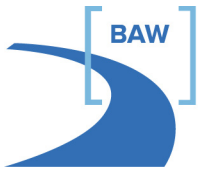


**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

## **BAWMerkblatt**

### **Frostprüfung von Beton (MFB)**

Ausgabe 2012



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

## BAW-Merkblätter und -Richtlinien

### Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)  
Kußmaulstraße 17  
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53  
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0  
Fax: 0721 9726-4540

[info@baw.de](mailto:info@baw.de)  
[www.baw.de](http://www.baw.de)

Übersetzung, Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers: © BAW 2012

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
	Änderungen	1
	Frühere Ausgaben	1
	Vorbemerkungen	1
1	Einleitung	1
2	Literatur und Normative Verweisungen	2
3	Definitionen	3
4	Prüfeinrichtung	3
5	Probekörper	7
5.1	Grundsätzliche Anforderungen	7
5.2	Herstellung der Standardprobekörper	7
5.2.1	Probekörper zur Prüfung von Beton	7
5.2.2	Probekörper zur Prüfung von Spritzmörtel/Spritzbeton	9
5.3	Abweichende Probekörper zum Standardprobekörper	10
6	Ablauf der Prüfung	10
6.1	Allgemeines	10
6.2	Trockenlagerung	11
6.3	Vorsättigung	11
6.3.1	Probenvorbereitung und Abdichtung	11
6.3.2	Vorsättigung mit Prüfflüssigkeit durch kapillares Saugen	12
6.4	Frost-Tau Belastung	12
7	Messungen	12
7.1	Abfolge der Messungen aus Abwitterung, Flüssigkeitsaufnahme und Ultraschalllaufzeit	12
7.2	Bestimmung der Oberflächenabwitterung	13
7.2.1	Messdurchführung	13
7.2.2	Auswertung der Abwitterung	14
7.3	Messung der Flüssigkeitsaufnahme	14
7.3.1	Messdurchführung	14
7.3.2	Auswertung der Flüssigkeitsaufnahme	14
7.4	Messung der Ultraschalllaufzeit (innere Schädigung)	15
7.4.1	Messaufbau	15
7.4.2	Kalibrierung	15
7.4.3	Messdurchführung	16
7.4.4	Auswertung der inneren Schädigung	16
8	Bewertung Frostwiderstand nach dem CIF-Test	17

8.1	Maßgebendes Abnahmekriterium innere Schädigung	17
8.2	Zusätzliches Abnahmekriterium Abwitterung	18
9	Bewertung Frost-Tausalz-Widerstand nach dem CDF-Test	18
9.1	Maßgebendes Abnahmekriterium Abwitterung	18
9.2	Zusätzliches Abnahmekriterium innere Schädigung	18
10	Bericht	19
11	Anforderungen an das Labor und Rückstellproben	20
12	Präzisionsdaten	20
12.1	Allgemein	20
12.2	Präzision des CIF- Tests für Betonmischungen	20
12.2.1	Messung der inneren Schädigung - Ultraschalllaufzeit	20
12.2.2	Flüssigkeitsaufnahme	21
12.2.3	Abwitterung	21
12.3	Präzision des CDF-Tests für Betonmischungen	21
12.3.1	Abwitterung	21

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1:	Lagerungsdauern vor Frostbeginn	11
Tabelle 8.1:	Abnahmekriterien innere Schädigung CIF-Test	17
Tabelle 8.2:	Abnahmekriterien Abwitterung CIF-Test	18
Tabelle 9.1:	Abnahmekriterien Abwitterung CDF-Test	18
Tabelle 9.2:	Abnahmekriterien innere Schädigung CDF-Test	18
Tabelle 12.1:	Präzisionsdaten für die Messung der inneren Schädigung - Ultraschalllaufzeit im CIF-Test	20
Tabelle 12.2:	Präzisionsdaten für die Messung der Flüssigkeitsaufnahme	21
Tabelle 12.3:	Präzisionsdaten für die Messung der Abwitterung im CIF-Test	21
Tabelle 12.4:	Präzisionsdaten für die Messung der Abwitterung im CDF-Test	22
Tabelle 12.5:	Parameter $v_0$ und $d$ für die Abwitterung im CDF-Test gemäß /1/ (Normative Verweisungen)	22

## Bildverzeichnis

Bild 1:	Kapillares Saugen	4
Bild 2:	Prüfbehälter mit Probekörper im Flüssigkeitstemperierbad	4
Bild 3:	Temperaturkontrollierte Prüfruhe	5
Bild 4:	Kontrolltemperatur-Zyklus. Im gekennzeichneten Temperaturbereich > 15 °C (schraffierte Fläche) dürfen die Messungen nach Abschnitt 7 durchgeführt werden.	5
Bild 5:	Absaugeinrichtung	6
Bild 6:	Ultraschallbad	6
Bild 7:	Zusägen des Probekörpers und der Rückstellprobe bei seitlicher PTFE-Scheiben-Anordnung	9
Bild 8:	Messabfolge mit Ultraschalllaufzeitmessung	13
Bild 9:	Messaufbau zur Bestimmung der Ultraschalllaufzeit	15



## Änderungen

Gegenüber dem BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ (MFB), Ausgabe 2004, wurden die Normenbezüge aktualisiert.

## Frühere Ausgaben

BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ (MFB), Ausgabe 2004.

## Vorbemerkungen

Das BAW-Merkblatt "Frostprüfung von Beton" beschreibt die Prüfung des Frostwiderstands und des Frost-Tausalz-Widerstands von Beton und Spritzmörtel/Spritzbeton. Für die Durchführung dieser Prüfungen liegen derzeit keine genormten Prüfverfahren vor.

Für die Prüfung des Frostwiderstands ist der CIF-Test /1/, für die Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands der CDF-Test /2/ anzuwenden. Beide Prüfverfahren sind als RILEM-Empfehlung veröffentlicht. Die nachfolgende Prüfbeschreibung ist im Wesentlichen eine Übersetzung der RILEM-Empfehlung des CIF-Tests /1/ und wurde in einigen Punkten an die Anforderungen des Wasserbaus angepasst. Diese Modifikationen betreffen die Probenherstellung, die Probengeometrie, die Probenlagerung, das Prüfalter und die Abnahmekriterien. Die Weiterentwicklungen in der Prüfmethodik des CIF-Tests und die o. g. Modifikationen wurden gleichzeitig auf den CDF-Test übertragen. Ergänzend zu der RILEM Empfehlung /1/ und der europäischen Vornorm CEN/TS 12390-9 wird damit auch für den CDF-Test eine Messung der Ultraschalllaufzeit zur Ermittlung der inneren Schädigung durchgeführt.

Bis auf die unterschiedliche Prüflösung wird mit der nachfolgenden Prüfbeschreibung eine einheitliche Vorgehensweise bei der Prüfung des Frostwiderstands und des Frost-Tausalz-Widerstands festgelegt.

Die für die Bewertung des Frostwiderstands und des Frost-Tausalz-Widerstands festgelegten Abnahmekriterien wurden auf der Basis von Prüfungen an wasserbautypischen<sup>1</sup> Betonen und Spritzbetonen aufgestellt und gelten für die Bewertung gesondert hergestellter Probekörper im Rahmen der Eignungs- und Güteprüfung. Die Abnahmekriterien gelten nicht für die Bewertung bestehender Bauwerke im Rahmen von Bauwerksuntersuchungen.

## 1 Einleitung

Mit dem CIF-Test wird der Widerstand gegenüber einer Frost-Tau-Beanspruchung bei reinem Wasser untersucht. CIF bedeutet "Capillary suction, Internal damage and Freeze-thaw test". Während der Prüfung wird ein ansteigender Wassersättigungsgrad zunächst durch isothermes, kapillares Saugen und anschließend bei definierten Frost-Tau-Wechseln (Frostsaugen) entsprechend einer einaxialen Belastung in der Praxis eingestellt. Der CIF-Test ermöglicht die gleichzeitige Messung der Feuchteaufnahme und

---

<sup>1</sup> Als wasserbautypisch gelten i. d. R. solche Betone und Spritzbetone, die den Anforderungen der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W), Leistungsbereiche 215 und 219, entsprechen. Insbesondere für leimreiche Betone und Betone ohne Luftporenbildner mit untypisch niedrigen Luftporengehalten, welche im Wasserbau üblicherweise nicht eingesetzt werden, kann die Festlegung gesonderter Abnahmekriterien erforderlich sein.

der inneren Gefügeschädigung durch eine Anzahl von Frost-Tau-Wechseln mit einaxialem Wärme- und Feuchtetransport in Gegenwart von Wasser. Die durch Feuchteaufnahme und den damit verbundenen Wassersättigungsgrad bestimmte innere Gefügeschädigung ist der entscheidende Parameter zur Beurteilung des Frostwiderstands. Die Oberflächenabwitterung wird ergänzend gemessen.

Mit dem CDF-Test wird der Widerstand gegenüber einer Frost-Tau-Beanspruchung bei gleichzeitiger Taumittelbelastung geprüft. CDF bedeutet "Capillary suction of De-icing chemicals and Freeze-thaw test". Der CDF-Test ermöglicht die gleichzeitige Messung der Feuchteaufnahme und der inneren Gefügeschädigung durch eine Anzahl von Frost-Tau-Wechseln mit einaxialem Wärme- und Feuchtetransport in Gegenwart einer definierten Prüflüssigkeit. In der Regel wird eine definierte Tausalzlösung (3%-ige NaCl-Lösung) verwendet. Bei der Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands ist die Oberflächenabwitterung dominant und für die Beurteilung vorrangig. Die innere Schädigung wird ergänzend gemessen.

