Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 54-55 (1986-1987)
Heft: 18

Artikel: Luftporenbeton
Autor: B.M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153709

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

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

CEMENTBULLETIN

Juni 1987 Jahrgang 55 Nummer 18

Luftporenbeton

Porosität von Beton. Herstellung. Nebenwirkungen künstlicher Luftporen. Anwendungen.

Luftporenbeton ist ein Beton mit künstlich eingeführten Luftporen. Wie die jahrzehntelange Erfahrung zeigt, weist er eine stark erhöhte Beständigkeit bei Frost- und insbesondere bei Frost-Tausalz-Beanspruchung auf. Er soll deshalb überall dort verwendet werden, wo diese Eigenschaften erforderlich sind.

Die Porosität eines Festbetons gliedert sich wie folgt:

- Die *Verdichtungsporen* sind die Hohlräume zwischen den Körnern und haben Abmessungen > 1 mm. Bei guter Betonzusammensetzung und bei vollständiger Verdichtung ist ihr Anteil nahezu 0%.
- Die *Kornporen* sind die Gesteinsporen des Zuschlags und spielen beim üblichen, frostsicheren Zuschlag eine untergeordnete Rolle.
- Die *Zementsteinporen* sind Gelporen und Kapillarporen. Hinzu kommen die künstlich eingeführten Luftporen. Gelporen entstehen bei der Hydratation und haben Abmessungen von 0,001 bis 0,010 μm; Kapillarporen entstehen durch das überschüssige Anmachwasser und haben Abmessungen von 0,1 bis 1,0 μm.

Luftporenbeton ist nicht zu verwechseln mit Leichtbeton oder Gasbeton. Um seine Eigenschaften zu erklären, sind die Kapillarporen im Zementstein von Interesse. Sie entstehen bei einem Beton mit W/Z > 0,4. Ihr Volumen entspricht etwa dem Anteil des durch Zement nicht gebundenen Wassers (Beispiel: Ein PC 300 mit W/Z = 0,5 enthält im vollständig hydratisierten, gesättigten Zustand noch 30 l freies Wasser, bei W/Z = 0,6 aber bereits 60 l/m^3). Die Kapillarporen sind fadenförmig und bilden ein mehr oder weniger zusammenhängendes, feinmaschiges Netz. Je nach Austrocknungsgrad

