

Leichtbeton aus Hüttenbims*)

Übersicht

Im Bericht werden die physikalischen Eigenschaften von Hüttenbimsbetonen mit Trockenrohrichten bis zu $1,65 \text{ kg/dm}^3$ und Druckfestigkeiten bis zu 280 kg/cm^2 wiedergegeben. Der Zementgehalt lag zwischen 223 und 474 kg/m^3 , der Natursandanteil betrug bis zu 30% , und der Luftporengehalt durch LP-Zusatzmittel belief sich auf rd. 7 bis $26 \text{ Vol.}\%$. Die Wärmedehnzahl schwankte zwischen $8,6$ und $9,9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$; die Wärmeleitzahl stieg mit Rohrichten zwischen $0,96$ und $1,56 \text{ kg/dm}^3$ von $0,18$ auf $0,40 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$. Gegenüber Frost wiesen die Leichtbetone eine hohe Widerstandsfähigkeit auf. Das Endschwindmaß lag im allgemeinen unter $0,1\%$.

1. Allgemeines

Leichtbeton ist im allgemeinen ein haufwerksporiger Beton aus leichten Zuschlägen, der neben einer geringen Rohwichte und einer guten Wärmedämmung eine niedrige Druckfestigkeit aufweist (Dämmbeton). Bei Beton aus leichten Zuschlägen, bei dem die Haufwerksporen mit Feinmörtel gefüllt sind, liegt die Rohwichte höher. Der damit verbundenen größeren Druckfestigkeit sind aber Grenzen durch die Eigenfestigkeit der Leichtzuschläge gesetzt, die i. a. geringer ist als die Zementsteinfestigkeit. Es gibt aber auch Leichtzuschläge hoher Korneigenfestigkeit, die es ermöglichen, Betone der Güten B 225, B 300 und B 450 mit noch verhältnismäßig niedriger Rohwichte herzustellen (Konstruktionsbetone). Dies ist vor allem für Betonfertigteile von Vorteil, denn die geringere Eigenlast der Fertigteile ermöglicht leichtere Konstruktionen, senkt die Transportkosten und erleichtert die Montage. Als geeigneter Leichtzuschlag erweist sich – neben Blähton und Sinterbims – geschäumte Hochofenschlacke. Sie ist ein leichter, mineralischer Zuschlag, der aus schmelzflüssiger Hochofenschlacke durch Behandlung mit Wasser, oft verbunden mit Druckluft oder Dampf, entsteht. Die gebrochene Schlacke wird als Hüttenbims bezeichnet. Über die physikalischen Eigenschaften von Hüttenbimsbetonen mit Zementgehalten von 223 bis 474 kg in 1 m^3 Beton, Zusätzen an Natursand bis 30% und Luftporengehalten von rund 7 bis 26% , die durch LP-Zusatzmittel entstanden, wird im folgenden berichtet.

2. Ausgangsstoffe

Die Untersuchungen erstrecken sich im wesentlichen auf zwei Hüttenbimsorten, bezeichnet mit Hüttenbims A und Hütten-

*) Lewis, D. L.: Lightweight concrete made with expanded blast furnace slag. Proc. Amer. Concr. Inst. 55 (1958/1959) S. 619/633.

Tafel 1 Kornzusammensetzung der Zuschlaggemische mit Hüttenbims A und Hüttenbims B

Maschensiebweite in mm	Siebdurchgang in Gew.-%							Natursand
	Hüttenbims A			Hüttenbims B				
	Zuschlaggemisch			mit einem Anteil an Natursand ¹⁾ von				
	0 . . . 9,5 mm	0 . . . 12,7 mm	0 . . . 19,1 mm	0 %	10 %	20 %	30 %	
19,1			100,0					
12,7		100,0	81,9					
9,52	100,0	87,4	73,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
4,76	77,9	68,6	59,7	77,0	78,2	79,5	80,5	99,4
2,38	56,9	50,1	43,6	59,9	63,4	66,6	69,4	96,4
1,19	36,5	32,1	27,9	42,0	46,8	51,1	54,8	84,8
0,59	24,1	21,3	18,5	28,2	33,0	37,3	41,2	69,5
0,297	16,5	14,5	12,7	17,2	20,5	23,5	26,1	45,0
0,149	11,1	9,7	8,5	8,0	8,1	8,2	8,2	9,8
0,074	6,7	5,9	5,1	3,2	3,0	2,8	2,6	2,0

¹⁾ Der Anteil des Natursandes bezieht sich auf das Schüttvolumen des Hüttenbimsandes.

bims B, die sich vor allem durch ihre Schüttröhweite unterscheiden.

