

# Über den Wasseranspruch des Frischbetons

Von Justus Bonzel und Jürgen Dahms, Düsseldorf

## Übersicht

*Der für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz erforderliche Wassergehalt muß beim Vorausbestimmen der Betonzusammensetzung, z. B. für die Mischung der Eignungsprüfung, abgeschätzt werden. Er ist von den Eigenschaften der Ausgangsstoffe und von der Betonzusammensetzung abhängig. Für das Abschätzen des Wassergehalts werden seit langem Richtwerte empfohlen, die von der Betonzusammensetzung oder auch nur von der Zusammensetzung des Zuschlaggemisches ausgehen. Sie wurden im wesentlichen vor Herauskommen der Neufassung von DIN 1045, Januar 1972, gewonnen und beruhen teilweise auf nicht sehr umfangreichen Versuchen oder auf Versuchen mit anderer Aufgabenstellung.*

*Im Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf und in der Abteilung Baustofftechnologie des Instituts für Beton und Stahlbeton der Universität Karlsruhe wurden in den Jahren 1970 bis 1975 systematische Untersuchungen über den Wasseranspruch des Betons durchgeführt. Mit diesen Untersuchungen sollten die Literaturangaben überprüft und Wasseranspruchszahlen für Beton mit den in DIN 1045, Januar 1972, geänderten Sieblinien und Konsistenzbereichen ermittelt werden. Die Untersuchungen erstreckten sich auf zwölf verschiedene Zuschlag-Kornzusammensetzungen. Insgesamt wurden dabei rd. 1500 verschiedene Frischbetone untersucht.*

*Die Versuchsergebnisse bestätigten die bekannten Erfahrungen, daß der für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz erforderliche Wassergehalt im wesentlichen von der Zuschlag-Kornzusammensetzung abhängt. Im Bereich üblicher Betonzusammensetzungen war dabei der Einfluß der Zementart und des Zementgehalts von untergeordneter Bedeutung. Dagegen kann sich der Einfluß von Art und Herkunft des Zuschlags — selbst bei Kiessand — so stark auf den Wasseranspruch auswirken, daß er berücksichtigt werden sollte. Mit Hilfe der Ergebnisse wurden Richtwerte erarbeitet, mit denen der Wassergehalt von Beton nach DIN 1045, Januar 1972, umfassender als bisher abgeschätzt werden kann. In einigen Bereichen unterscheidet sich hiernach der Wassergehalt deutlich von den bisherigen Richtwerten.*

## 1. Einleitung

Das Erreichen der Gebrauchseigenschaften des erhärteten Betons setzt u. a. voraus, daß der jeweilige Frischbeton so beschaffen ist,

daß er mit den vorgesehenen Einrichtungen und Geräten sachgerecht verarbeitet werden kann. Während für die meisten Gebrauchseigenschaften des erhärteten Betons der W/Z-Wert eine sehr wichtige Einflußgröße ist, wird die Verarbeitbarkeit des Frischbetons sehr wesentlich von seinem Wassergehalt W (Gesamtwassergehalt abzüglich der Kernfeuchte des Zuschlags) bestimmt. Zur sachgerechten Verarbeitung benötigt der Frischbeton in den meisten praktischen Anwendungsfällen mehr Wasser, als es für die Hydratation des Zements erforderlich ist. Durch diesen lediglich aus Gründen sachgerechter Verarbeitbarkeit erforderlichen Mehranteil an Wasser verbleiben im erhärteten Beton mit üblichen Zementgehalten Kapillarporen, die im durchfeuchteten Zustand mit Wasser gefüllt sind und die bestimmte Betoneigenschaften, wie z. B. seine Festigkeit und seine Dichtigkeit, beeinträchtigen. Da der Zementgehalt des Betons nicht grenzenlos vergrößert werden kann, wird daher für Qualitätsbeton angestrebt, die erforderliche Verarbeitbarkeit des Frischbetons mit einem möglichst geringen Wassergehalt W zu erreichen.

Der für eine bestimmte Verarbeitbarkeit des Frischbetons erforderliche Wassergehalt W (Zugabewasser und Oberflächenfeuchte des Zuschlags) hängt im wesentlichen von der zu benetzenden Oberfläche des Trockengemischs des Betons, d. h. von Art und Beschaffenheit der festen Ausgangsstoffe des Betons und von der Betonzusammensetzung, ab. Er muß bei Festlegen bzw. Vorausbestimmen der Betonzusammensetzung für die laufende Herstellung abgeschätzt werden.

Die im Einzelfall erforderliche Verarbeitbarkeit des Frischbetons ist von den Gegebenheiten auf der Baustelle bzw. im Betonwerk abhängig, insbesondere von Bauteilabmessungen, Bewehrungsgrad, Einbauverfahren, Einbaugeräten und Betontransport. Sie wird in der Regel mit Hilfe der Konsistenz beurteilt, die nach DIN 1048 Teil 1, Januar 1972, mit dem Verdichtungsversuch, dem Aus-

Tafel 1 Konsistenzbereiche des Frischbetons nach DIN 1045

	1	2	3	4	5	6
	Konsistenzbereich	Eigenschaften des Feinmörtels	Frischbetons beim Schütten	Verdichtungsmaß v	Ausbreitmaß cm	Verdichtungsart
1	K 1 steifer Beton	etwas nasser als erdfeucht	noch lose	1,45 bis 1,26	—	kräftig wirkende Rüttler und/oder kräftiges Stampfen in dünner Schüttlage
2	K 2 plastischer Beton	weich	schollig bis knapp zusammenhängend	1,25 bis 1,11	≤ 40	Rütteln und/oder Stochern oder Stampfen
3	K 3 weicher Beton	flüssig	schwach fließend	1,10 bis 1,04	41 bis 50	Stochern und/oder leichtes Rütteln u. a.

breitversuch, dem Rohrversuch, dem Trichterversuch, dem Verformungsversuch und Setzzeitversuch bestimmt werden kann. In DIN 1045, Januar 1972, werden für die Prüfung mit dem Verdichtungsversuch und mit dem Ausbreitversuch die Konsistenzbereiche K 1, K 2 und K 3 unterschieden, siehe Tafel 1. Für Fließbeton darf das Ausbreitmaß bis 60 cm betragen. Seine für den erforderlichen Wassergehalt maßgebende Ausgangskonsistenz liegt jedoch innerhalb der Konsistenzbereiche der DIN 1045, da der Fließbeton aus dem Ausgangsbeton nach DIN 1045 durch nachträgliches Zuzemischen eines Fließmittels hergestellt wird.

## **2. Stand der Erkenntnisse über den Wasseranspruch des Frischbetons**

Der Wasseranspruch des Betons einer bestimmten Konsistenz wird im wesentlichen von Gesteinsart, Kornform, Oberflächenbeschaffenheit, Größtkorn und Kornzusammensetzung des Zuschlags, von Art, Feinheit und Menge des Zements sowie ggf. von Art und Menge der Betonzusätze (Betonzusatzstoffe und -zusatzmittel) beeinflußt. Er nimmt mit abnehmendem Größtkorn und wachsendem Feinanteil zu, ist in der Regel bei Verwendung gebrochener Ausgangsstoffe größer als bei Verwendung nichtgebrochener Ausgangsstoffe und kann durch die Zugabe bestimmter Betonzusätze verringert werden. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß der Wasseranspruch des Frischbetons bei Einhaltung bestimmter Bereiche für den Mehlkorngesamtgehalt 0/0,25 mm (siehe DIN 1045) und bestimmter Bereiche für den Zementgehalt etwa zwischen 280 und 350 kg/m<sup>3</sup> für Beton mit 32 mm Zuschlaggrößtkorn im allgemeinen genügend genau abgeschätzt wird, wenn dabei Kornform, Größtkorn und Kornzusammensetzung des Zuschlags berücksichtigt werden. (Allerdings muß dabei ggf. der Einfluß nichtmineralischer Betonzusätze, wie z. B. Fließmittel, gesondert berücksichtigt werden.) Aus diesem Grunde findet man im Schrifttum und in den einschlägigen Vorschriften Richtwerte für den Mehlkorngesamtgehalt und die Sieblinienbereiche bzw. andere Kennwerte, wie z. B. Körnungsziffer, Durchgangswert (D-Summe), F-Wert, Feinheitsmodul, spezifische Oberfläche, für die Beurteilung des Größtkorns und der Kornzusammensetzung des Zuschlags (siehe dazu auch [1]). Die DIN 1045, Januar 1972, unterscheidet für Beton Sieblinienbereiche, die durch die Sieblinien A, B, C und U (für Ausfallkörnungen) mit einem Größtkorn von 8, 16, 32 und 63 mm gekennzeichnet sind.

Zum Abschätzen des für eine bestimmte Verarbeitbarkeit im Einzelfall erforderlichen Wassergehalts gibt es seit langem Erfahrungswerte, von denen hier nur einige erwähnt werden können, siehe u. a. [2 bis 9]. Bereits Anfang dieses Jahrhunderts wiesen Feret, Fuller und Abrams auf die Bedeutung einer Zuschlag-Kornzusammensetzung mit geringem Wasseranspruch hin. K. Walz veröffentlichte bereits 1938 [2] Kennwerte für den Wassergehalt, die aufgrund von Versuchen an Betonen mit drei Zementgehalten (180, 240 und 300 kg/m<sup>3</sup>) und mit einem Kiessand und einem gebrochenen Zuschlag und den damals gebräuchlichen sechs Regelsieblinien 0/30 und 0/70 mm für vier Konsistenzen (nahezu erdfeucht bis nahezu flüssig) gewonnen wurden. Abhängig von den Körnungsziffern des Betons oder auch von den Regelsieb-

linien ergaben sich wenig streuende, vom Zementgehalt kaum beeinflusste Richtwerte. Von K. Gaede [3] wurden 1948 „Wasserbedarfszahlen“  $\beta_m$  der einzelnen Kornfraktionen für weichen Beton mit einem Ausbreitmaß  $a$  von 40 bis 45 cm veröffentlicht. Fast zur gleichen Zeit wie Gaede veröffentlichte auch F. Kluge [4] für einzelne Kornfraktionen Wasseranspruchszahlen für plastische Konsistenz. Für weitere Konsistenzen gab er „Konsistenzzahlen“ an, mit denen die jeweilige Konsistenz berücksichtigt werden kann.

1963 gab K. Walz [5] zunächst aufgrund der Auswertung zahlreicher Labormischungen Wasseranspruchszahlen für vier Konsistenzbereiche S 1 bis S 4 und für günstig zusammengesetzte Zuschlaggemische mit einem Größtkorn von 7, 15, 30, 50 und 70 mm an. Nach Herauskommen von DIN 1045, Januar 1972, stellte er davon ausgehend und nach neueren Versuchen die Beziehungen zwischen Verdichtungsmaß, Körnungsziffer und Wassergehalt des Betons auf und leitete davon Wassergehalte für Beton mit den in DIN 1045, Januar 1972, angegebenen Konsistenzbereichen und Sieblinien ab [9].

J. Foth [6] beschrieb 1964 ein Verfahren, das auf dem Wasserhaltevermögen (Absorptionsvermögen) der einzelnen Kornfraktionen beruht. Der danach für eine bestimmte Verarbeitbarkeit erforderliche Wasseranspruch der jeweiligen Betonzusammensetzung wird dann mit Hilfe eines Konsistenzfaktors  $\beta$  ermittelt, der aus einer Grafik entnommen werden kann.

K. Koch und E. Würth [7] gaben 1971 für einen plastischen Beton etwa in der Mitte des Konsistenzbereichs K 2 nach DIN 1045, Januar 1972, und für verschiedene Sieblinien nach DIN 1045, Januar 1972, Wasseranspruchszahlen an, die auf die Untersuchungen von F. Kluge zurückgehen. Bei den Empfehlungen von K. Koch und E. Würth wird der Wasseranspruch des Zements mit rd. 85 dm<sup>3</sup> je 100 dm<sup>3</sup> Stoffraum Zement gesondert berücksichtigt.

J. W. Weber und K. Wesche [8] ermittelten 1971 für verschiedene Konsistenzen ebenfalls für die Sieblinien nach DIN 1045, Januar 1972, in Abhängigkeit vom sogenannten A-Wert nach Kluge und wie Walz von der Körnungsziffer Wasseranspruchswerte.

In Tafel 2 sind die nach K. Walz [9] sowie die nach K. Koch und E. Würth [7] für Beton nach DIN 1045, Januar 1972, erforderlichen Wassergehalte bzw. Wasseranspruchszahlen zusammengestellt.