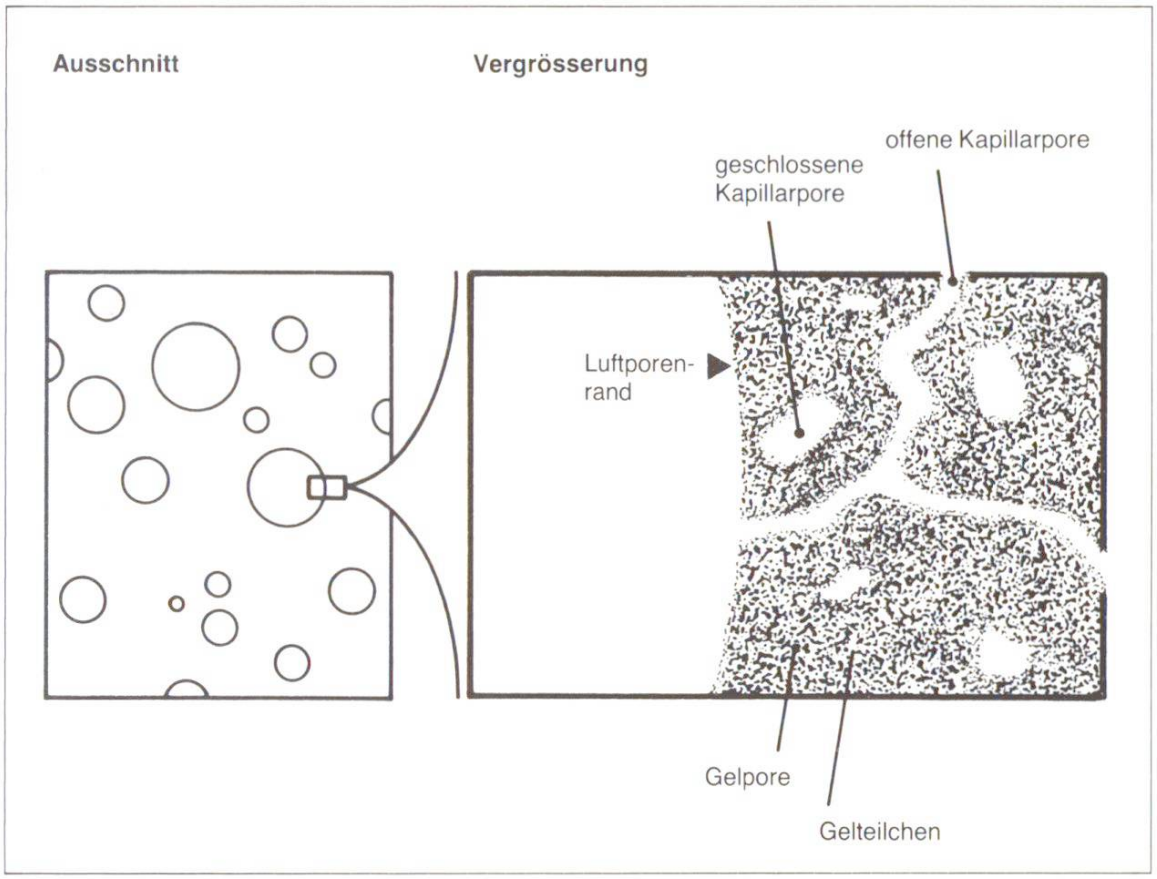


Abb. 1a Zementstein mit künstlich eingeführten Luftporen. Die Vergrösserung rechts zeigt den Luftporenrand, gebildet durch Gelteilchen (Darstellung gemäss *T. C. Powers*).

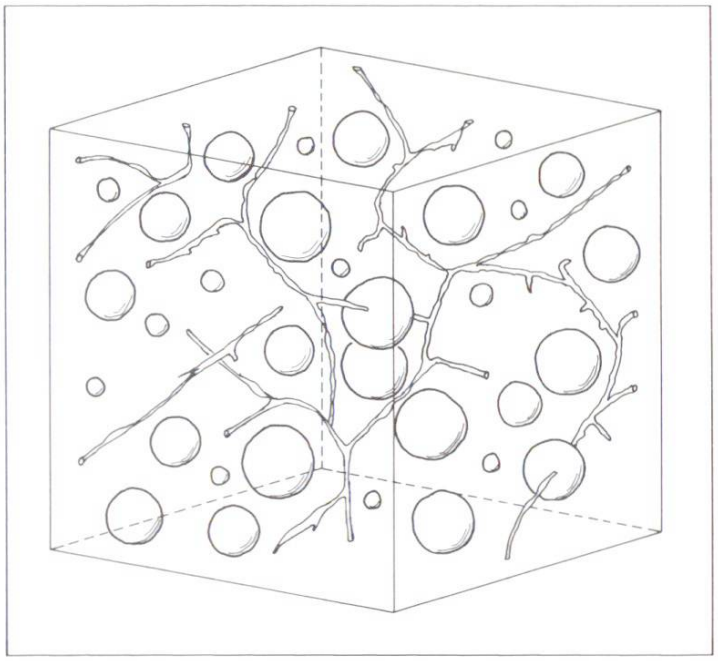


Abb. 1b Idealisiertes Porensystem im Zementstein: Die künstlich eingeführten Luftporen sind kugelförmig und fein verteilt. Sie unterbrechen das Netz der Kapillarporen. Nicht eingezeichnet sind die Gelporen zwischen den Gelteilchen.

des Betons sind sie teils mit Luft, teils mit Wasser gefüllt. Trotzdem genügen diese Hohlräume nicht, um die Volumenvergrösserung des gefrierenden Wassers aufzunehmen, denn man braucht die Luftporen zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der richtigen Grösse. Deshalb werden künstliche Luftporen eingeführt, die sich im Zementstein fein verteilen. Sie sind kugelförmig, luftgefüllt und wesentlich grösser als die Kapillarporen (20 bis 300 μm). Sie sollen das Kapillarnetz unterbrechen und dort den benötigten Expansionsraum schaffen (Abb. 1–3).

