Leichtbetone

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **64 (1996)**

Heft 11

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-153820

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

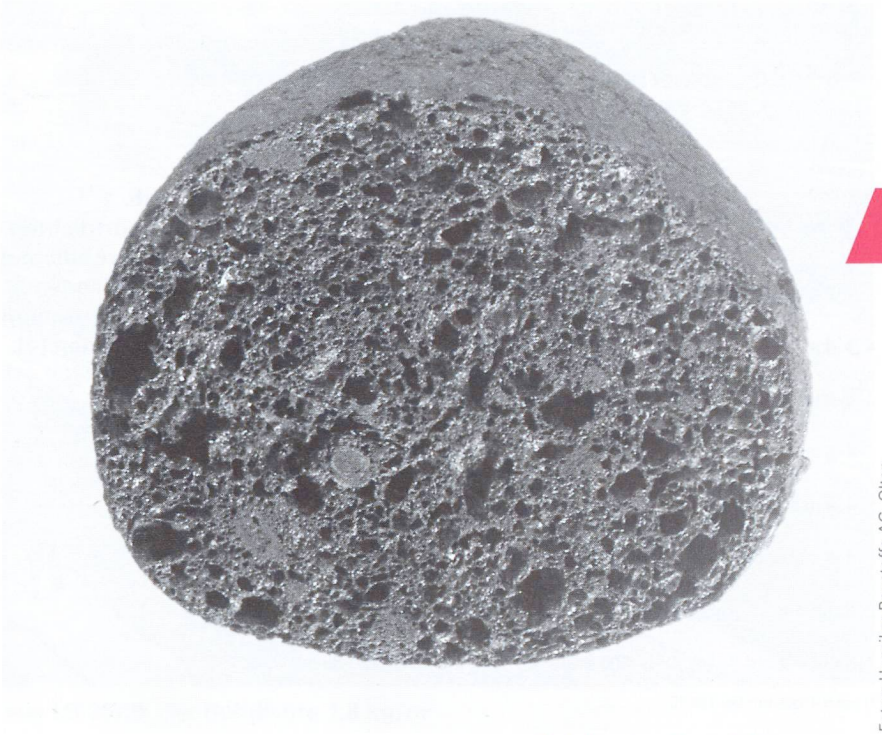
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Leichtbetone

Durch die Verwendung von Leichtzuschlägen wie Blähton lassen sich Leichtbetone mit interessanten Eigenschaften herstellen.



Fotos: Hunziker Baustoffe AG, Olten

Schnitt durch ein Blähtonkorn (Durchmesser ca. 20 mm).

Beton kann je nach Anforderung in zahlreichen Arten hergestellt werden, deren Trockenrohdichten zwischen 300 und 3000 kg/m^3 und deren Festigkeiten bis zu 130 N/mm^2 und mehr erreichen können. Im mittleren Bereich der Trockenrohdichten dieser Arten sind die Leichtbetone mit porigen Leichtzuschlägen und geschlossenem Gefüge (Konstruktionsleichtbetone) angesiedelt, die in der Praxis mit Rohdichten zwischen 1100 kg/m^3 (Druckfestigkeiten um 12 N/mm^2) und 1800 kg/m^3 (Druckfestigkeiten bis 60 N/mm^2 und mehr) eingesetzt werden.
Im vorliegenden «Cementbulletin» beschränken wir uns auf die Besprechung der Leichtbetone mit geschlossenem Gefüge. Nicht eingegangen wird beispielsweise auf Leichtbetone mit Hohlräumen zwischen den Zuschlagkörnern (Haufwerksporen) sowie auf Gas-, Schaum- oder Porenbetone, die auch zu den Leichtbetonen gezählt werden.

