

Frosttausalzbeständigkeit von Betonbelägen im Aussenbereich

Sachlage

Betonbeläge im Freien sind erheblichen Belastungen durch die Witterung ausgesetzt:

- hohe Durchfeuchtungen durch Regen und Schmelzwasser, liegendes Wassers
- intensive tägliche und saisonale Temperaturzyklen
- Frosteinwirkung und Frosttausalzeinwirkung

Zudem sind Betonbeläge häufig mechanischen Belastungen durch Verkehr von Fahrzeugen und Fussgängern ausgesetzt. Dadurch werden geringfügige Schäden infolge ungenügender Witterungsbeständigkeit verstärkt.

Für eine ausreichende Dauerhaftigkeit müssen deshalb Betonbeläge nicht nur eine genügende Festigkeit aufweisen, sondern auch dauerhaft (dicht und frost-, bzw. frosttausalzbeständig, verschleissfest usw.) sein. Die Anforderungen an Betonbeläge werden je nach Anwendung in den folgenden Normen geregelt:

- Beläge im Verkehrsbereich: VSS 640 461 a „Betonbeläge“: Strassen, Wege, Zufahrten, Parkplätze usw.
- Beläge im Verbund im Aussenbereich von Hochbauten: SIA 252 "Fugenlose Industrieböden": Plätze, Zufahrten, Treppen, Verladerampen, Garagen, Einstellhallen usw.
- Beläge über einer Abdichtung (mit oder ohne Dämmschicht): SIA 271 "Abdichtungen von Hochbauten": Terrassen, Balkone, Treppen usw.

In diesen Normen wird eine hohe Frosttausalzbeständigkeit gefordert

Mörtelschichten wie Estrich oder Zementüberzüge können die gestellten Anforderungen nicht erfüllen, hauptsächlich weil ihr Verdichtungsgrad mit dem herkömmlichen Einbau zu gering ist. Die erreichbaren Festigkeiten sind zu tief und die Porenstruktur des Mörtels ist ungeeignet für eine genügende Frost(tausalz)beständigkeit.

Schadenbilder

Frost- und Frosttausalzschäden entstehen im Normalfall in den ersten Winterperioden nach der Erstellung des Belages. Sie treten auf in Form von

- Abplatzungen über grösseren Gesteinskörnern
- Abblättern der Zementhaut, Absanden des Zementsteines und der Sandkörner
- Bröckelzerfall
- Verfärbungen



Betonbelag mit ungenügender Frosttausalzbeständigkeit: Grobe Abplatzungen und Abschälungen haben innert Kürze zu massiven Schäden geführt.

