

BE I und BE II – Prüfungen zum Frost- und Frosttaumittelwiderstand

1 Einführung

Die Prüfmethode BE I und BE II sind die zwei ersten in der Schweiz angewendeten Prüfungen zum Nachweis des Frost-Taumittelwiderstands. Sie wurden von G. Dobrolubov, Betonstrassen AG in Wildeggen, und B. Romer, LPM AG in Beinwil am See, entwickelt. Im Jahre 1976 wurden sie zur Richtlinie der Norm VSS 640461 „Zementbetonbeläge – Ausführung, Anforderungen“ und 1977 in der Zeitschrift «Strasse und Verkehr» publiziert [1]. Seit 2010 sind die beiden Methoden in einer eigenen Prüfnorm beschrieben, der heutigen VSS 40464, 2019-03.

Bei der Methode BE I handelt es sich um ein diagnostisches Verfahren, bei dem die Frostbeständigkeit über die mikroskopisch bestimmten Luftporenkennwerte, eine Gefügebeurteilung und die Porositätseigenschaften des Betons mittels Wassersättigungsprüfung ermittelt wird.

Die Methode BE II ist ein physikalisches Verfahren, bei dem der Frost- und Frost-Taumittelwiderstand an Betonprismen anhand der Ausdehnung bei zyklischer Temperaturwechsellagerung in Wasser oder Taumittel ermittelt wird.

Auch heute ist gemäss der Normen SN 640461 «Betondecken; Konzeption, Anforderungen, Ausführung und Einbau» und VSS 40463 «Prüfplan für Betondecken; Festlegung der durchzuführenden Prüfungen» der Nachweis des Frost- und Frost-Taumittelwiderstands für Betondecken von Strassen, Wegen und Plätzen wie z.B. Kreisel und Bushaltestellen, gemäss der Prüfmethoden BE I und BE II gefordert. Die Prüfungen können aber auch für Normal- und Schwebbeton anderer Bauwerke angewendet werden.

Vergleichende Untersuchungen von BE I / BE II mit der Prüfung SIA 262/1_Anhang C wiesen für im Mittel 60% der Betone eine Übereinstimmung auf. In 38% der Fälle war die Prüfung nach BE I / BE II strenger, in 3% der Fälle weniger streng als die nach SIA 262/1, Anhang C [2].

Neben BE I und BE II, die vor allem bei Betondecken von Verkehrsflächen zum Einsatz kommen, sowie SIA 262/1, Anhang C werden in der Schweiz noch weitere Verfahren zur Ermittlung des Frost-Tausalz-Widerstands verwendet (Tab. 1). Bei allen ausser BE I wird der Beton einer zyklischen Temperaturwechsellagerung unterzogen, wobei sich die Prüfbedingungen, Prüfdauer und Auswertung der Ergebnisse unterscheiden.

Alle in Tab. 1 aufgeführten Prüfungen werden von der TFB AG angeboten.

Tabelle 1: Ausgewählte Schweizer Frostprüfungen für Beton

Prüfung	Methodik	Betonalter	Prüfdauer
SIA 262/1_Anhang C	Physikalisch	28 Tage	14 Tage
BE-I, VSS 40464, 2019-03	Mikroskopisch	Würfeldruckfestigkeit > 5N/mm ²	5 Tage
BE-II, VSS 40464, 2019-03	Physikalisch	28 Tage	8.5 Tage
TFB-Schnelltest, nicht genormt	Physikalisch + Mikroskopisch	In der Regel 28 Tage	4 Tage + Mikroskopie
Slab test, CEN/TS 12390-9	Physikalisch	28 Tage	56 Tage

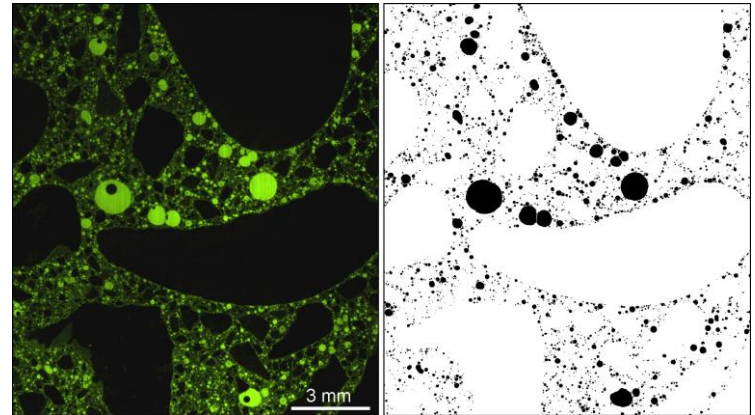


Bild. 1: Dünnschliff-Aufnahme in UV-Auflicht (links) und das bearbeitete Bild mit schwarz dargestellten Poren (rechts).