Normierung

Leichtbetone werden in der Norm SIA 162 (Ausgabe 1989) [1] durch die Rohdichte ρ_o von Beton unterschieden:

Beton:	Rohdichte $\rho_o \geq 2000$ kg/m^3, aber höchstens 2800 kg/m^3
Leichtbeton:	Rohdichte $\rho_o < 2000$ kg/m^3

Leichtbetone werde wie Betone klassifiziert. Zusätzlich muss die Rohdichte angegeben werden, beispielsweise

Leichtbeton LB 20/10 CEM I 300 kg/m^3 ρ_o = 1400 kg/m^3	Leichtbeton LB 35/25 CEM I 350 kg/m^3 ρ_o = 1800 kg/m^3 frostbeständig

Im übrigen wird Leichtbeton im Gegensatz zu früher in den geltenden SIA-Normen recht stiefmütterlich behandelt. Erfahrene Leichtbetonanwender greifen deshalb oft auf die SIA-Richtlinie 33 [2] zurück, mit der die Ausgabe 1968 der Norm SIA 162 ergänzt wurde.

Leichtzuschläge

Als Leichtzuschläge eignen sich verschiedene natürliche und künstliche Produkte. Beispiele sind Bims, gesinterte Flugasche, Blähton oder Blähschiefer [3]. Wichtig sind in der Schweiz nur Blähton und in weit geringerem Masse Blähschiefer. Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschliesslich auf Leichtbetone, die mit Blähton hergestellt wurden. Blähtone sind unter Namen wie Leca oder Liapor auf dem Markt. Ausgangsmaterialien für ihre Herstellung sind natürliche, hochwertige Tone, aus denen unter anderem durch Blähen und Brennen bei etwa 1100–1200 °C poröse kugelige Perlen mit grosser Festigkeit entstehen. Diese sind wärmedämmend, feuer- und chemikalienbeständig sowie frostsicher. Ihre Oberfläche ist gesintert und mässig rauh. Brechsand, der aus Blähton hergestellt wird, enthält 20–25 % Mehlkorn.
Da der Produktionsprozess exakt steuerbar ist, können gezielt Blähtonkugeln unterschiedlicher Korngrössen und Trockenrohdichten hergestellt werden. Üblich ist eine Aufteilung in die Korngruppen 0–4, 4–8, 8–16 und 16–25 mm; Leca wird in den Fraktionen 0–3, 3–10 und 10–20 mm angeboten. *Tabelle 1* enthält eine Auswahl von Leichtzuschlägen eines deutschen Unternehmens, die künftig verstärkt auf dem Schweizer Markt angeboten werden.
Viele Unterschiede zwischen der Verarbeitung von Leichtbetonen und derjenigen von Betonen sind auf die besonderen Eigenschaften der Leichtzuschläge zurückzuführen. Blähton nimmt leicht Wasser auf, das er später wieder langsam abgibt. Nach Lagerung im Freien muss bei der gewichtsmässigen Dosierung die Eigenfeuchte berücksichtigt werden, da sonst zu wenig Zuschlag in den Mischer gelangt. An vielen Orten wird deshalb volumetrisch dosiert, denn das Volumen von Material mit Korndurchmessern > 4 mm ist unabhängig vom Wassergehalt.

4	Korngruppe [mm]	Schüttdichte [kg/m³][1)]	Kornrohdichte [kg/dm³][1)]
	4–8 und 8–16	325 ± 25	0,55–0,65
	4–8 und 8–16	400 ± 25	0,70–0,80
	4–8 und 8–16	500 ± 25	0,90–1,00
	4–8 und 8–16	600 ± 25	1,05–1,15
	4–8 und 8–16	700 ± 25	1,25–1,35
	4–8 und 8–16	800 ± 25	1,45–1,55
	Sand 0–4	700 ± 50	1,50–1,70
	Sand 1–4	600 ± 50	1,30–1,50

1) nach Trocknen bei 105 °C

Tab. 1 Schüttdichten und Kornrohdichten verschiedener Leichtzuschlagfraktionen [4].

Leichtbetonrezepturen

Leichtbetonmischungen werden oft nach den Richtrezepturen der Leichtzuschlagproduzenten hergestellt, da bezüglich der Leichtbetondruckfestigkeit kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem über den Gesamtwassergehalt errechneten W/Z-Wert und der Normdruckfestigkeit des Zements besteht. Massgebend ist der *wirksame W/Z-Wert,* der durch das im Zementleim enthaltene Wasser definiert ist. Der wirksame W/Z-Wert wird durch viele Faktoren beeinflusst. Dazu gehören unter anderem die Trockenrohdichte des Leichtzuschlags, dessen Ausgangsfeuchte, die Konsistenz des Frischbetons und die Verarbeitungsbedingungen.

