Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 65 (1997)
Heft: 2

Artikel: Frost- und frosttausalzbeständiger Beton
Autor: Badawy, Maher / Hermann, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153823

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

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

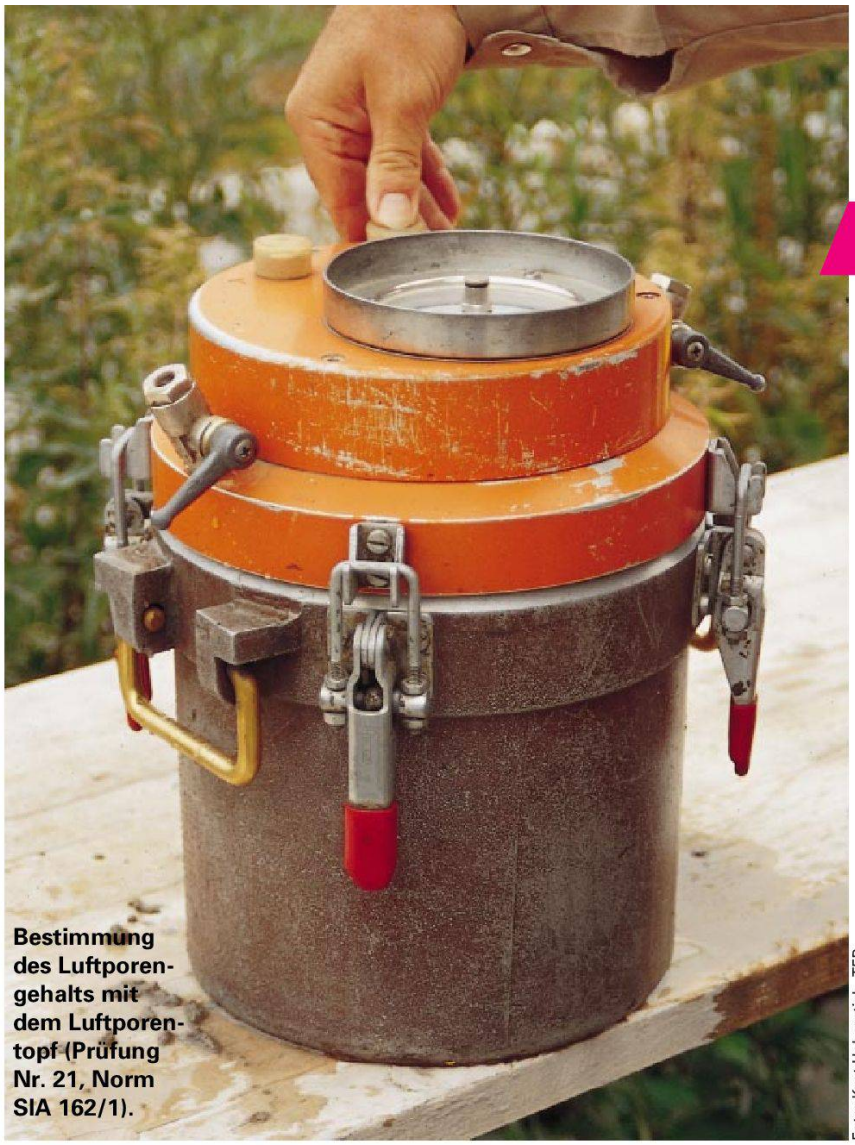
Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on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

Download PDF: 24.08.2025

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

Frost- und frosttausalz-beständiger Beton

Frost- und frosttausalzbeständige Betone müssen möglichst dicht sein und künstliche Luftporen enthalten.



Bestimmung des Luftporengehalts mit dem Luftporentopf (Prüfung Nr. 21, Norm SIA 162/1).

Foto: Kurt Haberstich, TFB

Hauptursache für Frostschäden in Beton ist die Sprengwirkung von gefrierendem Wasser. Voraussetzung dafür ist, dass sich der Beton in Oberflächennähe wiederholt mit Wasser sättigen und einfrieren kann. Tausalze verstärken die Sprengwirkung.