Die in der Literatur angegebenen Werte für den voraussichtlichen Wasseranspruch eines Betons beruhen überwiegend auf Feststellungen, die vor Herauskommen von DIN 1045, Januar 1972, gewonnen wurden und die daher auf die dort festgelegten neuen Sieblinien und Konsistenzbereiche noch nicht oder nur durch wenige Versuche und Ableitungen abgestimmt worden sind. Teilweise gehen diese Feststellungen entweder auf vergleichsweise engbegrenzte Versuche z. B. mit Zuschlag vorwiegend aus einem Vorkommen oder auf die Auswertung von Versuchen zurück, die sich zwar durch verschiedene Zuschläge aus unterschiedlichen Vorkommen unterschieden, aber häufig mit anderer Aufgabenstellung angesetzt worden sind, so daß ihre Ergebnisse meist auch von

Tafel 2 Wasseranspruchszahlen für Beton nach DIN 1045 (Jan. 1972) nach K. Walz [9] und nach K. Koch und E. Würth [7]

Zuschlag- sieblinie	Mittlerer Wassergehalt nach [9] für Beton mit einem Zement- gehalt bis 350 kg/m <sup>3</sup>			Wasseranspruchszahlen nach [7] in dm <sup>3</sup> Wasser / 100 dm <sup>3</sup> Zuschlag für plast. Konsistenz
	K 1	K 2	K 3	
A 8	160	175	195	10,96
B 8	180	195	215	14,46
C 8	200	215	240	18,60
U 8	—	—	—	11,05
A 16	140	155	175	8,90
B 16	160	175	195	12,28
C 16	185	200	220	16,89
U 16	—	—	—	8,72
A 32	135	145	165	7,54
B 32	155	165	185	11,53
C 32	175	190	215	15,13
U 32	—	—	—	7,53
A 63	125	135	150	7,09
B 63	140	155	175	10,53
C 63	165	175	200	14,37
U 63	—	—	—	7,04

anderen, dabei nicht erfaßten Einflüssen überlagert sind. Wesentliche Abweichungen können dabei z. B. auch dadurch verursacht worden sein, daß die bei einer Auswertung solcher Ergebnisse gleichgesetzten Frischbetonkonsistenzen und Zuschlag-Kornzusammensetzungen tatsächlich nur mehr oder weniger näherungsweise übereinstimmen und daß andere Einflußgrößen, wie z. B. Gesteinsart, Kornform und Oberflächenbeschaffenheit des Zuschlags sowie Art, Feinheit und Menge des Zements, dabei nicht erfaßt wurden bzw. nicht übereinstimmten. Aus diesem Grunde weist K. Walz mit Recht darauf hin, daß die so empirisch meist für einen begrenzten Bereich gewonnenen und dann verallgemeinerten Beziehungen Wassergehalte ergeben, die von den im Einzelfall bei der Eignungsprüfung festgestellten Wassergehalten mehr oder weniger abweichen können.

Eine systematische Untersuchung des für eine bestimmte Verarbeitbarkeit erforderlichen Wassergehalts für Beton nach DIN 1045, Januar 1972, erschien daher angezeigt. Aus diesem Grunde wurden etwa zwischen 1970 und 1975 sowohl im Forschungsinstitut der Zementindustrie, (Düsseldorf,\*) als auch in der Abteilung Baustofftechnologie des Instituts für Beton und Stahlbeton der Universität Karlsruhe (Prof. Dr.-Ing. H. K. Hilsdorf) umfangreiche Untersuchungen zu dieser Fragestellung durchgeführt, über die im folgenden berichtet wird.

\*) Die Versuche wurden größtenteils von Herrn Dipl.-Ing. B. Dartsch durchgeführt

### 3. Aufgabe und Umfang der Untersuchungen

Mit den vorliegenden Untersuchungen sollten die Literaturangaben über den Wasseranspruch des Betons umfassend überprüft und möglichst für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland unter Berücksichtigung der geänderten Konsistenzbereiche und Sieblinien Wasseranspruchszahlen für Beton nach DIN 1045, Januar 1972, ermittelt werden. Die Ergebnisse sollten die Abschätzung der für die verschiedenen Konsistenzen erforderlichen Wassergehalte des Frischbetons möglichst zuverlässig ermöglichen. Bei Festlegung des Umfangs der Untersuchungen wurde daher versucht, sowohl hinsichtlich der Betonausgangsstoffe als auch der Betonzusammensetzung die Verhältnisse der Bundesrepublik Deutschland möglichst weitgehend zu erfassen. Aus diesem Grunde wurden in die Untersuchungen Betonzuschläge verschiedener Art und aus verschiedenen über die Bundesrepublik verteilten Vorkommen einbezogen. Dem Einfluß der Zementart und Feinheit wurde durch die Wahl von drei verschiedenen Zementen nachgegangen.

Auch von der Betonzusammensetzung — der für den Wasseranspruch des Betons wesentlichsten Einflußgröße neben Art und Eigenschaften der Ausgangsstoffe — wurde der mögliche Bereich der wichtigsten Varianten berücksichtigt. In die Untersuchungen einbezogen wurden daher Zuschlaggemische mit unterschiedlichem Größtkorn und unterschiedlicher Kornzusammensetzung sowie sehr unterschiedliche Zementgehalte. Dabei war naturgemäß der in der Praxis häufiger angewendete Bereich der Betonzusammensetzung in größerem Umfang beteiligt als der in der Praxis seltener angewendete Bereich der Betonzusammensetzung. Wegen des allein durch diese Varianten bereits großen Versuchsumfangs konnte bei diesen Versuchen der Einfluß der Betonzusätze auf den Wasseranspruch des Betons nicht mituntersucht werden.

Einen Überblick über die berücksichtigten Versuchsvarianten, ihre Zuordnung und die insgesamt einbezogenen Beton-Trockengemische vermittelt Tafel 3. Aus allen dort angegebenen Beton-Trockengemischen wurde mit verschiedenen Wassergehalten Beton hergestellt. Mit zehn Trockengemischen (siehe Tafel 3) wurden diese Versuche wiederholt, um etwas mehr über die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu erfahren. Dadurch wurden im Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, 134 Beton-Trockengemische und im Institut für Beton und Stahlbeton der Universität Karlsruhe 32 Beton-Trockengemische untersucht; damit ergaben sich durch die unterschiedlichen Wassergehalte insgesamt rd. 1500 verschiedene Frischbetone.

Die Untersuchungen erstreckten sich im wesentlichen auf die Frischbetoneigenschaften. Bei der Bestimmung der Konsistenz wurde teilweise der Zusammenhang zwischen den Werten verschiedener Konsistenzmeßverfahren beurteilt. Durch Herstellung und Prüfung von 20 cm-Würfeln aus einem Teil der Mischungen wurde ferner nachgeprüft, ob die für eine bestimmte Festigkeitsklasse in Abhängigkeit von der Konsistenz und der Zuschlagsieblinie in Tabelle 4 der DIN 1045 aufgeführten Mindestzementgehalte immer ausreichend sind. Über diese zusätzlichen Versuche wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden.

Tafel 3 In die Untersuchung einbezogene Beton-Trockengemische<sup>1)</sup>

Zement	Zement- gehalt in kg/m <sup>3</sup>	Kiessand nördl. Schlesw.- Holstein 1	Betonzuschläge																																				
			Rheinkliessand Düsseldorf 2												Rheinkliessand Karlsruhe 3						Main- kliessand Miltenberg 4		Main- kliessand Aschaffenb. 5		Moräne- kliessand München 6		Moräne- kliessand Weil a. Rh. 7		Gemisch aus Basaltsplitt u. Natursand 8										
			B	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	B	C	B	C	A	B	A	B	B	C	B	C			
16	32	32	8	8	16	16	16	32	32	63	63	63	8	16	16	16	32	32	63	63	16	16	32	32	16	16	32	32	16	16	32	32	16	16	32	32			
PZ 35 F Werk M 1	240		x	x	x	x	x	x	+	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x													x				
	270	x	x					x			x																												
	300	x	x	x	x	x	+	+	+	x	+	+	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	330					x			x																														
	360	x	x	x			x		+	+	x	+	x											x	x	x	x									x	x	x	x
	400					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
PZ 55 Werk S 2	240					x	x	x	x	x	x																												
	270	x	x					x	x	x	x	x	x																										
	300	x	x					+	x	x	x	x																								x			
	360	x	x					x	x	x	x	x	x																										
HOZ 35 L Werk D 3	240					x	x	x	x																														
	270	x	x					x	x	x	x	x	x																										
	300	x	x					x	x	x	x	x	x																							x			
	360	x						x	x	x	x	x	x																										

x mit mehreren Wassergehalten einmal untersuchte Beton-Trockengemische

+ mit mehreren Wassergehalten zweimal untersuchte Beton-Trockengemische

<sup>1)</sup> die Untersuchungen mit den Zuschlägen 1, 2, 4, 6 und 8 wurden in Düsseldorf, die mit den Zuschlägen 3, 5 und 7 in Karlsruhe durchgeführt

## 4. Durchführung der Untersuchungen

### 4.1 Ausgangsstoffe des Betons

#### 4.1.1 *Betonzuschlag*

Als Betonzuschlag wurden sieben Kiessande aus verschiedenen über die Bundesrepublik verteilten Vorkommen und ein doppeltgebrochener Basalt verwendet. Art, Herkunft, Kornrohddichte und wesentliche mineralische Bestandteile der einzelnen Zuschläge gehen aus Tafel 4 hervor. Die Kiessande stammen aus den Räumen nördliches Schleswig-Holstein, Düsseldorf, Karlsruhe, Maingebiet bei Miltenberg und bei Aschaffenburg, München und Weil am Rhein; der Basalt aus dem Raum Bonn. Alle Zuschläge wurden als Betonzuschläge nach DIN 4226 Teil 1, Dezember 1971, geliefert, die Kiessande durchweg in den Korngruppen 0/2 mm, 2/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm, der Moräne-Kiessand aus dem Raum Weil am Rhein in den Korngruppen 0/4 mm, 4/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm und der Basalt in den Korngruppen 2/5 mm, 8/12 mm, 12/18 mm und 18/25 mm. Der Sand 0/4 mm des Vorkommens Weil am Rhein bestand zu rd. 40 Gew.-% aus Brechsand.

Alle Zuschläge wurden lufttrocken, nach Lagerung in einem trockenen Raum mit einer Restkernfeuchte von etwa 0,2 Gew.-% zu Beton verarbeitet. Der Kernfeuchtegehalt der vorher wassergelagerten und anschließend oberflächengetrockneten Zuschläge lag bei Überprüfung durch 48stündiges Trocknen bei 105 °C zwischen 0,8 und 1,8 Gew.-% (siehe Tafel 4). Die oberflächentrockenen Zuschläge wurden erhalten, indem die vorher wassergesättigten Zuschläge durch Abreiben mit einem trockenen Tuch und Lagern im Luftstrom von 20 °C abgetrocknet wurden. Die durch Unterwasserwägung als Trockenrohddichte ermittelte Kornrohddichte lag bei den Kiessanden zwischen 2,56 kg/dm<sup>3</sup> und 2,70 kg/dm<sup>3</sup> und betrug beim Basalt 2,90 kg/dm<sup>3</sup> (siehe Tafel 4).

Die Zuschläge aus dem Raum Düsseldorf wurden zu Korngemischen mit den Sieblinien A, B und C nach DIN 1045, Januar 1972, für 8, 16, 32 und 63 mm Größtkorn zusammengesetzt; die übrigen Zuschläge nur nach einigen dieser Korngemische (siehe Tafel 3). In den meisten Fällen wurden dem Beton zur Einhaltung der angestrebten Sieblinie im Sandbereich geringe Mengen an Quarzmehl 0,045/0,25 mm und/oder Quarzsand 1/2 mm zugegeben. Beim Zuschlaggemisch aus Basalt wurde als Sand Rheinsand (Raum Düsseldorf) verwendet.

#### 4.1.2 *Zement*

Die in die Untersuchungen einbezogenen drei Zemente (Tafel 3) waren ein Portlandzement Z 35 F, ein Portlandzement Z 55 und ein Hochofenzement Z 35 L. Sie unterschieden sich durch Art, Festigkeitsklasse, Feinheit und Herkunft. Alle Zemente entsprachen DIN 1164. Eigenschaften und Zusammensetzung dieser Zemente gehen aus Tafel 5 hervor.

### 4.2 Zusammensetzung und Herstellung des Betons

Mit den Zuschlägen und den Korngemischen nach Abschnitt 4.1.1 und den Zementen nach Abschnitt 4.1.2 wurden Betone mit



Tafel 4 Herkunft, Kornrohdichte und Gesteinsanteile der Betonzuschläge

	Kiessand nördl. Schlesw.-Holst.	Rheinkliessand Düsseldorf	Rheinkliessand Karlsruhe	Mainkliessand Miltenberg	Mainkliessand Aschaffenburg	Moränekliessand München	Moränekliessand Weil a. Rh.	Basalt-Edel- splitt Bonn						
Kornrohdichte <sup>1)</sup> kg/dm <sup>3</sup>	2,59	2,60	2,64	2,67	2,56	2,70	2,67	2,90						
Kernfeuchte Gew.-%	1,2	1,2	1,0	1,4	1,8	0,8	0,9	1,0						
	Gesteinsanteile in Gew.-% der Korngruppe (mm)													
	8/16	16/32	8/16	16/32	2/8	8/32	8/16	16/32	16/32	4/8	16/32	16/32	8/11	11/25
Sandstein	13	19	55	63			25	36	80	2	16			
Kalkstein	10	10			1	2	62	48		92	76	56		
Flint u. ä.	29	39	1				1							
Quarz/Quarzit	2		40	37	70	60	8	9	13	2	8	17		
Granit/Gneis	46	32	4						7			15		
Basalt													100	100
sonstige Gesteine					29	38	4	7		4		12		

<sup>1)</sup> Trockenrohdichte

Tafel 5 Eigenschaften der Zemente

Eigenschaften		Zement			
		PZ 35 F Werk M 1	PZ 55 Werk S 2	HOZ 35 L Werk D 3	
Klinkerphasen nach Bogue	C <sub>3</sub> S	Gew.-%	61,0	75,9	—
	C <sub>2</sub> S		12,0	—	—
	C <sub>3</sub> A		12,7	10,3	—
	C <sub>4</sub> AF		6,0	7,1	—
Hüttensandgehalt	Gew.-%	—	—	rd. 60	
Mahlfeinheit (Spezifische Oberfläche)	cm <sup>2</sup> /g	2900	6000	3800	
Wasseranspruch für Normensteife	Gew.-%	25,0	36,0	29,0	
Erstarrungsbeginn Erstarrungsende	Std; Min	2; 30	2; 30	4; 30	
		4; 00	3; 30	6; 40	
Druckfestigkeit*) nach 2 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	24,6	42,7	—	
Druckfestigkeit*) nach 7 Tagen		—	—	30,8	
Druckfestigkeit*) nach 28 Tagen		50,3	60,8	47,4	

\*) die Druckfestigkeit wurde auf SI-Einheiten umgerechnet und dabei 10 kp/cm<sup>2</sup> = 1 N/mm<sup>2</sup> gesetzt

Zementgehalten von etwa 240, 270, 300, 330, 360 und 400 kg/m<sup>3</sup> (siehe auch Tafel 3) hergestellt. Der Mehlkorngelalt der untersuchten Betone entsprach der Summe aus dem jeweiligen Zementgehalt und dem Anteil an Feinstsand bis 0,25 mm entsprechend der jeweils verwendeten Sieblinie.