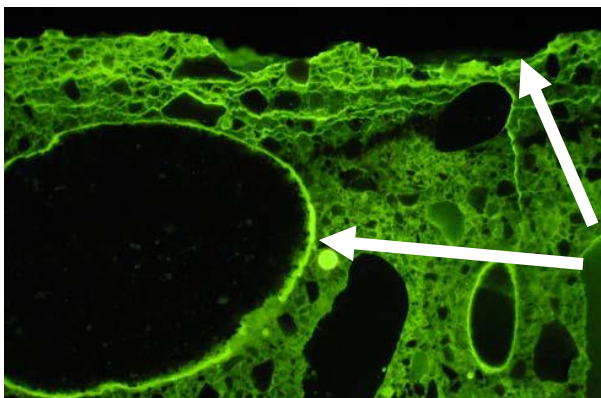
Verfärbungen

Bei jedem Niederschlag nehmen Beläge ohne hohe Frosttausalzbeständigkeit, je nach Verdichtung, mehr oder weniger Wasser auf und "bekommen" vielfach dunkle Verfärbungen. Solche dunklen Verfärbungen entstehen, wenn der Zementüberzug durchfeuchtet wird. Das eingedrungene Wasser löst die im Zementmörtel enthaltenen Salze, v.a. leicht lösliche Salze wie Calciumhydroxid und Sulfate, aber auch schwer lösliche Salze wie Calciumcarbonat. Beim Austrocknen des Bodens werden diese Salze zur Oberfläche hin transportiert und dort im Porenraum unterhalb der Oberfläche oder auf der Oberfläche abgesetzt. Die Salze auf der Oberfläche bilden helle Ausblühungen, die sich teilweise wegwaschen oder absäuern lassen. Die Salze im Porenraum unterhalb der Oberfläche hingegen wirken hygroskopisch, d.h. sie ziehen Feuchtigkeit an, so dass die Oberfläche – auch wenn sie trocken ist – dunkel erscheint. Ebenfalls hygroskopisch können Staub- und Schmutzpartikel wirken, die mit Feuchtigkeit in den oberflächlichen Porenraum eingedrungen sind. Insgesamt stehen Verfärbungen oft mit einer früheren oder wiederkehrenden Durchfeuchtung des Bodens in Zusammenhang.



Absolut ungenügende Mörtelqualität

Erosion der Oberfläche



Mikroskopische Aufnahme im UV-Licht eines Betons mit ungenügender Frosttausalzbeständigkeit.

Die Betonoberfläche (oben) ist erodiert und blättert ab. Risse und Rissablösungen rund um die schwarzen Gesteinskörner zeichnen sich gelb ab (links).

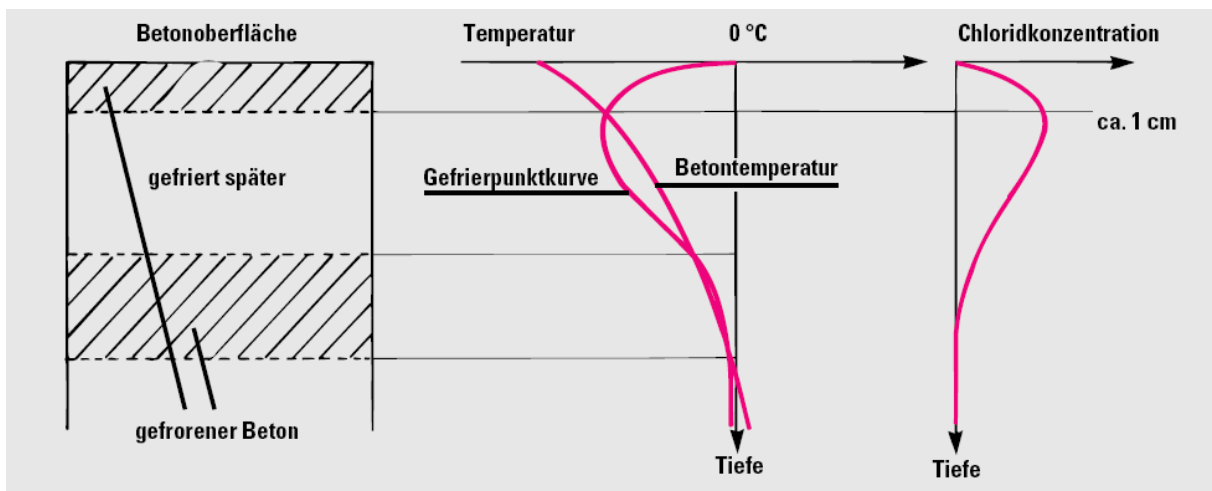
Vergrößerung: ca. 4x, Bildbreite entspricht 2cm

Frost(tausalz)bedingte Rissbildungen verlaufen i.d.R oberflächenparallel und führen zum Abschälen des Belages. Risse, die senkrecht zur Oberfläche verlaufen sind, haben normalerweise einen anderen Ursprung (z.B. Schwinden).

Frost(tausalz)schäden können zu Folgeschäden führen, wie z.B. Bewehrungskorrosion oder erhöhter Abrieb und Verschleiss der Oberfläche. Im Fussgängerbereich erhöht sich bei kraterförmigen Abplatzungen die Stolpergefahr.

Schadenmechanismus

Frost(tausalz)schäden entstehen im Beton durch die Sprengwirkung des Wassers in den Poren, das sich beim Gefrieren ausdehnt (Volumenzunahme 9%). Weist der Beton nicht ausreichende, leere Expansionsräume auf, drückt das Eis auf das Betongefüge und führt nach mehreren Frost-Tau-Zyklen zu Betonschäden.



