

# Schäden durch Frost- und Frost-Tausalzangriff

## Einleitung

Schäden durch Frost- und Frost-Tausalzangriff stören nicht nur das optische Erscheinungsbild, sondern reduzieren die Dauerhaftigkeit des Überdeckungsbetons. Frost- und Frost-Tausalzschäden können somit zu weiteren Folgeschäden führen, wie z. B. Korrosion der Bewehrung, erhöhtem Abrieb und Verschleiss der Oberfläche.

## Erscheinungsformen

### Allgemeines

Frost- und Frost-Tausalzschäden entstehen in der Regel in den ersten Winterperioden nach der Erstellung eines Betonbauteiles. Sie treten in Form von Oberflächenschäden und inneren Gefügeschäden auf:

- Absanden und Abblättern der Betonoberfläche
- lokale Abplatzungen über nicht frostbeständigen Gesteinskörnern, Kantenabbrüche und Risse
- flächige Abplatzungen
- Risse im tieferliegenden Zementstein

Oberflächenschäden können visuell beurteilt werden. Innere Gefügeschädigungen können hingegen z. B. an Bohrkernen mittels mikroskopischer Analyse oder über E-Modul-Messungen festgestellt werden (Abfall des E-Moduls).

#### Absanden und Abblättern der Betonoberfläche

Die Oberflächenabwitterung in Form von Absanden oder Abblättern dünner Schichten ist die am häufigsten beobachtete Schadensform des Frostangriffs. In Verbindung mit Streusalzen kann sich die Abwitterung signifikant erhöhen (Abb. 8.5.4).

Lokale Abplatzungen, Kantenausbrüche Eine lokale Abplatzung an der Oberfläche, ein sogenannter pop-out, kann in den meisten Fällen auf eine nicht frostbeständige Gesteinskörner zurückgeführt werden. Solche Gesteinskörner sind i. d. R. sehr porös und nehmen Wasser auf. Tonige Gesteinskörner können zudem aufquellen. Die Zerstörung des Gesteinskorns bewirkt an der Oberfläche ein kraterförmiges Ablösen der darüberliegenden Zementsteinschicht (Abb. 8.5.1). Anforderungen an Gesteinskörner sind in den Normen SN EN 12620 und SN 670115 definiert (siehe Frostbeständig).



Abb. 8.5.1: Schäden infolge Abplatzungen über nicht frostbeständigen Gesteinskörnern.

#### Flächige Abplatzungen und Risse

Bei flächigen Abplatzungen und Rissen wird ein grosser Teil der oberflächennahen Gesteinskörnung herausgelöst. Flächige Abplatzungen treten bei ungenügender bis schlechter F- und FT-Beständigkeit auf (Abb. 8.5.2).

In Abhängigkeit vom Sättigungsgrad entstehen beim Gefrieren im Zementstein Spannungen, die zu Mikrorissen führen. Im weiteren Verlauf kann die Schädigung durch

wiederholte Frost-Tau-Wechsel voranschreiten, da sich die Wassersättigung durch die schon entstandenen Schäden zunehmend erhöht und die Spannungen beim Gefrieren weiter ansteigen (siehe Abb. 8.5.3).

## Visuelle Beurteilung der Frosttausalzbeständigkeit

In Abbildung 8.5.4 sind Beispiele für unterschiedliche Frosttausalzbeständigkeiten in drei Kategorien – hoch, mittel und ungenügend – von Betonoberflächen mit einem Alter von mehr als 10 Jahren dargestellt.



Abb. 8.5.2: Flächige Abplatzungen an einem Betonrandstein.

