

Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 65 (1997)
Heft: 1

Artikel: Wasserdichter Beton
Autor: Badawy, M. / Hermann, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-153822>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

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

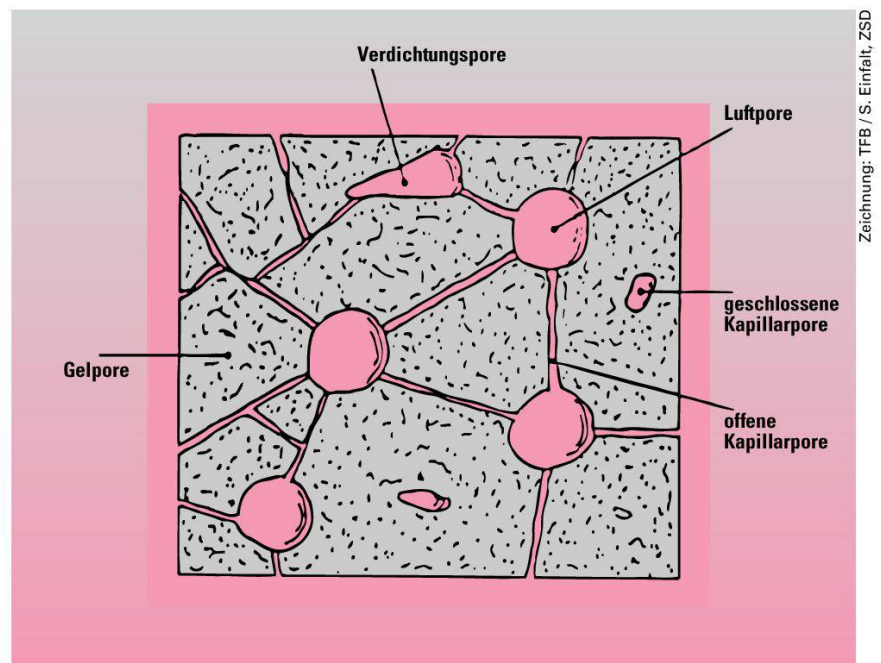
Wasserdichter Beton

Auch sogenannter «wasserdichter Beton» ist nicht absolut wasserdicht. Trotzdem erfüllt er bei sorgfältiger Herstellung und Verarbeitung die an ihn gestellten Anforderungen.

Beton übernimmt bei verschiedenen Bauwerken neben den üblichen statischen Funktionen auch die Aufgabe, als Dichtungselement gegenüber Flüssigkeiten zu wirken. Beispiele hierfür sind Gründungswannen, Behälter und Rohre. Die Dichtigkeit des Betongefüges ist zudem beim Schutz der Bewehrung vor Korrosion sowie bezüglich der Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Angriffen von vordringlicher Bedeutung.

Beton ist porös

Der Porengehalt des üblicherweise verwendeten natürlichen Kiessandmaterials ist in der Regel gering; er ist bei Betrachtungen über die Wasserdichtigkeit von Beton ohne grosse Bedeutung. Entscheidend ist meist der Zementstein. Dieser setzt sich aus hydratisiertem und nicht hydratisiertem Zement sowie wasser- oder luftgefüllten Poren zusammen. Je nach Art und Grösse wird zwischen folgenden Porenarten unterschieden: Gelporen, Kapillarporen,



Zeichnung: TFB / S. Einfalt, ZSD

Abb. 1 Porenarten im Zementstein.

Verdichtungs- und künstlichen Luftporen (siehe *Abbildung 1* und *Tabelle 1*).

Gel- und Kapillarporen

Gel- und Kapillarporen werden auch als Hydrationsporen bezeichnet,

denn sie entstehen bei der Hydratation des Zements.

Gelporen

Die Hydrationsprodukte des Zements bilden das sogenannte Zementgel. Dieses ist mit einem feinen,

Tab. 1 Porenarten im Zementstein und ihre Grössenbereiche [1, 4].