## 2 Literatur und Normative Verweisungen

- /1/ CIF Test - Testmethode zur Bestimmung des Frost-Widerstands von Beton (CIF). Final Recommendation of RILEM TC 176-IDC ,Internal Damage of Concrete due to frost action: Test methods of frost resistance of concrete. Materials and Structures, Vol. 37 - No 274 (12.2004) p. 742-75
- /2/ CDF Test - Testmethode zur Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstands von Beton - Prüfung mit einer Natriumchloridlösung (CDF). RILEM Recommendation TC117-FDC: Freeze-thaw and de-icing resistance of concrete. Materials and Structures Vol. 29 (1996) 523-528.

CEN/TS 12390-9	Prüfung von Festbeton - Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand - Abwitterung; Deutsche Fassung CEN/TS 12390-9
DIN 1045-2	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
DIN EN 206-1	Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
DIN EN 12350	Prüfung von Frischbeton
DIN EN 12390-1	Prüfung von Festbeton, Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen
DIN EN 12390-2	Prüfung von Festbeton, Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen
DIN EN 12504-4	Prüfung von Beton in Bauwerken – Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit
DIN EN 14488-1	Prüfung von Spritzbeton – Teil 1: Probenahme von Frisch- und Festbeton
DIN ISO 5725	Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen
VDI/VDE 3522	Zeitverhalten von Berührungsthermometern, (Time performance of contact thermometers), Juni 1987.



### 3 Definitionen

- a) Frostwiderstand ist der Widerstand gegenüber Frost-Tau-Wechseln mit demineralisiertem Wasser als Prüfflüssigkeit.
- b) Frost-Tausalz-Widerstand ist der Widerstand gegenüber Frost-Tau-Wechseln mit einer Tausalzlösung als Prüfflüssigkeit.
- c) Die Prüfflüssigkeit ist die Flüssigkeit, die während der Prüfung vom Probekörper aufgenommen wird (Abschnitt 4c).
- d) Abwitterung ist der durch Frost-Tau- oder Frost-Taumittel-Beanspruchung verursachte Materialverlust der Oberfläche des Betons.
- e) Innere Schädigung ist die Schädigung des inneren Betongefüges (auch ohne sichtbare äußere Schäden), die zu einer Veränderung der Betoneigenschaften führt (z. B. eine Verminderung des dynamischen Elastizitätsmoduls, der Biegezugfestigkeit und der Dichtigkeit der Betonrandzone gegenüber Schadstoffen).
- f) Der Referenzpunkt ist der physikalische Messpunkt, an dem der Temperaturzyklus geregelt wird.
- g) Die Referenztemperatur ist die gemessene Temperatur am Referenzpunkt.
- h) Die Prüffläche ist die Fläche eines Probekörpers, über die der Temperaturwechsel bzw. die Aufnahme der Prüfflüssigkeit während des Prüfvorganges stattfindet.
- i) Die Durchschallungsachse ist die gedachte direkte Verbindung der Mittelpunkte der Ultraschallprüfkopfflächen von Sender und Empfänger.
- j) Die Durchschallungsstrecke ist die kürzeste Strecke auf der Durchschallungsachse zwischen dem Ultraschallsender und dem Ultraschallempfänger über die die Ultraschalllaufzeit gemessen wird.
- k) Die Ultraschalllaufzeit ist die Zeit, die ein Ultraschallsignal benötigt, um die Durchschallungsstrecke zwischen dem Ultraschallsender und dem Ultraschallempfänger zurückzulegen.
- l) Als Ankopplungsmedium wird die verwendete Prüfflüssigkeit eingesetzt. Es ermöglicht eine reproduzierbare Signalübertragung zwischen den Ultraschallprüfköpfen und dem Probekörper.

### 4 Prüfeinrichtung

- a) *Klimaraum*: Temperatur von  $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  und relative Luftfeuchtigkeit von  $65 \pm 5 \text{ } \%$ . Im Klimaraum muss die Verdunstung einer nach oben offenen Wasserfläche  $45 \pm 15 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ h})$  betragen. Normalerweise wird dies mit einer Windgeschwindigkeit von  $\leq 0,1 \text{ m/s}$  erreicht. Zur Messung der Verdunstung ist eine Schale mit einer Tiefe von ungefähr 40 mm und einer Querschnittsfläche von  $225 \pm 25 \text{ cm}^2$  zu verwenden. Die Schale ist bis  $10 \pm 1 \text{ mm}$  unter den Rand zu füllen.
- b) *Seitliche Abdichtung*: Aluminiumfolie mit Butylklebung (Referenzverfahren) oder Epoxidharz (Alternativverfahren). Die Abdichtung muss bei einer Temperatur von  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  dauerhaft sein. Sie darf bei Erreichen der Mindesttemperatur nicht spröde werden und sich vom Probekörper nicht lösen. Ein geeigneter Primer ist zu verwenden.
- c) *Prüfflüssigkeit*:
  - Prüfung des Frostwiderstands (CIF-Test): demineralisiertes Wasser
  - Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands (CDF-Test): Standard-Tausalzlösung (97 M.-% demineralisiertes Wasser und 3 M.-% NaCl).

- d) *Prüfbehälter (Bild 1 und Bild 2):* Die Prüfbehälter bestehen aus rostfreiem Stahl. Die Größe eines Prüfbehälters ist so zu wählen, dass die Luftschicht zwischen den vertikalen Flächen des Probekörpers und dem Prüfbehälter auf  $30 \pm 20$  mm begrenzt ist<sup>2,3</sup>. Es ist zusätzlich ein Abstandhalter von  $5 \pm 0,1$  mm und ein Deckel erforderlich.

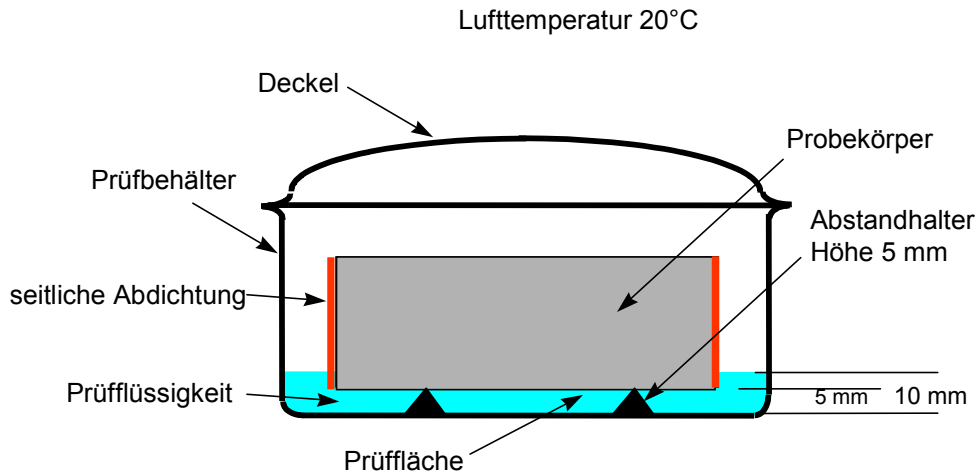


Bild 1: Kapillares Saugen

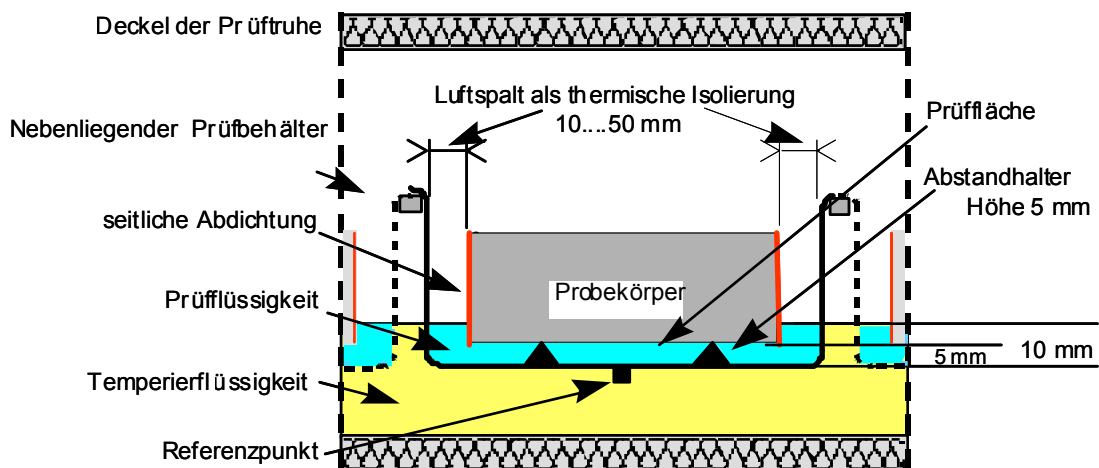


Bild 2: Prüfbehälter mit Probekörper im Flüssigkeitstemperierbad

- e) *Temperaturkontrollierte Prüfruhe (Bild 3):* Es wird eine Truhe mit Flüssigkeitstemperierbad verwendet. Die Temperatur des Temperierbades wird durch ein geeignetes Gerät gesteuert. Die Wärme- und Kühlleistung und die Regeleinheit müssen in der Lage sein, das Temperatursystem am Referenzpunkt, entsprechend dem Temperaturzyklus (Bild 4), zu regulieren.

Die Prüfruhe muss mit Halterungen für die Prüfbehälter über dem Temperierbad ausgestattet sein, die eine Eintauchtiefe der Prüfbehälter von  $15 \pm 3$  mm sicherstellen. Das Temperierbad muss bei

<sup>2</sup> Die Luftschicht zwischen den vertikalen Flächen der Prüfkörper und dem Prüfbehälter wirkt als Wärmedämmung.

<sup>3</sup> Die Edelstahlbehälter sind in verschiedenen modularen Größen angepasst, so dass die gleichen Randbedingungen für jede Prüfkörpergröße angetroffen werden.

nicht vollständiger Belegung mit Probekörpern vollflächig, z. B. durch leere Prüfbehälter, abgedeckt werden<sup>4</sup>.