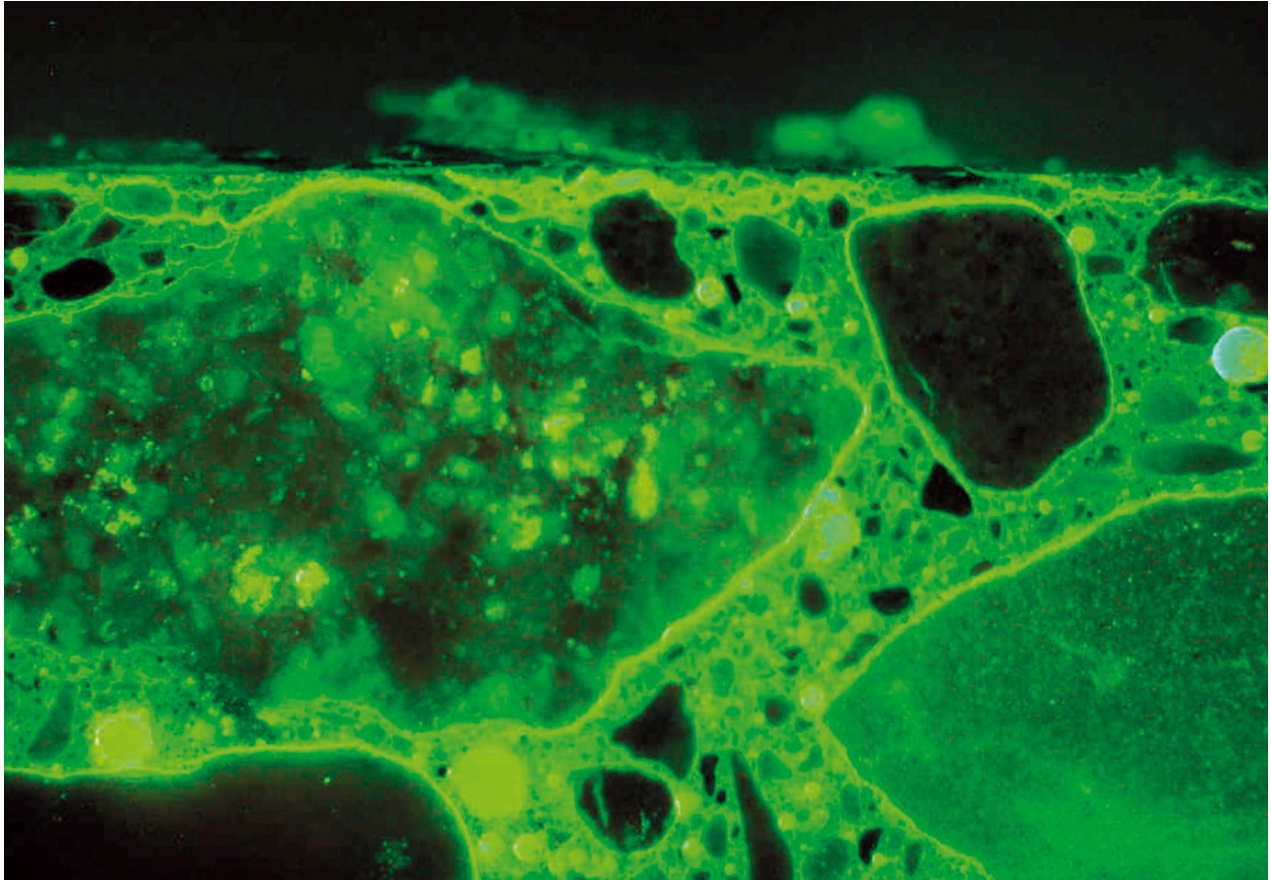
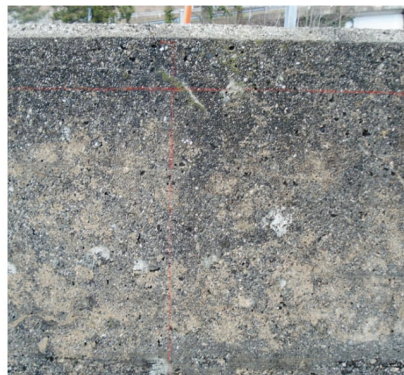


Abb. 8.5.3: Mikroskopische Aufnahme eines Betons mit inneren Gefügeschäden in Form von gesteinskornumrandenden Rissen.



