

Gaspermeabilitätsmessungen an Beton – Probenkonditionierung und Versuchsdurchführung

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 8 (2005)

Dipl.-Ing. Christoph Czerner, Dipl.-Ing. Jürgen Huber

Arbeitsgruppe 2: Beton

1 Einleitung

Die Dichtigkeit und damit die Festigkeit und Dauerhaftigkeit eines Betons hängt maßgeblich von seiner Kapillarporosität ab. Diese wird hauptsächlich durch den Hydratationsgrad und das Wasserangebot während der Erhärtung beeinflusst. Um Aussagen über dieses Qualitätsmerkmal treffen zu können, kann mittels Permeabilitätsmessungen die Durchlässigkeit des Betongefüges bestimmt werden. Neben technisch aufwendigen Gaspermeabilitätsmessverfahren kann hierfür z.B. auch die freie kapillare Wasser-sättigung bestimmt werden. Im fib-Model Code 90 [1] wird die Permeabilität gegenüber Luft und Wasser als ausgezeichnetes Maß für die potentielle Dauerhaftigkeit eines Betons bezeichnet.

In den hier beschriebenen Untersuchungen wurde das Gaspermeabilitätsmessverfahren nach Torrent [2] verwendet, um Aussagen über die Güte einer Nachbehandlung im Hinblick auf den Beton im oberflächennahen Bereich treffen zu können. Bei der Probenkonditionierung und der Durchführung der Messungen sind jedoch einige Parameter zu beachten, von denen die Wichtigsten hier vorgestellt werden.

2 Messverfahren

Das Gaspermeabilitätsmessverfahren nach Torrent stellt eine Weiterentwicklung des Messverfahrens nach Schönlin dar. In einer zweizelligen Vakuumzelle, die auf eine glatte Betonoberfläche aufgebracht wird, wird ein hoher Unterdruck erzeugt. Die Abdichtung zur Oberfläche und die Trennung der Zellen erfolgt über zwei Schaumstoffringe. Die äußere Kammer dient hier lediglich zur Sicherstellung von stationären Verhältnissen in und unterhalb der inneren eigentlichen Messzelle, s. Abbildung 1.

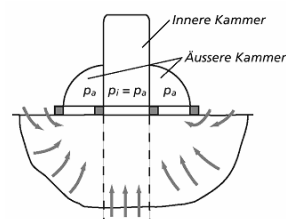


Abbildung 1: Gaspermeabilität nach Torrent, schematisch und Ansicht

Gemessen wird der Druckanstieg, der in einem gemessenen Zeitraum durch das Nachströmen von Luft aus dem Betoninneren erfolgt. Aus den Druckverhältnissen und Zeitdifferenzen sowie festen physikalischen und geometrischen Größen wird der Permeabilitätskoeffizient K_T und die Eindringtiefe des Vakuums L berechnet, s. Gleichung 1 und 2.

$$K_T = \left(\frac{V_c}{A} \right)^2 \cdot \frac{\mu}{2 \cdot \varepsilon \cdot P_a} \cdot \left[\frac{\ln \left(\frac{P_a + \Delta P_t}{P_a - \Delta P_t} \right)}{\sqrt{t} - \sqrt{t_0}} \right]^2 \quad (\text{Gl. 1})$$

$$L \approx \sqrt{\frac{2 \cdot K_T \cdot P_a \cdot t}{\varepsilon \cdot \mu}} \quad (\text{Gl. 2})$$

mit:

- K_T = Permeabilitätskoeffizient [10^{-16}m^2]
- L = Eindringtiefe [mm]
- V_c = Vol. der inneren Kammer + Schlauch [$222 \cdot 10^{-6} \text{m}^3$]
- A = Querschnittsfl. der inneren Kammer [$19,6 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$]
- μ = Viskosität der Luft [$2,0 \cdot 10^{-5} \text{Ns/m}^2$]
- ε = Porosität des Betons [0,15]
- P_a = Umgebungsdruck in mbar
- ΔP_t = Druckdifferenz am Ende der Messung
- t_0 = 60 s
- t = Zeit am Ende der Messung

Nach [2] kann durch Bestimmung des elektrischen Widerstandes mittels Wenner-Verfahren der Feuchtegehalt des Betons berücksichtigt werden.

3 Probekörper

Für die Untersuchungen [3] wurde ein typischer Straßenbeton steifer Konsistenz mit einem w/z-Wert von 0,45 bei einem Zementgehalt von 350 kg/m^3 (CEM I 32,5 R) und einer Sieblinie B16 verwendet. Die Messungen fanden sämtlich an Würfeln mit der Kantenlänge von 150 mm statt. Die Probekörper wurden etwa eine Stunde nach der Herstellung mit einer Textur (Jutetuch) versehen und anschließend unterschiedlich nachbehandelt. Während der Lagerung waren die Würfel eingeschalt, nur die (hier gemessene) Oberseite konnte austrocknen.

