unter Fahrbahnisolierungen auftretenden Schäden in ihrer Art verschieden von den von Betonbelägen her bekannten. Bei letzteren herrschen Abplatzungen vor, während bei ersten der Beton in eine krümelige Masse verwandelt wird. Chemische Reaktionen von Chloridlösungen mit Bestandteilen des Zementsteins sind zwar bekannt [4], sie müssen aber durchaus nicht zu einer Zerstörung des Betons führen. Erst durch länger dauernden Kontakt mit sehr hohen Chloridkonzentrationen nahe der Sättigung (350 g NaCl/l Wasser) wird Beton rasch zerstört. Man hat in solchen Fällen die Zerstörung als die Wirkung osmotischer Drücke oder des Drucks auskristallisierender Salze interpretieren wollen. Solche Interpretationen stützen sich meist auf mehr oder minder hypothetische Annahmen über den physikalisch-chemischen Zustand des Systems (Konzentrations- und Temperaturverhältnisse) und können deshalb nicht völlig überzeugen. Detaillierte Felduntersuchungen, die diese Annahmen bestätigen würden, stehen noch aus.

Es liegt nahe, anzunehmen, dass keine einzelne (chemische oder physikalische) Wirkung allein ausschlaggebend ist, sondern dass erst ihre Kombination, potenziert durch die meist exponierte Lage der Brücken (häufigere und intensivere Frost-Tau-Wechsel), zu den beschriebenen schweren Schäden führt.

Die Frage ist nun, ob vom Betontechnologen, vom Bauingenieur her gesehen, geeignete Abwehrmassnahmen ergriffen werden können.

Bei vornehmlich durch physikalische Vorgänge angegriffenen Grenzflächen bestätigen nun bereits vieljährige in- und ausländische Erfahrungen, dass durch gut strukturierten Luftporenbeton die Tausalzresistenz erreicht wird.

Es ist in diesem Zusammenhang wohl auch von einiger Bedeutung, darauf hinzuweisen, dass die Tausalzresistenz die schärfere Bedingung ist als die Frostbeständigkeit! Ein tausalzresistenter Beton ist mit Bestimmtheit auch frostbeständig, hingegen gilt die umgekehrte Formulierung nicht! Die Frostbeständigkeit ist also wohl eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung dafür, dass der Beton auch beständig ist gegenüber Tausalzeinwirkung.

Ein guter Luftporenbeton mit dichtem Gefüge vermag eine gewisse Entlastung und Verbesserung der Beständigkeit zu erbringen, gegen chemisch ihn angreifende Salzlösungen wird aber auch er letztlich keine Sicherung sein.

Daraus geht hervor, dass bei der heutigen Sachlage, wo es weder eine auf längere Sicht einwandfrei funktionierende Dichtungsmethode noch einen wirklich zuverlässig resistenten Beton gegenüber Salzlösungen gibt, nur der eine sinnvolle Ausweg bleibt: den Salzeinsatz auf unserem Strassennetz radikal einzuschränken, wenn nicht sogar darauf zu verzichten. Denn man übersehe nicht, dass es keine echte Chance gibt, die Dichtungswirksamkeit von Isolationen an Brücken zu überwachen; wenn festgestellt wird, dass sie ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen, dann ist der Schaden am Tragwerk meist auch gleich zu Protokoll zu geben!

Und ein Letztes ist zu bedenken: Die Spikesschäden an Strassenbelägen verursachen hohe Unterhalts- und Erneuerungskosten, das ist nachgewiesen, aber: der Schadenfortschritt ist augenscheinlich und kann jederzeit gemessen und überblickt werden. Nicht so bei Brücken: Hier geht es um weit mehr. Der Schadenfortschritt, hervorgerufen durch Salze, entzieht sich praktisch vollständig der laufenden

Kontrolle. Insbesondere ist es nicht mehr möglich, eine Aussage darüber zu machen, welchen Sicherheitsgrad einzelne Tragwerksteile und das Ganze in einem beliebigen Zeitpunkt aufweisen, und schliesslich sind die auf uns zukommenden Kosten für die Sanierung nicht zu überblicken.