Bimsart	Schüttröhweite in kg/dm ³	
	ϕ 0 ... 4,8 mm	ϕ 4,8 ... 9,5 mm
Hüttenbims A	1,01	0,82
Hüttenbims B	0,67	0,57
Hüttenbims C	0,63	
Hüttenbims D	0,87	

Die Kornzusammensetzung der Hüttenbimse A und B und des Natursandes, der dem Hüttenbims B zugesetzt wurde, ist in Tafel 1 angegeben. Zusätzlich wurden Betone aus zwei anderen Hüttenbimssorten auf ihre Wärmeleitfähigkeit untersucht. Diese Hüttenbimse, bezeichnet mit C und D, setzen sich zusammen aus 70 % der Korngruppe 0 bis 4,8 mm und 30 % der Korngruppe 4,8 bis 9,5 mm.

Bei den Versuchen wurde Portlandzement Typ I eines Herstellers verwendet. Den Betonen wurde ein handelsübliches LP-Zusatzmittel zugegeben.

3. Mischen und Behandeln des Betons

Die lufttrockenen Zuschläge wurden mit einem Teil des Anmachwassers in einem Zwangsmischer vorgemischt. Das Gemenge blieb 5 Minuten stehen, damit die Zuschläge Wasser aufsaugen konnten. Nach Zugabe des Zementes, des Restanmachwassers und des LP-Zusatzmittels wurde 5 Minuten lang gemischt und anschließend der Luftporengehalt volumetrisch festgestellt.

Alle Probekörper lagerten bis zur Prüfung in einem Feuchtraum von rd. 22 °C und annähernd 100 % relativer Luftfeuchtigkeit.

4. Untersuchungsverfahren

Die *Druckfestigkeit* wurde an Zylindern mit 15 cm Durchmesser und 30 cm Höhe nach 7 und 28 Tagen und nach 1 Jahr ermittelt, die *Biegezugfestigkeit* an Prismen mit 7,6 cm x 10,2 cm x 40,6 cm Kantenlänge im Alter von 7 und 28 Tagen.

Zur Bestimmung der *Wärmedehnzahl* und des *Schwindens* dienten Prismen mit 7,6 cm x 7,6 cm x 48,3 cm Kantenlänge. Im Alter von 5 Tagen wurden die Prismen dem Feuchtigkeitsraum entnommen und bis zur Ausgangsmessung in Wasser von rd. 23 °C gelagert. Die Wärmedehnzahl wurde sowohl an wassergesättigten als auch an trockenen Prismen bestimmt.

Frost-Tau-Wechselversuche wurden an Prismen mit 7,6 cm x 10,2 cm x 40,6 cm Kantenlänge durchgeführt. Im Alter von 26 Tagen kamen die Prüfkörper aus dem Feuchtraum und wur-

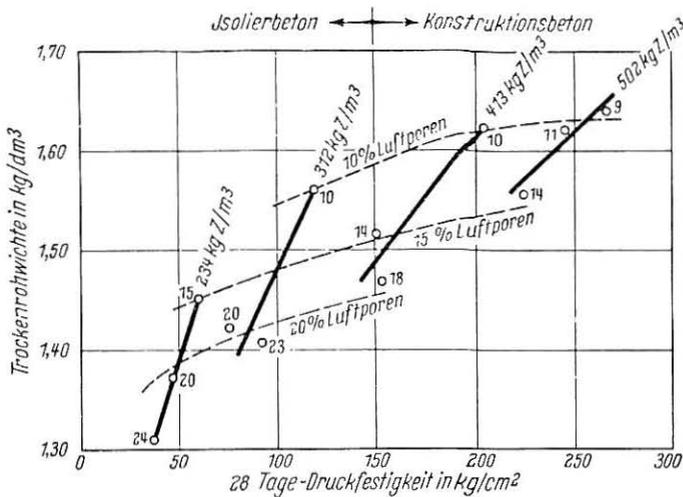


Bild 1 Beziehung zwischen Zementgehalt, Luftporengehalt, Trockenrohichte und Druckfestigkeit von Leichtbeton aus Hüttenbims A mit einem Größtkorn bis zu 9,5 mm. (Die durch Linien verbundenen Zementgehalte sind Mittelwerte aus drei Mischungen. Die Zahlen neben den Punkten geben den Luftporengehalt des Frischbetons in Prozent an.)

den 48 Stunden vor dem ersten Wechsel in Wasser gelagert. Jeder Wechsel dauerte einen Tag: 20 Stunden Gefrieren in Luft von $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ und anschließendes Lagern während 4 Stunden in Wasser von rd. $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vor und nach den 300 Frost-Tau-Wechselversuchen wurde der dynamische E-Modul entsprechend ASTM C 215 ermittelt.