4 Einflüsse auf die Messergebnisse

Oberflächenbeschaffenheit

Die Untersuchungen zeigten, dass eine raue (texturierte) Betonoberfläche die Messergebnisse beeinflusst, da die Dichtungsringe nicht mehr ausreichend mit der Oberfläche abschließen. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass die oberste Mörtelschicht mit einer Dicke von etwa 0,5 mm eine deutlich erhöhte Durchlässigkeit besitzt, was zu einer Beeinflussung der Messergebnisse führt. Deswegen ist anzuraten, bei allen Versuchen die Textur und Feinmörtelschicht vor der Prüfung abzuschleifen.

Feuchtegehalt des Betons

Den entscheidenden Einfluss auf die Gaspermeabilitätsmessungen besitzt allerdings die Feuchte des Betons, also das freie Wasser in den Kapillaren.

In Abbildung 2 ist der Zusammenhang zwischen Feuchte des Probekörpers und Gaspermeabilität dargestellt.

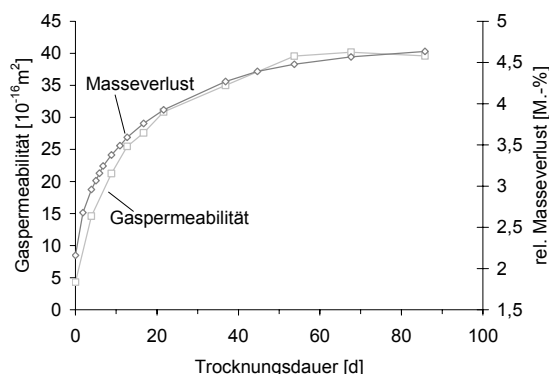


Abbildung 2: Masseverlust und Gaspermeabilität in Abhängigkeit der Trocknung bei 60 °C.

Der Probekörper, zu Beginn der Trocknung 28 Tage alt, wurde bei 60 °C für eine Dauer von 90 Tagen getrocknet. Während der Trocknung

wurde er mehrmals entnommen und gewogen und es wurde jeweils eine Gaspermeabilitätsmessung durchgeführt. Anschließend wurde er weiter getrocknet.

Es zeigte sich ein direkter Zusammenhang zwischen der Gaspermeabilität des oberflächennahen Betons und dem Masseverlust des Probekörpers. Um nun die Gaspermeabilität von verschiedenen Betonen vergleichen zu können, ist es also notwendig, den Wassergehalt im Beton so weit zu reduzieren, dass er keinen wesentlichen Einfluss auf die Gaspermeabilität hat.

Problematisch bei Probenkonditionierung ist, dass es kein allgemein anerkanntes Verfahren gibt. In [4] werden verschiedene Verfahren vorgestellt. Übliche Trocknungstemperaturen liegen zwischen 20°C und 105°C. Die Trocknungsdauern liegen dabei zwischen Tagen und Jahren. Bei einer Trocknung über 40°C wird bemängelt, dass sich die Betonstruktur verändert und die Hydratation beschleunigt wird. Bei Temperaturen von 105°C kann durch entstehende Mikrorisse die Gaspermeabilität überproportional ansteigen.

5 Ergebnisse und Bewertung

Die Signifikanz der Gaspermeabilitätsmessungen an Beton hängt zum größten Teil von der Feuchte der Proben, also dem freien in den Kapillaren vorhandenen Wasser, ab. Eine Bewertung der Permeabilitätskoeffizienten ohne Kenntnis der Materialfeuchte liefert keine verwertbaren Ergebnisse.

Das hier verwendete Verfahren der Ofentrocknung bei 60°C brachte trotz der großen Probekörperabmessungen bereits nach 2 bis 3 Monaten Trocknung gute Ergebnisse. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass nach genügend langer Trocknung die Gaspermeabilität einem Endwert zustrebt und damit einen Materialkennwert hoher Güte darstellt.

6 Literatur

- [1] CEB-FIP Model Code 1990, Final Draft, Section d.5.3: "Classification by durability", CEB Bulletin d'Information N° 205, Lausanne, July 1991
- [2] Torrent, R.: "Covercrete" Study. A TWO-CHAMBER VACCUM CELL FOR MEASURING THE COEFFICIENT OF AIR-PERMEABILITY OF THE CONCRETE COVER ON SITE. Report No.: MA.91/3878/E, Holderbank 1991
- [3] Huber, Jürgen: Nachweisverfahren zur Beurteilung der Wirksamkeit von Nachbehandlungsmitteln, Forschungsbericht F2022/02, Technische Universität München
- [4] Czerner, Christoph: Beurteilung der Wirksamkeit von Nachbehandlungsmitteln – Untersuchung von Nachweisverfahren, Diplomarbeit, Technische Universität München 2004