Beton ist porös

Damit Frost- und Frosttausalzschäden (F- und FT-Schäden) in Betonen auftreten können, müssen diese Wasser enthalten. Wasser in Beton ist entweder Anmachwasser, das nicht chemisch gebunden wurde, oder es gelangt nachträglich über das Porensystem ins Betoninnere. Die verschiedenen Porenarten im Beton – Gelporen, Kapillarporen, Verdichtungsporen und künstliche Luftporen – sind bereits im letzten «Cementbulletin» über wasserdichten Beton vorgestellt worden [1].

In Zusammenhang mit der F- und FT-Beständigkeit von Beton sind vor allem die Kapillar-, die Verdichtungs- und die künstlichen Luftporen zu berücksichtigen.

Kapillarporen

Beton, dessen W/Z-Wert grösser als 0,40 ist, enthält auch nach vollständiger Hydratation Kapillarporen, die teilweise isoliert, teilweise miteinander verbunden sind. Ihr Durchmesser liegt in der Grössenordnung von 10^{-5} bis 10^{-3} mm. In zusammenhängenden Kapillarporen ist ein verhältnismässig schneller Gas- und Wassertransport möglich.

Künstliche Luftporen

Luft ist bereits beim Mischen und Einbringen des Frischbetons vorhanden. Sie liegt in Blasen vor, die von einem dünnen Wasserfilm umgeben sind. Die Blasen bewegen sich im Frischbeton, ihre Form und ihr Volumen ändern sich laufend; sie können miteinander verschmelzen oder aufbrechen, beispielsweise während des Vibrierens. Nach der Verdichtung sind die Blasen an Ort fixiert; es entstehen Luftporen. Luftporenmittel (LP) stabilisieren die Luftblasen und halten sie im Frischbeton zurück. Sie verschieben die Abstufung der Luftblasen zugunsten der erwünschten kleineren kugelförmigen Gebilde, deren Durchmesser etwa 10^{-2} bis 1 mm betragen. Künstliche Luftporen haben also grössere Durchmesser als Kapillarporen. Sie unterbrechen das Kapillarporensystem und vermindern durch ihre kugelförmigen Erweiterungen dessen kapillare Saugwirkung. Dadurch wird nicht nur die F- und die FT-Beständigkeit des Betons erhöht, sondern auch sein Widerstand gegenüber in Wasser gelösten Schadstoffen wie Sulfaten oder Chloriden verbessert.

Mehr über die Erzeugung von künstlichen Luftporen und ihre Wirkung ist in einem früher erschienenen «Cementbulletin» zu erfahren [2].

Schädigungsmechanismen

Beton weist eine komplexe Struktur auf. Die Vorgänge, die zu F- und FT-Schäden führen, sind deshalb nicht

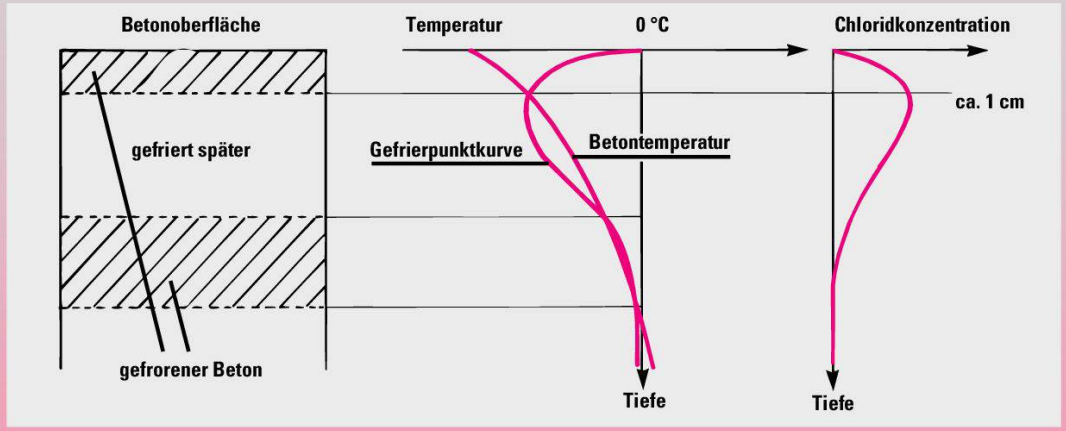


Abb. 1 Schichtweise gefrierendes Wasser in FT-beanspruchtem Beton kann zu Abplatzungen führen [4] (siehe Text).