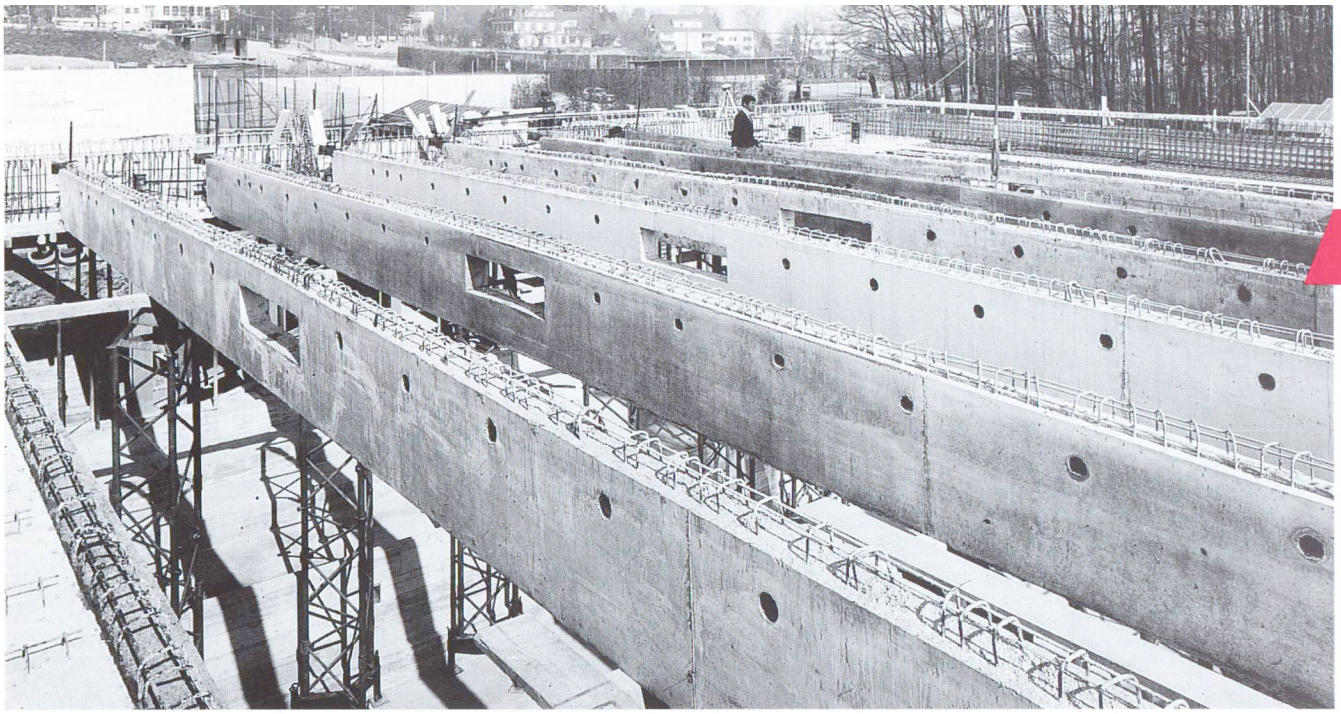
Da trockener Blähton dem Zementleim vom Beginn des Mischens an Wasser entzieht, wird oft das Nässen des Zuschlags vor der Zugabe empfohlen. Allerdings sollte von einem übermässigen Nässen abgesehen werden, da der Leichtbeton sonst noch nach Jahren eine erhöhte Feuchtigkeit aufweisen kann. Die Folgen sind negativ: erhöhte Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit, beeinträchtigter Frost- und Feuerwiderstand sowie schlechteres Kriechverhalten.