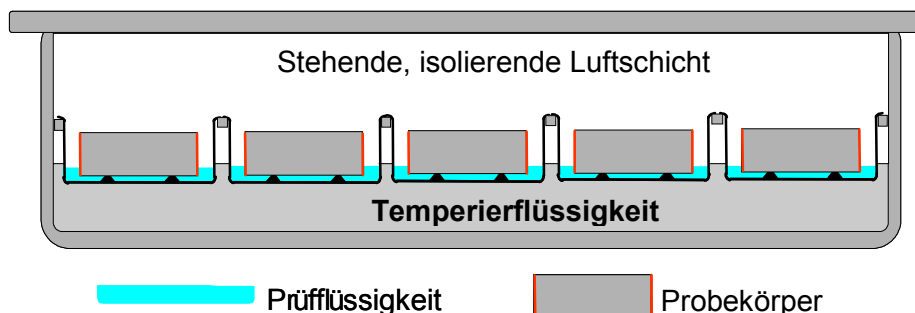


Bild 3: Temperaturkontrollierte Prüfruhe

Für die Überwachung und Regelung der Referenztemperatur wird ein Prüfbehälter an einer repräsentativen Stelle des Bades (i. d. R. in der Mitte des Bades) verwendet. Die Referenztemperatur wird in der Temperierflüssigkeit des Temperierbades an der Unterseite eines Prüfbehälters gemessen. Der Referenzpunkt ist in engem thermischen Kontakt in der Mitte des Behälterbodens angeordnet.

Für die Messung wird ein Temperaturmesser mit einer Toleranz von maximal  $\pm 0,05$  K bei  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  verwendet. Er muss ein quaderförmiges Gehäuse mit den Maßen  $50 \times 6 \times 6 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$  haben. Er wird mit einer Seitenfläche ( $50 \times 6 \text{ mm}$ ) so befestigt, dass die Längsseite des Fühlers in Strömungsrichtung weist. Die Zeitkonstante ( $t_{-90\%}$ ) des Fühlers (ohne Befestigungseinrichtung), bestimmt nach VDI/VDE 3522 im strömenden Wasserbad, muss  $6,3 \text{ s} \pm 0,8 \text{ s}$  betragen. Zur Kalibrierung wird die Minimaltemperatur bei  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  verwendet.

Das Gerät muss einen Frost-Tau-Wechsel nach dem in Bild 4 gezeigten Temperaturzyklus sicherstellen.

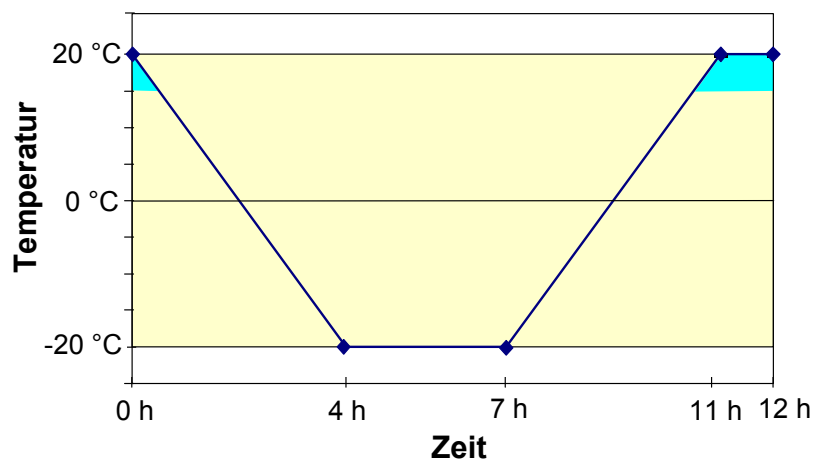


Bild 4: Kontrolltemperatur-Zyklus. Im gekennzeichneten Temperaturbereich  $> 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (schraffierte Fläche) dürfen die Messungen nach Abschnitt 7 durchgeführt werden.

<sup>4</sup> Bei der Durchführung des Tests in einem kryogenen Bad ist keine Abdeckung der Prüfbehälter erforderlich, da der Prüfruhendeckel einen genügenden Verdunstungsschutz schafft, während die Wände der Probenbehälter als Kühlfalle dienen.

Ein *Frost-Tau-Wechsel* dauert 12 Stunden. Die Temperatur wird beginnend bei +20 °C in 4 Stunden mit einer konstanten Abkühlrate von 10 K/h gesenkt. Sie wird dann 3 Stunden lang bei -20 °C konstant gehalten und in 4 Stunden mit einer Heizrate von 10 K/h wieder auf +20 °C erhöht. Sie wird bei +20 °C über 1 Stunde konstant gehalten. Der Temperaturzyklus wird am Referenzpunkt überwacht. Die Abweichung der Temperatur gemessen am Referenzpunkt darf nicht mehr als  $\pm 0,5$  K zumindest bei der Minimaltemperatur und  $\pm 1$  K bei den übrigen Temperaturen betragen. Eine konstante Zeitverschiebung zwischen den einzelnen Prüfbehältern ist zulässig.

Die Temperaturtoleranz darf unmittelbar nach der ersten Eisbildung für ein Intervall von maximal 10 Minuten überschritten werden.

- f) *Vorrichtung zur Einstellung der Flüssigkeitshöhe*: z. B. durch ein Sauggerät (Bild 5). Das Sauggerät kann aus einer Kapillare mit einer Abstandhalterung von  $10 \pm 1$  mm bestehen, die mit einer Wasserstrahlpumpe verbunden ist, wodurch die überschüssige Flüssigkeit aus den Prüfbehältern abgesaugt wird.

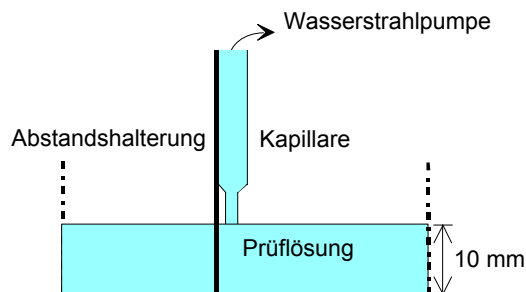


Bild 5: Absaugeinrichtung

- g) *Ultraschallbad (Bild 6)*: Die Abmessung des Ultraschallbades muss so groß sein, dass kein mechanischer Kontakt im Bereich des Übertragungsmediums zwischen Prüfbehälter und Ultraschallgerät vorhanden ist. Zusätzlich muss ein Mindestabstand zwischen dem Prüfbehälter und dem Boden des Bades von mindestens 15 mm sichergestellt sein. Das Ultraschallbad muss folgende Leistungsdaten haben: ERS Leistung 250 W; HF Höchstleistung 450 W bei doppeltem Halbwellen-Betrieb; Frequenz 35 kHz.

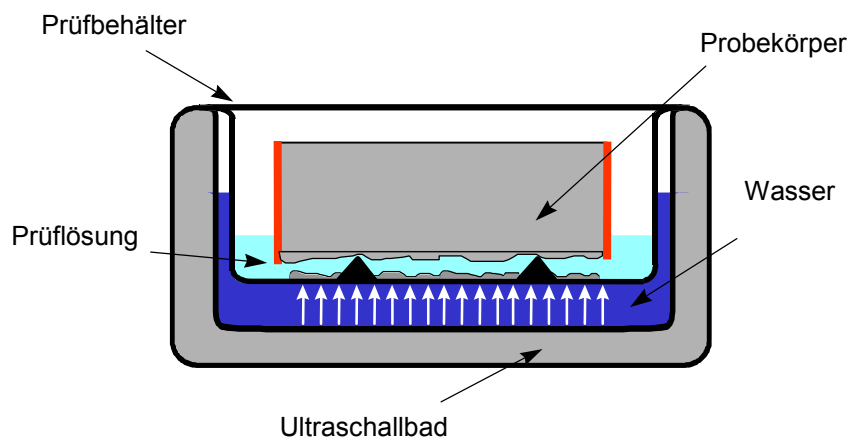


Bild 6: Ultraschallbad

- h) *Gerät zur Messung der Ultraschalllaufzeit:* Die Ultraschalllaufzeit kann mit einem handelsüblichen Ultraschallmessgerät gemessen werden, das zur Bestimmung der Laufzeiten von Longitudinalwellen bei direkter Durchschallung von Beton gemäß DIN EN 12504-4 geeignet ist. Um den Messwert auf Plausibilität prüfen zu können, empfiehlt sich ein Gerät mit Anzeige des Signalbilds (Empfangsamplitude). Der Frequenzbereich der Prüfköpfe muss im Bereich von 50 und 150 kHz liegen. Die Prüfköpfe sollten einen Durchmesser von  $30 \pm 10$  mm besitzen.
- i) *Prüfbehälter für Ultraschalllaufzeitmessung:* Zur Messung der Laufzeit wird ein Behälter aus elektrisch nicht leitendem Material (z. B. Polymethylmethacrylat) verwendet. Die Ultraschallprüfköpfe müssen so angebracht werden, dass die Achse der Durchschallungsstrecke parallel in einem Abstand von 35 mm zur Prüffläche liegt (z. B. Aufnahme in einer Aussparung zweier gegenüberliegender Seitenflächen, Bild 9). Die Abmessungen müssen so dimensioniert sein, dass eine Kalibrierung nach Abschnitt 7.4.2 möglich ist.
- j) *Kalibrierprüfkörper:* Ein Kalibrierprüfkörper wird zur Kalibrierung des Ultraschall-Messaufbaus eingesetzt. Der Kalibrierprüfkörper hat die Abmessungen  $150 \times 110 \times 70$  mm ( $\pm 0,1$  mm) und ist mit einer definierten mitgelieferten Ultraschalllaufzeit sowie mit Messmarken versehen.
- k) *Probentrageblech:* Ein Trageblech (vorzugsweise 1 mm V2A-Stahl) mit Tragegriffen hilft der einfachen Handhabung der Probekörper während der Messung der Flüssigkeitsaufnahme und der inneren Schädigung. Die Größe des Trageblechs muss größer als die Prüffläche sein, so dass der Verlust von Abwitterungspartikeln verhindert wird. Die seitliche Aufkantung muss  $10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  betragen.
- l) *Trockenschrank:* Es wird ein Trockenschrank mit einer Temperatur von  $110 \pm 5$  °C benutzt.
- m) *Papierfilter:* Zur Aufnahme der Abwitterungen werden Papierfilter benutzt.
- n) *Waage:* Gewicht der Abwitterung; Genauigkeit von  $\pm 0,01$  g.
- o) *Waage:* Gewicht des Probekörpers; Genauigkeit von  $\pm 0,1$  g.
- p) *Schieblehre:* Mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1$  mm.
- q) *PTFE-Platten:* Für Standardschalungen  $150 \times 150 \times 150$  mm werden PTFE-Platten  $150 \times 150 \times 2$  mm (z. B. Teflon) verwendet.