An Platten mit $3,2\text{ cm} \times 30,4\text{ cm} \times 30,4\text{ cm}$ Kantenlänge wurde die Wärmeleitzahl nach der Heizplattenmethode (ASTM C 177) bestimmt. Die Probekörper lagerten 28 Tage im Feuchtraum und wurden vor dem Versuch getrocknet.

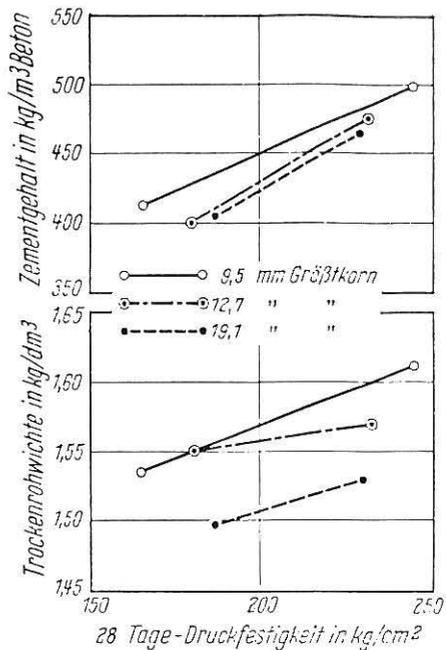
5. Ergebnisse der Untersuchungen

5.1 Festigkeiten

Hüttenbims A. Der Bereich der Zement- und Luftporengehalte sowie die Grenzwerte der Trockenrohichten und der 28 Tage-Festigkeiten der mit dem Hüttenbims A (Zuschlaggemisch 0 bis 9,5 mm) hergestellten Betone sind nachfolgend zusammengestellt.

Bezeichnung	Zementgehalt kg/m ³	Luftporengehalt Vol.-%	Trockenrohichte kg/dm ³	28-Tage-Festigkeit	
				Biegezug kg/cm ²	Druck kg/cm ²
Isolierbeton	217 ... 332	24 ... 10	1,32 ... 1,55	17 ... 33	39 ... 116
Konstruktionsbeton	413 ... 485	14 ... 9	1,47 ... 1,65	34 ... 52	148 ... 266

Bild 2
Einfluß der Korngröße des Hüttenbimses auf die Trockenrohichte und die Druckfestigkeit bei Konstruktions-
Leichtbeton mit Hüttenbims A



Die Biegezugfestigkeit liegt beim Isolierbeton mit 28 bis 43 %, beim Konstruktionsbeton mit 19 bis 28 % der zugehörigen Druckfestigkeit verhältnismäßig hoch. Die Beziehungen zwischen Zementgehalt, Luftporengehalt, Trockenrohichte und 28 Tage-Druckfestigkeit sind für die Betone mit Hüttenbims A in Bild 1 aufgetragen. Wie aus der flacheren Neigung der Kurven zu ersehen ist, fällt die Druckfestigkeit mit steigendem Luftporengehalt bei den Konstruktionsbetonen stärker ab als bei den Isolierbetonen. Daher ist bei Betonen hoher Festigkeit aus Hüttenbims der Luftporengehalt so niedrig zu halten, wie es sich zur Erlangung einer guten Verarbeitbarkeit noch vertreten läßt. Auf der anderen Seite sollen zementarme Mischungen mit hohem Luftporengehalt dort hergestellt werden, wo mit einer mäßigen Festigkeit auszukommen ist und wo die Wärmedämmung und geringes Gewicht eine besondere Rolle spielen. In Bild 2 sind die Prüfergebnisse für Konstruktionsbetone aus Hüttenbims A mit verschiedenen maximalen Korngrößen gegenübergestellt. Dieses Bild läßt den Einfluß des Korngrößendurchmessers erkennen:

mit zunehmender Größe der Zuschläge steigt bei gleichem Zementgehalt die Festigkeit;

mit zunehmendem Korndurchmesser sinkt bei gleicher Festigkeit die Trockenrohichte.