In der Praxis ist leichtes Vornässen von Leichtzuschlägen üblich. Bewährt haben sich auch verlängerte Mischzeiten und/oder Konsistenzvorgaben [3]. (Die Konsistenz kann übrigens zuverlässiger mit dem Verdichtungsmass als mit dem Ausbreitmass beurteilt werden.) Bei nicht vorgenässten Leichtzuschlägen wird empfohlen, die Blähtonkörner > 4 mm mit Vorgabewasser zu behandeln und erst anschliessend den Sand und den Zement zuzugeben.

Eine Alternative besteht darin, den Zementmörtel einige Minuten vor der Blähtonzugabe vorzumischen. Die Wasseraufnahme der Zuschläge verringert sich dadurch um 30 bis 50 %, da so kein Wasser direkt mit den Zuschlägen in Kontakt kommt; anstelle von Wasser wird Zementmilch absorbiert, wodurch letztendlich die Kontaktzone fester und dichter wird [6].

Die Richtrezepturen der Hersteller von Blähton beziehen sich im allgemeinen auf Mischungen mit weichplastischer Konsistenz. Die Zementgehalte liegen meist zwischen 300 und 350 kg/m³, die Mörtelgehalte (Zementleim einschliesslich Luftporen und Zuschlag-

Altbausanierung mittels Holz-Beton-Verbundsystem (Leichtbeton LB 20/10, Rohdichte 1,5 kg/m³).



24 m lange vorfabrizierte Deckenträger aus LB 35/25 der Rohdichte 1,8 kg/m³.

stoffen < 4 mm) zwischen 550 und 620 dm³/m³.
Die grossen Unterschiede in den Rohdichten von Zement und Zuschlagstoffen können zu Schwierigkeiten beim Mischen führen. Betonzusatzmittel sollten erst ganz am Ende des Mischvorganges beigegeben werden, damit sie nicht ins Innere der Körner gelangen.

Transportieren und Einbringen

Leichtbetone neigen stärker zu Entmischungen als normale Betone. Besonders gross ist die Entmischungsgefahr bei sehr weicher Konsistenz und niedriger Kornrohdichte der Leichtzuschlagstoffe. Abhilfe bringt unter anderem die Verwendung von Betonzusatzmitteln (Stabilisierer, Luftporenmittel) oder von Betonzusatzstoffen (Flugaschen, Gesteinsmehle). Der geringen Dichte wegen fliesst frischer Leichtbeton schlechter als Beton; deshalb müssen die Einbringstellen näher beieinanderliegen. Verdichtet wird immer durch Vibrieren. Bewährt haben sich dabei hochfrequente Geräte. Zu berücksichtigen ist, dass die Wirkungsradien von Innenvibratoren in Leichtbetonen etwa 50 % kleiner als in Beton sind.
Leichtbetone lassen sich auch fördern, wenn geeignete Ausrüstungen (z. B. Spezialpumpen) und Betonrezepturen vorhanden sind. Bedingt durch den hohen Druck kann sich die Wasserabsorption durch den Leichtzuschlag erhöhen, was zu einem Ansteifen des Leichtbetons und schliesslich zu Verstopfungen führen kann. In den USA wird deshalb empfohlen, die Leichtzuschlagstoffe ausgiebig mit Wasser vorzubehandeln [7]. In Europa wird dagegen bei Pumpbeton oft auf zusätzliches Vornässen der Zuschlagkörner verzichtet. Dem vermehrten Ansteifen des Betons während des Pumpens wird begegnet, indem eine weiche Ausgangskonsistenz gewählt wird. Damit sich diese Leichtbetone nicht entmischen, werden oft Zusatzmittel verwendet, die die Wasseraufnahme vermindern und die Gleitfähigkeit des Betons erhöhen [3].

Nachbehandlung

Das Wasser im Inneren der Leichtzuschlagkörner fungiert als eine Art von «internem Nachbehandlungsmittel.» Trotzdem muss Leichtbeton vor schnellem Austrocknen geschützt werden. Andernfalls entsteht ein starkes Gefälle zwischen Kern und Aussenzone, wodurch Netzrisse auftreten können. Da zudem die Wärmekapazität von Leichtbeton niedriger als diejenige von Beton ist, erwärmt sich Leichtbeton während den ersten Stunden der Zementhydratation stärker als Beton. Dies erhöht die Gefahr von Temperaturrissen. Vorbeugende Massnahmen dagegen sind späteres Ausschalen und Abdecken mit wärmedämmenden Matten.