Zeichung: TFB / S. Einfalt, ZSD

als Ganzes erfassbar und werden teilweise kontrovers diskutiert. Im allgemeinen wird von einem Modell ausgegangen, nach dem grobe Zuschlagkörner in einer Feinmörtelmatrix «schwimmen».
Kapillarporen nehmen in feuchter Umgebung Wasser auf. Gefriert dieses sogenannte «Porenwasser», vergrössert sich sein Volumen um etwa 9 %. Dadurch belastet es den Zementstein, einerseits durch die Ausdehnung des entstehenden Eises, andererseits durch die schnelle Bewegung des nicht gefrorenen Wassers, das durch die wachsenden Eiskristalle verdrängt wird. Aus dem Porenwasser auskristallisierende Salze führen zu zusätzlichem Druck.
Dieser Zyklus wiederholt sich bei jedem F- bzw. FT-Wechsel. Beton wird dabei Zugspannungen ausgesetzt, das heisst, er wird dort belastet, wo er am schwächsten ist. Die Folgen sind bekannt: Es treten F- und in Anwesenheit von Tausalzen auch FT-Schäden (Abplatzungen und Risse) auf.
Mit diesem Mechanismus kann nicht begründet werden, warum F- und FT-Schäden meist durch Abplatzungen über den grössten Zuschlagkörnern erstmals sichtbar werden. Eine mögliche Erklärung geht – stark vereinfacht – so [3]: Zuschlagkörner sind von einer rund 25 µm (0,025 mm) dicken Grenzschicht umgeben, die eine deutlich höhere Porosität aufweist und anders zusammengesetzt ist als der restliche Zementstein. Diese poröse Kontaktzone bildet einen zusammenhängenden Wasserspeicher, dessen Volumen um so grösser ist, je grösser das betreffende Zuschlagkorn ist. Der hydraulische Druck, der beim raschen Gefrieren dieses Wassers auftritt, ist proportional zum Quadrat des Korndurchmessers. Somit ist er um so grösser, je grösser das Zuschlagkorn ist. Deshalb beginnen die Abplatzungen über den grössten Zuschlagkörnern [3].
In Gegenwart von Tausalzen bleiben Betone länger nass als in ihrer Abwesenheit. Dadurch erhöht sich der Wassergehalt der Betone (das heisst, die Kapillarporen werden stärker mit Wasser gefüllt), und der Gefrierdruck wirkt sich stärker aus.
Tausalz beeinflusst zudem den Gefrierpunkt des Wassers: je höher seine

FT-Beständigkeitsprüfung nach der TFB-Methode: Im Anschliff des nicht FT-beständigen Probenkörpers lassen sich nach dem Test Risse erkennen, die hauptsächlich rund um die Zuschlagkörner auftreten.