Bezeichnung	Gelporen	Kapillarporen	Verdichtungs- Luftporen	künstliche Luftporen
Durchmesser	10^{-6} – 10^{-5} mm	10^{-5} – 10^{-3} mm	10^{-2} – 10^0 mm	
Entstehung	bei Hydratation des Zements	aus Überschuss an Anmachwasser	durch Verarbeitung des Betons	durch Zusatzmittel (LP)

starren Schwamm vergleichbar, der eine Vielzahl Poren unterschiedlicher Grösse enthält (siehe *Abbildung 2*). Diese Poren entstehen, weil die Hydratationsprodukte des Zements einen kleineren Raum einnehmen als der Zement und das später chemisch gebundene Wasser.

Gelporen sind mit physikalisch gebundenem Wasser gefüllt, das unter den üblichen Austrocknungsbedingungen nicht verdunstet. Bei normalen Verhältnissen sind Gelporen deshalb für Gase und Flüssigkeiten praktisch undurchlässig. Durch Erwärmen des Betons auf 105 °C kann das Gelwasser ausgetrieben werden. Das maximale Gelporenvolumen, das bei vollständiger Zementhydratation auftritt, beträgt rund 28 % des Gelvolumens. Es lässt sich nach folgender Formel berechnen [2]:

$$V_G = 0,198 \alpha Z \quad [l/m^3]$$

Z = Zementdosierung in kg/m^3 Beton
 α = Hydratationsgrad des Zements; $0 \leq \alpha \leq 1$

Bei einem Beton mit einer Zementdosierung Z von 300 kg/m^3 und vollständiger Hydratation des Zements ($\alpha = 1$) beträgt das Gelporenvolumen V_G demnach $59,4 \text{ l/m}^3$ oder 5,9 % des Zementsteinvolumens.



Abb. 2 Das Zementgel besteht aus verfilzten stengeligen und größeren Hydratationsprodukten.

Kapillarporen

Für die vollständige Hydratation des Zements ist ungefähr ein W/Z -Wert von 0,40 erforderlich. Aus den Hohlräumen, die mit dem überschüssigen Wasser gefüllt sind, entstehen die Kapillarporen. Der Kapillarporenanteil ist beim Anmachen des Betons am grössten und nimmt mit zunehmender Zementhydratation ab, denn der Porenraum wird durch die entstehenden Gelmassen kleiner.

Kapillarporen sind teilweise isoliert, teilweise miteinander verbunden. Da sie im Mittel rund 100mal grösser als Gelporen sind, ist in den zusammenhängenden Kapillarporen ein verhältnismässig schneller Gas- und Wassertransport möglich. Das Kapillarporenvolumen V_K berechnet sich nach folgender Formel [2]:

$$V_K = W - 0,386 \alpha Z \quad [l/m^3]$$

W = Wassergehalt in Frischbeton
in l/m^3 Beton
 Z = Zementdosierung in kg/m^3 Beton
 α = Hydratationsgrad des Zements; $0 \leq \alpha \leq 1$

Das Kapillarporenvolumen ist also direkt vom W/Z -Wert abhängig. Für einen Beton mit einer Zementdosierung Z von 300 kg/m^3 resultiert bei vollständiger Hydratation ($\alpha = 1$) und einem W/Z -Wert von 0,5 ein Kapillarporenvolumen V_K von 3,4 %. Bei $WZ = 0,6$ beträgt V_K 6,4 %, und bei $W/Z = 0,7$ ist V_K 9,4 %.

Luftporen

Luftporen beeinflussen im normalen Anwendungsbereich die Wasserdichtigkeit von Betonen nur wenig. Sie sind vor allem im Zusammenhang mit der Frost- und der Frosttausalzbeständigkeit von Bedeutung und werden deshalb hier nur kurz behandelt.

Aufgrund ihrer Entstehung wird zwischen Verdichtungsporen und künstlichen Luftporen unterschieden. In gut verdichtetem Beton sind die Luftporen räumlich getrennt und nur durch Kapillar- und Gelporen miteinander verbunden.

