

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Schweizerische Bauzeitung |
| Herausgeber: | Verlags-AG der akademischen technischen Vereine |
| Band: | 93 (1975) |
| Heft: | 46 |
| Artikel: | Temperaturschock beim Auftauen von vereistem Beton mit Tausalz |
| Autor: | Harnik, Avo B. / Rösli, Alfred |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-72872 |

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: 15.01.2026

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

Temperaturschock beim Auftauen von vereistem Beton mit Tausalz

Von Avo B. Harnik und Alfred Rösli, Zürich

DK 691.32:625.768.6

Einleitung

Für die Dauerhaftigkeit von Bauwerken aus Beton, die der Witterung ausgesetzt sind, ist in unseren geographischen Breiten in starkem Masse die Frostbeständigkeit des Bauwerks massgebend. Die Frostbeanspruchung beruht im wesentlichen darauf, dass das in den Betonhohlräumen (Kapillaren, Poren) befindliche Wasser beim Gefrieren eine Volumenzunahme um rund 9 % erfährt; wird diese Ausdehnung behindert, so entsteht ein Druck, der beim Fehlen von Expansionsmöglichkeiten zerstörend wirken kann.

Erheblich stärkere Beanspruchungen treten bei gleichzeitiger Einwirkung von Frost- und Taumitteln auf, insbesondere beim Auftauen von Eis mittels Tausalzen, wie es in der Schweiz vor allem seit dem Bestehen der Autobahnen in starkem Masse eingeführt worden ist. Von den vielen hier zu beachtenden Vorgängen sollen ausschliesslich Entstehung und Wesen der dabei in Erscheinung tretenden Kältewelle (Temperaturschock) dargestellt werden. Darunter wird der plötzlich auftretende, rasche Temperaturabfall an der vereisten Betonoberfläche bei der Behandlung mit Auftaumitteln verstanden [2]. Als Folge des Kontaktes zwischen Eis und Tausalz verändert sich der Zustand dieser beiden homogenen Stoffe (Phasen) spontan, indem das Eis zu schmelzen und das Tausalz sich im Schmelzwasser zu lösen beginnt; außerdem entsteht als neue Phase eine Salzlösung. Solche Zustandsänderungen sind von verschiedenen thermodynamischen Variablen abhängig, deren wichtigste Druck, Temperatur und Konzentration (Mengenverhältnisse) sind, und die in einem sogenann-

ten Zustands- oder Phasendiagramm dargestellt werden können.

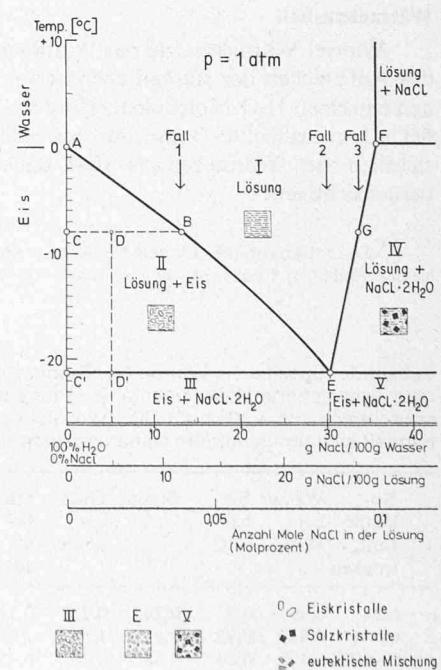
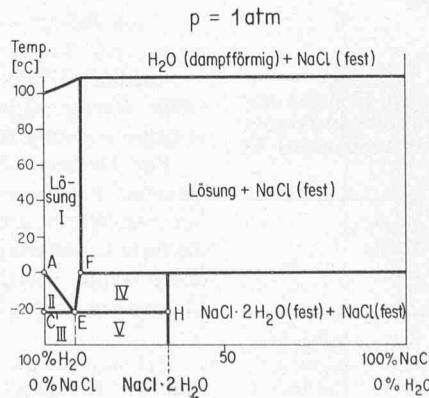
Die folgenden Betrachtungen beziehen sich, wo nicht anders angegeben, stets auf das Streusalz Natriumchlorid (NaCl). Dies zum einen, weil es eines der in der Schweiz im Strassendienst am häufigsten eingesetzten Streumittel darstellt (je nach Region und Witterung von rund 50 % bis gegen 100 % [1]), und zum anderen, weil NaCl von den bekannteren Tausalzen die grösste negative Lösungswärme besitzt und somit einen stärkeren Temperaturschock auslöst.