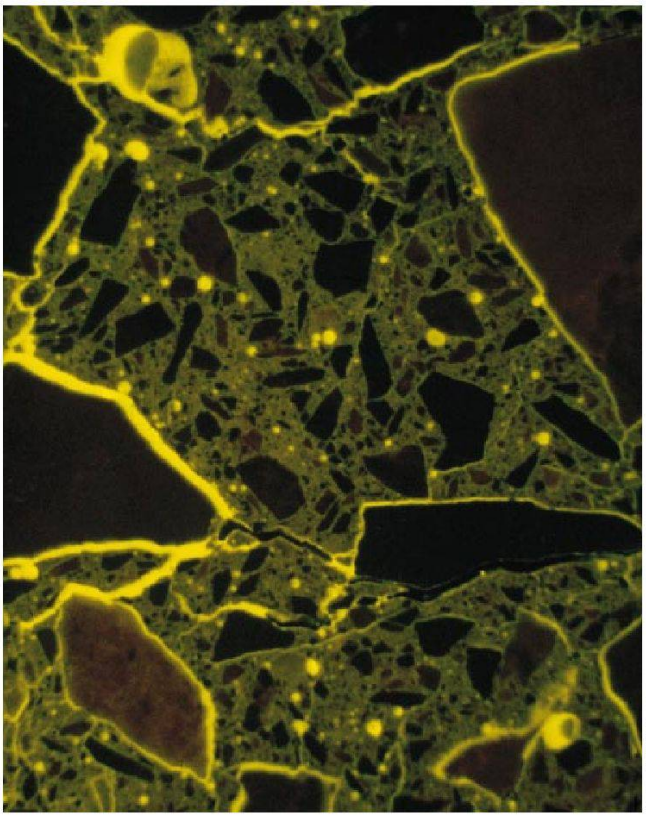


Foto: TFB, Nyon

Foto: TFB-Archiv

Frosttausalzschäden (Abplatzungen) auf Brückenbrüstung.

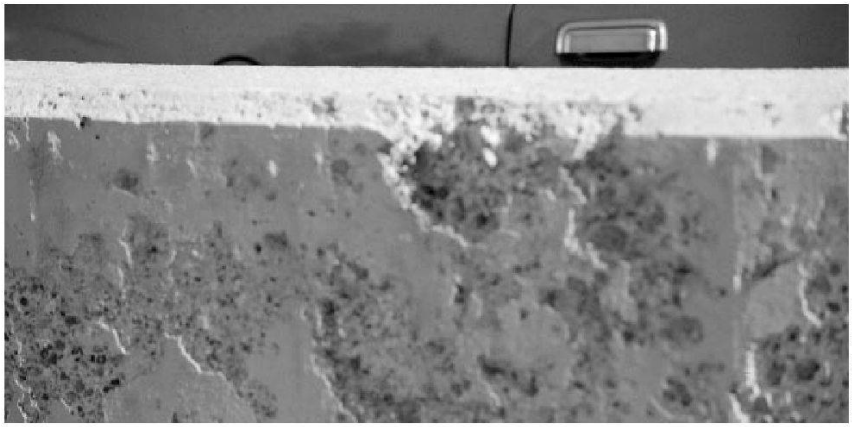


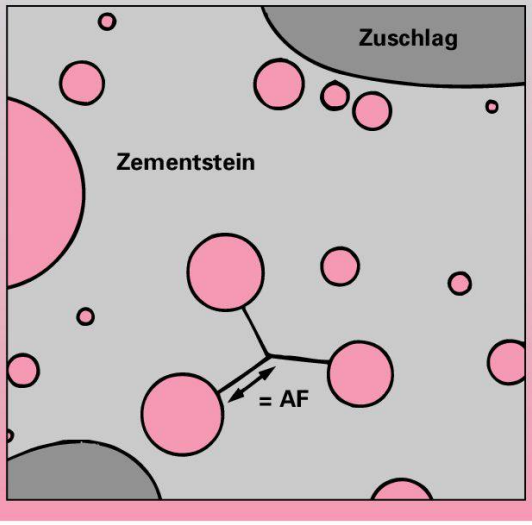
Foto: TFB-Archiv

Frosttausalzschäden bei Garageneinfahrt.