Dauerhaftigkeit

Blähtonleichtzuschlag geht im Gegensatz zu den üblicherweise für die Betonherstellung eingesetzten Zuschlagstoffen stärkere Wechselwirkungen mit dem Zementstein ein. Folgende Phänomene, die zu einem guten Verbund zwischen Körnern und Zementstein führen, wurden beobachtet [8]:

- Die Poren in den Leichtzuschlagkörnern sind gröber als die Poren im Zementstein. Deshalb wird während der Hydratation Wasser in den Zementstein gesogen (Kapillareffekt). Dieser Wassernachschub dauert so lange, bis der Zementklinker in der Kontaktzone zwischen Korn und Matrix fast zu 100 % hydratisiert ist. Dadurch entsteht ein dichteres Gefüge, was die Dauerhaftigkeit verbessert.
- Die rauhe Oberfläche der Zuschlagkörner ermöglicht einen besseren mechanischen Verbund mit der Matrix. Produkte der Hydratation des Zementklinkers wachsen in den Leichtzuschlag hinein.
- Blähtonkörner haben puzzolanische Eigenschaften. Durch Reaktion der aktiven Verbindungen (nachgewiesen wurden beispielsweise Kieselsäuren, CS_2 und CS_3) mit dem Calciumhydroxid im Zementstein ver-

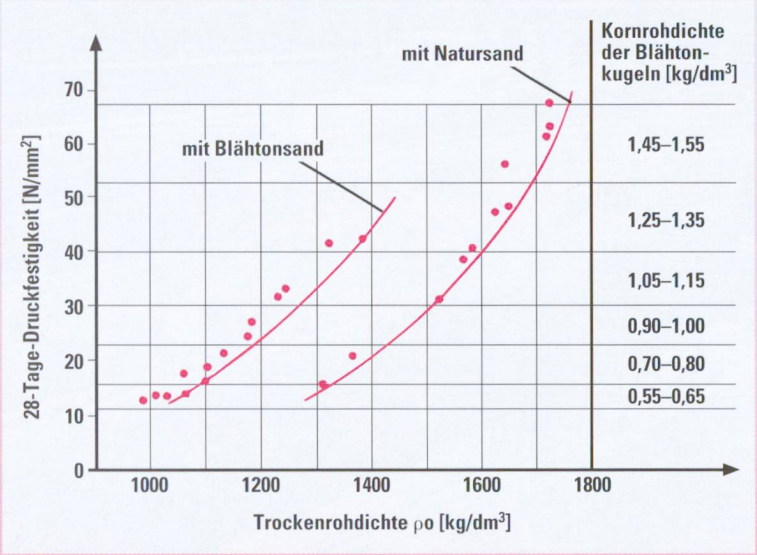


Abb. 1 Trockenrohdichten und 28-Tage-Druckfestigkeiten von Leichtbetonen mit Blähtonzuschlägen unterschiedlicher Kornrohdichte (nach [3, 5], modifiziert).

wachsen Körner und Matrix noch stärker.
Alle diese Effekte zusammen führen zu einer Mikrostruktur in der Verbundzone, die keine Mikrorisse und porösen Bereiche enthält.
Zeugen für die Dauerhaftigkeit von Leichtbeton sind zahlreiche Schiffe, die Jahrzehnte lang recht harten Aussenbedingungen ausgesetzt waren [6, 9]. Untersucht wurden unter anderem Proben der USS *Selma* (Baujahr 1919), die während mehr als 60 Jahren im Meerwasser lag. Bei der Konstruktion wurde ein Leichtbeton mit einer Rohdichte von 1700 kg/m³ sowie einer Festigkeit von 34 N/mm² vorgegeben. Bohrkerne, die unterhalb der Wasserlinie entnommen wurden, hatten nach 61 Jahren Druckfestigkeiten um 68 N/mm².
Einige Hohlräume am Rand der Zuschlagkörner dienten anscheinend als Reservoir für Material, das anderweitig expansiv gewirkt hätte.
Auch bei Proben aus 12 bis 40 Jahre alten Brückenbelägen wurde beobachtet, dass die Zuschläge sehr gut mit dem Zementstein verbunden waren. Sie waren von einer etwa 60 µm (0,060 mm) dicken Zone umgeben, die weniger Hohlstellen und Poren enthielt als der restliche Zementstein.