Hüttenbims B. Beim Hüttenbims B wurde ein Teil des Feinzuschlages (10, 20 und 30 Raum-%) durch Natursand (0...3 mm) ersetzt (s. Tafel 1).

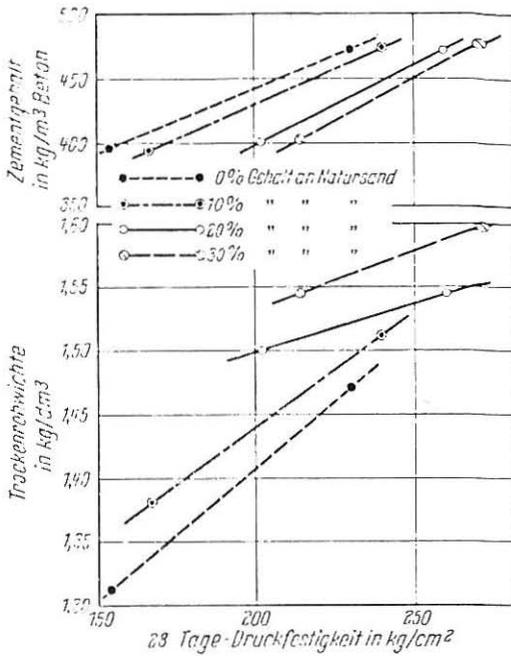


Bild 3
Einfluß des Natursandgehaltes auf die Trockenroh-
wichte und die Druckfestigkeit bei Konstruktions-
leichtbeton mit Hüttenbims B. (Der Gehalt an
Natursand bezieht sich auf das Schüttvolumen des
Hüttenbimssandes.)

In Bild 3 ist die 28 Tage-Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Zementgehalt und von der Trockenrohichte aufgezeichnet. Nach dem oberen Diagramm ist die Festigkeitszunahme bei Zusatz von 20 und 30 % Natursand besonders groß in der Mischung mit 390 kg Zement und etwas geringer in der Mischung mit 474 kg Zement in 1 m³ Beton. Die Mischung mit 390 kg Zement und 30 % Natursand hat fast die gleiche Festigkeit wie die Mischung mit 446 kg Zement in 1 m³ Beton ohne Natursand. Wie aus dem unteren Diagramm hervorgeht, ist die Gewichtszunahme durch den Natursand bei den Mischungen mit geringerer Festigkeit größer als bei jenen mit höherer Festigkeit. Allerdings nimmt die Rohwichte des Betons mit gleicher Druckfestigkeit zu.

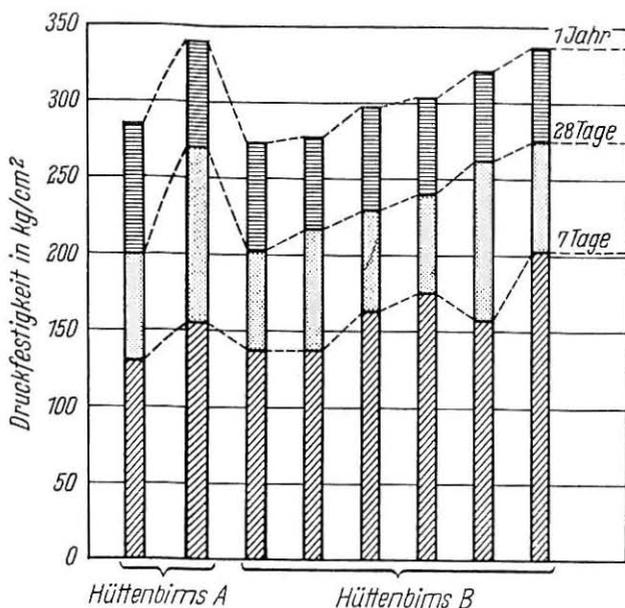
Die Druckfestigkeit in verschiedenem Alter ist für die Konstruktionsbetone mit Hüttenbims A und Hüttenbims B in Bild 4 aufgetragen. Daraus erkennt man, daß während der dauernden Feuchtlagerung die Druckfestigkeit zwischen 28 Tagen und 1 Jahr durchweg erheblich zunahm.