Konzentration ist, desto tiefer ist der Gefrierpunkt. Im allgemeinen ist die Chloridkonzentration in Beton nach wiederholter Salzstreuung etwa 1 cm unterhalb der Oberfläche am grössten. (Chloridionen in Oberflächennähe werden von schmelzendem Schnee, Regen usw. ausgewaschen.) Dadurch ergibt sich der in *Abbildung 1* skizzierte Gefrierpunktverlauf in Beton. Die Überlagerung dieser Kurve mit der Temperaturkurve im Beton zeigt, weshalb das Wasser anfänglich nur in Oberflächennähe und in tieferen Schichten gefriert. Bei weiterer Abkühlung gefriert auch die dazwischenliegende Schicht. Der dabei entstehende Gefrierdruck kann in den benachbarten bereits gefrorenen Schichten nicht abgebaut werden, und es kann zur Absprengung der Oberflächenschicht (und zu Rissen im Innern) kommen [4].

Der ebenfalls diskutierte Temperaturschock beim Salzen von Beton ist sicher vorhanden, wird aber oft überschätzt. Seine Auswirkungen in der Praxis sind weniger gravierend als aufgrund von Laborversuchen angenommen werden müsste [4].

F- und FT-Angriffe auf Betone können auch zu chemischen Umwandlungen im Zementstein führen. Diese sind aber neben den physikalischen Effekten meist vernachlässigbar [5].



AF = Abstandsfaktor

Abb. 2 Schematische Darstellung der Luftporenverteilung im Zementstein [2].

Wieviel Luft braucht ein Beton?

Die Wirkung von künstlichen Luftporen besteht darin, dass Expansionsräume für das verdrängte Wasser und das gebildete Eis geschaffen werden. Als in diesem Sinne wirksam gelten Luftporen mit einem Durchmesser ≤ 0,30 mm [6].

Die Meinungen darüber, wieviel Luftporen ein F- oder FT-beständiger Beton enthalten muss, gehen auseinander. Einig ist man sich darin, dass nur Massnahmen, die zu einem möglichst dichten Beton mit tiefem W/Z-Wert führen, und die Erzeugung künstlicher Luftporen einen zuverläs-

Bezeichnung	Kurze Beschreibung der Prüfung	Prüfkörper	Betonalter bei Prüfbeginn[1)]	Prüfdauer	Lit.
Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 6: Porenkennwerte	Mikroskopische Untersuchung an Dünnschliffen zur Bestimmung des Abstandsfaktors AF in Beton mit künstlichen Luftporen	Je 5 Dünnschliffe > 800 mm² aus 5 Bohrkernen	(28 Tage)	17 Tage	[8]
Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 7: Porosität	Gravimetrische Bestimmung der mit Wasser füllbaren Poren und der Gesamtporosität	≥ 5 Prüfkörper, z. B. 5 Bohrkerne (d = 50 mm / h = 50 mm)	(28 Tage)	17 Tage	[8]
Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 8: Frostwechselverhalten	Bestimmung der Abnahme des statischen E-Moduls auf 50 % nach Frostwechseln zwischen +20 und –25 °C	≥ 4 Bohrkerne (d ≤ 100 mm / h ≥ 2d)	(28 Tage)	40–45 Tage	[8]
TFB-Methode	Beobachtung von Rissbild von Schnittfläche nach 10 Frostwechseln zwischen +20 und –25 °C in Ethylenglykol	beliebig, meist Bohrkerne (d = 50 mm / h = ca. 100 mm)	≥ 21 Tage	10 Tage	[11]
BE I nach D-R	Poren- und Gefügeanalyse an Dünnschliffen	2 Bohrkerne (d = 50 mm / h = 150–200 mm)	1–2 Tage	3–4 Tage	[12]
BE II nach D-R	Messung der Längenänderung und des Abfalls des E-Moduls nach Frostwechseln	6 Prismen (30 × 30 × 60 mm) aus Bohrkernen oder separat hergestellt	≥ 28 Tage	10–20 Tage	[12]
Cube-Test	Gravimetrische Bestimmung der Betonablösung nach 56 Frostwechseln in Wasser	Beispielsweise 4 Würfel (Kantenlänge 100 mm) oder 4 Bohrkerne (d ≥ 80 mm)	28 Tage	56 Tage	[13]
Slab-Test (Swedish Standard SS 13 72 44)	Gravimetrische Bestimmung der Betonablösung nach 56 Frostwechseln (+20 °C / –20 °C)	Je 1 Prisma (150 × 150 × 50 mm) aus 4 Würfeln (Kantenlänge 150 mm)	31 Tage	56 Tage	[13]
CF-Test	Gravimetrische Bestimmung der Betonablösung nach 56 Frostwechseln (+20 °C / –20 °C)	> 5 Proben, beispielsweise 5 Würfelabschnitte (150 × 150 × 70 mm)	35 Tage	14 Tage	[14]

Tab. 1 Frostbeständigkeitsprüfungen an Festbetonen.