## 5 Probekörper

### 5.1 Grundsätzliche Anforderungen

Eine Prüferserie besteht grundsätzlich aus mindestens 5 Probekörpern mit einer Gesamtprüffläche von mindestens  $0,08 \text{ m}^2$ . Die Anzahl von 5 Probekörpern ermöglicht eine statistische Auswertung und die Ermittlung von Ausreißern. Die Höhe der Probekörper beträgt  $70 \text{ mm} (\pm 2 \text{ mm})$ .

### 5.2 Herstellung der Standardprobekörper

#### 5.2.1 Probekörper zur Prüfung von Beton

##### 5.2.1.1 Abmessungen

Der Standardprobekörper hat die Dimensionen (Länge x Breite x Höhe)  $150 \times 150 \times 70$  mm ( $\pm 2$  mm). Der Probekörper darf in der Breite auf minimal 110 mm verkleinert werden.

### 5.2.1.2 Herstellung der Probekörper für die Eignungs- und Güteprüfung

#### **Betonherstellung**

Zur Prüfung von Betonmischungen für die Eignungs- und Güteprüfung werden die Probekörper in 150 mm Würfelformen gemäß DIN EN 12390-1 gefertigt. Beim Mischen des Betons sind die Anforderungen der DIN 1045-2, Abschnitt 9.8, einzuhalten. Die Herstellung und Verdichtung der Probekörper erfolgen gemäß DIN EN 12390-2, wobei für die Verdichtung ein Rütteltisch zu verwenden ist. Die Zeit bis zur vollständigen Verdichtung ist entsprechend der Konsistenz des Betons ausreichend lang zu wählen. Der Frostwiderstand von Beton hängt wesentlich von der Porenstruktur, insbesondere dem nicht kapillaraktiven Luftgehalt und der Dichtigkeit ab. Hieraus resultiert, dass unterschiedlich stark verdichtete Betone sich auch im Frostwiderstand unterscheiden können. Aus diesem Grund ist bei der Eignungs- und Güteprüfung eine vollständige Verdichtung des Betons für die Bewertung des Frostwiderstands besonders wichtig. Die Verdichtung muss so lange erfolgen, bis merklich keine weitere Luft aus dem Frischbeton entweicht. Der Beton darf sich nicht entmischen oder Wasser absondern.

Bei Verwendung von Zusatzmitteln sind die bei der Bauwerkserstellung zu erwartenden Zugabemengen zu verwenden. Die Frischbetonrohichte, der Luftgehalt im Frischbeton und die Konsistenz sind gemäß DIN EN 12350 zu prüfen und zu dokumentieren.

In der Würfelschalung ist an zwei gegenüberliegenden Seitenflächen jeweils eine vertikale PTFE-Scheibe fest anzuordnen. Die PTFE-Scheiben dürfen nicht mit Trennmitteln behandelt werden. Die Betonoberfläche an der PTFE-Scheibe ist die Prüffläche. Das Größtkorn der Gesteinskörnung des Betons darf nicht größer als ein Drittel der kleineren Durchschallungsstrecke (Länge und Breite gemäß 5.2.1.1) sein.

#### **Nachbehandlung**

Die Probekörper werden für  $24 \pm 2$  Stunden in der Schalung belassen, wobei die freie Oberseite vor Austrocknung geschützt wird. Danach werden die Probekörper ausgeschalt. Wenn die Festigkeitsentwicklung des Betons langsam ist, kann die Ausschallfrist auf  $48 \pm 2$  Stunden verlängert werden.

Nach dem Ausschalen werden die Probekörper in Leitungswasser bei  $(20 \pm 2)$  °C gelagert. Die Dauer der Wasserlagerung nach dem Ausschalen hängt vom Zeitpunkt des Beginns der Vorsättigung der Proben (kapillares Saugen) ab (siehe Abschnitt 6). Sofern nicht anders vereinbart, beginnt die Vorsättigung zum Zeitpunkt des Nachweises der Druckfestigkeitsklasse. Daraus ergeben sich folgende Fristen:

- Bei Betonen gemäß DIN EN 206-1/DIN 1045-2 beträgt die Dauer der Wasserlagerung grundsätzlich 6 Tage<sup>5</sup> (bis zum 7. Tag), die Vorsättigung beginnt am 28. Tag.
- Bei Betonen, bei denen der Nachweis der Druckfestigkeitsklasse nach 56 Tagen zulässig ist, kann die Dauer der Wasserlagerung 13 Tage<sup>5</sup> (bis zum 14. Tag) betragen, sofern auch die Vorsättigung erst am 56. Tag beginnt.

---

<sup>5</sup> Bei 48 Stunden Schalzeit entsprechend 1 Tag weniger Wasserlagerungsdauer.

## Gewinnung der Probekörper

Unmittelbar nach der Wasserlagerung werden die Proben auf die Standardhöhe gesägt. Nach dem Sägeschnitt erhält man je einen Standardprobekörper und eine Rückstellprobe (Bild 7). Falls eine Reduzierung der Breite des Probekörpers vereinbart wurde, kann entlang der abgezogenen Oberfläche eine Seite bis auf eine minimal zulässige Breite von 110 mm zugesägt werden (variabler Schnitt). Dieser Behandlung folgt die Trockenlagerung.

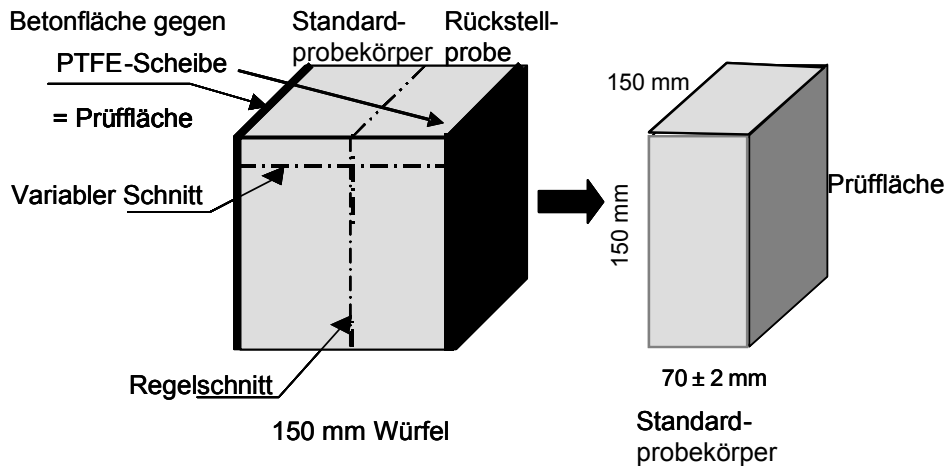


Bild 7: Zusägen des Probekörpers und der Rückstellprobe bei seitlicher PTFE-Scheiben-Anordnung

## 5.2.2 Probekörper zur Prüfung von Spritzmörtel/Spritzbeton

### 5.2.2.1 Abmessungen

Es dürfen sowohl Zylinder als auch Proben mit rechteckigem Querschnitt verwendet werden. Der Standardprobekörper hat einen Durchmesser bzw. eine Kantenlänge von 150 mm und eine Höhe von 70 mm ( $\pm 2$  mm).

### 5.2.2.2 Herstellung der Probekörper für die Eignungs- und Güteprüfung

#### Herstellung und Nachbehandlung von Grundplatten

Zur Prüfung von Spritzmörtel/Spritzbeton für die Eignungs- und Güteprüfung sind 5 gesonderte Platten gemäß DIN EN 14488-1 herzustellen. Die Oberfläche der Platten ist spritzrau zu belassen. Die Platten sind nach der Herstellung in einem geschlossenen Raum bei einer Lufttemperatur von 15 bis 22 °C für 24  $\pm$  2 Stunden in der Form zu belassen, die freie Oberfläche ist durch Abdecken mit feuchten Tüchern vor Feuchteverlust zu schützen. Anschließend sind die Platten zu entformen. Wenn die Festigkeitsentwicklung der Platten ein Entformen nach 24 Stunden nicht zulässt, kann die Lagerungsdauer in den Spritzformen auf 48  $\pm$  2 Stunden verlängert werden.

Nach dem Entformen sind die Platten in Leitungswasser bei (20  $\pm$  2) °C zu lagern. Sofern nicht anders vereinbart, beträgt die Dauer der Wasserlagerung nach dem Ausschalen grundsätzlich 6 Tage<sup>6</sup> (bis zum 7. Tag).