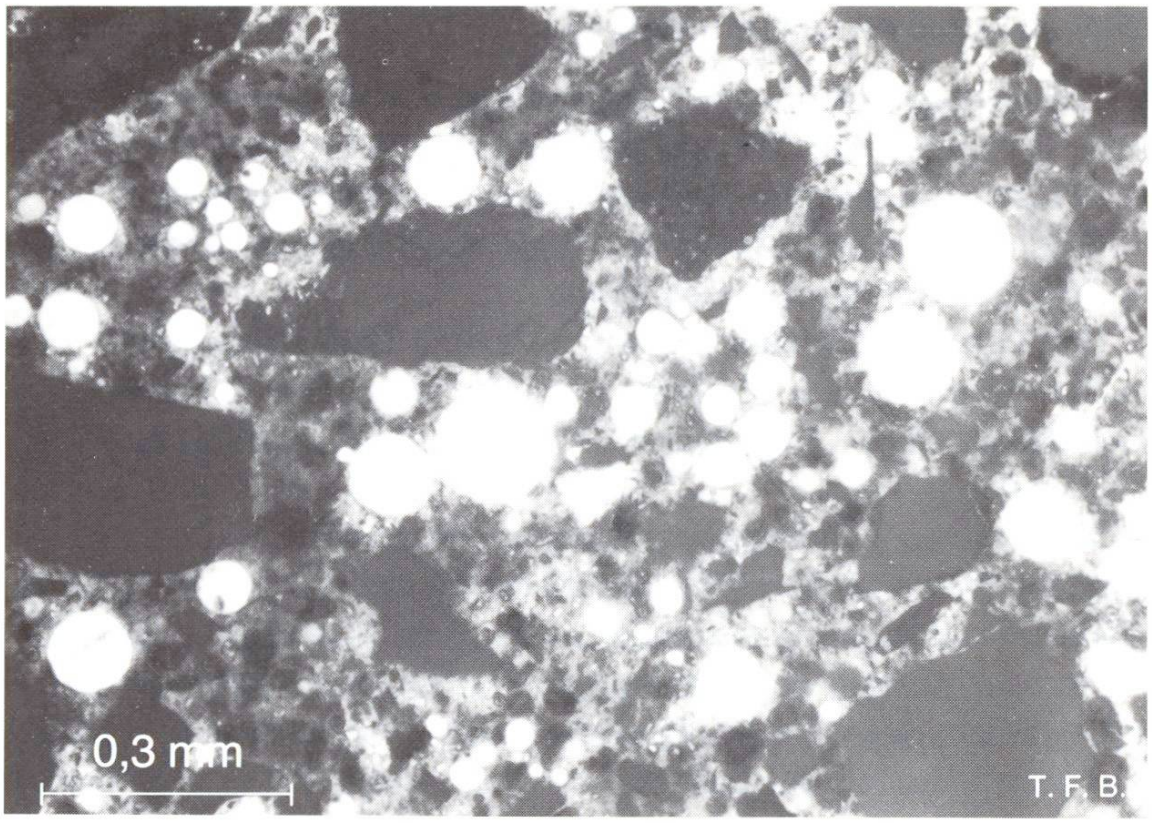
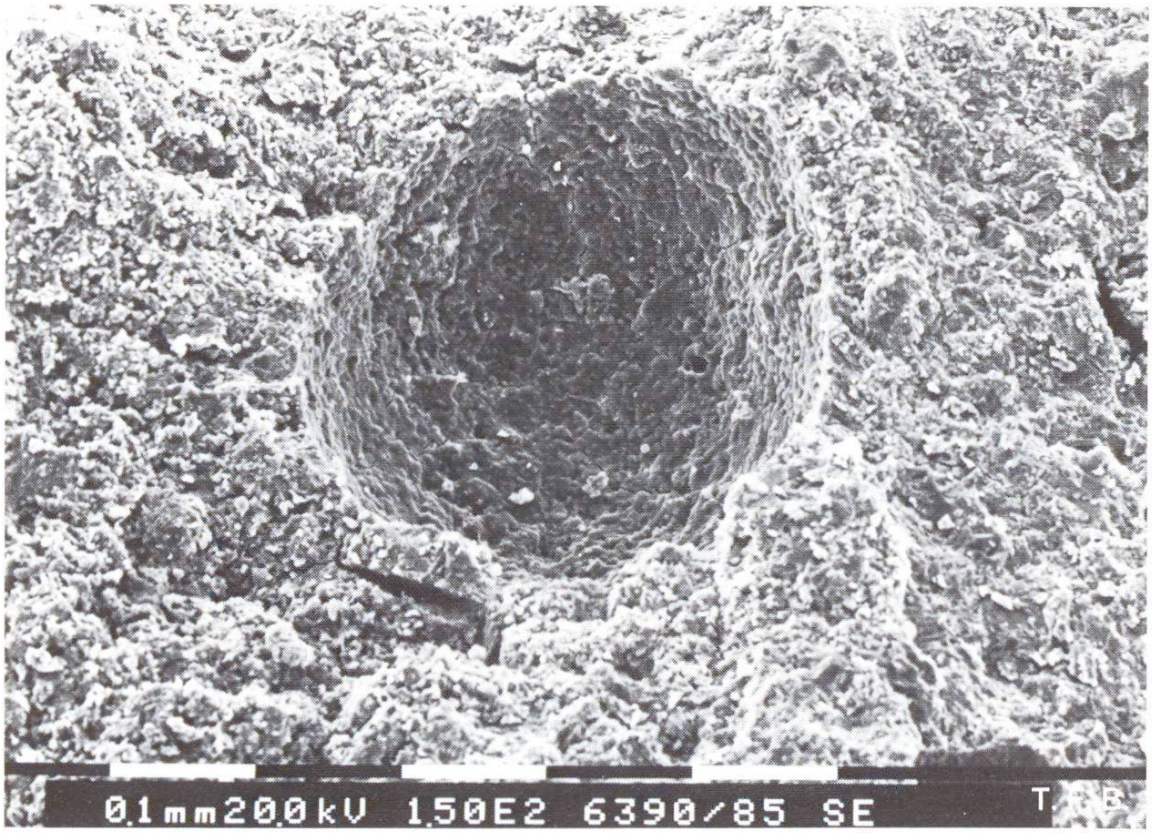