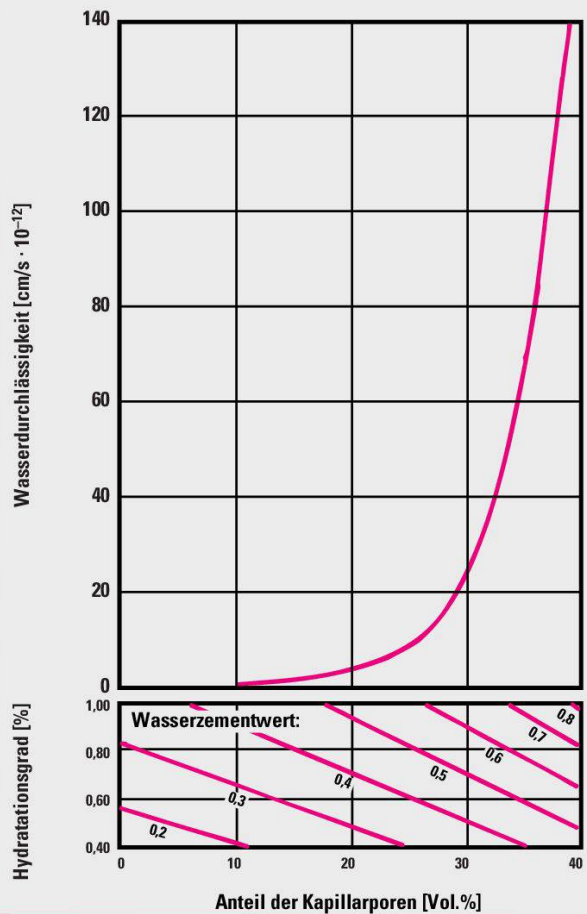


Abb. 3 Zusammenhang zwischen Kapillarporosität und Wasserdurchlässigkeit von Zementstein in Abhängigkeit vom W/Z-Wert und dem Hydratationsgrad (nach Powers) [4].

Zeichnung: TFB / S. Einfalt, ZSD

Verdichtungs-poren

Sie entstehen bei der Herstellung und Verarbeitung von Beton, beispielsweise durch Luft einschlässe oder Wasserausscheidungen. Verdichtungs-poren nehmen bei guter Verdichtung etwa 1 bis 2 % des Zementsteinvolumens ein.

Künstliche Luftporen

Künstliche Luftporen werden beim Mischen des Betons durch die Wirkung von Luftporenmitteln (LP) erzeugt. Ihre Menge wird durch die Zusatzmitteldosierung gesteuert und beträgt einige Volumenprozent [3].

Wasserdichter Beton

Die Gründe für das Eindringen von Wasser in Beton sind vielfältig. Zu nennen sind:

- hydrostatischer Wasserdruck
- Dampfdruckgefälle
- kapillare Wasseraufnahme

Je tiefer der W/Z-Wert eines Betons ist, desto weniger Kapillarporen weist er auf und desto geringer ist seine Wasserdurchlässigkeit. In

Abbildung 3 sind die Zusammenhänge zwischen Kapillarporosität und Wasserdurchlässigkeit in Abhängigkeit vom Hydratationsgrad und vom W/Z-Wert aufgezeigt. Die Wasserdurchlässigkeit nimmt im W/Z-Wertebereich bis 0,6 nur wenig zu, um dann schnell anzusteigen. Aus *Abbildung 3* ist auch ersichtlich, dass die Wasserdurchlässigkeit des Zementsteins (und damit des Betons) dann gering ist, wenn der Kapillarporenanteil etwa 25 % des Zementsteinvolumens nicht übersteigt. Diese Bedingungen sind beispielsweise erfüllt für folgende Fälle:

- W/Z-Wert = 0,40 und Hydratationsgrad α mindestens 0,60 (Betonalter rund einen Monat)
- W/Z-Wert = 0,50 und Hydratationsgrad α mindestens 0,80 (Betonalter rund ein Jahr)

Herstellung

von wasserdichtem Beton

Die Herstellung von wasserdichtem Beton erfordert viel Sorgfalt. Im folgenden wird auf einige Punkte

hingewiesen, die dabei zu beachten sind [4]:

- *Zuschlagstoffe* sollten bezüglich ihrer Kornzusammensetzung sorgfältig ausgewählt werden. Da die Wasserdichtigkeit fast ausschliesslich von der Dichtigkeit des Zementsteins abhängt, dürfen auch porige Leichtzuschlagstoffe eingesetzt werden. Voraussetzung ist allerdings, dass sie keine Verunreinigungen enthalten, die die Zementsteindichtigkeit negativ beeinflussen.