<sup>6</sup> Bei 48 Stunden Schalzeit entsprechend 1 Tag weniger Wasserlagerungsdauer.

## Gewinnung der Probekörper

Unmittelbar nach der Wasserlagerung ist aus jeder Platte im Nassschnittverfahren durch Sägeschnitte oder Bohrungen senkrecht zur spritzrau belassenen Oberfläche jeweils 1 Probekörper und eine Rückstellprobe herauszusägen oder herauszubohren. Von diesen Probekörpern ist durch Sägeschnitt parallel zur spritzrau belassenen Oberfläche gerade so viel abzutrennen, dass eine glatte, geschlossene Oberfläche entsteht. Die so entstandene Oberfläche ist die Prüffläche. Anschließend sind die Probekörper durch einen weiteren, zur Prüffläche parallelen Sägeschnitt auf eine Höhe von  $70 \pm 2$  mm abzulängen. Dieser Behandlung folgt die Trockenlagerung.

### 5.3 Abweichende Probekörper zum Standardprobekörper

Werden abweichend zu den Standardprobekörpern Betonproben (z. B. aus Bauteilen) geprüft, so muss dies gesondert im Prüfbericht aufgeführt werden.

Bei der Untersuchung von Bohrkernen aus fertiggestellten Bauteilen aus Spritzmörtel/Spritzbeton (z. B. im Rahmen der Güteüberwachung der Ausführung) hängt der Mindestdurchmesser vom Größtkorndurchmesser ab: Bis zu einem Größtkorndurchmesser von 16 mm beträgt der Mindestdurchmesser der Proben 100 mm, bei größerem Größtkorndurchmesser 150 mm.

Die Prüffläche eines Probekörpers muss so groß sein, dass ein eingeschriebener Kreis von 90 mm Durchmesser völlig von der Prüffläche überdeckt wird. Das Verhältnis Länge/Höhe darf 3 nicht überschreiten. Die Höhe von 70 mm ( $\pm 2$  mm) ist einzuhalten.

## 6 Ablauf der Prüfung

### 6.1 Allgemeines

Das Prüfverfahren beinhaltet drei Schritte: Die Trockenlagerung, die Vorsättigung durch kapillares Saugen und die Frost-Tau-Wechsel. Die Prüfung beginnt nach der Nachbehandlungsperiode unmittelbar nach Gewinnung der Probekörper. Maßgebend für den Frostbeginn ist der Beginn der Vorsättigung durch kapillares Saugen. Bei Betonen gemäß DIN EN 206-1/DIN 1045-2 beginnt die Vorsättigung grundsätzlich zum Zeitpunkt des Nachweises der Druckfestigkeitsklasse im Alter von 28 Tagen. Sofern der Nachweis der Druckfestigkeitsklasse im Alter von 56 Tagen erfolgt, kann auch die Vorsättigung im Alter von 56 Tagen beginnen.<sup>7</sup>

Bei Probekörpern, die gemäß Abschnitt 5.2.1 oder 5.2.2 hergestellt wurden, sind die in der nachfolgenden Tabelle festgelegten Zeiträume einzuhalten:

---

<sup>7</sup> Langsam erhärtende Betone weisen erst in einem höheren Alter eine vergleichbare Leistungsfähigkeit wie schnell erhärtende Betone auf. Dies gilt auch im Hinblick auf den Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand. Dem entsprechend kann für solche Betone, bei denen gemäß ZTV-W LB 215 oder ZTV-W LB 219 ein Nachweis der Druckfestigkeitsklasse im Alter von 56 Tagen erfolgt, die Feucht- bzw. Wasserlagerungsdauer auf 14 Tage und die Lagerungsdauer im Klimaraum auf 6 Wochen verlängert werden. Bei Zementen mit hohen Hüttensandanteilen (Verwendung gemäß DIN EN 206-1/DIN 1045-2 für Beton mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand eingeschränkt) wirkt sich der positive Einfluss der verlängerten Nachbehandlung ggf. weniger aus, da bei der verlängerten Klimaraumlagerung ein verstärkter Carbonatisierungsfortschritt mit nachteiligem Einfluss auf die Abwitterung nicht ausgeschlossen werden kann.



Tabelle 6.1: Lagerungsdauern vor Frostbeginn

Lagerung nach Herstellung	Nachbehandlung <sup>8</sup> (Schalung und Wasserlagerung) nach Abschnitt 5.2	Trockenlagerung im Klimaraum nach Abschnitt 6.2	Vorsättigung durch kapillares Saugen nach Abschnitt 6.3
Beginn der Vorsättigung durch kapillares Saugen	Lagerungsdauer		
28. Tag	7 d	21 ± 1 d	7 d
56. Tag	14 d	42 ± 1 d	7 d

## 6.2 Trockenlagerung

Die Probekörper werden in einem Klimaraum gemäß Abschnitt 4a) bei (20 °C / 65 % r. F.) zur Oberflächentrocknung gelagert. Die Lagerungsdauer beträgt nach Tabelle 6.1 bei einem Prüfalter des Betons von 28 Tagen 21 ± 1 Tage, bei einem Prüfalter des Betons von 56 Tagen 42 ± 1 Tage. Die Probekörper sind in einem Abstand von mindestens 50 mm auf eine Seitenfläche zu stellen, so dass die Prüfflächen freistehend sind. Die Gewichtsänderung ist zu messen.

Während der Klimaraumlagerung ist die Einhaltung der zulässigen Verdunstungsrate gemäß 4 a) regelmäßig zu überprüfen.

## 6.3 Vorsättigung

### 6.3.1 Probenvorbereitung und Abdichtung

Die Seitenflächen müssen abgedichtet werden. Die Proben müssen insbesondere an den Seitenflächen sauber und trocken sein. Vor und nach dem Abdichten müssen die Probekörper mit einer Genauigkeit von ± 0,1 g gewogen werden, um die Referenzmasse - ohne Abdichtung - zur Berechnung der Flüssigkeitsaufnahme zu bestimmen.

Vor Abdichtung der Seitenflächen müssen diese mit einem entsprechenden Primer behandelt werden. Eine der folgenden zwei Methoden muss zum Abdichten der seitlichen Oberflächen angewandt werden:

- a) Abdichtung durch Aluminiumfolie mit Butylklebung (Referenz): Die Aluminiumfolie mit Butylklebung wird frühestens 3 Tage bis unmittelbar vor dem Beginn der Vorsättigung auf die Seitenflächen mit einer Überlappung von 20 mm fest aufgerollt. Das Butylband muss so aufgebracht werden, dass ein dauerhafter Verbund gewährleistet ist.
- b) Abdichtung mit Epoxidharz (Alternativ): Ein lösungsmittelfreies Epoxidharz wird 2 bis 4 Tage vor Beginn der Vorsättigung auf die Seitenflächen aufgebracht, so dass ein ausreichendes Erhärten des Epoxidharzes gewährleistet ist.

<sup>8</sup> Eine gegenüber den Vorgaben der Tabelle 6.1 verlängerte Feucht- bzw. Wasserlagerung (ggf. bis zum Beginn der Prüfung) kann sich infolge eines zum Frostbeginn erhöhten Wassersättigungsgrades der Poren ungünstig auf den Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand auswirken.

### 6.3.2 Vorsättigung mit Prüfflüssigkeit durch kapillares Saugen

Nach der Trockenlagerung werden die Probekörper mit der Prüffläche nach unten auf die 5 mm hohen Abstandhalter in die Prüfbehälter gelegt. Anschließend wird die Prüfflüssigkeit bis auf eine Höhe von  $10 \pm 1$  mm in den Behälter eingefüllt, ohne dass die Proben von oben feucht werden. Als Prüfflüssigkeit wird verwendet:

- für die Prüfung des Frostwiderstands (CIF): demineralisiertes Wasser
- für die Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands (CDF): 3 %-ige NaCl-Lösung.

Während des kapillaren Saugens muss der Prüfbehälter mit einem Deckel verschlossen werden. Während des kapillaren Saugens darf kein Kondensat vom Deckel auf den Probekörper tropfen.

Das kapillare Saugen dauert 7 Tage bei einer Temperatur von  $(20 \pm 2)$  °C. Während des kapillaren Saugens muss, abhängig vom Saugvermögen des Materials, der Flüssigkeitsstand kontrolliert und in regelmäßigen Abständen reguliert werden. Die Gewichtszunahme der Probekörper wird regelmäßig alle 2-3 Tage gemessen.

## 6.4 Frost-Tau Belastung

Die Frost-Tau-Wechsel-Prüfung ist eine zyklische Belastung. Dabei werden die Probekörper in einer temperaturkontrollierten Prüfruhe einem Temperaturzyklus nach Abschnitt 4 (Bild 4) unterworfen. Für die Prüfung des Frost- und des Frost-Tausalz-Widerstands sind in der Regel 28 Frost-Tau-Wechsel erforderlich.

Vor Beginn der Frost-Tau-Wechsel werden lose anhaftende Teilchen und Schmutz von der Prüffläche der Probekörper mittels Behandlung in einem Ultraschallbad, wie in Abschnitt 7.2 beschrieben, entfernt. Das entfernte Material wird verworfen.

Wenn während der Frost-Tau-Wechselprüfung eine Unterbrechung der zyklischen Belastung auftritt (Anlagenausfall, etc.) müssen die Probekörper in der Prüflösung verbleiben und vor einem Austrocknen geschützt werden. Eine Unterbrechung kann sich insbesondere bei längerer Dauer auf das Prüfergebnis auswirken und muss im Prüfbericht benannt und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

## 7 Messungen

### 7.1 Abfolge der Messungen aus Abwitterung, Flüssigkeitsaufnahme und Ultraschalllaufzeit

Messungen werden zu Beginn der Frostprüfung (0 Frost-Tau-Wechsel) und nach jedem 4. bis maximal jedem 6. Frost-Tau-Wechsel, sowie nach dem vereinbarten Kriterium 24 Frost-Tau-Wechsel (Güteprüfung) oder 28 Frost-Tau-Wechsel (Eignungsprüfung) durchgeführt.