Schichtweises Gefrieren des Porenwassers im Beton führt zu Ablösungen (Quelle CB Nr.2, 1997)

Der Schadenmechanismus wird verschärft, wenn Tausalz (Chloride) eingesetzt wird. Die Chloride dringen in den Beton ein, kumulieren sich unterhalb der Betonoberfläche und setzen mit zunehmender Konzentration den Gefrierpunkt des Porenwassers herab. Das Porenwasser gefriert mit sinkender Temperatur schichtweise je nach Salzgehalt (siehe Abbildung). Der Gefrierdruck des stark salzhaltigen Porenwasser, das zuletzt einfriert, kann nicht mehr im benachbarten Porenraum abgebaut werden und führt schliesslich zu Rissen im Betongefüge. Häufige Frosttauzyklen erhöhen die Belastung des Betons.

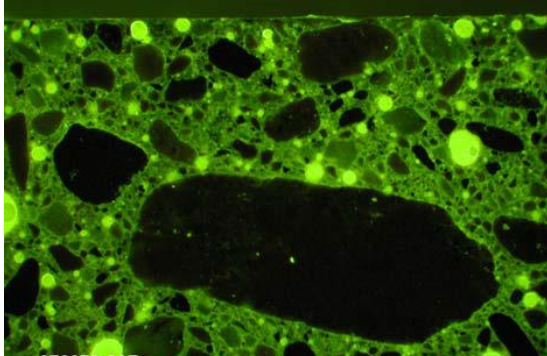
Massnahmen

Betontechnologische Massnahmen

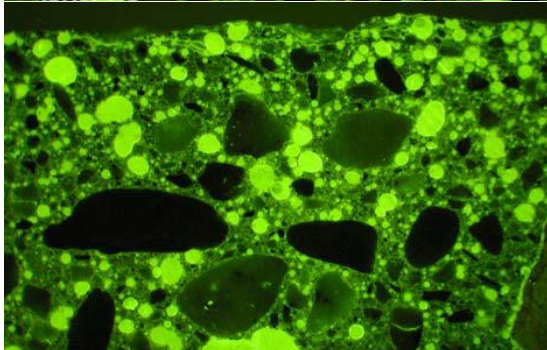
Massnahmen zur Vermeidung von Frost(tausalz)schäden zielen darauf ab, den Wassergehalt im Porenraum möglichst gering zu halten und den Gefrierdruck zu reduzieren.

Die Wassersättigung des Betons hängt von dessen kapillaren Saugfähigkeit ab. Je geringer die Kapillarporosität des Betons ist desto weniger Wasser kann dieser aufnehmen. Kapillarporen entstehen durch das Verdunsten des überschüssigen Anmachwassers. Für die vollständige Hydratation braucht Zement eine Anmachwassermenge, die unter 40% seiner Masse entspricht. (Verhältnis Wasser: Zement < 0.40). Je höher der Anmachwassergehalt ist, desto grösser sind die überschüssige Wassermenge und die resultierende Kapillarporosität. Deshalb erhöht sich die Dichtigkeit des Betons mit abnehmendem Wasser/Zement-Wert. Für frost(tausalz)beständige Betone sind w/z-Werte zwischen 0.40 und 0.50 üblich. Um die Verarbeitbarkeit dieser Betone sicher zu stellen, werden chemische Zusatzmittel, so genannte Fliessmittel eingesetzt.

Mit Hilfe von anderen Zusatzmitteln, so genannten Luftporenbildnern, können bei der Betonherstellung künstliche Luftbläschen im Zementstein erzeugt werden. Diese bilden idealerweise kleine kugelige Luftporen mit einem Durchmesser möglichst $< 0.3 \text{ mm}$, die als Auffangraum für das expandierende Eis und das verdrängte Wasser dienen.