1) Zeitangaben in Klammern sind nicht normiert

sigen Schutz vor F- und FT-Schäden garantieren.
Normalbeton enthält etwa 1 bis 2 Vol.% Luftporen, sogenannte «Verdichtungsporen». Aufgrund von Erfahrungen in der Schweiz sind Betone mit 3 bis 5,5 Vol.% Luftporen F- bzw. FT-beständig, wenn sie korrekt zusammengesetzt sind sowie sorgfältig eingebracht, verdichtet und nachbehandelt werden [4].
In der VSS-Norm SN 640 461 a für Betonbeläge [7] wird für Frischbeton bei der Einbaustelle ein Luftporengehalt von 4 bis 6 % vorgeschrieben. Zusätzlich wird ein niedriger W/Z-Wert (< 0,45) verlangt. Dies bedingt, dass neben LP auch ein Verflüssiger (BV) bzw. ein Hochleistungsverflüssiger (HBV) eingesetzt werden muss. Keine konkreten Angaben über das anzustrebende Luftporenvolumen werden in der Norm SIA 162 gemacht. Als Kriterium für die Frostbeständigkeit von Festbeton mit LP wird in Prüfung Nr. 6 der Norm SIA 162/1 der Abstandsfaktor AF aufgeführt. Dieser ist definitionsgemäss der grösste Abstand eines Punktes im Zementstein bis zum Rand der nächsten Luftpore. Die Berechnung erfolgt unter idealisierten Bedingungen (alle Luftporen kugelförmig; siehe *Abbildung 2)*. Betone mit AF ≤ 0,20 mm weisen eine hohe, Betone mit AF ≥ 0,25 mm eine tiefe F-Beständigkeit auf [8].
In der Vornorm SIA V 162.051 [9] wird zwischen Bauteilen in feuchter Umgebung mit Frost (Umweltklasse 2b) und Bauteilen in feuchter Umgebung mit Frost und Taumitteleinwirkung (Umweltklasse 3) unterschieden. Für Frischbeton mit einem Zuschlaggrösstkorn von 32 mm sind in beiden Klassen mindestens 4 % Luftporen

Literatur

Der vorliegende Artikel basiert zu einem grossen Teil auf Unterlagen, die bei der TFB in Kursen über wasserdichten sowie über frost- und frosttausalzbeständigen Beton verwendet werden. Weitere Quellen sind:

[1] *Badawy, M.*, und *Hermann, K.*, «Wasserdichter Beton», Cementbulletin **65** [1], 3–7 (1997).
[2] *Hermann, K.*, «Zusatzmittel: LP», Cementbulletin **62** [11], 3–7 (1994).
[3] *Zimbelmann, R.*, «Frost-Tausalz-Widerstand von Beton im Lichte neuerer Erkenntnisse», Beton- und Stahlbetonbau **84** [5], 116–120 (1989).
[4] *Rösli, A.*, und Mitarbeiter, «Frost- und Frosttausalzbeständigkeit von Beton», Schlussbericht zum Forschungsprojekt 9/78 des Instituts für Baustoffe, Werkstoffe und Korrosion der ETHZ (März 1983).
[5] *Stark, J.*, und *Ludwig, H.-M.*, «Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton – ein physikalisches Phänomen?», Wissenschaftliche Zeitschrift Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar **40** [5/6/7], 95–104 (1994).
[6] *Kern, E.*, «Anwendung von Betonzusatzmitteln – Arten, Eigenschaften und Einsatzgebiete», Beton **37** [9], 359–362 (1987).
[7] SN 640 461 a: «Betonbeläge» (Ausgabe 1994).
[8] Norm SIA 162/1: «Betonbauten – Materialprüfung» (Ausgabe 1989).
[9] Vornorm SIA V 162.051: «Beton: Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung und Gütenachweis» (Ausgabe 1994).
[10] Norm SIA 162: «Betonbauten» (Ausgabe 1989, Teilrevision 1993).
[11] *Meyer, B.*, «Prüfung von Festbeton auf Frost- und Frost-Tausalz-Beständigkeit», Cementbulletin **54** [10], 1–7 (1986).
[12] *Dobrolubov, G.*, und *Romer, B.*, «Richtlinien zur Bestimmung und Prüfung der Frost-Tausalzbeständigkeit von Zementbeton», Strasse und Verkehr **63** [10], 405–411 und [11], 432–436 (1977).
[13] «Draft recommendations for test methods for the freeze-thaw resistance of concrete – Slab test und cube test», Materials and Structures **28** [180], 366–371 (1995).
[14] «Draft recommendations for test methods for the freeze-thaw resistance of concrete – Tests with water (CF) or with sodium chloride (CDF)», Materials and Structures **28** [177],175–182 (1995).

Bezeichnung	Kurze Beschreibung der Prüfung	Prüfkörper	Betonalter bei Prüfbeginn[1)]	Prüfdauer	Lit.
Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 9: Frost-Tausalzverhalten	Gravimetrische Bestimmung der Betonablösung bei Frostwechseln (+20 °C / –12 °C) bei gleichzeitiger Einwirkung von 3%iger Kochsalzlösung	≥ 4 Bohrkerne (d ≥ 100 mm) oder ≥ 3 Prüfkörperoberflächen (Kantenlänge ≥ 100 mm oder d ≥ 150 mm)	(28 Tage)	28 Tage	[8]
TFB-Methode	Beobachtung von Rissbild der Schnittfläche und von Betonablösung nach 10 Frostwechseln zwischen +20 und –25 °C in Calciumchloridlösung	beliebig, meist Bohrkerne (d = 50 mm / h = ca. 100 mm)	≥ 21 Tage	10 Tage	[11]
BE I nach D-R	Poren- und Gefügeanalyse an Dünnschliffen	2 Bohrkerne (d = 50 mm / h = 150–200 mm)	1–2 Tage	3–4 Tage	[12]
BE II nach D-R	Messung der Längenänderung und des Abfalls des E-Moduls nach Frostwechseln in 3%iger Kochsalzlösung	6 Prismen (30 × 30 × 60 mm) aus Bohrkernen oder separat hergestellt	≥ 28 Tage	10–20 Tage	[12]
Cube-Test	Gravimetrische Bestimmung der Betonablösung nach 56 Frostwechseln in 3%iger Kochsalzlösung	Beispielsweise 4 Würfel (Kantenlänge 100 mm) oder 4 Bohrkerne (d ≥ 80 mm)	28 Tage	56 Tage	[13]
Slab-Test (Swedish Standard SS 13 72 44)	Gravimetrische Bestimmung der Betonablösung nach 56 Frostwechseln (+20 °C / –20 °C, 3%ige wässerige Kochsalzlösung)	Je 1 Prisma (150 × 150 × 50 mm) aus 4 Würfeln (Kantenlänge 150 mm)	31 Tage	56 Tage	[13]
CDF-Test	Gravimetrische Bestimmung der Betonablösung nach 56 Frostwechseln (+20 °C / –20 °C, 3%ige wässerige Kochsalzlösung)	> 5 Proben, beispielsweise 5 Würfelabschnitte (150 × 150 × 70 mm)	35 Tage	14 Tage	[14]

Tab. 2 Frosttausalzbeständigkeitsprüfungen an Festbetonen.