Zustandsdiagramm $H_2O-NaCl$

Die Verhältnisse im System $H_2O - NaCl$ sind für 1 atm Normaldruck in Bild 1 dargestellt; Bild 2 zeigt den für den Winterdienst wichtigen Ausschnitt vergrössert. Das Zustandsdiagramm wird durch mehrere Grenzlinien in verschiedene Felder aufgeteilt (Bild 2). Ob Eis von gegebener Temperatur mit einer bestimmten Tausalzkonzentration vollständig aufgetaut werden kann oder nicht, hängt von der Lage des Schnittpunktes zweier einzzeichnender Linien ab, nämlich der gemessenen Eistemperatur (horizontal) und der gewählten NaCl-Konzentration (vertikal). Liegt der Schnittpunkt in Feld I (Lösung), so kann damit gerechnet werden, dass sämtliches Eis schmilzt und eine Salzlösung (kleine Einsatzfigur) entsteht. Liegt der Schnittpunkt dagegen in Feld II (z. B. Punkt D), so reicht das Salz nicht aus, um sämtliches Eis aufzutauen; fällt er anderseits in Feld IV, so bleibt in der Lösung noch überschüssiges Salz zurück. Unterhalb der sogenannten eutekti-

Bild 2 (rechts). Ausschnitt aus dem Phasendiagramm $H_2O-NaCl$: Für die Winterdienst-Praxis wichtiger Bereich. Die Pfeile bezeichnen drei Beispiele (s. Text)

Bild 1. Phasendiagramm $H_2O-NaCl$ bei Normaldruck (1 atm): Überblick



schen Temperatur von $-21,2^{\circ}\text{C}$ vermag NaCl Eis überhaupt nicht mehr aufzutauen; deshalb kommen in den Feldern III und V nur die beiden Festkörper Eis und Salz vor.

Die Grenzlinie zwischen Feld I und Feld II (Kurve A-E, Kristallisationskurve) gibt somit für jede gemessene Eistemperatur die theoretisch *minimale*, mit sinkender Temperatur stetig zunehmende Tausalzkonzentration an, um alles Eis zu schmelzen, während die Grenzlinie E-F (Löslichkeitskurve) die *maximal nützliche* Tausalzkonzentration anzeigt. Beide Grenzlinien treffen in Punkt E zusammen; die entsprechende *eutektische* Konzentration von 30,4 g NaCl/100 g H₂O bewirkt die stärkste Gefrierpunktniedrigung der Lösung, und damit ein temperaturunabhängiges Auftauen bis zu $-21,2^{\circ}\text{C}$. Beträgt beispielsweise die Eistemperatur -8°C , so werden minimale, eutektische und maximale NaCl-Dosierung durch Fall 1, 2 und 3 (Pfeile in Bild 2) dargestellt. In der Praxis wird zur Berechnung der minimalen Tausalzmenge auch häufig eine von R. Zulauf [3, 4] angegebene Faustformel verwendet:

$$(1) \quad S = 16 \cdot T E \rho$$

S = Gramm NaCl je m² Strasse

T = Frosttemperatur (Anzahl Grade unter 0°C)

E = Dicke von Eis oder Schnee in mm

ρ = Dichte in g/cm³ (für Eis 0,92, für festgefahrener Schnee zwischen 0,5 und 0,9)

Der Faktor $16 \cdot T$ (Gl. 1) stellt die Linearisierung der Kurve A-E in Bild 2 dar, während mit $E \rho$ zusätzlich noch die Möglichkeit besteht, die Streuleistung an besonders kritischen Stellen (Brücken, Schattenpartien usw.) vom Fahrersitz aus bis auf 40 g/m² und mehr zu erhöhen. Eine Überschlagsrechnung anhand Gl. (1) zeigt, dass 10 g NaCl/m² rein theoretisch, ohne Mithilfe von Besonnung, rollendem Verkehr u. a. gerade ausreichen, um bei einer Temperatur von -1°C rund 0,7 mm dickes Eis bzw. 1,3 mm dicken festgefahrener Schnee ($\rho = 0,5 \text{ g/cm}^3$) aufzutauen; bei -5°C Temperatur beträgt die Auftaleistung nur noch rund 0,1 mm Eis bzw. 0,25 mm Schnee.

Viele motorisierte Streugeräte sind fest auf eine Dosierung von 9 bis 10 g NaCl/m² Strasse eingerichtet, wobei häufig noch die Möglichkeit besteht, die Streuleistung an besonders kritischen Stellen (Brücken, Schattenpartien usw.) vom Fahrersitz aus bis auf 40 g/m² und mehr zu erhöhen. Eine Überschlagsrechnung anhand Gl. (1) zeigt, dass 10 g NaCl/m² rein theoretisch, ohne Mithilfe von Besonnung, rollendem Verkehr u. a. gerade ausreichen, um bei einer Temperatur von -1°C rund 0,7 mm dickes Eis bzw. 1,3 mm dicken festgefahrener Schnee ($\rho = 0,5 \text{ g/cm}^3$) aufzutauen; bei -5°C Temperatur beträgt die Auftaleistung nur noch rund 0,1 mm Eis bzw. 0,25 mm Schnee.