- *Zusatzmittel* sind nicht immer erforderlich. Verflüssiger (BV) und Hochleistungsverflüssiger (HBV) können zur Erniedrigung des W/Z-Wertes nützlich sein, und durch Luftporenmittel (LP) erzeugte Luftporen unterbrechen das Kapillarporensystem. Dichtungsmittel (DM) sind nur beschränkt wirksam. Wenn Arbeitsfugen geplant sind, dürfen keine wasserabstossenden DM eingesetzt werden, da die Fugen dann nicht dicht sind [5].

- *Zusatzstoffe* puzzolanischer oder latent hydraulischer Natur verlangsamten den Hydratationsprozess. Dadurch ist die Durchlässigkeit des Betons anfänglich höher als bei vergleichbaren Betonen ohne Zusatzstoffe. Unter der Voraussetzung, dass sorgfältig nachbehandelt wird (langes Feuchthalten), entsteht mit der Zeit ein dichteres Betongefüge.

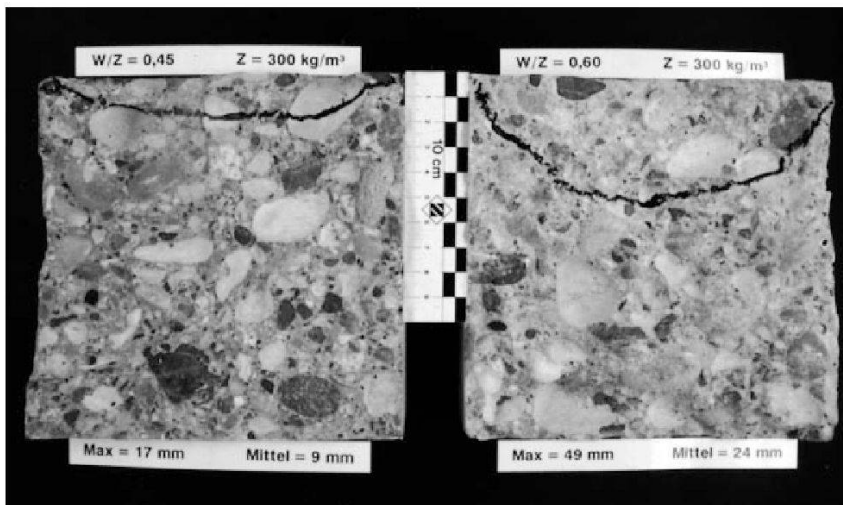


Foto: TFB

Abb. 4 Wasserundurchlässigkeitsprüfung nach ISO 7031: Die Wassereindringtiefe wird an gespaltenen Probekörpern bestimmt (hier zwei Betonwürfel, die CEM I 42,5 enthalten).

Hochleistungsbetone, die vergleichsweise niedrige W/Z -Werte haben und Silicastaub enthalten, weisen weniger Kapillarporen auf und sind damit weniger wasserdurchlässig als Normalbetone [6].

- **Verarbeitung:** Bewährt haben sich Betone mit einem Ausbreitmass zwischen 380 und 450 mm. Zu achten ist auf sorgfältige und vollständige Verdichtung mit Hochfrequenzvibratoren.

- Besondere Aufmerksamkeit ist bei der *Nachbehandlung* angezeigt, da die Dichtigkeit des Zementsteins mit

dem Hydratationsgrad α zunimmt. Im Normalfall wird eine Dauer von mindestens sieben Tagen (Feuchthalten) empfohlen.

Normen

Die Tatsache, dass ein Beton wasserdicht ist, bedeutet nicht, dass kein Wassertransport durch den Beton stattfindet. Vielmehr ist ein Beton nach Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 5 [7], dann wasserdicht, wenn die Wasserverdunstung auf der Luftseite grösser ist als die Wasseraufnahme (= Wasserleitfähigkeit durch den

Beton) auf der Wasserseite; der Beton bleibt auf der Luftseite trocken. Zur Prüfung der Wasserleitfähigkeit werden Bohrkern aus dem Bauwerk entnommen oder aus separat hergestellten Prüfkörpern verwendet. Die Bohrkern werden während zwei Tagen bei 50 °C getrocknet und dann 3 mm tief in Wasser eingetaucht (20 °C / > 95 % r.F.). Nach 24 Stunden wird die Wasseraufnahme des Bohrkerns gemessen. Der Versuch ist beendet, wenn die Oberseite des Prüfkörpers feucht wird (nach 10 bis 21 Tagen).