**Hohe Frostauszählbeständigkeit:**

- keine Veränderungen der Zementhaut
- keine Abplatzungen
- keine erkennbaren Risse



**Mittlere Frostauszählbeständigkeit:**

- Veränderung der Zementhaut durch Absanden und geringfügiges Abblättern
- keine Abplatzungen
- keine erkennbaren Risse



**Ungenügende Frostauszählbeständigkeit:**

- Zementhaut vollflächig abgetragen
- Abplatzungen und Kantenabbrüche
- erkennbare Risse

Abb. 8.5.4: Beispiele für unterschiedliche Frostauszählbeständigkeiten von Betonoberflächen mit einem Alter von mehr als 10 Jahren.

# Entstehung und Vermeidung

## Frostbeanspruchung

Während des Gefrierens von Wasser im porösen Zementstein laufen mehrere Vorgänge ab, die den Frostwiderstand entscheidend beeinflussen:

- Volumenzunahme des Wassers
- Gefrierpunktniedrigung des Wassers in kleinen Poren
- Diffusionsvorgänge von Wasser im porösen Zementstein

Alle genannten Einflüsse hängen von der Art und Menge der Poren und insbesondere von der Porengrößenverteilung ab. Die Schädigung von Beton durch Frostangriff ist durch komplexe Zerstörungsmechanismen gekennzeichnet.

## Volumenzunahme des Wassers

Beim Phasenübergang von Wasser zu Eis kommt es auf Grund der Dichteanomalie des Wassers zu einer Volumenzunahme von 9 %. Wenn im porösen Zementstein kein ausreichender Ausdehnungsraum in Form von leeren, zugänglichen Poren zur Verfügung steht, entsteht ein innerer Druck. Wird dieser Druck grösser als die Zugfestigkeit des Betons, kommt es zu einer Sprengwirkung (Abb. 8.5.5)

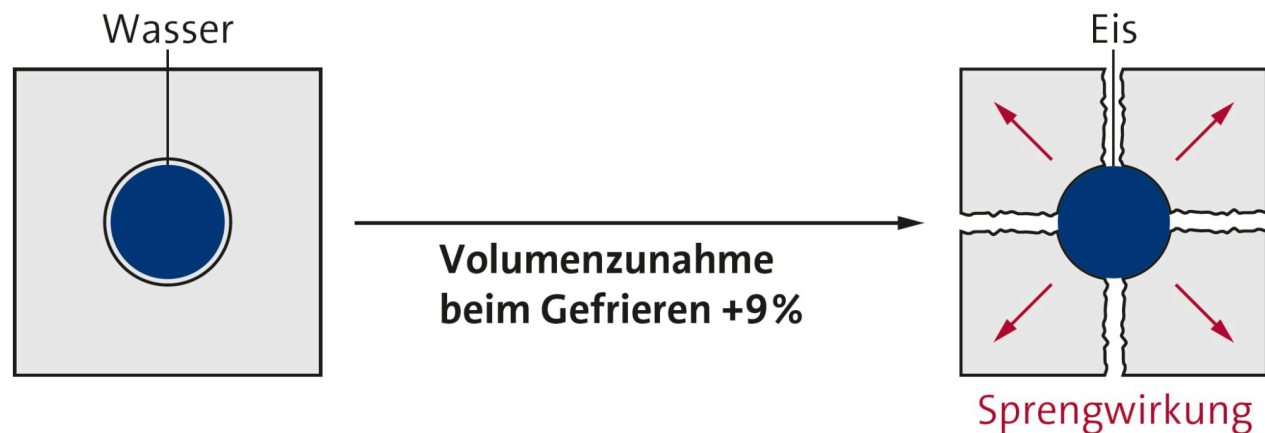


Abb. 8.5.5: Volumenzunahme beim Gefrieren von Wasser.