1) Zeitangaben in Klammern sind nicht normiert

vorgeschrieben, bei einem W/Z-Wert von maximal 0,55 (Umweltklasse 2b) bzw. 0,50 (Umweltklasse 3). In der Schweiz ist diese Vornorm seit 1994 probeweise anwendbar, allerdings nur zusammen mit Teilen des Eurocode 2 und des Eurocode 4 und nicht zusammen mit der Norm SIA 162.

Ein zu grosser Luftporengehalt wirkt sich negativ auf die Betonfestigkeit aus: Nach Norm SIA 162/1 vermindern 1 Vol.% künstliche Luftporen die Druckfestigkeit um 1 bis 2 N/mm^2 im Vergleich zu Normalbeton [8], bei hohen Luftporengehalten ist die Druckfestigkeitsabnahme sogar höher [4].

Herstellung von F- und FT-beständigen Betonbauten

F- und FT-beständige Betone sind nach Norm SIA 162 [10] Betone mit besonderen Eigenschaften. Als mögliche Massnahmen zur Erhöhung der F- und FT-Beständigkeit werden in Norm SIA 162, Ziffer 3 37 2, unter anderem genannt:

- Verwendung frostbeständiger Zuschlagsstoffe
- Verwendung einer geeigneten und gleichbleibenden Betonzusammensetzung
- gegebenenfalls Beigabe geeigneter Zusatzmittel
- sorgfältige Verarbeitung und Nachbehandlung des Betons
- genügende Erhärtungszeit vor der ersten Frosteinwirkung und besonders vor dem ersten Tausalzeinsatz
- Wahl einer genügend grossen Betonüberdeckung der Bewehrungen und Stahleinlagen
- allenfalls Beschichtung der Bewehrung
- Vermeidung der Rissbildung durch rechnerische und durch Ausführungsmassnahmen
- Wahl geeigneter Bauetappen

Aufgrund der Erfahrungen wird der Punkt «gegebenenfalls Beigabe geeigneter Zusatzmittel» in der Regel durch «Zugabe von LP, meist in Kombination mit BV oder HBV» ersetzt werden müssen.

Die Wirkung von LP ist von vielen Parametern abhängig, beispielsweise von der Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe, vom Zement- und Mehlkorngehalt sowie von der Temperatur und der Konsistenz des Frischbetons [2]. Deshalb sind Frischbetonkontrollen allgemein und ganz besonders die regelmässige Bestimmung des Luftporengehalts mit dem Luftporentopf (Prüfung Nr. 21, Norm SIA 162/1 [8]) unerlässlich. Da es sich bei F- und FT-beständigen Betonen um Betone mit besonderen Eigenschaften handelt, ist diese Massnahme ohnehin notwendig. Nicht vergessen werden dürfen auch die schlüssigen Vorversuche.

Bestimmung der F- und der FT-Beständigkeit

Für die Bestimmung der F- und der FT-Beständigkeit von Festbetonen sind verschiedene normierte und nicht normierte Tests ausgearbeitet worden. Je eine Auswahl von F- und FT-Beständigkeitstests sind in den *Tabellen 1* und *2* zusammengefasst. Teilweise sind diese Tests recht aufwendig und dauern lange, und die Resultate entsprechen auch nicht immer den Erfahrungen im Feld.

Bewährt haben sich Untersuchungen an Frischbetonen, nämlich die Prüfungen Nr. 18, 19 und 21 der Norm SIA 162/1 zur Bestimmung der Rohdichte, des Wassergehalts und des Wasserzementwerts bzw. des Luftporengehalts [8]. Aus den damit gewonnenen Daten lässt sich bereits vor dem Betoneinbau eine Prognose über die F-Beständigkeit des Festbetons bei einem bestimmten Alter stellen.

In den neuen Europäischen Normen wird voraussichtlich der relativ strenge schwedische Test (Slab-Test) aufgenommen werden, dessen Hauptnachteil die lange Dauer ist (siehe *Tabellen 1* und *2*).

Maher Badawy und *Kurt Hermann, TFB*