Aus der Wasseraufnahme und der Geometrie des Prüfkörpers kann die Wasserleitfähigkeit q_{wb} des Betons für ein Bauteil mit einer bestimmten Dicke berechnet werden. (Falls die Dicke des Bauteils nicht bekannt ist, wird diese mit 200 mm angenommen.)

Erfahrungsgemäss haben gut verarbeitete und nachbehandelte Betone mit Zementdosierungen von 300 kg/m³ im Alter von 28 Tagen ungefähr folgende Wasserleitfähigkeiten q_{wb} :

W/Z-Wert	q_{wb} [g/m ² h]
0,40	ca. 5
0,45	ca. 8
0,50	ca. 10

Literatur

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

- [1] Rösli, A., und Mitarbeiter, «Frost- und Frostaustausalbeständigkeit von Beton», Schlussbericht zum Forschungsprojekt 9/78 des Instituts für Baustoffe, Werkstoffe und Korrosion der ETHZ (März 1983).
- [2] Studer, W., «Porosität des Betons», Empa-Bericht 10747/1 (1980).
- [3] Hermann, K., «Zusatzmittel: LP», Cementbulletin 62 [11], 2–7 (1994).
- [4] Weigler, H., und Karl, S., «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Ernst & Sohn, Berlin (1989).
- [5] Fiedrich, A., und Vinkeloe, R., «Weisse Wannen», Beton-Informationen 34 [6], 71–78 (1994).
- [6] Nischer, P., «Hochleistungsbeton – Verbesserung besonderer Eigenschaften», Betonwerk + Fertigteil-Technik 61 [1], 76–84 (1995).
- [7] Norm SIA 162/1: «Betonbauten – Materialprüfung» (Ausgabe 1989).
- [8] ISO 7031: «Concrete, hardened – Determination of the depth of penetration of water under pressure».
- [9] Vornorm SIA V 162.051: «Beton: Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung und Gütenachweis» (Ausgabe 1994).
- [10] DIN 1048, Teil 5: «Prüfverfahren für Beton – Festbeton, gesondert hergestellte Prüfkörper» (Ausgabe Juni 1991).