2 Methode BE I

Bei der BE I-Prüfung wird der Gehalt an Mikroluftporen (Durchmesser 20 bis 300 µm) mikroskopisch und die Porositätseigenschaften über die Kapillarwasseraufnahme im Saugversuch bestimmt. Die Einstufung der BE I Frostbeständigkeit basiert auf dem Verhältnis von Mikroluftporengehalt zu Kapillarwasseraufnahme und zum gefrierbaren Anteil davon. Zudem wird die Qualität des Betongefüges und der Abstandfaktor der Mikroluftporen bestimmt.

Der Vorteil der BE I-Prüfung ist, dass sie bereits wenige Tage nach dem Betonieren durchgeführt werden kann, und zwar, sobald der Beton eine Würfeldruckfestigkeit von mindestens 5 N/mm² aufweist. Zudem ist die Prüfdauer gering. Damit ist diese Prüfung eine schnelle Lösung zu einer raschen Qualitätssicherung des eingebauten Betons.

Da die BE I-Prüfung auf der Anordnung der Mikroluftporen basiert, ist sie für Betone ohne künstlich eingeführte Luftporen nicht geeignet. Sollen Betone ohne Luftporenbildner auf ihren Frost- oder Frosttausalz-Widerstand geprüft werden, muss auf physikalische Verfahren wie BE II, SIA 262/1, Anhang C, oder TFB-Schnelltest zurückgegriffen werden.

Für die Prüfung werden zwei Bohrkern aus einem Würfel oder aus der Verkehrsfläche bzw. dem Bauteil benötigt. An diesen Bohrkernen werden die Porensättigungskennwerte bestimmt und zwei fluorisierende Dünnschliffe hergestellt, einer davon aus der Betonoberfläche und einer aus ca. 100 mm Tiefe. Die Dünnschliffe werden unter UV-Auflicht fotografiert und es wird ein Schwarzweiss-Bild des Porengefüges erzeugt (Bild 1). Daraus wird mittels Bildanalyse-Software und einer stereologischen Modellierung die dreidimensionale Porengrössenverteilung ermittelt.

3 Methode BE II

Die Prüfung kann mit Taumittel (BE II FT) oder ohne Taumittel (BE II F) durchgeführt werden. Sie beginnt 28 Tage nach der Betonherstellung. Eine Serie besteht aus 6 Prismen von 30 x 30 x 60 mm³, die Bohrkernen oder Prüfkörpern entnommen und 400 Frost-Tauzyklen unterworfen werden. In regelmässigen Abständen wird die Längenänderung gemessen, aus der für einen gegebenen Zementgehalt und w/z-Wert der Widerstandsfaktor Frost, WF-L, bzw. Frosttaumittel, WFT-L, bestimmt wird. Dieser korreliert mit dem Widerstandsfaktor aus der diagnostischen Bestimmung BE I. Diese Korrelation erlaubt eine Einstufung der Ergebnisse der BE I-Prüfung in einen Beton mit einem tiefen, mittleren oder hohen Frosttaumittelwiderstand. Unbeständige Betone zeigen in der BE II-Prüfung eine Auflösung des Zementsteins sowie ggf. eine Rissbildung, die durch die Volumenzunahme quantifiziert wird. Ausserdem kommt es zu einem Abfall der Druck- und Zugfestigkeit sowie des E-Moduls. Neu wird die BE II-Prüfung auch vom Labor der TFB AG angeboten. Der Wechsel der Proben vom kalten ins warme Wasserbad (400 Zyklen) wird von einem Roboterarm bewerkstelligt (Bild 2).