Wärmehaushalt

Wieviel Wärmeenergie das Auftauen von Eis, das heißt das Aufbrechen der starken chemischen Bindungen zwischen den einzelnen H₂O-Molekülen, erfordert, kann jeder ermessen, der schon versucht, Tee wasser aus Schnee zu kochen. Hinsichtlich des Wärmebedarfs sind dabei drei Faktoren zu berücksichtigen:

¹⁾ Die internationale Einheit für Arbeit, Energie und Wärmemenge ist das Joule (J); 1 cal = 4,184 J = $1,162 \cdot 10^{-6}$ kWh.

Tabelle 1. Spezifische Wärme (c), Dichte (ρ) und je Einheitsvolumen gespeicherte Wärmemenge ($c \rho$) für einige Stoffe im Temperaturbereich von -30° bis $+30^{\circ}$ (wo nicht anders angegeben). Es handelt sich um gemittelte Näherungswerte

| Ruhende Luft, trocken | Wasser bei 18°C | Eis bei 0°C | Beton | Gussasphalt | Stahl bei 0° | Holz: Fichte lufttr. 100 °C | |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------|-------------|-----------------------|-----------------------------|---|
| c | 0,24 | 0,999 | 0,5 | 0,24 | 0,22 | 0,11 | 0,27 cal/g · $^{\circ}\text{C}$ |
| ρ | 0,001 | 0,999 | 0,92 | 2,4 | 1,5 | 7,85 | 0,5 g/cm ³ |
| $c \cdot \rho$ | 0,00024 | 0,998 | 0,46 | 0,58 | 0,33 | 0,86 | 0,14 cal/cm ³ · $^{\circ}\text{C}$ |

– Als *spezifische Schmelzwärme* von Eis wird die zum Schmelzen von 1 g Eis benötigte Wärmemenge¹⁾ bezeichnet; allgemein beträgt die Schmelzwärme

$$(2) \quad Q = m_e \lambda_e \text{ (cal)}$$

λ_e = spezifische Schmelzwärme von Eis (cal/g)

m_e = Masse von Eis (g)

– Die *spezifische Lösungswärme* ist die beim Auflösen von 1 g Tausalz in Wasser je nach Salzart freiwerdende oder benötigte Wärmemenge; diese beträgt allgemein²⁾

$$(3) \quad Q = \pm m_s \lambda_s \text{ (cal)}$$

λ_s = spezifische Lösungswärme des verwendeten Tausalzes (cal/g)

m_s = Masse des Tausalzes (g)

– Die *spezifische Wärme* ist die zum Erwärmen von 1 g eines Stoffes um 1°C erforderliche bzw. beim Abkühlen um 1°C freiwerdende Wärmemenge. Ist das gestreute Tausalz wärmer als das Eis, so wird infolge der Abkühlung des Salzes auf die Eistemperatur folgende Wärmemenge frei:

$$(4) \quad Q = -m_s c_s |T_s - T_e| \text{ (cal)}$$

c_s = spezifische Wärme des verwendeten Tausalzes (cal/ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}$)

T_s, T_e = Temperatur von Tausalz bzw. Eis ($^{\circ}\text{C}$)

Beispiel: Der Wärmebedarf zum Auftauen eines 0,1 mm dicken Eisfilms von 1 m² Fläche ($m_e = 92 \text{ g}$) und -3°C Temperatur durch eine minimale NaCl-Dosierung (Salztemperatur -1°C) beträgt näherungsweise:

$$\text{Gl. (2)} \quad Q = 92 \text{ g} \cdot 78,1 \text{ cal/g} = 7185 \text{ cal}$$

$$\text{Gl. (3)} \quad Q = 4,7 \text{ g} \cdot 19,9 \text{ cal/g} = 94 \text{ cal}$$

$$\text{Gl. (4)} \quad Q = -4,7 \text{ g} \cdot (0,21 \text{ cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}) \cdot 2^{\circ}\text{C} = -2 \text{ cal}$$

Wärmebedarf total 7277 cal

An diesem gesamten Wärmebedarf hat eindeutig die Schmelzwärme von Eis den grössten Anteil.

Eine gewisse Wärmemenge kann auch von den beiden Reaktionspartnern Eis und Tausalz zum Auftauen beigeleitet werden:

$$(5) \quad Q = (m_e c_e + m_s c_s) |T_e - T_s| \text{ (cal)}$$

T_e = Temperatur des Eises vor dem Streuen ($^{\circ}\text{C}$)

T_s = eutektische Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

c_e = 0,505 cal/ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}$ bei 0° , mit sinkender Temperatur abnehmend

c_s = 0,2 cal/ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{g}$ bei $+25^{\circ}$, mit sinkender Temperatur abnehmend

Im obigen Beispiel ergibt Gl. (5):

$$Q = (46,5 + 0,94) \text{ cal}/^{\circ}\text{C} \cdot 18,2^{\circ}\text{C} = 863 \text{ cal}$$

Eine Bilanz von Wärmebedarf und verfügbarer Wärme erweist ein *Wärmedefizit* von rund 88% des Wärmebedarfs:

Bedarf 7277 cal; verfügbar 863 cal; Defizit 6414 cal = 88% Ohne Wärmezufuhr von aussen käme deshalb der Auftauvorgang vorzeitig zum Stillstand.