### Gefrierpunktniedrigung des Wassers in kleinen Poren

Wäre ein Beton vollständig wassergesättigt, müsste das Gefüge bereits beim ersten Gefrieren zerstört werden. Praktische Erfahrungen zeigen jedoch, dass bei Betonen mit ausreichender Betonqualität erst nach vielen Frost-Tau-Wechseln eine Schädigung

einsetzt, auch wenn sie zuvor durch kapillares Saugen gesättigt wurden. Es wird beobachtet, dass Wasser im Beton weder schlagartig noch überall gleichzeitig gefriert. Der Porenfüllgrad mit Wasser und der Gefrierpunkt dieses Porenwassers sind vom Porendurchmesser abhängig. Mit abnehmendem Durchmesser steigt der Porenfüllgrad und sinkt der Gefrierpunkt des Porenwassers (Tab. 8.5.1). Dementsprechend gefriert Wasser zuerst in den Kapillarporen und bildet Eis, während es gleichzeitig in den Gelporen noch flüssig ist.

### Pumpeffekt

Durch wiederholte Frost-Tau-Zyklen entsteht ein sogenannter Pumpeffekt, der mit einer zunehmenden Sättigung des Betons verbunden ist. Das Wasser gefriert zuerst in den grösseren Poren. Da der Dampfdruck über dem Wasser grösser ist als über dem Eis, wandert das noch ungefrorene Wasser aus den Kapillarporen in die grösseren Poren und gefriert dort. Damit findet eine Entwässerung der Kapillarporen und eine Eisansammlung in den grösseren Poren statt.

Beim Auftauen schmilzt das Eis zuerst an der Betonoberfläche, während im Betoninneren das Porenwasser in den grossen Poren noch gefroren ist. Die erwärmte Betonrandzone dehnt sich aus und saugt das Schmelzwasser über die leeren Kapillarporen auf. Beim erneuten Gefrieren beginnt der Prozess von vorne.

Porenart	Porendurchmesser	Porenfüllgrad*	Gefrierpunkt
Verdichtungsporen	> 1 mm	leer	–
Künstlich eingeführte Mikroluftporen	30 µm bis 300 µm	leer und nicht durch kapillares Saugen füllbar	–
Kapillarporen	30 nm bis 30 µm	teilweise durch Kondensation gefüllt und durch kapillares Saugen fast vollständig befüllbar	0 bis –20 °C
Gelporen	< 30 nm	vollständig durch Kondensation gefüllt	–20 °C bis –90 °C

\* Zustand unter baupraktischen Bedingungen, d. h. relative Luftfeuchtigkeit von 50–98%.

Tab. 8.5.1: Porenfüllgrad und Gefrierpunkt des Porenwassers in Abhängigkeit der Porenart.

### **Frost-Tausalzbeanspruchung**

Dringen Tausalze in den Beton ein, wird der Gefrierpunkt des Porenwassers so erniedrigt, dass es erst bei Temperaturen deutlich unter 0 °C gefriert.

Tausalze wirken hygroskopisch, d. h. sie können aus der Luft Feuchtigkeit aufnehmen.

Dadurch nimmt der Feuchtigkeitsgehalt im salzbelasteten Beton zu. Der höhere Sättigungsgrad, gerade im oberflächennahen Bereich, erhöht die Frostempfindlichkeit des Betons.

Durch den Einsatz von Tausalzen werden die physikalischen Schadensmechanismen der reinen Frostbeanspruchung noch verstärkt durch:

- Schichtweises Gefrieren
- Temperaturschock



Abb. 8.5.6: Räumerbahn einer Kläranlage mit hoher Frost-Tausalzbelastung.

### Schichtweises Gefrieren

Durch Frosttausalzbeaufschlagung und weitere Bewitterung (Auswaschen und Durchfeuchten) können die Tausalze in tieferliegende Betonschichten transportiert werden. Häufig sind die Salzkonzentrationen an der Betonoberfläche geringer als in grösserer Tiefe. In einigen Fällen entsteht in einer Tiefe von 10–20 mm ein Bereich mit der höchsten Salzkonzentration. In diesem Bereich hat die Porenlösung dank dem erhöhten Salzgehalt eine tiefere Gefrieretemperatur, auch Gefrierpunkt genannt, als in der oberflächennahen Schicht (0–10 mm).

Fällt die Betontemperatur unter Null Grad, gefriert zunächst die Porenlösung in der oberflächennahen Betonschicht und später in den tiefer liegenden Schichten. Die Betonschicht mit der höchsten Tausalzkonzentration gefriert aber erst nach der darunterliegenden nicht salzbelasteten Betonschicht (20–30 mm).