Die Wassergehalte wurden für jedes Beton-Trockengemisch nach Tafel 3 so gewählt, daß damit der praktisch nutzbare Konsistenzbereich (etwa K 1 bis K 3 nach DIN 1045) erfaßt war und dabei Frischbetone entstanden, die sich verdichten ließen, sich aber bei sachgerechter Verarbeitung auch nicht wesentlich entmischten. Beginnend mit einem durch Rütteln noch verdichtbaren, nahezu erdfeuchten Beton wurde der Wassergehalt bei den folgenden Mischungen jeweils um 10 l/m<sup>3</sup> gesteigert, bis die obere Grenze des angegebenen Konsistenzbereichs erreicht war. Dadurch wurde jedes Beton-Trockengemisch nach Tafel 3 je nach Sieblinie und Zementgehalt mit 7 bis 11 verschiedenen Wassergehalten hergestellt. Für die insgesamt hergestellten Frischbetone ergaben sich dadurch Wassergehalte etwa zwischen 90 und 260 l je m<sup>3</sup> verdichtetem Frischbeton und W/Z-Werte zwischen etwa 0,31 und 1,10.

Bei der Betonherstellung wurden Zement, Zuschlag und Wasser gewichtsmäßig zugegeben. Der Beton wurde in Chargen von etwa 30 l Festbeton in einem 150 l-Tellermischer 2 min lang gemischt. Die Frischbetontemperatur lag zwischen 18 und 22 °C, vorwiegend bei 20 °C.

### 4.3 Prüfung des Betons

Die tatsächlich vorhandene Betonzusammensetzung wurde nachträglich mit der Stoffraumrechnung über das Mischungsverhältnis und die Frischbetonrohddichte errechnet. Die Frischbetonrohddichte wurde im Behälter des Verdichtungsversuchs nach DIN 1048 Teil 1, Januar 1972, ermittelt. Danach sind die vorgesehenen Zementgehalte (siehe Tafel 3) und die angestrebten Wassergehalte mit großer Genauigkeit erreicht worden. Die Standardabweichung der Abweichungen von den angestrebten Werten betrug beim Zementgehalt  $2,0 \text{ kg/m}^3$  und beim Wassergehalt  $1,6 \text{ kg/m}^3$ . Der Luftgehalt des verdichteten Frischbetons lag im Mittel bei 1 % (Einzelwerte nicht über 3 %) und lediglich bei den sehr steifen Frischbetonen mit einem Verdichtungsmaß über 1,45 zwischen 3 und 10 %.

Die Frischbetonkonsistenz wurde mit dem Verdichtungsmaß nach DIN 1048 Teil 1, Januar 1972, gekennzeichnet. Zum Vergleich wurden soweit möglich auch das Ausbreitmaß nach DIN 1048 Teil 1, Januar 1972, und die Hubstöße nach Powers ermittelt; darüber wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet. Bei der Ermittlung des Verdichtungsmaßes wurden die Frischbetone im dafür vorgesehenen Behälter auf einem Rütteltisch (Frequenz etwa 50 Hz, Schwingungsbreite etwa 1 mm) lose aufgesetzt und so lange verdichtet, bis sich die Oberfläche nicht mehr veränderte und wesentliche Luftblasen nicht mehr aufstiegen. Zur genaueren Erfassung des Betonvolumens, das für die Bestimmung sowohl der Frischbetonrohddichte als auch des Verdichtungsmaßes verwendet wurde, wurde das Stichmaß auf die Betonoberfläche an sechs Stellen gemessen.

Die ermittelten Verdichtungsmaße sind in Abhängigkeit von den mit der Stoffraumrechnung ermittelten Gesamtwassergehalten ein-

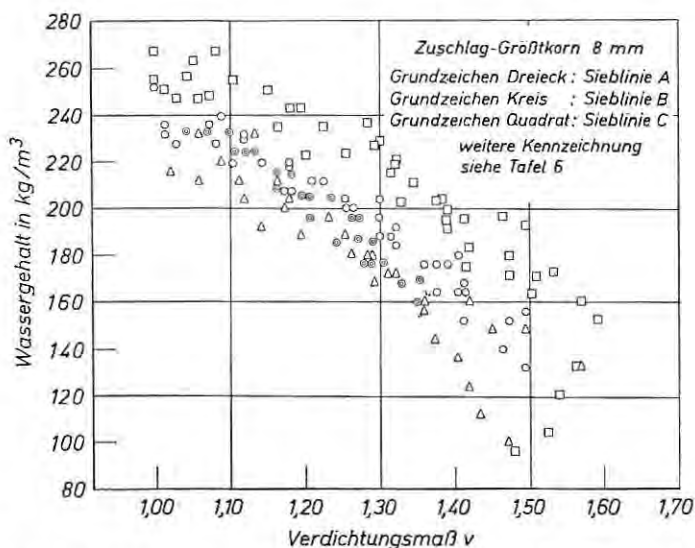


Bild 1 Verdichtungsmaß verschieden zusammengesetzter Frischbetone mit 8 mm Zuschlag-Größtkorn in Abhängigkeit vom Gesamtwassergehalt

schließlich der Kernfeuchte des verdichteten Frischbetons für alle untersuchten Betone mit 8 mm Größtkorn in Bild 1, mit 16 mm Größtkorn in Bild 2, mit 32 mm Größtkorn in Bild 3 und mit 63 mm Größtkorn in Bild 4 aufgetragen. In diesen Bildern konnte die Einflußgröße Zementgehalt aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht

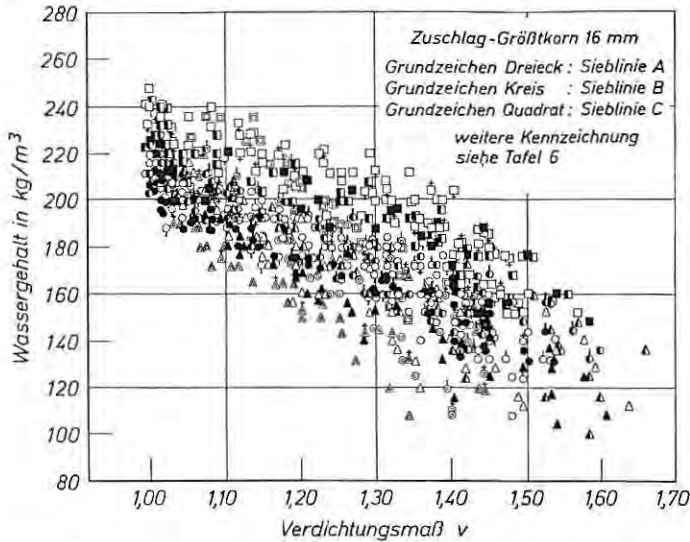


Bild 2 Verdichtungsmaß verschieden zusammengesetzter Frischbetone mit 16 mm Zuschlag-Größtkorn in Abhängigkeit vom Gesamtwassergehalt

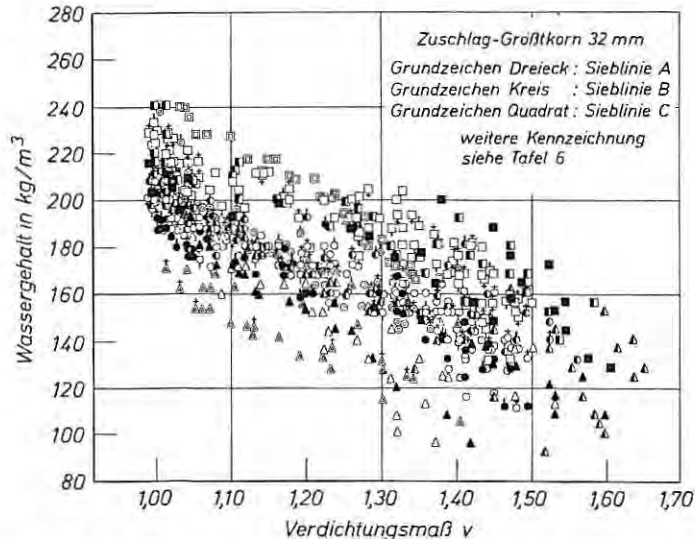


Bild 3 Verdichtungsmaß verschieden zusammengesetzter Frischbetone mit 32 mm Zuschlag-Größtkorn in Abhängigkeit vom Gesamtwassergehalt

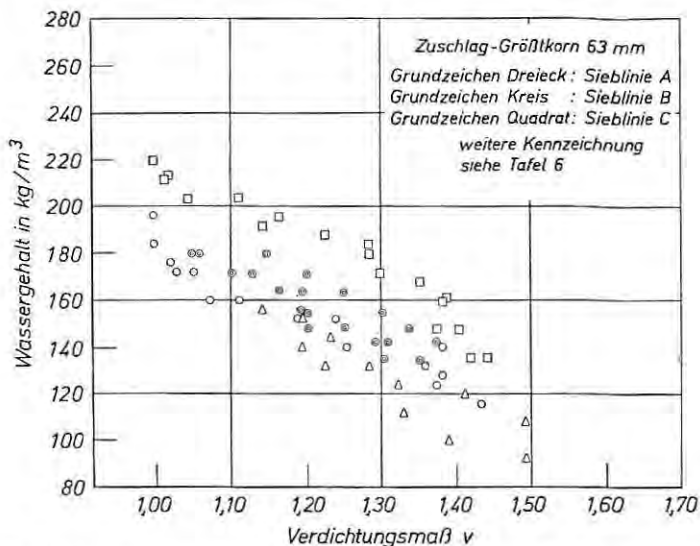


Bild 4 Verdichtungsmaß verschieden zusammengesetzter Frischbetone mit 63 mm Zuschlag-Größtkorn in Abhängigkeit vom Gesamtwassergehalt

mehr durch ein besonderes Signum kenntlich gemacht werden. Die für die verschiedenen Betonzusammensetzungen gewählten Zeichen sind in Tafel 6 zusammengestellt.

## 5. Erörterung der Untersuchungsergebnisse

### 5.1 Allgemeines

Insgesamt liegen die Frischbetonrohddichten der untersuchten Betone zwischen 2,18 und 2,55 kg/dm<sup>3</sup> und die 28 Tage-Druckfestigkeiten zwischen 15 und 62 N/mm<sup>2</sup>. Wie aus den Bildern 1 bis 4 hervorgeht, beträgt die Frischbetonkonsistenz, ausgedrückt als Verdichtungsmaß nach DIN 1048 Teil 1, insgesamt 1,00 bis 1,67 und der zum Erreichen der Frischbetonkonsistenz erforderliche Gesamtwassergehalt (Zugabewasser einschließlich der Kernfeuchte des verwendeten oberflächentrockenen Zuschlags) insgesamt 90 bis 270 kg je m<sup>3</sup> verdichteten Betons. Dieser Gesamtwassergehalt wird hier der Einfachheit halber mit Wassergehalt oder Wasseranspruch bezeichnet, ist jedoch nicht identisch mit dem Wassergehalt W der DIN 1045, unter dem das Zugabewasser und die Oberflächenfeuchte des Zuschlags verstanden wird. Damit sowie durch das Einbeziehen der Betonzuschläge aus verschiedenen Gegenden der Bundesrepublik Deutschland und des weiten Bereichs an Betonzusammensetzungen (siehe Tafel 3) decken die erhaltenen Untersuchungsergebnisse im wesentlichen den von der Praxis meist angewendeten Betonbereich ab. Sie werden daher auch eine weitgehend allgemeingültige Abschätzung des für irgendeinen Beton erforderlichen Wassergehalts gestatten.