Zur Deckung des Wärmedefizits stehen, abgesehen von äusseren Wärmequellen wie Sonne, Fahrbahnheizung u. a., nur zwei Wärmespeicher zur Verfügung, nämlich die Luft und die feste Eisunterlage. Zur Beurteilung der Verhältnisse ist in erster Linie massgebend, welche Wärmemenge in diesen Materialien gespeichert ist und wie rasch sie zum Auftauort

²⁾ Einige spezifische Lösungswärmen: NaCl = $-19,9 \text{ cal/g}$, MgCl₂ · 6H₂O = $+16,7 \text{ cal/g}$, CaCl₂ · 2H₂O = $+85 \text{ cal/g}$.

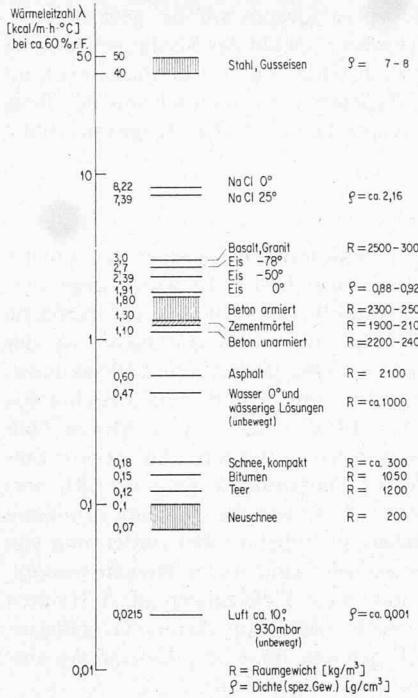


Bild 3 (links). Wärmeleitzahl (Wärmeleitvermögen) und Raumgewicht bzw. Dichte einiger Stoffe bei durchschnittlich 60 % relativer Feuchtigkeit

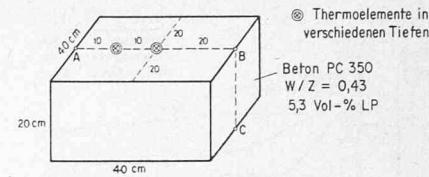
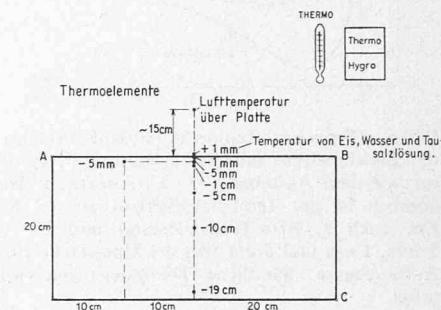


Bild 4 (rechts). Ansicht und Querschnitt durch eine der Versuchsplatten
Oben: Platte vor Anbringen der Schaumstoffisolation

Unten: Schnitt entlang A-B. Schematisch sind Präzisionsthermometer und Thermo-Hygro-Schreiber dargestellt, die die Umgebungsbedingungen während der Versuche festhielten



transportiert werden kann. In allen in Tabelle 1 aufgeführten Festkörpern und Flüssigkeiten ist je Einheitsvolumen rund 10^3 mal mehr Wärme gespeichert als in ruhender, trockener Luft (für bewegte Luft sind die Verhältnisse anders). Auch bezüglich des Wärmeleitvermögens (Bild 3) übertrifft Beton ruhende Luft noch um fast zwei Zehnerpotenzen. Aufgrund dieser Überlegungen kann geschlossen werden, dass der überwiegende Teil des Wärmedefizites beim Auftauen nicht ruhender Luft, sondern der festen Unterlage des Eises entzogen wird. Während jedoch unter natürlichen, salzlosen Verhältnissen das Auftauen nur langsam vor sich geht und die Abkühlung daher klein bleibt, wird beim Tauen mit Tausalzen dieselbe Wärmemenge innerhalb kurzer Zeit benötigt und daher die feste Unterlage rasch abgekühlt.

Wärmeleitung

Wärme ist bekanntlich die Summe der Bewegungsenergie (kinetische Energie) der Bausteine der Materie, d. h. der Atome, Ionen und Moleküle. Eine bestimmte Wärmemenge kann auf ein grösseres oder kleineres Volumen eines Materials verteilt sein und diesem dadurch eine niedrigere oder höhere Temperatur verleihen. Im Falle von Temperaturunterschieden kommt stets ein Wärmeaustausch in Richtung vom wärmeren zum kälteren Körper in Gang. Für feste Körper ist hierbei von den vier Übertragungsprozessen Wärmestrahlung, Dampfdiffusion, Konvektion und Wärmeleitung der letztere mit Abstand am wichtigsten. Die in der Zeit t durch den Querschnitt F fliessende Wärmemenge beträgt entlang der unendlich kleinen Strecke dx senkrecht zur Querschnittsfläche F für an jeder Stelle x zeitlich konstante Temperatur ($dT/dt = 0$)

$$(6) \quad Q = F \frac{dT}{dx} \lambda t \quad (\text{kcal})$$

F = Querschnittsfläche (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = Temperaturgradient: Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$ entlang der Strecke dx ($^\circ\text{C}/\text{m}$)