5.2 Lineare Wärmedehnzahl

Folgende Wärmedehnzahlen wurden an Leichtbetonen ermittelt:

Feuchtigkeitsgehalt der Leichtbetone	Wärmedehnzahl $\alpha_t \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
wassergesättigt	8,6 . . . 9,4
getrocknet	8,6 . . . 9,9

Die Werte, die bei den einzelnen Mischungen nur unwesentlich voneinander abweichen, liegen im Bereich der Wärmedehnzahlen des üblichen Schwerbetons.



Luftporengehalt in %	}	10	9	8	8	9	7	7	7
Zementgehalt in kg/m ³		424	485	396	396	474	474	480	480
Natursandgehalt in %	}	0	0	20	30	0	10	20	30

Bild 4 Druckfestigkeit von Beton aus Hüttenbirns bei Feuchtlagerung. Größtkorn des Zuschlages 9,5 mm. (Der Gehalt an Natursand bezieht sich auf das Schüttvolumen des Hüttenbirnsandes.)

5.3 Frost-Tau-Wechselversuche

Neben den Konstruktionsbetonen wurden auch an einigen Isolierbetonen Frost-Tau-Wechselversuche durchgeführt, obwohl sie im allgemeinen nicht im durchfeuchteten Zustand der Witterung ausgesetzt werden. Die Ergebnisse zeigen, daß ihre Frostbeständigkeit ausreichend ist. Der E-Modul nach 300 Frost-Tau-Wechseln betrug noch 78 bis 100 % desjenigen vor Versuchsbeginn. Die Konstruktionsbetone wiesen nach 300 Frost-Tau-Wechseln in keinem Falle Schäden oder sichtbare Veränderungen auf. Der E-Modul lag nach 300 Wechseln noch bei 99 bis 108 % des Ursprungwertes und ließ damit auf eine hohe Frostbeständigkeit aller 12 Mischungen des Konstruktionsbetons schließen.

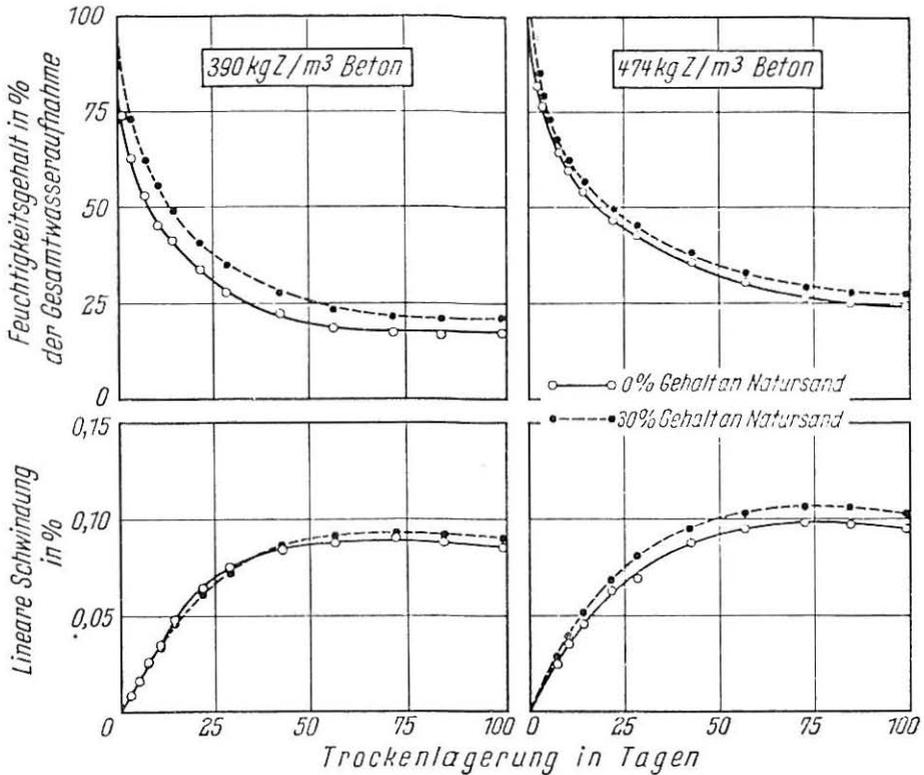


Bild 5 Trocknungs- und Schwindverlauf von Konstruktions-Leichtbeton mit Hüttenbims B in Raumluft. (Ausgangsmessung nach 72 h Wasserlagerung.)