Wie zu erwarten war, nimmt der Wasseranspruch der untersuchten

Tafel 6 Zeichen für die Varianten in den Bildern 1 bis 4

Sieblinie			Zuschlag- Vorkommen <sup>1)</sup>	Zement <sup>2)</sup>
A	B	C		
△	○	□	2	1
▲	◉	▣		2
▲	●	■		3
△	◊	□	1	1
▲	◊	▣		2
▲	●	▣		3
△	◊	□	8	1
▲	◊	▣		2
▲	●	▣		3
△	◊	□	6	1
▲	◊	▣		2
▲	●	▣		3
△	◊	□	4	1
▲	◊	▣		2
▲	●	▣		3
△	◉	▣	3	1
▲	◉	▣		2
▲	◉	▣		3
△	◊	□	5	1
▲	◊	▣		2
▲	◊	▣		3
△	◊	□	7	1
▲	◊	▣		2
▲	◊	▣		3

1) siehe Tafel 4

2) siehe Tafel 5

Betone von steifer bis weicher Frischbetonkonsistenz zu. Die Zunahme des Wasseranspruchs wird meist von weicher bis steifer Frischbetonkonsistenz größer und ist nur in wenigen Fällen im Bereich weicher Betone ausgeprägter. Im folgenden wird anhand der Untersuchungsergebnisse der Frage nachgegangen, welchen Einfluß Zuschlagkornzusammensetzung, Zuschlagart, Zementgehalt und Zementart auf den Wasseranspruch des Betons haben.

## 5.2 Einfluß von Kornzusammensetzung und Größtkorn

Der Einfluß der Zuschlagkornzusammensetzung auf den Wasseranspruch des Betons geht aus den Bildern 1 bis 4 hervor, die die

Ergebnisse über Frischbetonkonsistenz (Verdichtungsmaß) und Wassergehalt aller untersuchten Betone, enthalten. Zur Verdeutlichung und besseren Beurteilung des Einflusses der Zuschlagkornzusammensetzung auf den Wasseranspruch ist in Bild 5 der Wassergehalt aller untersuchten Betone mit Zuschlag 1 (Tafel 3) und Zement 1 (Tafel 5) nochmals in Abhängigkeit vom Verdichtungsmaß des Frischbetons aufgetragen. Für jede Sieblinie sind die Prüfwerte durch eine gemittelte Kurve dargestellt. Die Abweichung der einzelnen Prüfwerte von dieser Kurve ist in der Regel bei Beton mit Sieblinie C geringer und bei Beton mit Sieblinie A größer als bei Beton mit Sieblinie B und nimmt im allgemeinen mit steifer werdender Frischbetonkonsistenz etwas zu.

Die Darstellung in Bild 5 macht deutlich, daß der Wasseranspruch für Zuschlaggemische mit den Sieblinien A, B und C nach DIN 1045 sich deutlich unterscheidet und daß dies für Betone mit 8, 16, 32 und 63 mm Größtkorn zutrifft. Erwartungsgemäß ist der Wasseranspruch bei Beton mit Sieblinie C stets größer und bei Beton mit Sieblinie A stets kleiner als bei Beton mit Sieblinie B. Jedoch ist der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Sieblinien B und C meist größer als zwischen den Betonen mit den Sieblinien A und B. Der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Sieblinien B und C ist bei Beton mit gleichem Größtkorn näherungsweise konstant und beträgt im Mittel beim Beton mit 8 mm Größtkorn etwa  $25 \text{ kg/m}^3$ , bei den Betonen mit 16 mm und 32 mm Größtkorn etwa  $30 \text{ kg/m}^3$  und beim Beton mit 63 mm Größtkorn etwa  $38 \text{ kg/m}^3$ . Der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Sieblinien A und B ist im Bereich weicher Konsistenz gering, nimmt jedoch meist mit steifer werdender Konsistenz mehr oder weniger deutlich zu und erreicht im steifen Konsistenzbereich etwa Werte zwischen 10 und  $40 \text{ kg/m}^3$ . Das bedeutet, daß der Wasseranspruch beim Beton mit Sieblinie A mit steifer werdender Konsistenz deutlich stärker abnimmt als bei den Betonen mit den Sieblinien B und C. Die deutlich stärkere Abnahme des Wasseranspruchs mit steifer werdender Konsistenz bei den Betonen mit Sieblinie A kann eine Folge des geringen Mehlkorngehaltes und der größeren Sperrigkeit dieser Betone sein, die sich bei der Konsistenzbestimmung mit dem Verdichtungsmaß im Bereich weicher Konsistenz offenbar stärker auswirkt als im Bereich steifer Konsistenz.

Auch der Einfluß des Zuschlaggrößtkorns auf den Wasseranspruch aller untersuchten Betone und des durch die Veränderung des Größtkorns veränderten Mehlkorn- und Sandanteils kann den Bildern 1 bis 5 entnommen werden. Zur besseren Beurteilung dieses Einflusses sind die in Bild 5 für den Zusammenhang zwischen Wasseranspruch und Frischbetonkonsistenz eingetragenen Kurven in Bild 6 nochmals gesondert für die Sieblinien A, B und C wiedergegeben. Aus dieser Darstellung geht hervor, daß der Wasseranspruch in der Regel mit zunehmendem Zuschlaggrößtkorn deutlich abnimmt. Lediglich im Bereich steifer Konsistenz treten teilweise geringfügige Überschneidungen auf. Während die Abnahme des Wassergehaltes zwischen den Betonen mit 8 und 16 mm Größtkorn bei Zuschlaggemischen mit Sieblinie A etwa zwischen 17 und  $35 \text{ kg/m}^3$ , bei Zuschlaggemischen mit Sieblinie B etwa zwischen 16

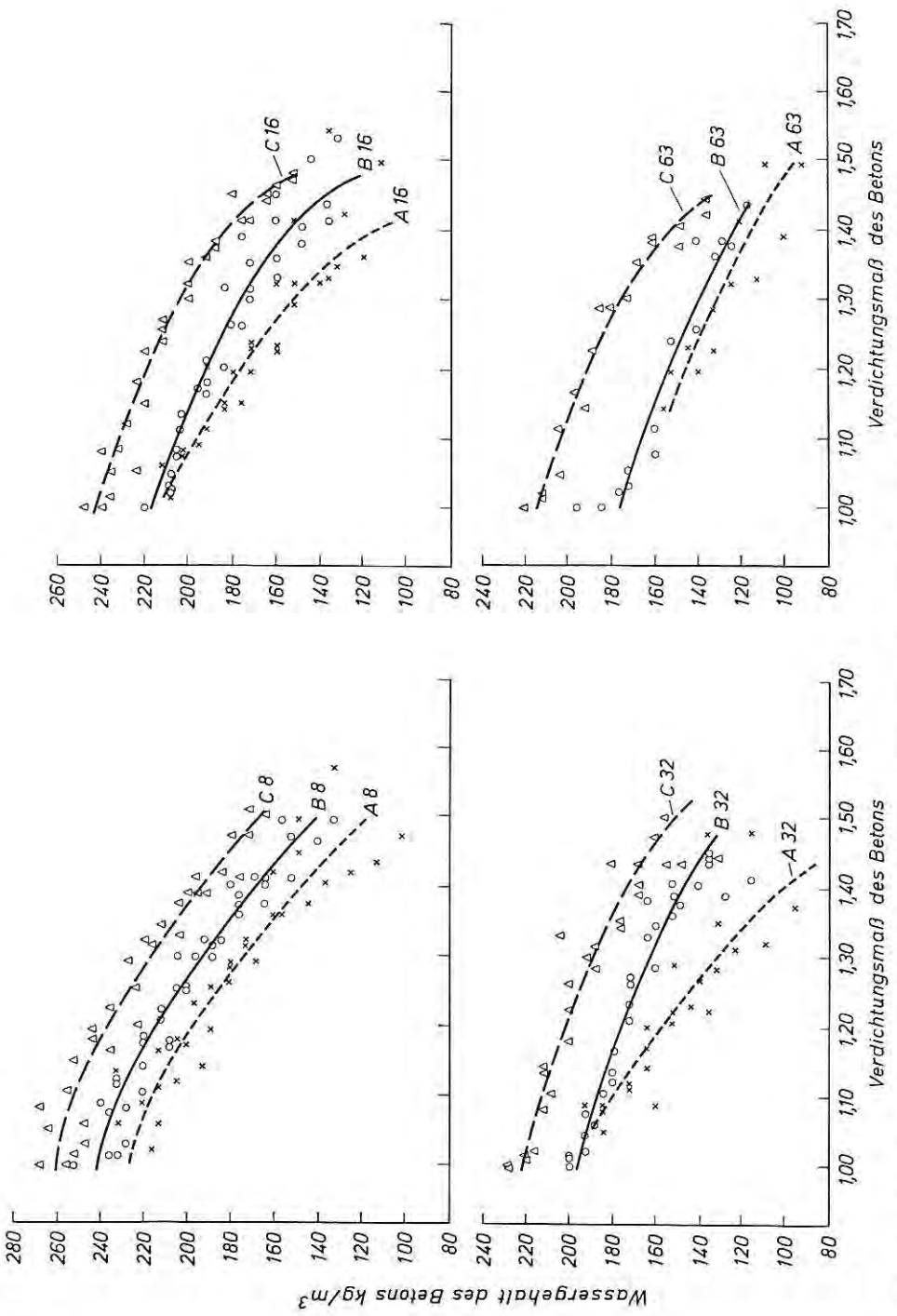


Bild 5 Einfluss der Kornzusammensetzung des Zuschlags auf den Wasseranspruch von Beton mit Zuschlag 2 und Zement 1



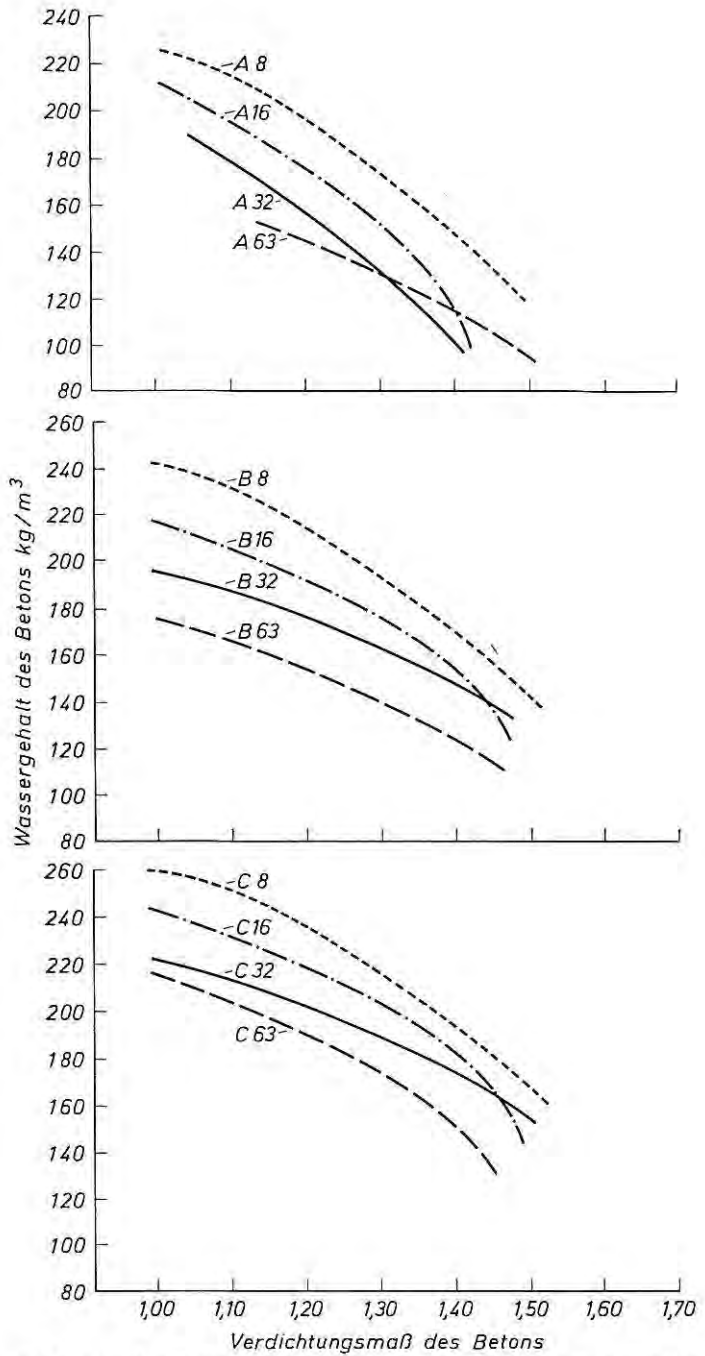


Bild 8 Einfluß des Zuschlaggrößtkorns auf den Wasseranspruch von Beton mit Zuschlag 2 und Zement 1

und  $29 \text{ kg/m}^3$  und bei Zuschlaggemischen mit Sieblinie C etwa zwischen  $13$  und  $21 \text{ kg/m}^3$  liegt, beträgt der Wassergehaltsunterschied zwischen den Betonen mit  $32$  und  $63 \text{ mm}$  Größtkorn bei Zuschlaggemischen mit Sieblinie A etwa  $0$  bis  $20 \text{ kg/m}^3$ , bei Zuschlaggemischen mit Sieblinie B etwa  $22$  bis  $27 \text{ kg/m}^3$  und bei Zuschlaggemischen mit Sieblinie C etwa  $7$  bis  $33 \text{ kg/m}^3$ . Der Wassergehaltsunterschied zwischen den Betonen mit  $16$  und  $32 \text{ mm}$  Größtkorn nimmt durchweg von etwa  $20 \text{ kg/m}^3$  (bei weicher Konsistenz) bis auf  $0 \text{ kg/m}^3$  (bei steifer Konsistenz) ab.

Betrachtet man den Einfluß der Sieblinie und den des Größtkorns bei einem Verdichtungsmaß von  $1,20$ , so nimmt der Wasseranspruch aller einbezogenen Sieblinien mit  $8, 16, 32$  und  $63 \text{ mm}$  Größtkorn in folgender Reihenfolge zu:

A 63, A 32, B 63, A 16, B 32, C 63,  
B 16, A 8, C 32, B 8, C 16 und C 8.