So kann die Porenlösung der mittleren Betonschicht bei weiterem Frost nicht mehr in andere Bereiche ausweichen und es baut sich ein Druck durch die Eisbildung auf. Als Folge wird die oberflächennahe Betonschicht abgesprengt (Abb. 8.5.7).

### Temperaturschock

Ein Temperaturschock entsteht, wenn Tausalze auf einer gefrorenen Betonfläche eingesetzt werden. Die Schmelzwärme für das Eis wird der oberflächennahen Betonschicht entzogen, wodurch es zu einem schnellen Temperatursturz in dieser Schicht kommt und Eigenspannungen im Betongefüge aufgebaut werden. Die dabei auftretende schockartige Abkühlung der Betonoberfläche kann z. B. bis zu 14 Kelvin in 1 bis 2 Minuten betragen. Die dadurch verursachten Zugspannungen liegen dann im Bereich der Betonzugfestigkeit und darüber.

## **Schäden durch andere Taumittel**

Beim Einsatz von Acetaten und Formiaten (Enteisungsmittel) kommt es zu einem sprunghaften Anstieg des pH-Wertes der Porenlösung. Der Zementstein wird angegriffen und eine Alkali-Aggregat-Reaktion der Gesteinskörnung kann hervorgerufen werden.

## **Vorbeugende Massnahmen**

Frost- und Frosttausalzschäden können mit Hilfe von betontechnologischen Massnahmen und gegebenenfalls zusätzlichen Massnahmen vermieden werden (siehe **Frostbeständig**).



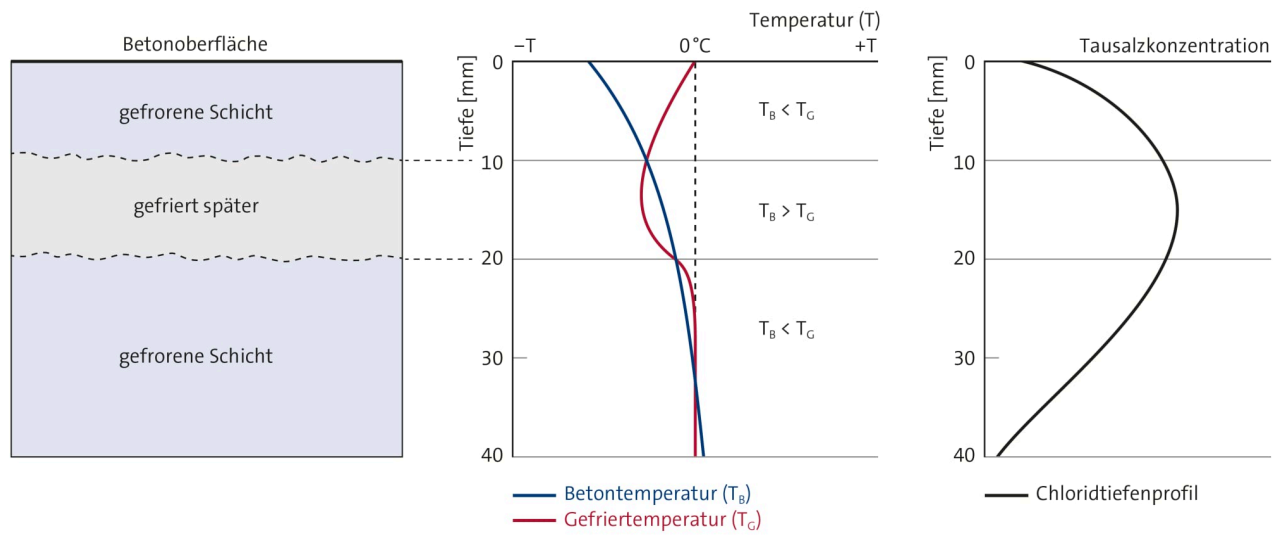


Abb. 8.5.7: Schichtweises Gefrieren des Betons infolge Tausalzeinwirkung.