Die Messgrößen müssen bei Temperaturen über 15 °C gemessen werden (schattierte Fläche in Bild 4).

Folgende Messabfolge ist einzuhalten:

1. Oberflächenabwitterung
2. Flüssigkeitsaufnahme
3. Messung der Ultraschalllaufzeit (Innere Schädigung)

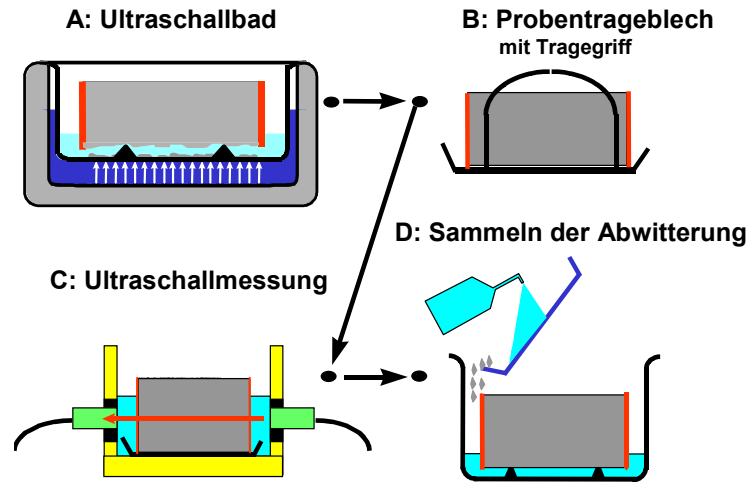


Bild 8: Messabfolge mit Ultraschalllaufzeitmessung

Nach der Abwitterungsbestimmung ist der Probekörper auf dem Probentrageblech nach Abschnitt 4k) anzuordnen, um zusätzlich abwitterndes Material während der weiteren Messabfolge zu sammeln. Die auf dem Trageblech gesammelte Abwitterung wird in den Prüfbehälter zurückgegeben und bei der nächsten Messung der Abwitterung berücksichtigt. Wenn die Messabfolge unterbrochen wird, muss der Probekörper in den Prüfbehälter mit der Prüfflüssigkeit zurückgelegt werden, um ein Austrocknen zu verhindern.

## 7.2 Bestimmung der Oberflächenabwitterung

### 7.2.1 Messdurchführung

Um lose anhaftendes, abgewittertes Material zu jedem Messzeitpunkt von der Prüffläche abzulösen, wird der Prüfbehälter in die Übertragungsflüssigkeit eines Ultraschallbads getaucht und für drei Minuten der Ultraschall-Reinigung ausgesetzt (Bild 6).

Die Prüfflüssigkeit, welche die Abwitterung enthält, wird abgefiltert. Der Papierfilter wird danach bei  $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$  für 24 Stunden getrocknet und mind. 1 h bei  $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  und  $(60 \pm 10) \text{ } \% \text{ r. F.}$  abgekühlt. Die Masse des Filters, mit den getrockneten Abwitterungen  $\mu_b$ , wird mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,01 \text{ g}$  gemessen.

Vor der Verwendung ist der leere Papierfilter ebenfalls gemäß vorgenannter Beschreibung zu trocknen, und die Masse des leeren Filters  $\mu_f$  mit der gleichen Genauigkeit zu bestimmen.

Die Masse des abgewitterten Materials  $\mu_s$  ist dann:  $\mu_s = \mu_b - \mu_f$ .

## 7.2.2 Auswertung der Abwitterung

Zu jedem Messzeitpunkt und für jeden Probekörper ist die Gesamtmenge des abgewitterten Materials  $m_n$  bezogen auf die Prüffläche nach dem n-ten Wechsel zu berechnen:

$$m_n = \frac{\sum \mu_s}{A} \quad (1)$$

$m_n$  ist die Gesamtmenge des abgewitterten Materials bezogen auf die Prüffläche zum jeweiligen Prüftermin in  $\text{g}/\text{m}^2$

$\mu_s$  ist die Masse des abgewitterten Materials zum jeweiligen Prüftermin mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,01$  g. Die Summe wird über alle Messungen bis zum n-ten Wechsel gebildet.

A ist die Größe der Prüffläche in  $\text{m}^2$ . Sie wird auf der Basis der linearen Abmessungen berechnet. Diese werden durch den Mittelwert von mindestens zwei Messungen gerundet auf die nächsten 0,1 mm bestimmt.

Der Mittelwert und die Standardabweichung müssen bestimmt werden. Das Ergebnis muss auf Ausreißer überprüft werden.

## 7.3 Messung der Flüssigkeitsaufnahme

### 7.3.1 Messdurchführung

Nachdem das abgewitterte Material von der Probefläche entfernt worden ist, werden die Probekörper vertikal auf eine saugende Fläche (Labortuch) gelegt, um Wasser von der Testfläche ablaufen zu lassen. Die Seitenflächen und die obere Seite der Probekörper müssen vorsichtig mit einem Labortuch abgetrocknet werden. Um den Verlust von abgewittertem Material zu vermeiden, wird die Waage mit dem aufgelegten Probenaugeblech (Abschnitt 7.1) tariert und danach das Gewicht des Probekörpers auf dem Trageblech mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1$  g gemessen.

### 7.3.2 Auswertung der Flüssigkeitsaufnahme

Die Flüssigkeitsaufnahme eines jeden Probekörpers  $\Delta w_n$  nach dem n-ten Zyklus wird berechnet durch:

$$\Delta w_n = \frac{w_n - w_1 + \sum \mu_s}{w_0} * 100 \quad (2)$$

$\Delta w_n$  ist die Flüssigkeitsaufnahme eines jeden Probekörpers zum jeweiligen Prüftermin in M-%

$\mu_s$  ist die Masse des abgewitterten Materials in g zum jeweiligen Prüftermin, gemessen mit einer Genauigkeit von 0,01 g. Die Summe wird über alle Messungen bis zum n-ten Zyklus gebildet.

$w_0$  ist die Referenzmasse eines jeden Probekörpers ohne die Masse der Versiegelung nach der Trockenlagerung in g.

$w_1$  ist die Masse eines jeden Probekörpers einschließlich der Versiegelungsmasse bevor die Vorsättigung beginnt in g.

$w_n$  ist die Masse eines jeden Probekörpers zum jeweiligen Prüftermin in g.

Der Mittelwert und die Standardabweichung der Massenzunahme müssen ermittelt werden. Die Ergebnisse müssen auf Ausreißer überprüft werden.

## 7.4 Messung der Ultraschalllaufzeit (innere Schädigung)

### 7.4.1 Messaufbau

Zur Messung der Ultraschalllaufzeit wird ein Behälter nach Abschnitt 4 i) verwendet. Das Ankoppelungsmedium ist die verwendete Prüfflüssigkeit. Die Temperatur des Ankoppelungsmediums und des Probekörpers muss bei  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  liegen.

Die Ultraschalllaufzeit wird mit einem Ultraschallmessgerät nach Abschnitt 4 h) gemessen. Die Ultraschallprüfköpfe werden so angeordnet, dass die Achse der Durchschallungstrecke in einem Abstand von 35 mm parallel zur Prüffläche liegt. Der Behälter wird mit der Prüfflüssigkeit bis 10 mm oberhalb der Ultraschallprüfköpfe, jedoch nicht oberhalb der Oberkante des Probekörpers, befüllt. Die Oberseite der Probekörper muss trocken gehalten werden!

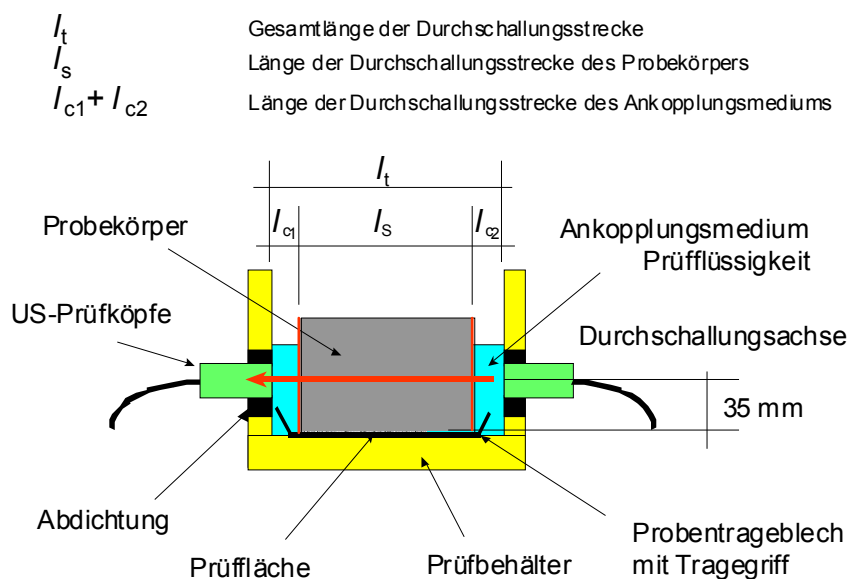


Bild 9: Messaufbau zur Bestimmung der Ultraschalllaufzeit

### 7.4.2 Kalibrierung

Vor Beginn eines Messzyklus muss der Messaufbau wie folgt überprüft werden:

#### Referenzmessung mit Hilfe des Kalibrierprüfkörpers

Das Ultraschallmessgerät wird überprüft, indem die Messköpfe mit einem geeigneten Ankoppelungsmedium (z. B. Fett) auf die Messmarken direkt an den Kalibrierprüfkörper angekoppelt werden. Die so gemessene Ultraschalllaufzeit muss mit der Angabe auf dem Kalibrierprüfkörper übereinstimmen. Bei Abweichungen ist eine Kalibrierung der Ultraschalllaufzeit (Einstellung entsprechend der Angabe auf dem Kalibrierprüfkörper) vorzunehmen.