Mikroskopische Aufnahme im UV-Licht eines Betons mit künstlich eingeführten Luftporen (gelb). Die gleichmässige Verteilung, der Gehalt, der Abstand und die Grösse der Luftporen bestimmen die Wirkung als Expansionsraum für das gefrierende Porenwasser. Vergrösserung: ca. 4x, Bildbreite entspricht 2 cm



Mikroskopische Aufnahme im UV-Licht eines Betons mit künstlich eingeführten Luftporen (gelb). Zu viele Luftporen, die auch Agglomerate bilden, schwächen das Gefüge. An der Oberfläche haben sich feine Abblätterungen durch die Frostausalzeinwirkung gebildet. Vergrösserung: ca. 4x, Bildbreite entspricht 2 cm

Die Bildung von künstlichen Luftporen wird durch die Art der Luftporenbildner, die weiteren Betonausgangsstoffe, die Umgebungsbedingungen und die Mischzeit beeinflusst. Teilweise war und ist es deshalb schwierig, konstante Luftporengehalte in gewünschtem Mass zu erzeugen. Damit die Luftporen ihre Wirkung entfalten können, müssen sie möglichst gleichmässig im Beton verteilt sein. Üblicherweise werden Luftporengehalte zwischen etwa 3-5 Vol.-% gefordert.

Bei schlechter Verdichtung verteilen sich die Luftporen unregelmässig im Zementstein oder bilden sich Ansammlungen von Luftporen. Zu hohe Luftporengehalte wirken sich immer negativ auf die Festigkeit des Betons aus (zusätzliches 1 Vol.-% Luftgehalt entspricht 1 bis 2 N/mm² Druckfestigkeitsabnahme). Bei zu hohen Luftporengehalten ist die Dauerhaftigkeit, insbesondere auch die Frostausalzbeständigkeit nicht gewährleistet, da das "schaumige" Betongefüge zu stark geschwächt ist. Andererseits können sich Luftporen in normalen Gehalten positiv auf die Verarbeitbarkeit des Frischbetons auswirken, der dadurch tendenziell geschmeidiger wird.

In den für Betonbeläge im Aussenbereich geltenden Normen wird eine hohe Frostausalzbeständigkeit gefordert. Diese ist mit der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang C nachzuweisen.

Allgemeine Voraussetzungen für die Herstellung von frost(ausalz)beständigem Beton sind:

- Verwendung frostbeständiger Gesteinskörner
- Geeignete Betonrezeptur (niedriger w/z-Wert, genügend hoher Portlandzement-gehalt, Einsatz von Luftporenbildner)
- Verwendung von Zusatzmitteln (Fließmittel) für eine gute Verarbeitbarkeit
- Genügend lange Mischzeiten
- Sorgfältige Verdichtung
- Nachbehandlung (Beginn sofort nach Herstellung, Dauer ca. 10 Tage)
- Genügende Aushärtungszeit vor der ersten Frosteinwirkung

Betonbelag

Vorgaben gemäss SN EN 206-1 (Beton-Teil1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität), Nationaler Anhang , Tab. NA.3 und NA.4 für die Expositionsklassen und Beton mit einem Grösstkorn von 16 mm:

- **ohne Tausalz XC4 (CH), XF3 (CH):** w/z max. 0.50, mind. 330kg Zement /m³ Beton, Bestimmung der Frosttausalzbeständigkeit nach SIA 262/1
- **mit Tausalz XC4 (CH), XD3 (CH), XF4 (CH):** w/z max. 0.45, mind. 374kg Zement/m³ Beton, Bestimmung der Frosttausalzbeständigkeit nach SIA 262/1

Die Höhe des notwendigen Luftporengehaltes liegt im Ermessen des Betonwerkes, welches die Frost(tausalz)beständigkeit des Betons im Rahmen seiner laufenden Produktionskontrolle für die Zertifizierung mit regelmässigen Prüfungen überwachen muss.

Die Bestellung des Betons hat gemäss SIA 262 «Betonbau» nach den Vorgaben der SN EN 206-1 zu erfolgen und muss mindestens folgende Angaben enthalten:

Beton nach SN EN 206-1

Expositionsklassen XC4 (CH), XF3 (CH) (wenn sicher ist, dass kein Tausalz eingesetzt wird) oder XC4 (CH), XD3 (CH), XF4 (CH) (bei Einsatz von Tausalz)

Grösstkorn: z.B. 16mm

Festigkeitsklasse: min. C30/37

Konsistenzklasse: z.B. C1

Chloridgehalt: Cl 0.20

Frischbetonkontrollen auf der Baustelle vor dem Einbau dienen zur Überwachung des Luftporengehaltes, des w/z-Wertes und der Verarbeitbarkeit. Sie sind bei der Ausführung von Betonbelägen vorzusehen.