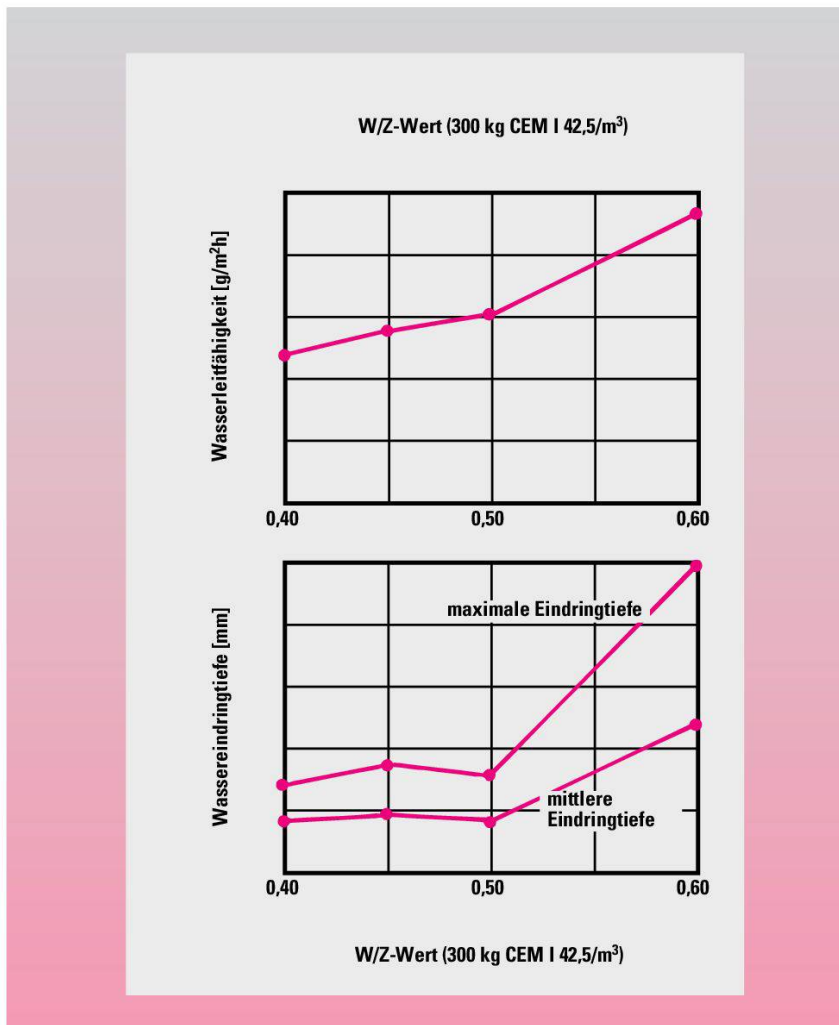


Abb. 5 Gegenüberstellung der Resultate einer Wasserleitfähigkeitsprüfung gemäss Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 5, (oben) mit den Resultaten einer Wasserundurchlässigkeitsprüfung nach ISO 7031 (Einzelmessungen; unveröffentlichte Resultate der TFB).

Grafik: TFB / S. Einfalt, ZSD

Mit der gleichen Apparatur (siehe *Titelbild*) kann auch die Wasserundurchlässigkeitsprüfung nach DIN 1048 [10] durchgeführt werden, die sehr ähnlich wie die ISO-Prüfung ist. Sie unterscheidet sich von dieser in der Grösse und Richtung der Druckeinwirkung sowie in der Dauer. Vorläufige Untersuchungen an der TFB zeigen, dass die Prüfungen nach Norm SIA 162/1 und ISO 7031 zu vergleichbaren Resultaten führen (*Abbildung 5*).

Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile. Die SIA-Prüfung Nr. 5 trägt aus physikalischer Sicht den tatsächlichen Verhältnissen Rechnung, sagt aber nichts über verarbeitungstechnische Mängel eines Betonbauteils (beispielsweise lokale Hohlräume wie Risse, Verdichtungsporen oder Kiesnester) aus.

Wasserdichte Bauwerke

Wasserdichter Beton ist eine notwendige, aber nicht ausreichende Bedingung für die Wasserdichtigkeit von Bauwerken. Beispielsweise muss mittels geeigneter rechnerischer, konstruktiver und betontechnologischer Massnahmen für möglichst weitgehende Rissfreiheit gesorgt werden, und Fugen müssen wasserdicht sein.

Die durch Versuche ermittelte Wasserleitfähigkeit q_{wb} wird mit der minimal verdampfbaren Wassermenge q_d verglichen, die einem Diagramm in der Norm SIA 162/1 entnommen werden kann. Bei 20 °C, Windstille und einer relativen Feuchtigkeit von 70 % beträgt q_d beispielsweise 20 g/m²h. Demzufolge sind die Betone in obenstehender Tabelle unter diesen Klimabedingungen wasserdicht.

Eine Alternative zur beschriebenen SIA-Prüfung bildet die Wasserundurchlässigkeitsprüfung nach ISO 7031 [8]. Das Verfahren entspricht dem Normversuch, der in der ENV 206 bzw. in der Vornorm

SIA V 162.051 [9] enthalten ist.

Die Prüfung erfolgt an Würfeln der Kantenlänge 150 bis 300 mm bzw. Zylindern mit 150 bis 300 mm Durchmesser. Die Proben werden während 28 Tagen in Wasser gelagert und anschliessend wird eine Oberfläche einem stufenweise zunehmenden Wasserdruck ausgesetzt: 48 Std. bei 1 bar, 24 Std. bei 3 bar und 24 Std. bei 7 bar. Über die Seitenflächen kann die Probe austrocknen. Die Wasserfront wird visuell an gespaltenen Probekörpern festgestellt (*Abbildung 4*). Als wasserundurchlässig gelten Betone mit mittleren Eindringtiefen unter 20 mm und maximalen Eindringtiefen unter 50 mm.

M. Badawy
und K. Hermann, TFB