Gründe genug, um die Gefährlichkeit der Streusalze im Hinblick auf den Bestand unserer Bauwerke nicht zu unterschätzen, ganz abgesehen von den Folgen im Sektor Umweltschutz; denn auch hier wird der Zeitpunkt nicht mehr allzu fern sein, da Tausalze sowohl im Interesse des Schutzes der Gewässer wie der Pflanzenwelt nicht mehr toleriert werden können.

Bis sich diese Erkenntnis aber durchgesetzt hat, sollte man sich beim Bau von Brückentragwerken mindestens an folgende Grundsätze halten:

- Sorgfältige Auswahl der Zuschlagstoffe im Hinblick auf ihre Frostbeständigkeit
- Beachtung der Vorschriften, wie sie in der Norm SIA 162, 1968 sowie in [5] formuliert sind.
- Zumindest all jenen Tragwerksteilen, die mit Streusalzlösungen in Berührung kommen können, sind leistungsfähige *Luftporenbildner* beizugeben.

(Indessen wäre es keineswegs ein Luxus, wenn generell in Frost- und Tauwechsellagen ausgesetztem Beton von Tragwerksteilen künstliche Luftporen gebildet würden, weil bereits eine Verminderung des Elastizitätsmoduls um 10% einer Verminderung der Biegezugfestigkeit um rund 20% bzw. 10% der Würfeldruckfestigkeit entspricht [10]. Eine Abminderung des Verformungsmoduls in dieser Grössenordnung ist möglich, ohne dass dies der Beton äusserlich anzeigen würde, und doch sinkt seine Biegezugfestigkeit bei einem Ausgangswert von 70 kg/cm<sup>2</sup> ab auf rund 55 kg/cm<sup>2</sup>).

- Man bemühe sich um Erreichung eines möglichst dichten Betongefüges [11], und schliesslich sollte
- an solch exponierten Tragwerksteilen die Betonüberdeckung der äussersten Stahleinlagen nicht weniger als 5 cm betragen [12].

#### Literatur

- [1] *Zulauf*: «Neue Zürcher Zeitung», 1970, Nr. 9.
- [2] *Walther*: Referat anlässlich der Pressekonferenz der SKS über «Sicherheit im Strassenverkehr» vom 30. 10. 1972.
- [3] *Steopoe*: «Baustoffindustrie», 1967, Nr. 9, S. 259.
- [4] *Ludwig*: Untersuchungen des Instituts für Gesteinshüttenkunde der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- [5] *Maurer, Weber*: «Hoch- und Tiefbau», 1969, Nr. 22, S. 3 ff.
- [6] *A. Schäfer*: «Deutscher Ausschuss für Stahlbeton», Heft 167/1964.
- [7] *Powers*: «Proc. Highway Res. Board», 29 (1949).
- [8] *Niggli*: Erste Mitteilungen des Neuen Internationalen Verbandes für Materialprüfungen, Zürich 1930.
- [9] *Woywood*: «Strasse und Verkehr», 1970, Nr. 9, S. 2.
- [10] *B. Warris*: Swedish Cement and Concrete Research Institute at the Royal Institute of Technology, Stockholm 1964, «Proceedings», Nr. 36, p. 31.
- [11] *I. Biczok*: «Concrete corrosion, concrete protection», 1964, S. 232 ff.
- [12] Norm SIA 162, 1968, Art. 5.18, Abs. 2.
- [13] *Wilk, Dobrolubov, Romer*: Entwicklung in der Gütekontrolle von Beton während des Einbaues. «Mitteilungsblatt der Betonstrassen AG, Wildeggen», Nr. 92/93, 1972.
- [14] *Romer, Dobrolubov*: Angewandte Mikroskopie bei der Baustoffprüfung: Beton, Mörtel, Zement, Kalk, Gips, Keramik. «Mitteilungsblatt der Betonstrassen AG, Wildeggen», Nr. 90/91, 1972.
- [15] *Romer, Dobrolubov*: Schnellmethode zur Bestimmung der Frost- oder Frost-Tausalzbeständigkeit von Beton nach dem D-R-Verfahren. «Mitteilungsblatt der Betonstrassen AG, Wildeggen», Nr. 88/89, 1971.

Adresse des Verfassers: *Willy Wilk*, dipl. Bauing. ETH, Direktor der Betonstrassen AG, 5103 Wildeggen.