Diese Reihenfolge trifft weitgehend auch für die vom Verdichtungsmaß  $1,20$  abweichenden, häufig angewendeten Frischbetonkonsistenzen zu; lediglich im Bereich der steiferen Betone oberhalb vom Verdichtungsmaß  $1,20$  ergeben sich einige Überschneidungen.

Außer der qualitativen Angabe der Reihenfolge der Sieblinie hinsichtlich ihres Wasseranspruchs ist eine quantitative Aussage über den Zusammenhang zwischen Zuschlagkornzusammensetzung und Wasseranspruch des Betons möglich, wenn die Sieblinien durch einen zahlenmäßigen Kennwert für die Kornzusammensetzung ersetzt werden, wie z. B. durch die Körnungsziffer [9] oder die Oberfläche des Zuschlaggemisches. In Bild 7 ist oben die Beziehung zwischen Körnungsziffer des Zuschlags und Wasseranspruch des Betons und unten die Beziehung zwischen Oberfläche des Zuschlags und Wasseranspruch des Betons mit Zuschlag 2 und Zement 1 (Tafel 3) aufgetragen. Aus der Darstellung erkennt man, daß die Oberfläche des Zuschlags allein kein ausreichendes Maß für die Beurteilung des Wasseranspruchs des Betons ist, daß aber zwischen Körnungsziffer des Zuschlags und Wasseranspruch des Betons eine eindeutige Beziehung besteht, so daß es möglich ist, den Wasseranspruch mit Hilfe der Körnungsziffer genügend genau abzuschätzen. Daraus ist zu folgern, daß die Frischbetonkonsistenz und der dafür erforderliche Wassergehalt in viel stärkerem Maße von der Mengenverteilung der Korngrößen, die allein der Körnungsziffer zugrunde liegt, abhängen als von der zu benetzenden Oberfläche des Zuschlags, die idealisiert aus dem auf eine Kugel bezogenen Korndurchmesser und der Menge der einzelnen Korngrößen errechnet wird.

### 5.3 Einfluß der Zuschlagart

Die einbezogenen 8 Zuschläge sind im wesentlichen gekennzeichnet durch ihre Herkunft und die mit diesen Zuschlägen vorliegenden Erfahrungen. Wie teilweise aus Tafel 4 hervorgeht, unterscheiden sie sich auch durch ihre Kornrohichte, die Wasseraufnahme (Kernfeuchte) und die stofflichen Anteile. Andere für den Wasseranspruch des Betons wichtige Zuschlageigenschaften, wie

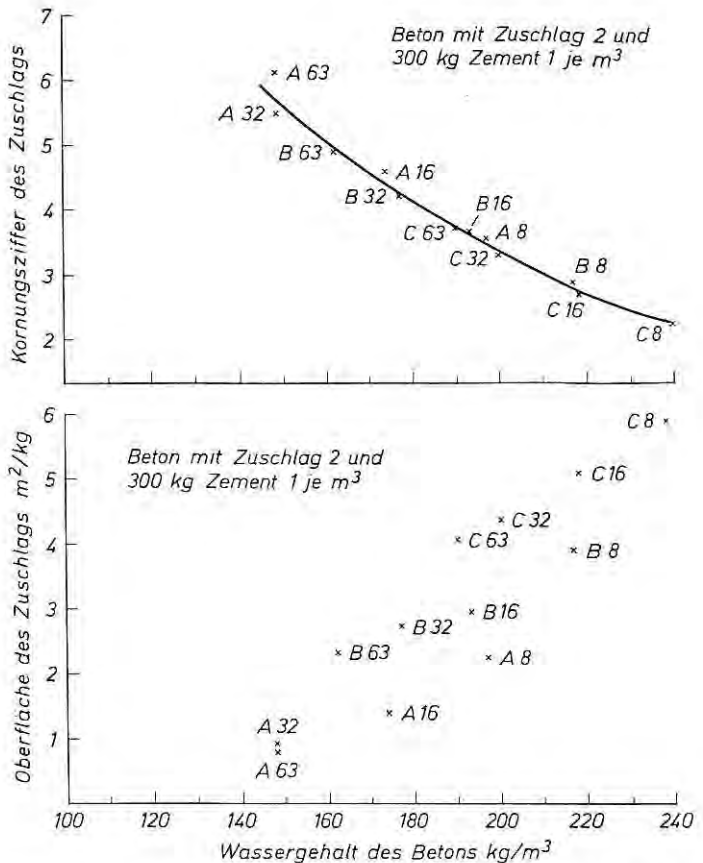


Bild 7 Zusammenhang zwischen Wasseranspruch des Betons und Körnungsziffer sowie Oberfläche des Zuschlags (Zuschlag 2, Zement 1) für einen Beton mit einem Verdichtungsmaß von 1,20

z. B. Kornform und Oberflächenbeschaffenheit des Zuschlagkorns, wurden von den beteiligten Prüfstellen nicht bestimmt, weil deren Einfluß auf den Wasseranspruch des Betons nur durch eine sehr aufwendige Prüfung und Kennzeichnung dieser Eigenschaften hätte erfaßt werden können.

Alle Ergebnisse über den Einfluß der Zuschlagart auf den für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz erforderlichen Wassergehalt sind in den Bildern 1 bis 4 enthalten. Zum besseren Erkennen des Einflusses sind jedoch die Ergebnisse mit den 8 Zuschlägen für Beton mit Sieblinie B 16 und 300 kg Zement je m<sup>3</sup> in Bild 8, oben, und für Beton mit Sieblinie B 32 und 300 kg Zement je m<sup>3</sup> in Bild 8, unten, herausgestellt. Aus Bild 8 geht hervor, daß der Wasseranspruch je nach Zuschlagart und -herkunft deutlich verschieden sein kann. Bei beiden Beispielen weisen Betone mit den Zuschlägen 2 und 5

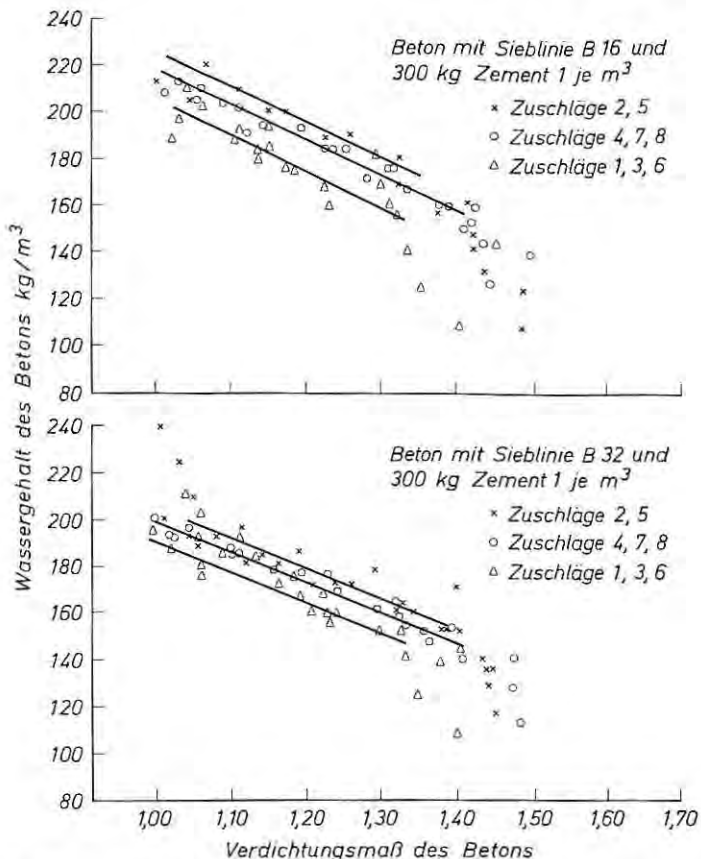


Bild 8 Einfluß der Zuschläge 1 bis 8 auf den Wasseranspruch von Beton

(Tafel 3) den größten, Betone mit den Zuschlägen 4, 7 und 8 (Tafel 3), wozu auch das Gemisch aus Basaltsplitt und Natursand zählt, einen mittleren und Betone mit den Zuschlägen 1, 3 und 6 (Tafel 3) den kleinsten Wasseranspruch auf. Der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Zuschlägen 2 und 5 und den Betonen mit den Zuschlägen 1, 3 und 6 beträgt im Bereich üblicher Frischbetonkonsistenzen beim Beton mit Sieblinie B 16 im Mittel etwa 20 kg/m<sup>3</sup> und beim Beton mit Sieblinie B 32 im Mittel etwa 15 kg/m<sup>3</sup>.

Für einen weiteren Aufschluß sind Versuchsergebnisse über den Einfluß der Zuschlagart auf den Wassergehalt für Beton mit unterschiedlichen Sieblinien in Bild 9, für Beton mit unterschiedlichem Größtkorn in Bild 10, für Beton mit unterschiedlichem Zementgehalt in Bild 11 und für Beton mit unterschiedlichem Zement in Bild 12 dargestellt. Dazu sind die Betone mit den Zuschlägen 2 (Rheinkiesand Düsseldorf) und 3 (Rheinkiesand Karlsruhe) heran-

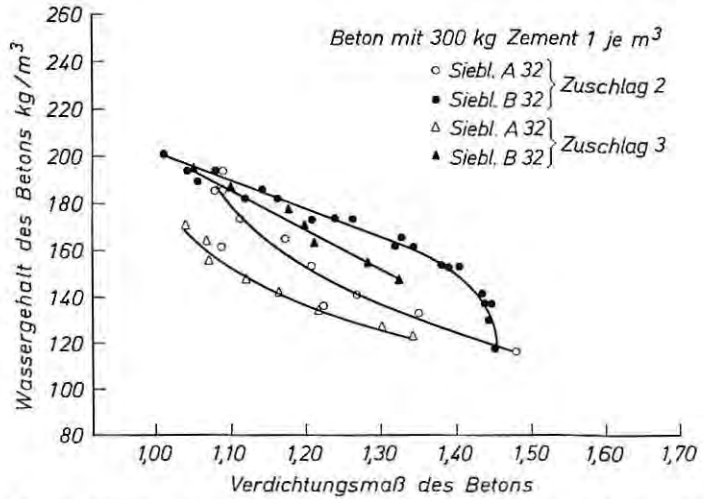


Bild 9 Einfluß der Zuschläge 2 und 3 auf den Wasseranspruch von Beton mit unterschiedlichen Sieblinien

gezogen worden (siehe Tafel 3), weil der eine dieser Zuschläge zur Gruppe mit großem und der andere zur Gruppe mit kleinem Wasseranspruch gehört (siehe Bild 8). Gemäß Bild 9 ist der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Zuschlägen 2 und 3 bei üblich zusammengesetztem Beton mit Sieblinie A 32 und einem Verdichtungsmaß unter 1,25 größer als bei entsprechendem Beton mit Sieblinie B 32.

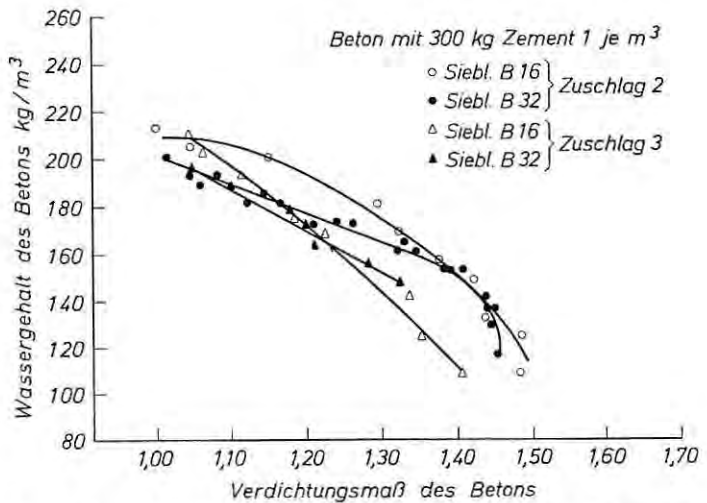


Bild 10 Einfluß der Zuschläge 2 und 3 auf den Wasseranspruch von Beton mit unterschiedlichem Größtkorn

Wie die Versuchsergebnisse in Bild 10 zeigen, kann sich dabei auch das Zuschlaggrößtkorn auswirken. Der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Zuschlägen 2 und 3 nimmt dabei mit steiferer Frischbetonkonsistenz zu und ist bei Beton mit 16 mm Größtkorn (Unterschiede zwischen 0 und 50 kg/m<sup>3</sup>) deutlich größer als bei Beton mit 32 mm Größtkorn (Werte zwischen 0 und 15 kg/m<sup>3</sup>).

Bild 11 läßt erkennen, wie sich der Einfluß der Zuschlagart auf den Wasseranspruch des Betons mit dem Zementgehalt ändern kann. Dabei sind als Beispiel bewußt Betone mit der mehlkornarmen Sieblinie A 32 gewählt worden, weil sich dabei der Einfluß des Zementgehalts stärker auswirkt (siehe auch Abschnitt 5.4). Der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Zuschlägen 2 und 3 (Tafel 3) beträgt beim Beton mit 400 kg Zement je m<sup>3</sup> nahezu konstant 10 kg/m<sup>3</sup>, nimmt jedoch im untersuchten Bereich bei den Betonen mit 240 und 300 kg Zement je m<sup>3</sup> vom weichen zum steifen Beton hin etwa von 30 kg/m<sup>3</sup> auf 0 bzw. 5 kg/m<sup>3</sup> ab. Daraus kann gefolgert werden, daß ein nennenswerter Einfluß der Zuschlagart auf den Wasseranspruch vor allem bei etwas niedrigeren Zement- und Mehlkorngehalten vorhanden ist.