Hochleistungsleichtbetone

Die Leistungsfähigkeit eines Leichtbetons wird über die Rohdichte definiert. Ein Leichtbeton mit einer Rohdichte von nur 1200 kg/m³ und einer Festigkeit von 30 N/mm² darf deshalb als «hochfest» bezeichnet werden. Zu den Massnahmen, mit denen dies erreicht werden kann, gehört, dass die Rohdichte durch die Verwendung von Blähtonsand vermindert und die damit verbundene geringe Festigkeitseinbusse durch Silicastaub mehr als kompensiert wird.
Beispiele für Anwendungen von Hochleistungsbetonen sind:

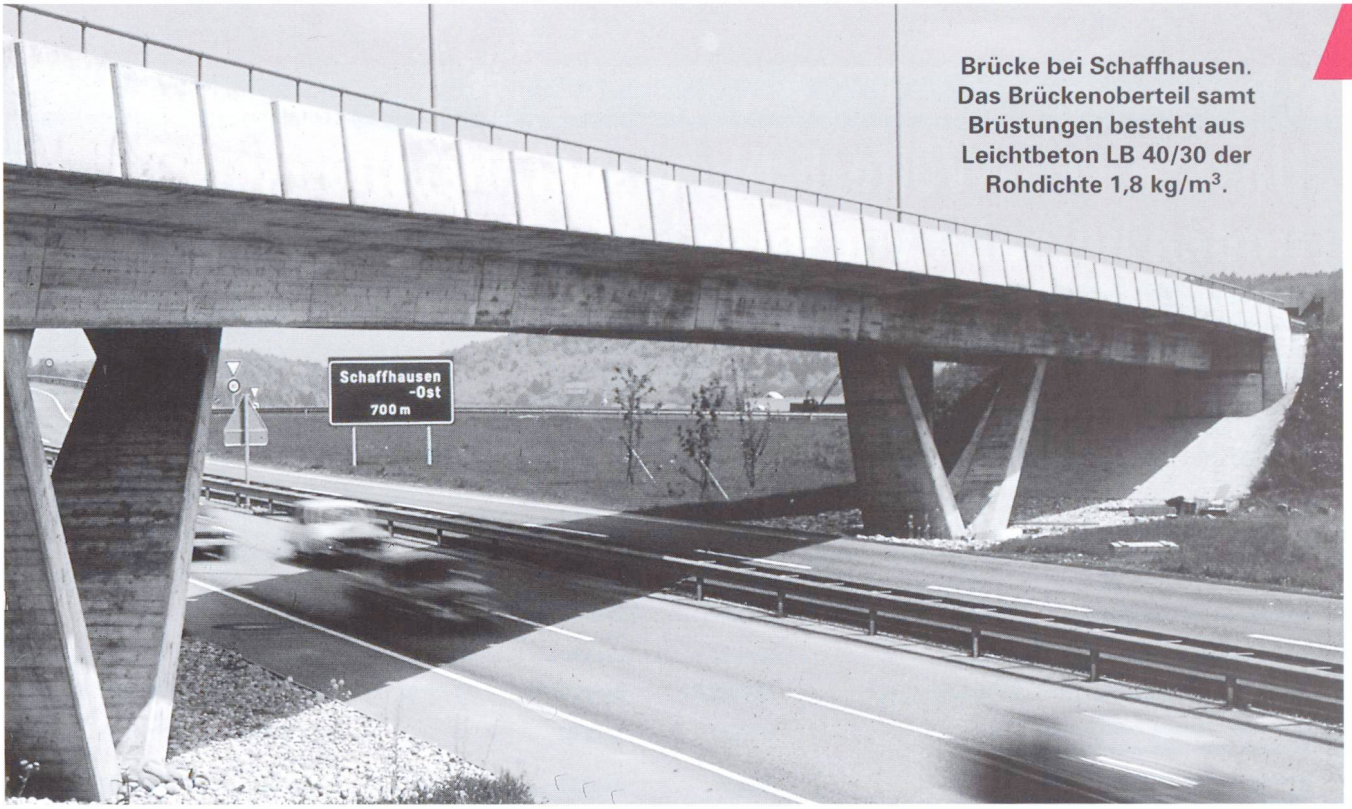
- Heidrun-Ölförderplattform [8, 11]. Diese Schwimmkonstruktion in Betonbauart ist nördlich des Polarkreises in 345 m Wassertiefe verankert. Die Bauhöhe der Leichtbetonkonstruktion beträgt 109 m, die Kantenlänge 110 m, der Tiefgang 77 m. Bei einer mittleren Frischbetonrohdichte von 1941 kg/m³ wurden charakteristische Druckfestigkeiten zwischen 60 und 70 N/mm² erreicht. Insgesamt wurden 66 000 m³ Leichtbeton und 31 000 t Beton- und Spannstahl verwendet. Die Betonrezeptur hatte folgendes Aussehen:

Zement		420 kg/m³
Silicastaub		20 kg/m³
Sand	(0– 3 mm)	720 kg/m³
Blähton	(4– 8 mm)	320 kg/m³
Blähton	(8–16 mm)	260 kg/m³
LP		4–5%
BV		5–10 l/m³

- Støvset-Brücke in Norwegen [8]. Die Hauptöffnung dieser Brücke hat eine Spannweite von 220 m. Die Druckfestigkeit des Leichtbetons beträgt 65 N/mm².
- Skiflugschanze Oberstorf [8]. Durch die Verwendung von Hochleistungsleichtbeton (Druckfestigkeit 50 N/mm² bei einer Trockenrohdichte von 1,53 kg/dm³) konnte die Betonmasse um $^2/_3$ verringert werden.

Festbetoneigenschaften

Die Druckfestigkeit hängt stark von der Festigkeit und der Steifigkeit der Zuschlagkörner ab. Aus *Abbildung 1* geht hervor, dass höhere Kornrohdichten auch höhere Betonrohdichten und Druckfestigkeiten bedeuten. Weiter lässt sich ableiten, dass der Ersatz von gebrochenem Blähton durch Natursand zu einer Zunahme der Leichtbetonrohdichte führt, während die Festigkeit nur wenig ansteigt. Risse in erhärtetem Leichtbeton gehen durch den Zementstein und durch die Zuschlagkörner.
Leichtbetone schwinden und kriechen im allgemeinen etwas stärker als vergleichbare Betone. Dank der bereits erwähnten niedrigen Porosität des Zementsteins können sie als wasserundurchlässige Betone ausgeführt werden. Leichtbetone mit gleichem wirksamem W/Z-Wert wie normale Betone sind zudem gut frost- und frosttausalzbeständig, unter anderem wegen der hohen Qualität des Zementsteins [3, 8].
Ausgedehnte Untersuchungen belegen, dass sich Leichtbetone bezüglich Bewehrungskorrosion ähnlich wie Betone verhalten [10]. Die Carbonatisierung verläuft etwas schneller,



7

Brücke bei Schaffhausen. Das Brückenoberteil samt Brüstungen besteht aus Leichtbeton LB 40/30 der Rohdichte 1,8 kg/m³.