λ = Wärmeleitzahl ($\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot {}^\circ\text{C}$) ³⁾

t = Zeit (h)

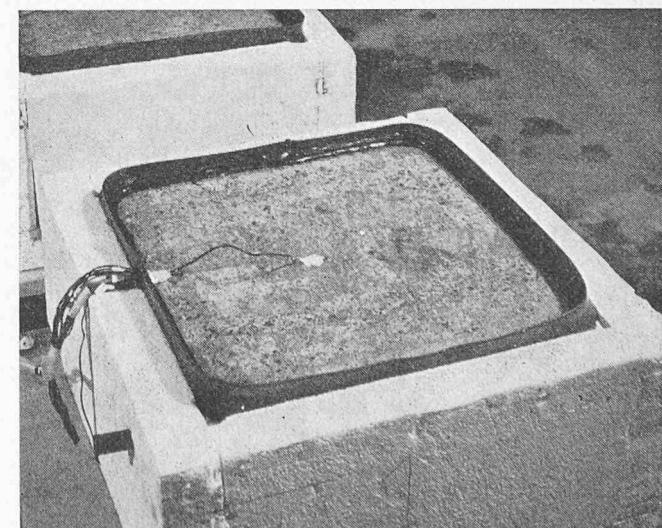
³⁾ Die internationale Einheit der Wärmeleitfähigkeit ist 1 Watt/ $^\circ\text{C}$ = $0,860 \text{ kcal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot {}^\circ\text{C} = 2,39 \cdot 10^{-3} \text{ cal}/\text{cm} \cdot \text{s} \cdot {}^\circ\text{C}$.

Die Wärmeleitzahl λ (Wärmeleitvermögen) ist eine temperatur- und druckabhängige Materialkonstante; sie entspricht der Wärmemenge (in kcal), die in 1 Stunde durch eine 1 m dicke Platte von 1 m^2 Oberfläche bei einem Temperaturunterschied von $1 {}^\circ\text{C}$ zwischen zwei gegenüberliegenden Plattenoberflächen fliesst. Die Wärmeleitzahlen einiger am Eisaufbau beteiligter Stoffe sind in Bild 3 dargestellt; da Messmethoden und -bedingungen jedoch häufig nur schlecht miteinander vergleichbar sind, sind Zahlenwerte mit Vorsicht aufzunehmen.

Temperaturmessungen

Über Messungen der mit der Wärmeentnahme beim Eisaufbau verbundenen Betonabkühlung wurde bisher wenig [2, 5, 6] berichtet. Kürzlich regte A. Voellmy [7] an, diesen Abkühlungsvorgang durch exakte Temperaturmessungen genau zu verfolgen.

Bild 5. Zum Versuch vorbereitete Platte. Der obere Plattenrand ist mit einer elastischen Manschette (dunkel) umschlossen, die ein Abfließen des Wassers verhindert. Am Boden und auf den Seiten ist eine Wärmeisolation aus 5 cm dickem Schaumstoff angebracht



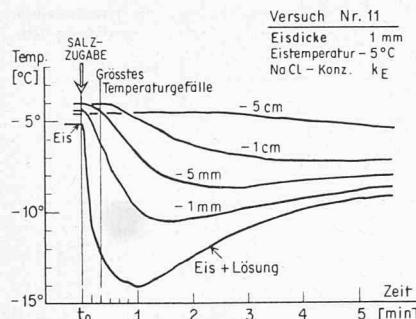
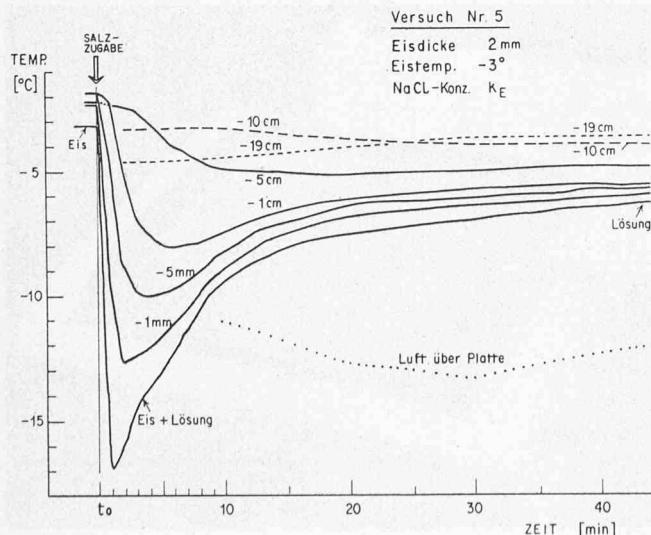