Abb. 2 Fein verteilte Luftporen im Zementstein zwischen Zuschlagskörnern (mikroskopische Aufnahme eines Dünnschliffs).

Abb. 3 Luftpore im Zementstein bei W/Z = 0,50 (Aufnahme: Labor für Raster-Elektronen-Mikroskopie, Universität Basel). Durchmesser: 0,3 mm.



Luftporenbeton wird durch folgende *Kennwerte* beschrieben:

- Luftgehalt La: Gesamter Luftgehalt des Festbetons.
- Abstandsfaktor AF: Grösste Entfernung eines beliebigen Punktes im Zementstein bis zum Rand der nächsten Luftpore
- Mikroluftporengehalt L 300: Gehalt des Festbetons an Luftporen mit Abmessungen $< 300\ \mu m$.

Diese Werte werden an Festbeton bestimmt und erfordern eigens dazu eingerichtete Labors.

- Luftgehalt Ld: Gesamter Luftgehalt des Frischbetons, umfassend die Verdichtungsporen und die künstlich eingeführten Luftporen, nicht aber die wassergefüllten Poren.

Dieser Wert wird an Frischbeton mittels des Luftporenmessgerätes ermittelt.

Herstellung von Luftporenbeton

Die Herstellung von Luftporenbeton muss geplant, ausgeschrieben und überwacht werden. Voraussetzung ist die Absicht von Bauherr bzw. Projektverfasser, einen Beton der Qualität BH oder BS herstellen zu lassen. Es wird sich also um einen Beton mit besonderen Eigenschaften handeln. Dazu gehören die Verwendung von frostbeständigem Kies-Sand, eine Zementdosierung von min. 300 kg/m^3, ein niedriger W/Z-Wert sowie die Durchführung von Vorversuchen, sofern solche beim betreffenden Betonwerk nicht bereits vorliegen (Werknachweis).

Die Luftporenbildner sind physikalisch wirkende Betonzusatzmittel. An der Erhärtungsreaktion nehmen sie nicht teil. Sie werden in Prozenten bzw. Promillen des Zementgewichts dosiert und der Betonmischung in flüssiger Form zugegeben. Dabei ist zu beachten, dass sie in unterschiedlicher Verdünnung angeboten werden. Dies hat den Zweck der feineren Dosiermöglichkeit. Luftporenbildner können zusammen mit andern Zusatzmitteln verwendet werden. Angeboten werden auch Zusatzmittel mit kombinierter Wirkung. Will man die einzelnen Betoneigenschaften exakt steuern, empfiehlt sich eher die getrennte Zugabe.