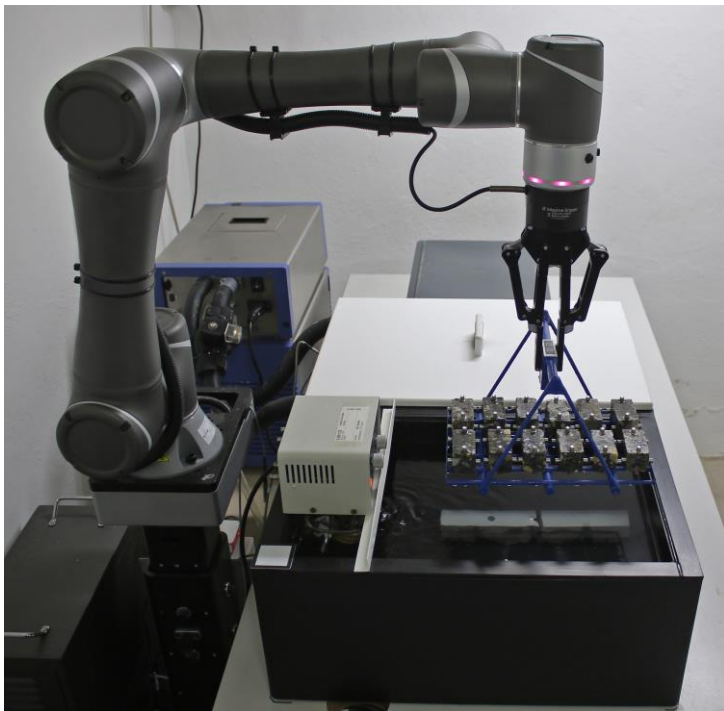


Bild 2: Die BE II-Probenwechsellagerung an der TFB AG.

Seit ihrer Einführung im Jahre 1976 wird die BE II-Prüfung vor allem für Betondecken von Verkehrsflächen angewendet. Dadurch wurden in den letzten 45 Jahren viele Erfahrungen gesammelt und eine umfangreiche Datenmenge erzeugt. Die Methode ist fest etabliert und hat sich zur Charakterisierung des Frost- und Frost-Taumittelwiderstands von Betonen für Verkehrsflächen in der Praxis bewährt.

Dr. Winnie Matthes

Dr. Jan Bisschop

- [1] G. Dobrolubov und B. Romer, «Richtlinien zur Bestimmung und Prüfung des Frost-Tausalzwidestandes von Zementbeton,» *Strasse und Verkehr*, 10/11 1977.
- [2] R. Werner, F. Hunkeler, U. Mühletaler und C. Ly, «Evaluation des Frosttaumittel-Widerstands von Beton – Vergleich von vier Prüfverfahren,» Forschungsprojekt Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, VSS 2011/501 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2016.

4 Neue Normen

Dieses Jahr wurden folgende Normen im Bereich Betonprüfungen neu publiziert bzw. erfolgt dies in Kürze:

Prüfung von Frischbeton	
SN EN 12350-1	Teil 1: Probenahme und Prüfgeräte
SN EN 12350-2	Teil 2: Setzmass
SN EN 12350-3	Teil 3: Vébé-Prüfung
SN EN 12350-4	Teil 4: Verdichtungsmass
SN EN 12350-5	Teil 5: Ausbreitmass
SN EN 12350-6	Teil 6: Frischbetonrohddichte
SN EN 12350-7	Teil 7: Luftgehalt - Druckverfahren
SN EN 12350-8	Teil 8: Selbstverdichtender Beton - Setzflussversuch
Prüfung von Festbeton	
SN EN 12390-2	Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen
SN EN 12390-3	Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
SN EN 12390-5	Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern
SN EN 12390-7	Teil 7: Rohddichte von Festbeton
SN EN 12390-8	Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck
SN EN 12390-13	Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul)
Weitere Prüfungen	
SN EN 12504-1	Bohrkernproben - Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit
SN EN 13791	Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen

Folgende Normen werden in Kürze publiziert, weshalb dann diese Prüfungen nicht mehr nach SIA 262/1 erfolgen:

Prüfung von Festbeton	
SN EN 12390-16	Teil 16: Bestimmung des Schwindens von Beton
SN EN 12390-17	Teil 17: Bestimmung des Kriechens von Beton unter Druckspannung

Das Merkblatt SIA 2042 „Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten“ geht dieses Jahr in Vernehmlassung. Seit 2017 wird an der Revision des Merkblatts SIA 2030 „Recyclingbeton“ gearbeitet. Es ist aus heutiger Sicht noch nicht klar, wann mit der Publikation des revidierten Merkblattes zu rechnen ist. Zur SIA 262/1 kommt 2021 ein Korrigenda heraus.