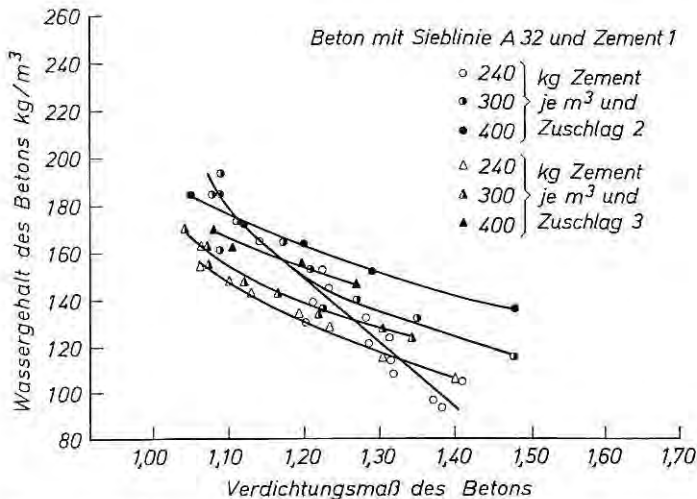


Bild 11 Einfluß der Zuschläge 2 und 3 auf den Wasseranspruch von Beton mit unterschiedlichem Zementgehalt

In Bild 12 sind Versuchsergebnisse über den Einfluß der Zuschlagart auf den Wassergehalt für Betone aus verschiedenen Zementen aufgetragen. Ein nennenswerter Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Zuschlägen 2 und 3 ergibt sich dabei praktisch nur beim Beton mit dem mittelfeinen Zement 1 (Tafel 3), er nimmt mit steifer werdendem Beton zunächst bis zu etwa 12 kg/m<sup>3</sup> zu und anschließend wieder ab. Für den Beton mit dem

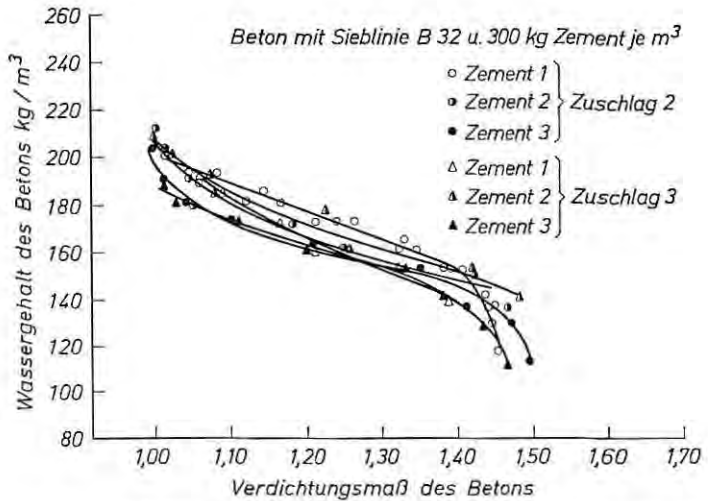


Bild 12 Einfluß der Zuschläge 2 und 3 auf den Wasseranspruch von Beton mit unterschiedlichem Zement

sehr feinen Zement 2 (Tafel 3) ist ein eindeutiger Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Zuschlägen 2 und 3 nicht erkennbar. Auch für den Beton mit dem feinen Zement 3 (Tafel 3) ergibt sich – abgesehen vom Bereich steifer Konsistenz – kein nennenswerter Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit den Zuschlägen 2 und 3. Für eine gesicherte Aussage über diesen Einfluß sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Möglicherweise kann sich der Einfluß der Zementfeinheit, z. B. bei Beton mit Sieblinie A u. a. wegen des geringeren Mehlkornanteils im Zuschlag, deutlicher auswirken.

Zusammenfassend ist dazu festzustellen, daß auch die Zuschlagart (stoffliche Beschaffenheit, Wasseraufnahme, Kornform, Oberflächenbeschaffenheit) den für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz erforderlichen Wasseranspruch u. U. so stark beeinflussen kann, daß er möglichst berücksichtigt werden sollte. Die Größe dieses Einflusses ist bei gleichem Zuschlag aber auch abhängig von der Kornzusammensetzung und dem Größtkorn des Zuschlags sowie vom Zement- bzw. Mehlkorngehalt des Betons. Nach bisherigen Feststellungen ist dabei der Einfluß des Zements vergleichsweise gering.

#### 5.4 Einfluß des Zementgehalts

Einige charakteristische Versuchsergebnisse über den Einfluß des Zementgehalts und damit auch des Mehlkorngehalts auf den für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz erforderlichen Wassergehalt enthalten die Bilder 13 bis 17. Da zu erwarten ist, daß dieser Einfluß auch vom Mehlkornanteil und der Kornabstufung des Zu-

schlags abhängig ist, wird er bei verschiedenen Zuschlagsieblinien betrachtet. Nach den Ergebnissen in Bild 13 ist der Wasseranspruch des Betons mit der Zuschlagsieblinie C 8 vom Zementgehalt (240, 300 und 400 kg/m<sup>3</sup>) praktisch unabhängig. Wie Bild 14 zeigt, gilt diese Aussage nicht so weitgehend für Beton mit der Zuschlag-

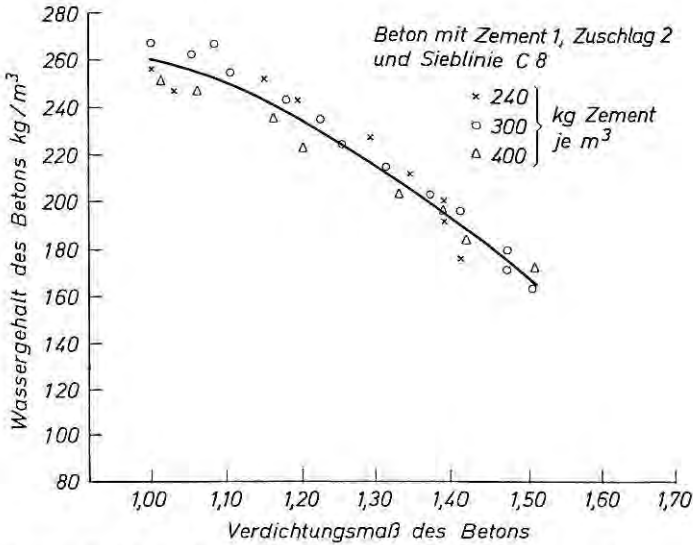


Bild 13 Einfluß des Zementgehaltes auf den Wasseranspruch von Beton mit Sieblinie C 8

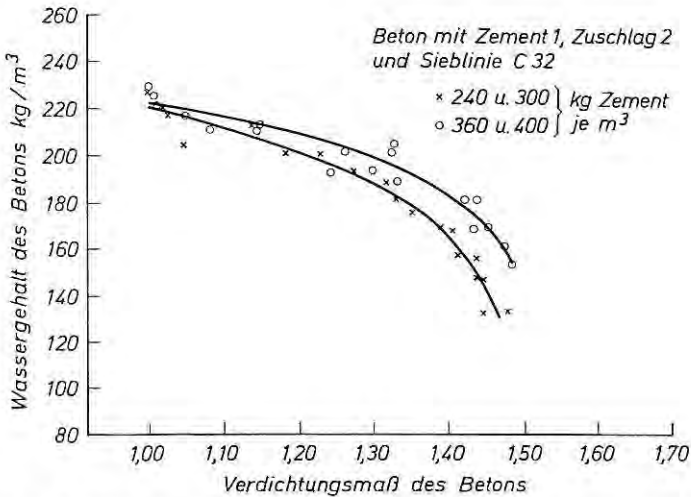


Bild 14 Einfluß des Zementgehaltes auf den Wasseranspruch von Beton mit Sieblinie C 32



sieblinie C 32. Hier beeinflusst der Zementgehalt den Wasseranspruch von weichem und plastischem Beton etwa bis zum Verdichtungsmaß von 1,20 nicht. Jedoch oberhalb des Verdichtungsmaßes von 1,20 benötigen Betone mit Zementgehalten von 240 und 300 kg/m<sup>3</sup> für gleiche Frischbetonkonsistenz einen geringeren Wasseranspruch als Betone mit Zementgehalten von 360 und 400 kg/m<sup>3</sup>. Dieser Wasseranspruchsunterschied nimmt mit steifer werdender Konsistenz zu und beträgt beim Verdichtungsmaß von 1,35 rd. 15 kg/m<sup>3</sup> und beim Verdichtungsmaß von 1,45 rd. 25 kg/m<sup>3</sup>.

Ausgeprägter ist der Einfluß des Zementgehalts auf den Wasseranspruch beim Beton mit der Zuschlagsieblinie B 16 bei einem Verdichtungsmaß oberhalb von 1,20, siehe Bild 15. Hier beträgt der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit Zementgehalten von 240 und 300 kg/m<sup>3</sup> und den Betonen mit Zementgehalten von 360 und 400 kg/m<sup>3</sup> bei einem Verdichtungsmaß von 1,35 bereits etwa 20 kg/m<sup>3</sup> und beim Verdichtungsmaß von 1,45 etwa 30 kg/m<sup>3</sup>. Wie aus Bild 16 hervorgeht, ist ein Einfluß des Zementgehalts auf den Wasseranspruch beim Beton mit der Zuschlagsieblinie B 32 trotz der Streuung der Ergebnisse bereits bei Verdichtungsmaßen oberhalb von 1,15 festzustellen. Dabei ist der Wasseranspruch der Betone mit Zementgehalten von 240 und 270 kg/m<sup>3</sup> beim Verdichtungsmaß von 1,35 um etwa 15 kg/m<sup>3</sup> und beim Verdichtungsmaß von 1,40 um etwa 35 kg/m<sup>3</sup> geringer als der Wasseranspruch der Betone mit den Zementgehalten von 360 und 400 kg/m<sup>3</sup>.

In Bild 17 sind einige Versuchsergebnisse über den Einfluß des Zementgehalts auf den Wasseranspruch von Beton mit der Zuschlagsieblinie A 32 wiedergegeben. Bei diesem sand- und mehl-

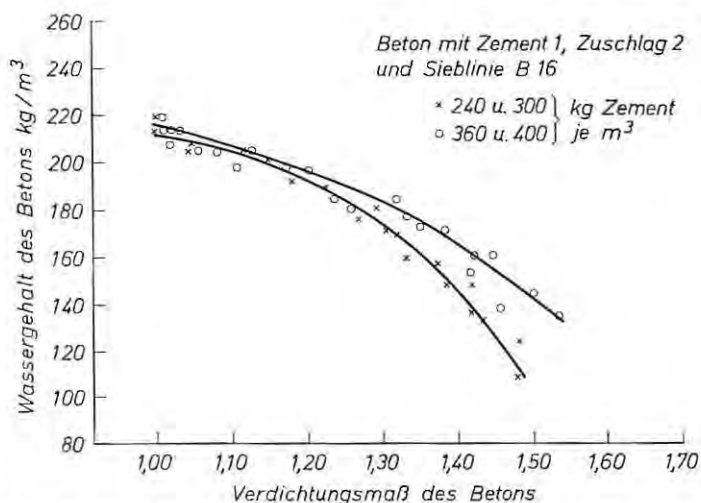


Bild 15 Einfluß des Zementgehaltes auf den Wasseranspruch von Beton mit Sieblinie B 16

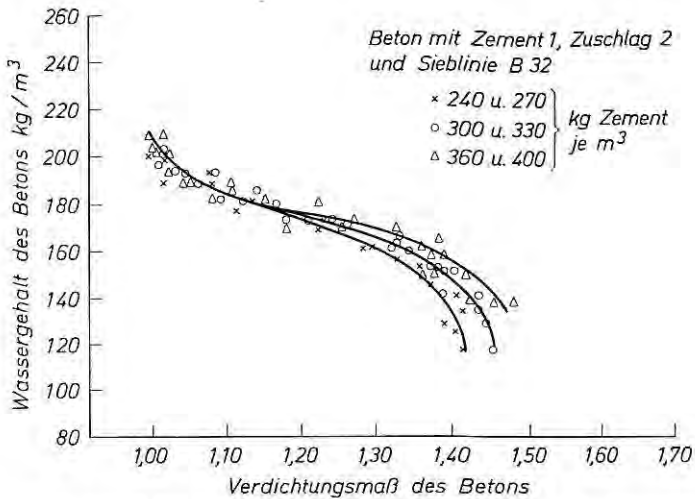


Bild 16 Einfluß des Zementgehaltes auf den Wasseranspruch von Beton mit Sieblinie B 32

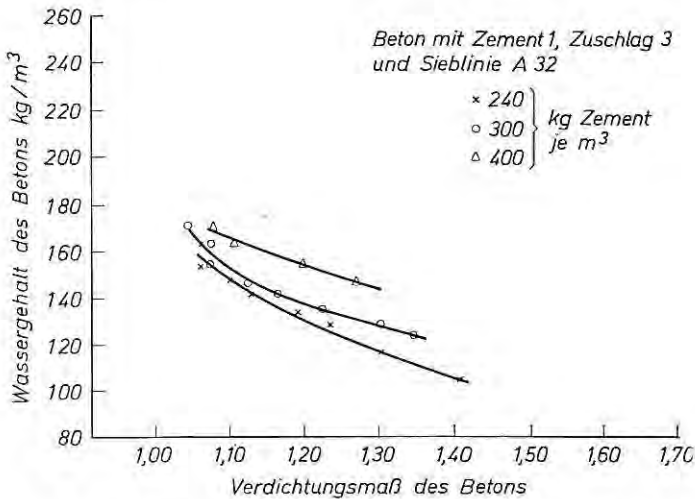


Bild 17 Einfluß des Zementgehaltes auf den Wasseranspruch von Beton mit Sieblinie A 32

kornarmen Zuschlaggemisch beeinflußt der Zementgehalt den Wasseranspruch des Betons im gesamten untersuchten Konsistenzbereich (Verdichtungsmaße 1,05 bis 1,35). Der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit 300 und 400 kg Zement je m<sup>3</sup> ist deutlich größer als der Unterschied zwischen den Betonen mit Zementgehalten von 240 und 300 kg/m<sup>3</sup>.