Die Wirkung der Luftporenmittel ist von folgenden Faktoren abhängig: Zementfeinheit (PC oder HPC), Zementdosierung, Zuschlag (Kornform, Granulometrie, Feinstoffanteil), Betontemperatur. Deshalb sind praxisgerechte Vorversuche unerlässlich, sofern nicht bereits Werknachweise vorliegen. Sie geben Auskunft über die zu erwartende Festigkeit, über das im vorliegenden Fall geeignete Produkt und über die Steuermöglichkeiten während der Herstellung. Der Zusammenhang von Anforderungen, Grösstkorndurchmesser und Luftporenmenge ist in Tab. 1 dargestellt. Diese Daten dienen als

5 **Tabelle 1 Luftporenmengen im Frischbeton (Vol.-%). Abhängigkeit von Anforderung und Grösstkorn.**

Anforderung	*Zement-leim*	*Mörtel 0/4 mm*	*Beton 0/16 mm*	**0/32 mm**	*0/50 mm*
«frostbeständig»: minimale Luftporenmenge	15%	8%	5%	**3%**	2½%
«frost-tausalz-beständig»: maximale Luftporenmenge	25%	13%	8%	**6%**	5%

```
150   Beton für Wände und Stützmauern

      Liefern, Einbringen und Verdichten von
      Beton BH, PC 300 kg/m3, armiert, Grösst-
      korn 32 mm, frost-tausalz-beständig.
      Geforderte Festigkeit nach 28 Tagen:
      35 N/mm2

      151   Beton für Wände, bis 25 cm          m3 ....

      154   Beton für Wände, bis 50 cm          m3 ....

350   Betonzusatzmittel

      Liefern und Beimengen von Zusatzmitteln
      gemäss Vorschrift des Herstellers.
      Ausmass: gemäss Betonkubatur

      353   Luftporenmittel
            Frost-tausalz-beständiger Beton:
            Nachzuweisende Gesamt-Luftmenge im
            Frischbeton: min. 4%, max. 6% (an
            der Einbaustelle gemessen)
            Dosierung: .... o/oo des PC-Gewichts
            Fabrikat:  ....................
            Lieferant: ....................    kg ....
```

Abb. 4 Werkvertrag: Beispiel eines Ausschreibungstexts für frost-tausalz-beständigen Beton. Allgemein gültige Anforderungen und Hinweise auf Normen werden bei den einleitenden Vertragsbedingungen formuliert. Die genaue Dosierung des Luftporenmittels muss anhand von Vorversuchen bestimmt werden.

Grundlage der Ausschreibung (Abb. 4). In den Schalungsplänen ist für die einzelnen Bauteile die jeweilige Betonsorte mit dem Hinweis «frostbeständig» bzw. «frost-tausalz-beständig» anzugeben.
Während der Ausführung muss der Bauleiter die Herstellung von Luftporenbeton dauernd überwachen. Zu kontrollieren ist an der

Einbaustelle der Luftgehalt im Frischbeton (Abb. 5), wozu das Labor des Betonwerks oder evtl. der Lieferant von Zusatzmitteln beigezogen werden kann. Diese Messung hat eine Toleranz von etwa 0,5% und liefert nur dann einen brauchbaren Wert, wenn der Frischbeton im Luftporentopf genügend verdichtet, aber nicht übermässig vibriert wurde. Weitere Daten wie Dichte, W/Z-Wert und Konsistenz können im gleichen Arbeitsgang ermittelt werden. Die Anzahl der notwendigen Messungen richtet sich nach den zu erwartenden Qualitätsabweichungen. Je nach Temperaturschwankungen können beispielsweise mehrere Messungen täglich notwendig werden. Ist das Betonrezept eingehalten, so stellen sich die wirksamen Luftporen von selbst ein. Eine Überprüfung dieser Tatsache ist allerdings nur am Festbeton möglich. Da sie aufwendig ist und da die Luftporenwerte erst vorliegen, wenn der Beton längst eingebaut ist, sind Vorversuche und Frischbetonüberwachung besonders wichtig.
Aufgabe des Betonwerks ist das richtige Mischen, d. h. in diesem Fall das Einhalten einer genügenden Mischdauer. Luftporenmittel werden gleichzeitig mit dem Wasser zugegeben (Dosieranlage oder Mischbecher). Für frostbeständigen Beton beträgt die minimale Nassmischdauer 60 Sek. und für frost-tausalz-beständigen Beton 90 Sek. Andernfalls können sich die fein verteilten Luftporen gar nicht bilden. Zu beachten ist, dass sich der Luftporengehalt während des Transports verändern kann. Verluste von etwa 0,5% sind einzurechnen.
Luftporenbeton soll wie ein hochwertiger Beton verarbeitet werden. Pumpen ist möglich; lange Förderleitungen sind allerdings zu vermeiden. Verdichtet soll er werden, bis keine Luft mehr entweicht, jedoch während höchstens einer Minute. Die Oberfläche darf nicht stark bearbeitet werden. Unter allen Umständen ist eine nachträgliche Wasserzugabe auf der Baustelle zu vermeiden. Die Nachbehandlung oder Lagerung erfordert keine besonderen Massnahmen: Feuchthalten durch Abdecken während vier Tagen genügt im allgemeinen.