5.4 Schwind- und Trocknungsverlauf

In Bild 5 ist der Schwind- und Trocknungsverlauf der Leichtbetone mit Hüttenbims B während einer 100tägigen Trocknung in Laboratoriumsluft wiedergegeben. Die reinen Betone, die nur Hüttenbims enthielten, trockneten etwas schneller aus und verkürzten sich weniger als die Mischungen mit Natursand. Die Unterschiede sind jedoch gering und wahrscheinlich bedingt durch unterschiedliche Wasseraufnahme.

Die Mischungen mit 474 kg Zement in 1 m³ Beton trockneten etwas langsamer aus und hatten eine höhere Schwindung als die Mischungen mit 390 kg Zement in 1 m³ Beton.

5.5 Wärmeleitfähigkeit

Die Trockenrohichte der Betone, für die die Wärmeleitzahl bestimmt wurde, reichten von 0,96 bis 1,66 kg/dm³ und die Wärmeleitzahlen von 0,186 bis 0,396 kcal/m · h · °C.

Die Abhängigkeit der Wärmeleitzahl von der Trockenrohichte ist in Bild 6 aufgezeichnet. Demnach nimmt die Wärmeleitzahl

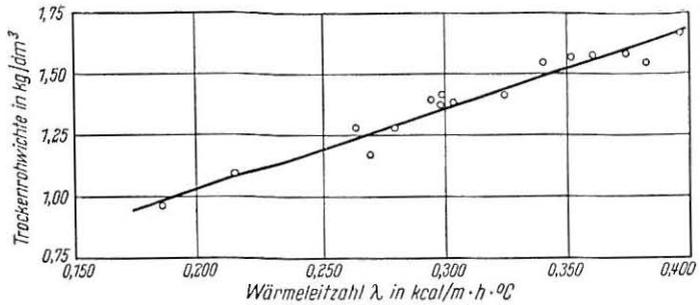


Bild 6 Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Trockenrohichte bei Hüttenbimsbeton

mit der Trockenrohichte des Betons etwa linear zu. Dagegen üben die Schüttrohichte des Hüttenbimses, die Zuschlagstoffeigenschaften, der Zement- und Luftporengehalt sowie der Zusatz von Natursand nur einen geringen Einfluß aus. Die Wärmeleitfähigkeit von Hüttenbimsbetonen kann daher hinreichend genau über die Trockenrohichte bestimmt werden.

6. Zusammenfassung

- 6.1 Mit Hüttenbims entstanden Konstruktions-Leichtbetone mit 28 Tage-Druckfestigkeiten bis zu 280 kg/cm^2 – ermittelt an Zylindern mit $15 \text{ cm } \varnothing$ und 30 cm Höhe – und Trockenrohichten bis zu $1,65 \text{ kg/dm}^3$.
- 6.2 Bei gleichem Zementgehalt stieg mit wachsendem Größtkorn des Hüttenbimses die Druckfestigkeit an, während die Rohichte abnahm.
- 6.3 Mehr als 10 % Luftporen erniedrigten die Rohichte der Leichtbetone, senkten aber auch die Druckfestigkeit bedeutend. Wo hohe Festigkeiten wesentlich sind, sollte der Luftporengehalt möglichst gering gehalten werden.
- 6.4 Natursand an Stelle von Hüttenbims führte bei gleichem Zementgehalt zu einer Erhöhung der Druckfestigkeit. Die Rohichte nahm aber ebenfalls zu.
- 6.5 Die Wärmedehnzahl lag bei den Konstruktions-Leichtbetonen aus Hüttenbims, mit und ohne Zusatz von Natursand, zwischen $8,6$ und $9,9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ und entsprach damit etwa dem Durchschnittswert für Beton aus Kies, luftgekühlter Schlacke oder Schotterzuschlägen.
- 6.6 Gegenüber Frost-Tau-Wechseln zeigten die Betone aus Hüttenbims eine hohe Widerstandsfähigkeit.
- 6.7 Das Endschwindmaß lag im allgemeinen unter 0,1 %. Die Zugabe von Natursand und ein erhöhter Zementgehalt steigerten die Schwindung nur geringfügig.
- 6.8 Die Wärmeleitfähigkeit war von den Betonrohichten linear abhängig und lag mit Rohichten von $0,96$ bis $1,56 \text{ kg/dm}^3$ zwischen $0,18$ und $0,396 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$. L. Knubben