Der Wasseranspruch des Betons mit 400 kg Zement je m<sup>3</sup> ist beim Verdichtungsmaß von 1,10 um etwa 15 kg/m<sup>3</sup> größer als der des

Betons mit 300 kg Zement je  $m^3$  und um etwa 20  $kg/m^3$  größer als der des Betons mit 240 kg Zement je  $m^3$ . Beim Verdichtungsmaß von 1,25 beträgt der Wasseranspruchsunterschied zwischen den Betonen mit 240 und 400 kg Zement je  $m^3$  etwa 25  $kg/m^3$ .

Zusammenfassend ist festzustellen, daß auch der Zementgehalt bzw. der Mehlkorngesamtgehalt den Wasseranspruch des Betons wesentlich beeinflussen kann. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse können größere Zementgehaltsunterschiede, z. B. von etwa 100  $kg/m^3$  und mehr, bei Beton mit mehlkorn- und sandarmen Zuschlagsgemischen, wie z. B. bei Sieblinie A 32, nennenswerte Wasseranspruchsunterschiede zur Folge haben. Mit zunehmendem Sand- und Mehlkornanteil des Zuschlagsgemischs geht aber der Einfluß des Zementgehalts auf den Wasseranspruch des Betons zurück, und zwar zunächst im weichen und im plastischen Konsistenzbereich. Bei Beton mit sehr mehlkorn- und sandreichen Zuschlagsgemischen, wie z. B. bei Sieblinie C 8, kann ein Einfluß des Zementgehalts praktisch nicht mehr festgestellt werden. Ein stärkerer Einfluß des Zementgehalts auf den Wasseranspruch ist aber auch bei Beton mit den Sieblinien B und C nicht auszuschließen, wenn diese Zuschlagsgemische einen deutlich geringeren Mehlkorn- bzw. Feinsandanteil aufweisen, als er der Regelsieblinie entspricht. Hierzu sind jedoch noch weitere Versuche notwendig. Bei Betonen üblicher Zusammensetzung wirken sich Zementgehaltsunterschiede etwa zwischen 270 und 330  $kg/m^3$  auf den Wasseranspruch des Betons im allgemeinen nicht wesentlich aus.

### 5.5 Einfluß des Zements

Von den drei einbezogenen Zementen (Eigenschaften und Zusammensetzung siehe Tafel 5) interessiert für die vorliegenden Betrachtungen besonders, daß es sich beim Zement 1 um einen mittelfeinen Portlandzement der Festigkeitsklasse Z 35 F, beim Zement 2 um einen sehr feinen Portlandzement der Festigkeitsklasse Z 55 F und beim Zement 3 um einen feinen Hochofenzement Z 35 L mit rd. 60 Gew.-% Hüttensand handelt. Der Wasseranspruch für Normsteife, der jedoch erfahrungsgemäß nicht auf den Wasseranspruch des Betons übertragen werden kann, ist beim Zement 2 größer und beim Zement 1 kleiner als beim Zement 3. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung und Feinheit wird auch das Wasserhaltevermögen der Zemente unterschiedlich sein. Da jedoch nur drei Zemente in die Untersuchungen einbezogen wurden, können die aus den Ergebnissen gefolgerten Aussagen über den Einfluß des Zements auf den Wassergehalt des Betons nur als orientierende Feststellung gewertet werden.

Einige charakteristische Versuchsergebnisse über den Einfluß des Zements auf den Wasseranspruch des Betons gehen aus den Bildern 18 bis 21 hervor. Da gleichzeitig eine Abhängigkeit vom Mehlkorngesamtgehalt und von der Kornabstufung des Zuschlags zu erwarten ist, muß dieser Einfluß bei verschiedenen Zementgehalten und Zuschlagsieblinien betrachtet werden. Wie auch aus Bild 18 hervorgeht, wirken sich die drei sehr unterschiedlichen Zemente auf den Wasseranspruch von Beton mit 240 kg Zement je  $m^3$  und Zuschlagsgemischen nach den Sieblinien B 16 und C 16 praktisch

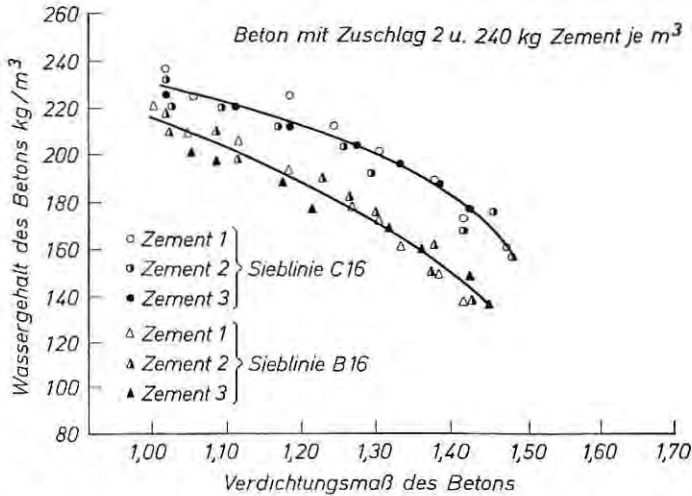


Bild 18 Einfluß des Zements auf den Wasseranspruch von Beton mit 240 kg Zement je m<sup>3</sup> und Zuschlag mit den Sieblinien C 16 und B 16

nicht aus. Ein Einfluß ist aber feststellbar, wenn der Zementgehalt bei den Betonen mit den Sieblinien C 16, C 32, B 16 und B 32 nicht 240, sondern 300 kg/m<sup>3</sup> beträgt, siehe z. B. Bild 19. Bei diesem Beispiel (Beton mit Sieblinie C 16 und 300 kg Zement je m<sup>3</sup>) weist der Beton mit Zement 1 durchweg einen um 15 kg/m<sup>3</sup> größeren Wasseranspruch auf als die Betone mit den feineren Zementen 2 und 3. Etwas Ähnliches fand sich für die Betone mit 300 kg Zement je m<sup>3</sup> und den Zuschlagsieblinien B 16, B 32 und C 32.

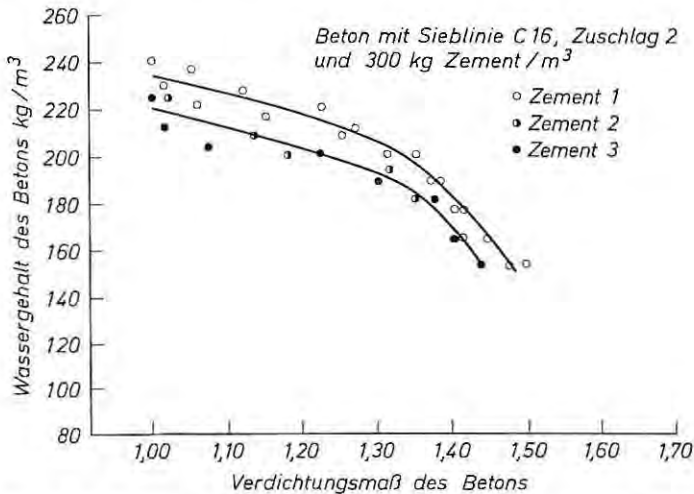


Bild 19 Einfluß des Zements auf den Wasseranspruch von Beton mit 300 kg Zement je m<sup>3</sup> und Zuschlag mit der Sieblinie C 16

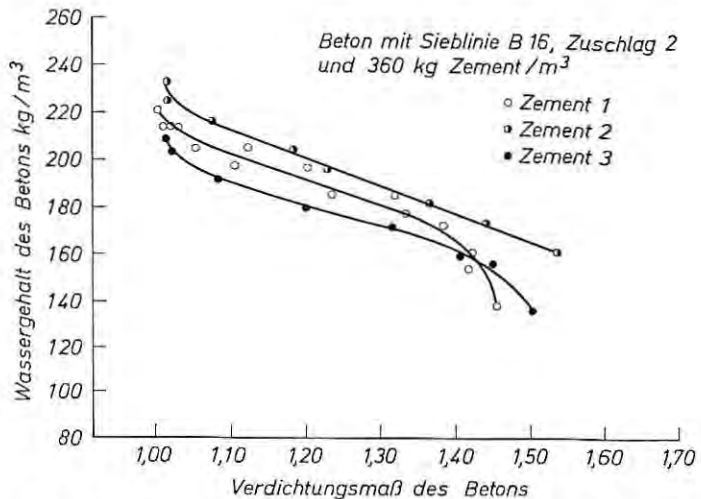


Bild 20 Einfluß des Zements auf den Wasseranspruch von Beton mit 360 kg Zement je m<sup>3</sup> und Zuschlag mit der Sieblinie B 16

Die Ergebnisse in Bild 20 machen deutlich, daß der Einfluß des Zements auf den Wasseranspruch bei noch größerem Zementgehalt (Beton mit Sieblinie B 16 und 360 kg Zement je m<sup>3</sup>) noch ausgeprägter ist. Hier ist der Wasseranspruch für alle drei Zemente unterschiedlich und nicht mehr wie nach Bild 19 für den Beton mit Zement 1, sondern für einen Beton mit dem sehr feinen Zement 2 am größten. Der Wasseranspruch des Betons mit dem sehr feinen Zement 2 ist dabei etwa bis zum Verdichtungsmaß von 1,35 rd. 10 kg/m<sup>3</sup> größer als der Wasseranspruch des Betons mit Zement 1 und um rd. 20 kg/m<sup>3</sup> größer als der Wasseranspruch des Betons mit Zement 3. Etwa ab Verdichtungsmaß 1,40 weist dabei jedoch der Beton mit Zement 1 auch einen geringeren Wasseranspruch auf als der Beton mit Zement 3. Die Ergebnisse in Bild 21 weisen darauf hin, daß sich der Einfluß des Zements bei Beton mit sehr grobkörnigen Zuschlaggemischen, wie z. B. nach Sieblinie A 32, auch bereits bei einem Zementgehalt von 240 kg/m<sup>3</sup> deutlich bemerkbar macht. Hier weist der Beton mit dem sehr feinen Zement 2 den größten und der Beton mit dem Zement 1 den kleinsten Wasseranspruch auf.

Versucht man, diese Ergebnisse der allerdings nur orientierenden Untersuchungen zusammenzufassen und zu deuten, so ist allgemein festzustellen, daß auch der Zement den Wasseranspruch des Betons deutlich beeinflussen kann. Nach den Versuchsergebnissen macht sich dieser Einfluß bei Beton mit den Sieblinien B und C etwa ab Zementgehalten von mindestens 300 kg/m<sup>3</sup> für sehr feine Zemente und etwa ab Zementgehalten von mindestens 350 kg/m<sup>3</sup> für alle Zemente bemerkbar. Betone mit der Sieblinie A zeigen diesen Einfluß auch schon bei Zementgehalten von 240 kg/m<sup>3</sup>. Diese Feststellungen und die Reihenfolge des Wasseranspruchs der verschiedenen Zemente in den Bildern 19 bis 21 lassen ver-

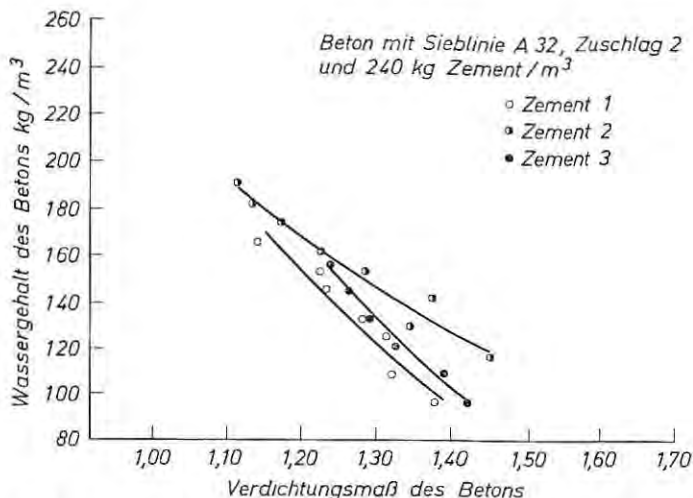


Bild 21 Einfluß des Zements auf den Wasseranspruch von Beton mit 240 kg Zement je m<sup>3</sup> und Zuschlag mit der Sieblinie A 32

muten, daß feinere Zemente zunächst wegen der Verbesserung der Verarbeitbarkeit durch „Schmierwirkung“ einen geringeren Wasseranspruch des Betons zur Folge haben und dann bei vergrößertem Zementgehalt oder grobkörnigerem Zuschlaggemisch durch ihre größere zu benetzende Oberfläche einen größeren Wasseranspruch des Betons verursachen als weniger feine Zemente.