Bild 6. Typischer Temperaturverlauf in einer Betonplatte während des Eisschmelzens mit NaCl. Parameter: Eisdicke 1 mm, Eistemperatur vor dem Auftauen -5°C , eutektische NaCl-Konzentration. Angegeben ist der Temperaturverlauf an der Plattenoberfläche (zuerst Eis, nach t_0 Eis + Tausalzlösung) und in Abständen von 1 mm, 5 mm, 1 cm und 5 cm von der Oberfläche für die ersten 5 min nach Auftaubeginn. Sämtliche Thermoelemente wurden alle 10 s abgetastet

Für unsere Experimente mussten wir mehrere vereinfachende Annahmen treffen. So wurden komplexe Faktoren wie Strassenverkehr, Sonnen-Schatten-Wechsel u. a. nicht berücksichtigt. Es wurden drei Betonplatten ($40 \times 40 \times 20$ cm) verwendet (Bild 4; Einzelheiten siehe [8]). Thermoelemente befanden sich direkt auf der Plattenoberfläche sowie in Abständen von 1, 5, 10, 50, 100 und 190 mm darunter. Die Temperaturen sämtlicher Messstellen wurden alle 10 Sekunden elektronisch gemessen (relative Genauigkeit $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) und auf Lochstreifen registriert. Mit einer fünfseitigen Schaumstoffisolation (Bild 5) wollten wir eine möglichst ausschliessliche Konzentration des Wärmeffusses auf die Auftaufläche erreichen.

Bei den Versuchen wurden drei Parameter variiert. Als *Eisdicke* wurde 1, 2, 3 und 5 mm gewählt; dünner Schichten konnten infolge der natürlichen Rauigkeit der Betonoberfläche nicht reproduzierbar hergestellt werden. Die *Eistemperatur* lag in drei Intervallen, die den praktischen Einsatzbereich von NaCl etwa gleichmässig überdecken: $-0,5$ bis $-3,5^{\circ}\text{C}$, $-3,5$ bis $-6,5^{\circ}\text{C}$ und $-6,5$ bis $-9,5^{\circ}\text{C}$. Als Tausalz wurde einzig *Natriumchlorid* in *minimaler, eutektischer* und *maximaler* Konzentration verwendet (Überlegungen dazu siehe Einleitung).

Bild 7. Extremer Temperaturverlauf in einer Betonplatte. Parameter: Eisdicke 2 mm, Eistemperatur vor dem Auftauen -3°C , eutektische NaCl-Konzentration. Alle übrigen Daten wie bei Bild 6



Das Wasser wurde im Frostraum auf die getrockneten, ausnivellierten Platten gegeben. Sobald das Eis das gewünschte Temperaturintervall erreicht hatte, wurde jede Platte noch im Frostraum durch ein aufgelegtes Sieb hindurch mit der ihrer effektiven Temperatur entsprechenden NaCl-Menge (aus Bild 2 herausgelesen) bestreut.

Ergebnisse

Einen typischen Temperaturverlauf in einer Betonplatte während des Eisschmelzens zeigt Bild 6. Es wurde angenommen, dass bei innigem Kontakt Beton-Eis die Plattenoberfläche die Eistemperatur annimmt. Besonders auffallend ist der rasche Temperatursturz an der Oberfläche: Innert 10 Sekunden wurde sie von -5° auf unter -10° gekühlt und erreichte den Minimalwert von rund -14°C nach bloss 1 Minute, um danach langsam wieder wärmer zu werden. Das weitere Eindringen der Kältewelle ins Platteninnere ging deutlich verzögert und gedämpft vor sich, indem die Temperaturminima bei den übrigen Messstellen mit zunehmender Entfernung von der Oberfläche geringer ausfielen und später erreicht wurden. Die Messpunkte in 10 und 19 cm Tiefe zeigten gar 5 Minuten nach der Salzzugabe noch überhaupt keine Temperaturveränderung an. Diese Ergebnisse beweisen, dass die Wärmeströmung in der Platte instationär verläuft.

Infolge der raschen Abkühlung der Oberfläche entsteht im Beton in den ersten Minuten nach dem Salzen ein beträchtliches Temperaturgefälle. Einen Extremfall zeigt Bild 7, wo der Oberflächen-Temperatursturz gar 14° (von -3° auf -17°C) in 1 Minute betrug. Weitere Einzelheiten sowie Ergebnisse von 30 Auftauversuchen sind getrennt [8, 9] zusammengestellt.

Folgerungen

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die Größenordnung des schockartigen Temperaturabfalles als Folge des Auftauens von Eis mit Natriumchlorid sowie das Ausmass der dadurch ausgelösten örtlichen starken und schnellverlaufenden Abkühlungen des Betons. Andere Autoren haben zum Teil kleinere [6], zum Teil aber auch ähnliche Temperatursenkungen angegeben [5]. Für die Zuverlässigkeit der neuen Werte sprechen die genaue Platzierung der Thermoelemente sowie die unseres Wissens bisher erstmalige praktisch kontinuierliche Messung der Temperaturgradienten.