Industriebodenbelag

Vorgaben gemäss SIA 252. Der Nachweis für die Frost(tausalz)beständigkeit nach SIA 262/1 muss vorhanden sein, ist aber nur repräsentativ an Probekörpern, die denselben Aufbau und eine vergleichbare Qualität wie der fertig eingebaute Belag aufweisen (die Prüfung an einer geschalteten Seitenfläche eines mit Innenvibrator verdichteten Würfels ist kaum repräsentativ für einen im Verbund erstellten 3cm dicken von Hand geglätteten Belag; sinnvolle Lösung für die Prüfung: Aufbringen des Belages mit vorgesehener Schichtstärke und –aufbau, Verdichtungsart und Oberflächenfertigung auf aufgeraute Betonplatten, die gemäss SIA 262/1 frosttausalz-beständig sind).

Für Hartbetonbeläge mit sehr niedrigem w/z-Wert (< 0.45) kann auf den Einsatz von künstlichen Luftporen verzichtet werden. Voraussetzung sind aber eine einwandfreie Verdichtung, eine gute Haftung auf dem Untergrund und ein rissfreier Zustand. Daraus ergibt sich eine Zusammensetzung, die zwangsläufig einem Hartbetonbelag der höchsten mechanischen Beanspruchungsklasse (SIA 252, Tab.1) entspricht.

Der dünn-schichtige Aufbau (wenige cm) von Hartbetonbelägen (im Gegensatz zu den Belägen, die nach den Regeln des Betonbaus erstellt werden) ist sehr heikel und Verarbeitungsfehler haben gravierende Folgen: bei der Erstellung von Hartbetonbelägen für den Aussenbereich sollten keine Flügelglätter eingesetzt werden. Die Verdichtung erfolgt mit Hilfe von Rüttelbohlen und die Oberfläche wird unmittelbar danach manuell geglättet und je nach Wunsch strukturiert. Sofortiger Schutz des Belages vor dem Austrocknen ist unbedingt notwendig für einen rissfreien Zustand.

Mörtel

Die Bestellung von Mörteln für Hartbetonbeläge gemäss SIA 252 beruht auf den Vorgaben der SN EN 13813 (Estrichmörtel, Eigenschaften und Anforderungen):

z.B. Mörtel nach SN EN 13813 CT-C60-F8-A1.5, frosttausalzbeständig nach SIA 262/1. Die genauen Anforderungen an die Festigkeits- und Abriebklassen ergeben sich aus dem Verwendungszweck. Anstelle von Fertigmörteln, können auch Werkfrischmörtel eingesetzt werden. In diesem Fall empfiehlt sich eine sinngemässe Bestellung gemäss SIA 262, bzw. SN EN 206-1.

Konstruktive Massnahmen

Konstruktive Massnahmen zielen vor allem darauf ab, die Durchfeuchtung des Belages zu vermindern, dies mit Hilfe von einem ausreichenden Gefälle (mind. 2%) und Entwässerungssystemen. Daneben ist die richtige Fugenanordnung zur Vermeidung von Rissen ebenfalls sehr wichtig. Diese Vorgaben sind als zusätzliche Massnahmen zu verstehen und ersetzen nicht die erforderliche Frosttausalzbeständigkeit.

Schutzmassnahmen

Im Strassenbau haben sich Versiegelungen (z.B. auf Basis von Metaacrylatharzen) zum Schutze von Betonbelägen, die eine ungenügende Frost(tausalz)beständigkeit aufweisen, bewährt (Cementbulletin, Nr. 11, 1997). Damit wird eine Porenverfüllung angestrebt, so dass kein Wasser mehr in den Belag eindringen kann. Ganz wasserundurchlässig wird der Beton dadurch aber nicht, sondern nur im Bereich, der vom Produkt vollständig getränkt ist.