Nebenwirkungen künstlicher Luftporen

Frischbeton: Die künstlichen Luftporen sind kugelförmig und wirken im Frischbeton schmierend, also als Verarbeitungshilfe. Man kann deshalb den Wassergehalt reduzieren und mit einem niedrigeren W/Z-Wert arbeiten. In der Granulometrie sind die Luftporen wie Feinstanteile zu betrachten: Besteht ein Mangel an Feinstanteilen, so wirken die Luftporen verbessernd, da die eingeführten Bläschen die Schmierfilmmenge erhöhen. Hat man aber einen Überschuss an

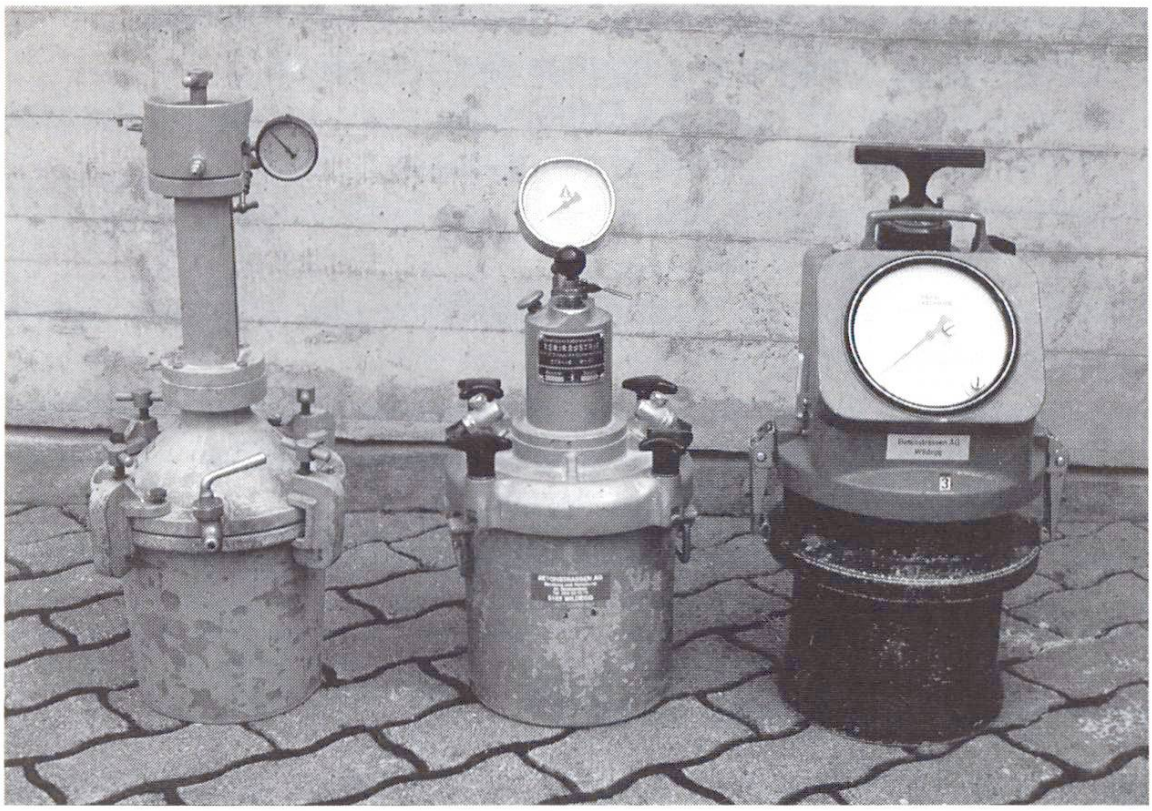


Abb. 5 Messgeräte zur Bestimmung des Luftgehalts im Frischbeton («Luftporentopf»).