Am Rande der Verkehrswege befindliche Betonbauteile (Stützmauern, Abschlussplatten, Konsolköpfe usw.) sind dem Temperaturschock mindestens in gleicher Masse ausgesetzt wie Fahrbahnbeläge. Dies liegt zum einen daran, dass bei diesen randlichen Bauteilen die Vereisungsgefahr wegen geringer Abmessungen, Exponiertheit, fehlender Verkehrsbelastung usw. verhältnismässig gross ist, und dass sie, obgleich sie nicht direkt gesalzen werden, doch im Wirkungsbereich der von Fahrzeugen weggeschleuderten Salzlösungen liegen. Zum anderen ist besonders der Herstellung möglichst Frost-Tausalzbeständiger Strassenbeläge schon seit langem besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden; auch werden Strassen vor allem im Mittelland seit einiger Zeit nach Möglichkeit präventiv gesalzen [3], wodurch im Prinzip die Bildung von Eis- oder Schneebelägen von vornherein verhindert und ein Temperaturschock durch Auftauen somit vermieden werden kann.

Die Ansicht von *T. C. Powers* [10], dass ein rasches Unterkühlen des Betons Schäden hervorrufen kann, wo unter natürlichen Frostbedingungen alleine keine auftreten, erfährt dadurch eine Bestätigung. Auch *A. Schäfer* [11] stellte fest: «Der Druck (bei der Wasser-Eis-Umwandlung) hängt im weiteren von der Abkühlungsgeschwindigkeit ab. Deshalb werden oft bei schnellem Gefrieren grössere Schäden festgestellt als bei langsamem.» Die durch wiederholtes Eisauf-

tauen im Beton hervorgerufenen zyklischen, schroffen Temperaturbelastungen dürften somit einen Faktor darstellen, der in starkem Masse für das in der Praxis beobachtete schlechtere Verhalten mancher Betonbauteile unter kombinierter Frost/Tausalz-Einwirkung, verglichen mit reiner Frosteinwirkung, mitverantwortlich ist.

Es braucht nicht eigens betont zu werden, dass die Ergebnisse der unter vereinfachenden Annahmen durchgeführten Laborversuche nur mit Vorsicht auf die Verhältnisse im Freien mit ihren unzähligen Variablen (Feuchtigkeit, Wind, Verkehr, maschinelle Salzung u. a.) übertragbar sind; es ist beispielsweise zu erwarten, dass beim Auftauen natürlicher dünner Eisfilme (Dicke $\sim 1/10$ mm) ein proportional kleinerer Wärmebedarf als in den Versuchen (Mindestdicke 1 mm) und dementsprechend auch ein wesentlich geringerer Temperatursturz entsteht.

Die Folgen der Frost/Tausalz-Einwirkung umfassen außer dem Temperaturschock noch viele weitere Erscheinungen; einige wichtige darunter sind:

- Entstehen von Temperaturspannungen (Eigenspannungen), an der Oberfläche als Zugspannungen auftretend
- Verschieben der 0°C -Grenze weiter ins Betoninnere hinein, wodurch ein Gefrierdruck auch in sonst nicht betroffenen Tiefen entsteht
- Ausweiten des Expansionsdruckes auf desto feinere Kapillaren, je tiefere Temperaturen erreicht werden
- Verstärkung des Gefrierdruckes mit zunehmender Abkühlgeschwindigkeit, sofern kein vollständiger Druckausgleich zustande kommt
- Ausgleich von Konzentrationsunterschieden der im Beton vorhandenen Lösungen (Osmose)
- Ausgleich von Viskositäts- und Dichteunterschieden dieser Lösungen (Diffusion)
- Kristallisierungsdruck infolge Wachstums von Salzkristallen aus Lösungen in Hohlräumen
- Allfällige direkte chemische Wechselwirkungen zwischen Tausalzen bzw. -lösungen und Beton.

Es ist vorgesehen, die Untersuchungen in Richtung auf diese Auswirkungen fortzusetzen und sie auch durch geeignete Messungen im Freien zu ergänzen.