und es werden etwas mehr Chloridionen aufgenommen. Bei Leichtbetonen, die der Witterung ausgesetzt sind, sollte deshalb die Überdeckung um rund 5 mm erhöht werden.
Die Wärmeleitfähigkeit von Beton bzw. Leichtbeton nimmt mit der Rohdichte ab, steigt aber mit zunehmendem Feuchtegehalt an. Bei Brandbeanspruchung ist deshalb die Temperaturerhöhung im Bauteilinneren bei Leichtbeton geringer als bei Beton. Bei Leichtbetonen, deren Zuschlagstoffe noch relativ viel Wasser enthalten, kann es zu explosionsartigem Abplatzen äusserer Betonschichten kommen. Ursache dafür ist die dichte Matrix, durch die der Wasserdampf nicht entweichen kann. Als nützlich hat sich die Zugabe von 0,1 bis 0,2 % Polypropylenfasern erwiesen, die beim Erwärmen schmelzen und bereits bei etwa 120 °C verbrennen. Dadurch entstehen im Zementstein dünne Kanäle, durch die der innere Dampfdruck abgebaut werden kann [8, 11].

Anwendungen

Aus den speziellen Eigenschaften der Leichtbetone ergeben sich zahlreiche Anwendungen, allem voran bei Altbausanierungen und Umbauten. Auf die Verwendung von Leichtbeton in Holz-Beton-Verbundsystemen wurde bereits in früheren «Cementbulletins» eingegangen [12, 13]. Wegen ihren wärmedämmenden Eigenschaften eignen sich Leichtbetone für Aussenwände und Fassadenelemente. Dank der guten Frost- und Frosttausalzbeständigkeit werden sie für Brückenbeläge und Brückenkappen eingesetzt [8]. Nicht zu vernachlässigen sind Anwendungen, wo die geringe Masse der Leichtbetone entscheidend ist. Und durch die in den letzten Jahren vermehrt verwendeten Hochleistungsleichtbetone hat sich das Anwendungsspektrum von Betonen mit Leichtzuschlägen zusätzlich erweitert (siehe Kasten «Hochleistungsleichtbetone»).

Kurt Hermann, TFB

Literatur

[1] Norm SIA 162: «Betonbauten» (Ausgabe 1989).
[2] Richtlinie 33 (Ausgabe 1974) zu Norm SIA 162 (1968): «Leichtbeton (mit Blähton und Blähschiefer als Zuschlagstoff)».
[3] *Weigler, H.*, und *Karl, S.*, «Beton: Arten – Herstellung – Eigenschaften», Ernst & Sohn, Berlin (1989), Seiten 443–465.
[4] «Wie die ganze Welt des Bauens zu einer runden Sache wird», Prospekt der Firma Liapor, D-8551 Pautzfeld (1994).
[5] «Liapor für konstruktives Bauen», Prospekt der Firma Liapor, D-8551 Pautzfeld (1986).
[6] *Vaysburd, A. M.*, «Durability of lightweight concrete bridges in severe environments», Concrete International **18** [7], 33–38 (1996).
[7] «Placing concrete by pumping methods», reported by ACI Committee 304 in «ACI Manual of Concrete Practice», part 2, pages 304.2R-1 to 304.2R.17 (1996).
[8] *Thienel, K.-C.*, «Materialtechnologische Eigenschaften der Leichtbetone aus Blähton», Unterlagen zur Fachveranstaltung «Leichtbetone im konstruktiven Ingenieurbau» des Schulungszentrums der TFB vom 9. Dezember 1996.
[9] *Holm, T.A., Bremner, T.W.*, and *Newman, J. B.*, «Lightweight aggregate concrete subject to severe weathering», Concrete International **6** [6], 49–54 (1984).
[10] *Reinhard, H.-W.*, «Möglichkeiten des Korrosionsschutzes von Bewehrungsstahl im Leichtbeton», Unterlagen zur Fachveranstaltung «Leichtbetone im konstruktiven Ingenieurbau» des Schulungszentrums der TFB vom 9. Dezember 1996.
[11] *Kepp, B.*, und *Botros, F. R.*, «Schwimmende Ölfelderplattformen – Ozeanbauwerke einer neuen Generation», Beton- und Stahlbetonbau **90** [11], 277–282 (1995).
[12] *Hermann, K.*, «Holz-Beton-Verbundsysteme», Cementbulletin **64** [3], 3–7 (1996).
[13] *Meyer, B.*, «Verstärkung alter Holzbalkendecken mit Leichtbeton», Cementbulletin **58** [10], 1–12 (1990).