Feinstanteilen, so muss ihr Anteil um die eingeführte Luftporenmenge vermindert werden.
Die Luftporen verhindern das Wasserabscheiden (kein «Bluten»). Freie Oberflächen erfordern besondere Sorgfalt beim Betonieren. Sie können vorzeitig austrocknen (z. B. bei Föhn), da von unten kein Wasser mehr nachfliesst. Bei eingeschalten Flächen erhält man mit Luftporen besseren Sichtbeton.

Festbeton: Luftporen reduzieren die Festigkeit in dem Masse, als man Luftporen einführt. Dieser Verlust wird teilweise kompensiert, sofern man den W/Z-Wert herabsetzt und die bessere Verarbeitbarkeit ausnützt. Als Faustregel gilt: Die Druckfestigkeit sinkt je eingeführtes Luftprozent um 3%. Bei üblichem Luftporenbeton liegen die Festigkeitsverluste bei 12–15% (Würfel) bzw. bei 10% (Biegezug) und werden diese Werte selten übersteigen. Eine Überdosierung würde die Festigkeit allerdings erheblich reduzieren.
Ausgemessen und abgerechnet wird das Volumen (m^3) des fertig verdichteten Betons inkl. Luftporen. Durch Einführen von Luftporen erhöht man das Volumen, was durch eine Reduktion an Sand kompensiert werden soll. Andernfalls würde die vorgeschriebene Zementmenge nicht eingehalten. Aufschluss über diese Verhältnisse geben die Stoffraumrechnung und die Ergiebigkeitsprobe bei den Vorversuchen.

8 Anwendung von Luftporenbeton

Luftporenbeton ist bei allen Bauteilen anzuwenden, die der Witterung, namentlich der Tausalzbeanspruchung ausgesetzt sind:

- Brücken (Brüstungen, Randbalken und Fahrbahnplatten).
- Stützmauern und Lärmschutzwände entlang von Strassen.
- Radabweiser (New-Jersey-Wände).
- Betonbeläge (Strassen, Pisten, Vorplätze, Bushaltestellen).
- Zementwaren bei Strassen und Plätzen (Platten, Blockstufen, Pflastersteine, Stellplatten, Pflanzentröge, Strassenschalen, Kabelkanäle usw.).
- Hochbauten in Sichtbeton entlang von Strassen.

Für Hersteller von Zementwaren empfiehlt sich, jene Artikel, die mit Tausalz in Berührung kommen, auch ohne Anforderung des Bauherrn oder Kunden in Luftporenbeton herzustellen. Bei Arbeiten mit erdfeuchtem Beton sind Luftporenbildner wenig wirksam. In diesem Fall können künstliche Luftporen mittels Mikrohohlkugeln eingeführt werden.

Besondere Verfahren wie Fliessbeton oder Vakuumbehandlung der Oberfläche sind möglich, hingegen sind auch hier Vorversuche unumgänglich.

Das Luftporenmittel allein ist noch kein Garant für die Frost-Tausalz-Beständigkeit von Beton. Voraussetzung ist die einwandfreie Betonmischung, richtig verarbeitet und nachbehandelt. Luftporenbeton bringt aber eine entscheidende Qualitätsverbesserung, nur schon durch den Umstand, dass Vorversuche und laufende Kontrolle nötig sind.

B. M.

Literatur

Bonzel, J.: «Beton». Betonkalender, Berlin 1987

Brown, B. V.: «Air entrainment». Concrete 16 (1982) Nr. 12: part I. Concrete 17 (1983) Nr. 1: part II

Dobrolubov, G.; Romer, B.: «Richtlinien zur Bestimmung und Prüfung der Frost-Tausalz-Beständigkeit von Zementbeton». Strasse und Verkehr, Heft 10 und 11, 1977

Hess, R.: «Künstliche Luftporen im Beton». Zürich 1961

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
5103 Wildegg Postfach Telefon 064 53 17 71