Literaturverzeichnis

- [1] *M. Soldini*: Les effets des fondants chimiques sur les eaux et les plantes. «Auto, Mensch und Umwelt», ACS, Verlag Stämpfli Bern, 1973.
- [2] *K. Walz*: Der Einfluss luftporenbildender Zusatzmittel auf die Eigenschaften von Beton, insbesondere auf die Tausalzbeständigkeit von Strassenbeton, «Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen», Neue Folge Heft 20, 1956.
- [3] *R. Zulauf*: Anwendung und Vorteile der Methoden der Präventivsalzung, «Strasse und Verkehr», 52, 1966, S. 67–73.
- [4] *R. Zulauf*: Eis- und schneefreie Strassen. Ziel, Vor- und Nachteile der Schwarzräumung, «NZZ», Nr. 9, 7.1.1970, S. 29–30.
- [5] *E. Hartmann*: Über die Wirkung von Frost und Tausalzen auf Beton ohne und mit luftporenbildenden Zusatzmitteln, «Zement-Kalk-Gips», 10, 1957, S. 265–281 und 314–323.
- [6] *H. Berndt, E. Würth*: Verbesserung der Frost-Tausalzbeständigkeit von Beton, «Betonstein-Zeitung», 37, 1971, S. 133–140.
- [7] *A. Voellmy*: Diskussionsgrundlagen zur Erhöhung der Beständigkeit von Stahlbeton beim Bau der Strassen-Brücken-, Kunstbauten und -Beläge, Monographie, 1972.
- [8] *A. Rösli, A. B. Harnik*: Temperaturmessungen beim Auftauen von vereisten Betonplatten mittels Tausalz, «EMPA-Untersuchungsbericht Nr. 31385», 1974, 11 Seiten, 7 Fig., 2 Tab.
- [9] *A. B. Harnik, A. Rösli*: Temperaturschock und Eigenspannungen in Beton unter Frost/Tausalz-Einwirkung, Bericht der Professur für Materialwissenschaften der ETH Zürich, 1974, 62 S., 14 Fig., 6 Tab.
- [10] *T. C. Powers*: Basic Considerations Pertaining to Freezing-and-Thawing Tests, «Proc. Amer. Soc. Test. Mat.», 55, 1955, 1132–1155.
- [11] *A. Schäfer*: Frostwiderstand und Porengefüge des Betons, «Deutscher Ausschuss für Stahlbeton», Heft 167, 1964, S. 3–57.

Diese Arbeit wurde finanziell unterstützt durch die Strassenbau-forschungskommission des Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau, Bern (Forschungsauftrag Nr. 29/73), die Stiftung für wissenschaftliche, systematische Forschungen auf dem Gebiete des Beton- und Eisenbetonbaus, Zürich, und die Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), Dübendorf.

Adresse der Verfasser: Dr. *Avo B. Harnik* und Prof. Dr. *Alfred Rösli*, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion der ETH, Sonneggstrasse 3, 8006 Zürich.

Bericht über die Quartierplanung «Werd» in Geroldswil ZH

DK 711.4

Drei Jahre sind es her, seit der Geroldswiler Gemeinderat im Frühjahr 1972 einen Ideenwettbewerb für die Überbauung des «Werds» ausschrieb¹⁾. «Werd», das ist das damals noch nicht eingezogene Gebiet zwischen der Autobahn, der Limmat und der bereits bestehenden Einfamilienhauszone an der Fahrweidstrasse in Geroldswil. Die Arbeit ist an dem beim Ideenwettbewerb erstprämierten Entwurf weitergegangen²⁾. Der weiterbearbeitete Entwurf ist in der Tagespresse als Fussgängerparadies gewürdigt worden.

Fixpunkte

In diesem Projekt sind sechs Gegebenheiten berücksichtigt worden. Einmal war die Erschliessung bereits festgelegt, und zwar durch die bereits erstellte Autobahnunterführung. Zum zweiten waren Lärmimmissionen der Autobahn auf das neue Wohnquartier auf ein vertretbares Min-

mum zu beschränken. Dritte Gegebenheit ist das Grundwasser, denn der Grundwasserspiegel liegt unmittelbar unter dem gewachsenen Gelände. Dies beeinflusst die Höhenlage der Bebauung. Als vierte Gegebenheit wurde die regionale Planung berücksichtigt. Die Limmatufer sind im Gesamtplan als regionale Erholungszone ausgeschieden. Und süd-

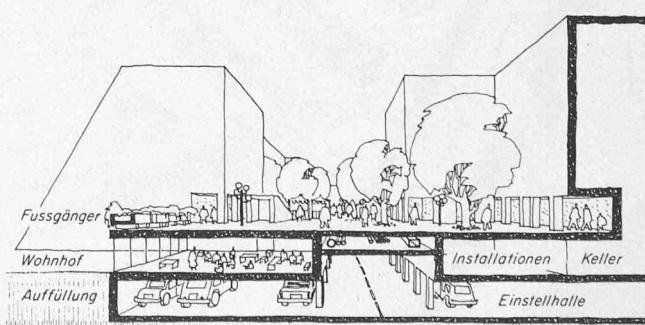


Bild 1. Aufbau einer Wohnzeile

¹⁾ Vergleiche auch «Schweizerische Bauzeitung» 89 (1971), H. 48, S. 1209, und H. 49, S. 1232, Ankündigung des Ideenwettbewerbes, und 90 (1972), H. 29, S. 705, Bekanntgabe des Ergebnisses.

²⁾ Die Preisträger, Bauatelier 70 AG: *T. Wiesmann, M. Koromzay, W. Ziebold*, dipl. Architekten ETH, wurden mit der Weiterbearbeitung beauftragt und haben uns diesen Bericht zur Verfügung gestellt.