#### Überprüfung der Vorlaufzeit

Der Kalibrierprüfkörper wird nach Bild 9 in dem Behälter angeordnet. Anschließend werden die Prüfköpfe so verschoben, dass die Wasservorlaufstrecke beidseitig jeweils 5 mm ( $\pm 1$  mm) beträgt (Festlegung

definierter Prüfkopfabstand  $l_t$ ). Die Vorlaufzeit ergibt sich aus der Differenz der bei dieser Anordnung gemessenen Laufzeit und der am Kalibrierkörper ermittelten Laufzeit.

Alternativ kann ein definierter Prüfkopfabstand  $l_t$  festgelegt werden, indem die Prüfköpfe so verschoben werden, dass die aktuell gemessene Laufzeit der Laufzeit des Kalibrierprüfkörpers + 10  $\mu\text{s}$  ( $\pm 0,1 \mu\text{s}$ ) entspricht.

### 7.4.3 Messdurchführung

Wie in Bild 9 gezeigt, wird der Probekörper auf dem Probentrageblech in den Prüfbehälter zur Ultraschalllaufzeitmessung positioniert. Die bei der ersten Messung auf dem Probekörper markierten Durchschallungsachsen müssen bei allen weiteren Untersuchungen eingehalten werden. An jedem Probekörper wird in zwei senkrecht zueinander stehenden Durchschallungsachsen die Laufzeit gemessen.

Bei rechteckigen Probekörpern müssen die Ankoppelungsstellen mittig zwischen den beiden Probekörperkanten liegen. Vor Beginn des kapillaren Saugens wird die zu durchschallende Probenlänge ohne die seitliche Abdichtung mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1 \text{ mm}$  gemessen. Das seitliche Abdichtungsmaterial der Probekörper wird bei dieser Länge nicht berücksichtigt. Nach der Vorlagerung und jeweils nach einer definierten Anzahl an Frost-Tau-Wechseln wird die kürzeste Ultraschalllaufzeit mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1 \mu\text{s}$  bestimmt. Bei der Messung ist der Probekörper geringfügig zu verschieben, wobei die kürzeste Laufzeit aufgezeichnet wird. Es ist darauf zu achten, dass an den Prüfköpfen und an den Seiten der Probekörper keine Luftblasen anhaften, sowie die seitliche Abdichtung fest am Probekörper anliegt. Während der Durchführung der Messabfolge muss ein Luftkontakt der Prüffläche so kurz wie möglich sein, ein Befeuchten der Oberseite der Probekörper ist zu vermeiden.

### 7.4.4 Auswertung der inneren Schädigung

Die Ultraschalllaufzeit im Ankopplungsmedium  $t_c$  wird aus der Laufstrecke im Ankopplungsmedium  $l_c$  und der Geschwindigkeit des Ultraschallsignals im Ankopplungsmedium  $v_c$  berechnet. Die Laufstrecke im Ankopplungsmedium  $l_c$  wird aus der Differenz des Prüfkopfabstandes und der Probekörperabmessung  $l_s$  für jede Durchschallungsachse mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1 \text{ mm}$  bestimmt (Bild 9).

$$t_c = \frac{l_c}{v_c} \quad (3)$$

$t_c$  ist die Durchschallungszeit im Ankopplungsmedium in  $\mu\text{s}$ .

$l_c$  ist die Durchschallungsstrecke aus  $l_{c1} + l_{c2}$  im Ankopplungsmedium in mm.

$v_c$  ist die Geschwindigkeit des Ultraschallsignals im Ankopplungsmedium. Sie kann bei  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  zu 1490 m/s angenommen werden.

Die Änderung der Durchschallungsgeschwindigkeit  $\tau_n$  nach  $n$  Frost-Tau-Wechseln wird für jeden Probekörper und jede Durchschallungsachse getrennt berechnet mit<sup>9</sup> :

$$\tau_n = \frac{t_{cs} - t_c}{t_n - t_c} \quad (4)$$

<sup>9</sup> Die Längenänderung kann dabei vernachlässigt werden.

$\tau_n$  ist die relative Durchschallungsgeschwindigkeit

$t_{cs}$  ist die Gesamt-Durchschallungszeit nach kapillarem Saugen (cs) in  $\mu s$ , vor dem ersten Frost-Tau-Wechsel

$t_n$  ist die Gesamt-Durchschallungszeit nach n Frost-Tau-Wechseln in  $\mu s$

Anstelle der Durchschallungsgeschwindigkeit ist es zweckdienlich, die innere Schädigung durch den relativen dynamischen E-Modul  $R_{u,n}$  aus der Ultraschalllaufzeit zu beschreiben. Bei der vorliegenden Prüfmethode wird der relative dynamische E-Modul nach n Frost-Tau-Wechseln mit folgender Beziehung berechnet:<sup>10</sup>

$$R_{u,n} = \tau_n^2 \quad (5)$$

Der Mittelwert aus den Werten beider Durchschallungsachsen gibt den relativen dynamischen E-Modul des Probekörpers an. Es besteht die Option, den relativen dynamischen E-Modul in Prozent auszudrücken.

Der Mittelwert und die Standardabweichung des relativen dynamischen E-Moduls einer Prüfserie müssen bestimmt werden. Das Ergebnis muss auf Ausreißer überprüft werden.

## 8 Bewertung Frostwiderstand nach dem CIF-Test

### 8.1 Maßgebendes Abnahmekriterium innere Schädigung

Der Beton gilt als geschädigt, wenn ein relativer dynamischer E-Modul  $R_{u,n} = 0,75$  bzw. 75 % unterschritten wird<sup>11</sup>. Das maßgebende Kriterium zur Beurteilung der inneren Schädigung ist die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bis zum Erreichen dieses Schädigungskriteriums.

Die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel (Zyklusanzahl) kann durch lineare Interpolation zwischen zwei benachbarten Messpunkten ermittelt werden, wobei die Differenz der Frost-Tau-Wechsel-Anzahl der beiden Messpunkte kleiner gleich 6 sein muss.

Als Abnahmekriterium ist eine Zyklusanzahl zu vereinbaren, bis zu der das Schädigungskriterium nicht unterschritten werden darf. Wenn keine andere schriftliche Vereinbarung getroffen wurde, gelten folgende Abnahmekriterien:

Tabelle 8.1: Abnahmekriterien innere Schädigung CIF-Test

	Eignungsprüfung	Güte- und Bauwerksprüfung
Mittelwert der Prüfserie	$\geq 28$ Frost-Tau-Wechsel	$\geq 24$ Frost-Tau-Wechsel

<sup>10</sup> Für diese Gleichung werden Dichte, Größe und Poissonzahl vernachlässigt. Dies stellt keine gravierende Einschränkung dar, da das Ziel der Prüfung die Erkennung einer Schädigung ist und die Ultraschalllaufzeit die relevante Größe ist. Der dynamische E-Modul ist lediglich eine im Ingenieurwesen allgemein verständlichere Größe.

<sup>11</sup> Ein relativer dynamischer E-Modul von 75 % gewährleistet, entsprechend den Präzisionsdaten, eine ausreichende Trennschärfe zum ungeschädigten Beton-E-Modul (100 %). Siehe auch Präzisionsdaten Abschnitt 12.2.1.

## 8.2 Zusätzliches Abnahmekriterium Abwitterung

Wenn keine andere schriftliche Vereinbarung getroffen wurde, gelten folgende Abnahmekriterien:

Tabelle 8.2: Abnahmekriterien Abwitterung CIF-Test

	Eignungs-, Güte- und Bauwerksprüfung
Mittelwert der Prüfserie	$\leq 1000 \text{ g/m}^2$ nach 28 Frost-Tau-Wechseln
95%-Quantile der Prüfserie	$\leq 1750 \text{ g/m}^2$ nach 28 Frost-Tau-Wechseln

## 9 Bewertung Frost-Tausalz-Widerstand nach dem CDF-Test

### 9.1 Maßgebendes Abnahmekriterium Abwitterung

Wenn keine andere schriftliche Vereinbarung getroffen wurde, gelten folgende Abnahmekriterien:

Tabelle 9.1: Abnahmekriterien Abwitterung CDF-Test

	Eignungs-, Güte- und Bauwerksprüfung
Mittelwert der Prüfserie	$\leq 1500 \text{ g/m}^2$ nach 28 Frost-Tau-Wechseln
95 %-Quantile der Prüfserie	$\leq 1800 \text{ g/m}^2$ nach 28 Frost-Tau-Wechseln

### 9.2 Zusätzliches Abnahmekriterium innere Schädigung

Der Beton gilt als geschädigt, wenn ein relativer dynamischer E-Modul  $R_{u,n} = 0,75$  bzw. 75 % unterschritten wird. Als Abnahmekriterium ist eine Zyklenanzahl zu vereinbaren, bis zu der das Schädigungskriterium nicht unterschritten werden darf. Wenn keine andere schriftliche Vereinbarung getroffen wurde, gelten folgende Abnahmekriterien:

Tabelle 9.2: Abnahmekriterien innere Schädigung CDF-Test

	Eignungsprüfung	Güte- und Bauwerksprüfung
Mittelwert der Prüfserie	$\geq 28$ Frost-Tau-Wechsel	$\geq 24$ Frost-Tau-Wechsel



## 10 Bericht

Der Prüfbericht muss mindestens folgende Angaben enthalten:

4. Einen Verweis auf diese Prüfvorschrift.
5. Bezeichnung, Herkunft, Abmessungen und Gewicht der Probekörper bei Probeneingang/nach Herstellung und nach Abschluss der Trocknung.
6. Auftraggeber und verantwortliche Stelle der Probekörperherstellung.
7. Hinweis auf Art der Prüfung, z. B. Eignungs- oder Güteprüfung.
8. Angaben zur Betonzusammensetzung und Ausgangsstoffe mit Produktbezeichnung.
9. Frischbetonkennwerte: Rohdichte, Verdichtungszeit und -maß, Luftgehalt.
10. Die Dauer der Wasser- und Trockenlagerung.
11. Die Zusammensetzung der Prüflüssigkeit.
12. Die Angabe der durchgeführten Anzahl von Frost-Tau-Wechseln.
13. Die Änderung des relativen dynamischen E-Moduls aus der Ultraschalllaufzeit für jeden Probekörper, sowie den Mittelwert und die Standardabweichung in %, gerundet auf die nächsten 1 % in Abhängigkeit der durchgeführten Anzahl von Frost-Tau-Wechseln der Zwischenmessungen und der Endmessung.
14. Die Masse des abgewitterten Materials für jeden Probekörper sowie den Mittelwert und die Standardabweichung in  $\text{g/m}^2$  gerundet auf die nächsten 1  $\text{g/m}^2$  in Abhängigkeit der durchgeführten Anzahl von Frost-Tau-Wechseln der Zwischenmessungen und der Endmessung.
15. Die Masse der aufgesaugten Lösung während des kapillaren Saugens und während der Frost-Tau-Prüfung (Frostsaugen) für jeden Probekörper sowie den Mittelwert und die Standardabweichung in M-% und auf 0,01 M-% gerundet in Abhängigkeit der durchgeführten Anzahl von Frost-Tau-Wechseln der Zwischenmessungen und der Endmessung.
16. Augenscheinliche Beurteilung (Risse, Abwitterung von Gesteinskörnungspartikeln) vor Beginn und wenigstens nach Beendigung der Prüfung. In den Prüfbericht ist exemplarisch zumindest für einen repräsentativen Probekörper ein Foto der Prüffläche vor und nach Beendigung der Prüfung aufzunehmen.
17. Jegliche Abweichung von dem hier beschriebenen Verfahren.
18. Beurteilung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstands gemäß den Abnahmekriterien.

## 11 Anforderungen an das Labor und Rückstellproben

Das Prüflabor, in welchem Eignungs- und Güteprüfung durchgeführt werden, muss über eine ausreichende Erfahrung im Umgang mit der Prüfmethode verfügen. In dem Prüflabor müssen mindestens folgende Unterlagen archiviert werden:

1. Prüfprotokoll und Prüfbericht
2. Temperaturkurven zum Ist-Temperaturverlauf während des Prüfzeitraums

Zudem sind die Rückstellproben nach Vereinbarung zu lagern bzw. an den Auftraggeber zu übergeben.

## 12 Präzisionsdaten

### 12.1 Allgemein

Man unterscheidet zwei Kenngrößen der Präzision: Wiederholpräzision und Vergleichspräzision. Die Präzision des CIF- und CDF-Tests wurden in Anlehnung an die ISO 5725 für Betone bestimmt, die dem Abschnitt 5.2.1 entsprechen.

### 12.2 Präzision des CIF- Tests für Betonmischungen

#### 12.2.1 Messung der inneren Schädigung - Ultraschalllaufzeit

Die Präzisionsdaten für den relativen dynamischen E-Modul (RDM) sind in Tabelle 12.1 dargestellt. Diese Daten gelten für Laborbeton, der nach Abschnitt 7.4 geprüft wird, wobei  $s_r$  und  $s_R$  die Standardabweichung der Wiederholpräzision und der Vergleichspräzision sind und aus dem funktionalen Zusammenhang zum relativen dynamischen E-Modul  $R_{u,n}$  aus den Gleichungen der Zeile 5 berechnet werden können.

Tabelle 12.1: Präzisionsdaten für die Messung der inneren Schädigung  
- Ultraschalllaufzeit im CIF-Test

rel. dyn. E-Modul (RDM)	Wiederholpräzision $s_r$	Vergleichspräzision $s_R$
	Standardabweichung	
bei RDM = 100 %	0,7 %	0,9 %
bei RDM = 75 %	5,9 %	7,6 %
Gleichung *	$s_r = -0,2046 R_{u,n} + 0,2122$	$s_R = -0,2656 R_{u,n} + 0,2750$

\* Nachgewiesener Anwendungsbereich  $R_{u,n} = 0,70$  bis  $1,0$  mit  $R^2 = 0,85$  für  $s_r$  und  $R^2 = 0,73$  für  $s_R$ . Diese Daten gelten für Laborbeton, der nach Abschnitt 5.2.1 hergestellt wird.

**ANMERKUNG:** Die Präzisionsdaten und die Gleichungen der Tabelle 12.1 basieren auf den Ergebnissen des RILEM Round Robin Tests des TC IDC, durchgeführt mit 9 Instituten und drei unterschiedlichen Betonserie.

### 12.2.2 Flüssigkeitsaufnahme

Die Präzisionsdaten für die Flüssigkeitsaufnahme sind in Tabelle 12.2 dargestellt. Diese Daten gelten für Laborbeton, der nach Abschnitt 7.3 geprüft wird, wobei  $s_r$  und  $s_R$  die Standardabweichung der Wiederholpräzision und der Vergleichspräzision sind und aus dem funktionalen Zusammenhang der Flüssigkeitsaufnahme  $\Delta w_n$  während der Frostprüfung aus den Gleichungen der Zeile 6 berechnet werden können.

Tabelle 12.2: Präzisionsdaten für die Messung der Flüssigkeitsaufnahme

Flüssigkeitsaufnahme	Wiederholpräzision $s_r$	Vergleichspräzision $s_R$
	Standardabweichung	
bis 0,5 M-%	0,014 M-%	0,029 M-%
0,5 bis 1,5 M-%	0,027 M-%	0,058 M-%
> 1,5 M-%	0,054 M-%	0,115 M-%
Gleichung*	$s_r = 0,0265 \Delta w_n + 0,0005$	$s_R = 0,0569 \Delta w_n + 0,0008$
* Für den nachgewiesenen Anwendungsbereich $\Delta w_n$ 0 bis 2,5 mit $R^2 = 0,30$ für $s_r$ und $R^2 = 0,30$ für $s_R$ . Diese Daten gelten für Laborbeton, der nach Abschnitt 5.2.1 hergestellt wird.		

ANMERKUNG: Die Präzisionsdaten und die Gleichungen der Tabelle 12.2 basieren auf den Ergebnissen des RILEM Round Robin Tests des TC IDC, durchgeführt mit 7 Instituten und drei unterschiedlichen Betonserien.

### 12.2.3 Abwitterung

Die Präzisionsdaten für die Abwitterung sind in Tabelle 12.3 dargestellt. Die Präzisionsdaten gelten für Laborbeton, der nach Abschnitt 7.2 geprüft wird. Die Präzisionsdaten der Oberflächenabwitterung aus Ringversuchen mit reinem Frostangriff sind momentan lediglich in dem Bereich von 0 bis 500 g/m<sup>2</sup> verfügbar.

Tabelle 12.3: Präzisionsdaten für die Messung der Abwitterung im CIF-Test

Abwitterung	Wiederholpräzision $s_r$	Vergleichspräzision $s_R$
	Standardabweichung	
0 bis 500 g/m <sup>2</sup>	120 g/m <sup>2</sup> ( $v = 24 \%$ )	160 g/m <sup>2</sup> ( $v = 32 \%$ )

ANMERKUNG: Die Präzisionsdaten und die Gleichungen basieren auf den Ergebnissen des RILEM Round Robin Tests des TC IDC, durchgeführt mit 9 Instituten und drei unterschiedlichen Betonserien.

## 12.3 Präzision des CDF-Tests für Betonmischungen

### 12.3.1 Abwitterung

Die Präzisionsdaten für die Abwitterung sind in Tabelle 12.4 dargestellt. Die Präzisionsdaten gelten für Laborbeton, der nach Abschnitt 7.2 geprüft wird. Die Präzisionsdaten können, bezogen auf das Abnahmekriterium  $m_0 = 1.500 \text{ g/m}^2$ , mit der Gleichung 6 und den Parametern aus Tabelle 12.5 berechnet werden.

Tabelle 12.4: Präzisionsdaten für die Messung der Abwitterung im CDF-Test

Abwitterung	Wiederholpräzision $s_r$	Vergleichspräzision $s_R$
	Standardabweichung	
1.500 g/m <sup>2</sup>	156 g/m <sup>2</sup> ( $v = 10,4 \%$ )	262 g/m <sup>2</sup> ( $v = 17,5 \%$ )

Der Variationskoeffizient  $v$  hängt ab von der mittleren Abwitterung  $m$  bezogen auf das Abnahmekriterium  $m_0 = 1.500 \text{ g/m}^2$ .

$$v = v_0 \cdot \left( \frac{m}{m_0} \right)^d \tag{6}$$

- $v$  Variationskoeffizient
- $m$  mittlere Abwitterung
- $m_0$  Abnahmekriterium (Widerstandsgrenze)

Die Parameter  $v_0$  und  $d$  für die Wiederholpräzision und die Vergleichspräzision als Exponentialfunktion der mittleren Abwitterung  $m$  sind in Tabelle 12.5 dargestellt.

Tabelle 12.5: Parameter  $v_0$  und  $d$  für die Abwitterung im CDF-Test gemäß /1/

	Wiederholpräzision	Vergleichspräzision
$d$	-0,33	-0,29
$v_0$	10,4 % ( $v_r$ )	17,5 % ( $v_R$ )