## 6. Vorschlag für die Praxis

### 6.1 Wassergehalt $W$ für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz

Die insgesamt erhaltenen Ergebnisse machen deutlich, daß der für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz erforderliche Wassergehalt im wesentlichen von Kornzusammensetzung und Größtkorn des Zuschlags, von Art und Eigenschaften des Gesteinkorns, vom Zementgehalt und vom Zement bestimmt wird. Dabei ist der Einfluß von Kornzusammensetzung und Größtkorn des Zuschlags überragend, so daß der Wasseranspruch des Frischbetons allein damit annähernd abgeschätzt werden kann. Für ein genaueres und praxisnäheres Abschätzen empfiehlt es sich jedoch, dabei stets auch Art und Eigenschaften des Zuschlagkorns und in bestimmten Fällen auch den Zementgehalt und den Zement zu berücksichtigen.

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen – bisher wurden die Gesamtwassergehalte des Betons betrachtet – wurden Vorschläge für den Mittelwert des für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz erforderlichen Wassergehalts  $W$  nach DIN 1045 abgeleitet. Diese Vorschläge sind für Zuschlag mit großem Wasseranspruch (Zuschläge 1, 2, 4, 5 und 8 nach Tafel 3) in Tafel 7 und für Zuschlag mit geringem Wasseranspruch (Zuschläge 3, 6 und 7 nach Tafel 3) in Tafel 8 für verschiedene Frischbetonkonsistenzen

Tafel 7 Wassergehalt W für Beton mit „Zuschlag mit großem Wasseranspruch“ in Abhängigkeit vom Verdichtungsmaß

Verdichtungsmaß	Mittelwert des Wassergehaltes W [kg/m³] bei den Zuschlagsieblinien A 63 bis C 8 bzw. den Körnungsziffern 6,15 bis 2,27											
	A 63 6,15	A 32 5,48	B 63 4,91	A 16 4,61	B 32 4,20	C 63 3,72	B 16 3,66	A 8 3,64	C 32 3,30	B 8 2,89	C 16 2,75	C 8 2,27
1,05	160	170	180	190	195	200	205	210	220	225	235	250
1,10	155	165	175	185	190	195	200	205	215	220	230	245
1,15	150	160	170	175	180	185	190	195	205	210	220	235
1,20	145	155	160	165	170	175	180	185	195	200	210	225
1,25	135	145	150	155	160	165	170	175	185	190	200	215
1,35	120	130	135	140	140	145	150	155	165	175	185	195
1,45	105	110	115	120	120	125	130	135	150	155	160	180

Tafel 8 Wassergehalt W für Beton mit „Zuschlag mit geringem Wasseranspruch“ in Abhängigkeit vom Verdichtungsmaß

Verdichtungsmaß	Mittelwert des Wassergehaltes W [kg/m³] bei den Zuschlagsieblinien A 63 bis C 8 bzw. den Körnungsziffern 6,15 bis 2,27											
	A 63 6,15	A 32 5,48	B 63 4,91	A 16 4,61	B 32 4,20	C 63 3,72	B 16 3,66	A 8 3,64	C 32 3,30	B 8 2,89	C 16 2,75	C 8 2,27
1,05	140	150	165	175	185	190	200	205	215	220	225	235
1,10	135	145	160	170	180	185	195	200	210	215	220	230
1,15	130	140	150	160	170	180	185	190	200	205	210	220
1,20	120	130	140	150	160	170	175	180	190	195	200	210
1,25	110	120	130	140	150	155	160	170	180	185	190	200
1,35	95	105	115	120	130	135	140	150	160	170	175	185
1,45	80	85	95	100	105	110	115	125	135	145	150	160

(Verdichtungsmaß nach DIN 1048 Teil 1) in Abhängigkeit von der Zuschlagkornzusammensetzung (Sieblinie bzw. Körnungsziffer) zusammengestellt. Von den in die Untersuchungen einbezogenen Zuschlägen zählten die Kiessande mit einer Kornrohichte größer als  $2,62 \text{ kg/dm}^3$  und einer Kernfeuchte von höchstens  $1,0 \text{ Gew.}\%$  zu den Zuschlägen mit geringem Wasseranspruch und alle übrigen Kiessande sowie das Gemisch aus Basaltsplitt und Natursand zu den Zuschlägen mit großem Wasseranspruch. Die in den Tafeln 7 und 8 angegebenen Mittelwerte der Wassergehalte entsprechen den Wassergehalten  $W$  der DIN 1045, Abschnitte 2.1.3.4 und 9.1 g (Gesamtwassergehalt des Frischbetons abzüglich der Kernfeuchte des Zuschlags oder dem Zugabewasser des Frischbetons einschließlich der Oberflächenfeuchte des Zuschlags), und gelten für in der Praxis übliche Betone etwa mit Zementgehalten unter  $330 \text{ kg/m}^3$  und Zementen etwa mit einer spezifischen Oberfläche nach DIN 1164 unter  $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Wie ein Vergleich der Wassergehalte  $W$  der Tafeln 7 und 8 zeigt, ist der Einfluß der Zuschlagart auf den Wasseranspruch des Betons bei Beton aller Konsistenzen mit den Sieblinien A 63, A 32, B 63, A 16, B 32, C 16 und C 8 und bei Beton mit den übrigen Sieblinien im Konsistenzbereich K 1 deutlich, bei den übrigen Betonen geringfügig. Gemäß einer Fehlerbetrachtung ist der Fehler infolge unterschiedlicher Kernfeuchte der Zuschläge bei den Konsistenzbestimmungen für die Wassergehalte  $W$  der Tafeln 7 und 8 kleiner als  $5 \text{ l/m}^3$ .

Wie bereits in den Abschnitten 5.3 und 5.4 herausgestellt wurde, wirkt sich der Einfluß des Zementgehalts auf den Wasseranspruch des Betons vorwiegend bei mehlkorn- und feinsandärmeren Betonzusammensetzungen sowie bei Beton steifer Frischbetonkonsistenz (Bereich K 1) aus. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse wird dieser Einfluß weitgehend berücksichtigt, wenn bei Zementgehalten über  $330 \text{ kg/m}^3$  der Wassergehalt  $W$  aller Betone der Tafeln 7 und 8 mit einem Verdichtungsmaß  $\geq 1,25$  sowie aller Betone der Tafel 8 mit Zuschlaggemischen im Bereich A 63, A 32, B 63 und A 16, d. h. Zuschlaggemischen mit einer Körnungsziffer über 4,40, um etwa  $10 \text{ l/m}^3$  größer angesetzt wird, als er sich aus den Tafeln 7 und 8 ergibt. Bei den übrigen Betonen der Tafeln 7 und 8 ist diese Erhöhung des Wassergehaltes  $W$  auch bei Zementgehalten über  $330 \text{ kg/m}^3$  nicht erforderlich. Dabei wird für die Betone nach Tafel 8 vorausgesetzt, daß die Zuschlaggemische B 32 bis C 8 auch im Feinbereich der jeweiligen Sieblinie entsprechen und ihre Körnungsziffer nicht über 4,40 liegt. — Pulverförmige Zusatzstoffe sind, soweit sie nicht nennenswert wassereinsparend wirken, bei der Beurteilung dieses Einflusses, wenn sie bindemittelfein sind, dem Bindemittelanteil und, wenn sie nicht bindemittelfein sind, dem Zuschlaggemisch (Körnungsziffer) zuzurechnen.

Aufgrund der orientierenden Feststellungen über den Einfluß des Zements erscheint es bei Verwendung eines feinen Zements mit einer spezifischen Oberfläche nach DIN 1164 etwa über  $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$  zweckmäßig, den Wassergehalt  $W$  bei allen Betonen mit Zuschlaggemischen im Bereich der Sieblinien A 63, A 32, B 63 und A 16 (Körnungsziffer etwa über 4,40) und bei Betonen mit einem Zementgehalt über  $330 \text{ kg/m}^3$  und einem Zuschlaggemisch im Bereich der Sieblinien B 32, C 63, B 16 und B 8 (Körnungsziffer



etwa zwischen 4,40 und 3,40) etwa um  $10 \text{ l/m}^3$  größer anzusetzen als in den Tafeln 7 und 8. Hüttensandreiche Zemente (bei den Untersuchungen mit einer spezifischen Oberfläche von  $3800 \text{ cm}^2/\text{g}$  und einem Hüttensandgehalt von rd. 60 Gew.-%) können im Bereich plastischer und weicher Konsistenz (K 2 und K 3) der Tafeln 7 und 8 einen im Mittel um etwa  $10 \text{ l/m}^3$  geringeren Wassergehalt W erfordern als nach den Tafeln 7 und 8. — Die Veränderungen des Wassergehalts W infolge höheren Zementgehalts, feineren Zements und höheren Hüttensandgehalts sind zu addieren, wenn die Voraussetzungen für diese Einflüsse gegeben sind.

### **6.2 Wassergehalt für Frischbeton der Konsistenzbereiche K 1, K 2 und K 3**

Für den Fall, daß der Wassergehalt W nach DIN 1045 nicht für eine bestimmte Frischbetonkonsistenz (bestimmtes Verdichtungsmaß), sondern für die Konsistenzbereiche K 1, K 2 oder K 3 nach DIN 1045 abgeschätzt werden soll, sind aus den Untersuchungsergebnissen dafür Bereiche des Wassergehalts W abgeleitet worden. Diese Bereiche sind für Beton mit Zuschlag mit großem Wasseranspruch (Zuschläge 1, 2, 4, 5 und 8 nach Tafel 3) in Tafel 9 und für Beton mit Zuschlag mit sehr niedrigem Wasseranspruch (Zuschläge 3, 6 und 7 nach Tafel 3) in Tafel 10 angegeben. Sie gelten wie die Werte in den Tafeln 7 und 8 für üblich zusammengesetzte Frischbetone mit einem Zementgehalt unter  $330 \text{ kg/m}^3$  und einem Zement etwa mit einer spezifischen Oberfläche nach DIN 1164 unter  $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Eine Veränderung der Wassergehalte W der Tafeln 9 und 10 kann unter den gleichen Bedingungen, wie in Abschnitt 6.1 für die Werte der Tafeln 7 und 8 angegeben, erforderlich sein, wenn der Beton einen Zementgehalt über  $330 \text{ kg/m}^3$ , einen feinen Zement mit einer spezifischen Oberfläche nach DIN 1164 über  $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$  und/oder einen höheren Hüttensandgehalt enthält.

### **6.3 Vergleich mit den bisherigen Vorschlägen**

Der Vergleich dieser aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen abgeleiteten Vorschläge für den Wassergehalt W nach DIN 1045 mit den bisherigen Vorschlägen soll sich im wesentlichen auf die Angaben von K. Walz (siehe auch Tafel 2 und [9]) erstrecken, die mit den Werten der Tafeln 9 und 10 leicht verglichen werden können. K. Walz macht in [9] darüber hinaus Angaben über die Korrektur des Wassergehalts W bei Änderung des Mehlkorngehalts sowie bei Verwendung von gebrochenem Zuschlag und von Zusatzmitteln. Der vorliegende Neuvorschlag berücksichtigt den Einfluß der Kiessandart, des Zementgehalts und des Zements.

Ein unmittelbarer Vergleich der Tafeln 9 und 10 mit den Werten von K. Walz (siehe Tafel 2) zeigt, daß der Wassergehalt nach K. Walz für den Beton der Konsistenz K 1 stets deutlich größer ist als die mittleren Werte der Tafel 10 (Beton mit Zuschlag mit geringerem Wasseranspruch) und meist noch etwas größer als die mittleren Werte der Tafel 9 (Beton mit Zuschlag mit großem Wasseranspruch). Beurteilt mit den vorliegenden Untersuchungs-

Tafel 9 Wassergehalt W für Beton der Konsistenzbereiche K 1, K 2 und K 3 mit „Zuschlag mit großem Wasseranspruch“

Konsistenzbereich	Wassergehalt W [kg/m <sup>3</sup> ] bei den Zuschlagsieblinien A 63 bis C 8 bzw. den Körnungsziffern 6,15 bis 2,27											
	A 63 6,15	A 32 5,48	B 63 4,91	A 16 4,61	B 32 4,20	C 63 3,72	B 16 3,66	A 8 3,64	C 32 3,30	B 8 2,89	C 16 2,75	C 8 2,27
K 1	120 ± 15	130 ± 15	135 ± 15	140 ± 20	140 ± 20	145 ± 20	150 ± 20	155 ± 20	165 ± 20	175 ± 20	185 ± 20	200 ± 20
K 2	145 ± 10	155 ± 10	160 ± 10	170 ± 15	175 ± 15	180 ± 15	185 ± 15	190 ± 15	200 ± 15	205 ± 15	215 ± 15	230 ± 15
K 3	160 ± 10	170 ± 10	180 ± 10	190 ± 10	195 ± 10	200 ± 10	205 ± 10	210 ± 10	220 ± 10	225 ± 10	235 ± 10	250 ± 10

Tafel 10 Wassergehalt W für Beton der Konsistenzbereiche K 1, K 2 und K 3 mit „Zuschlag mit geringem Wasseranspruch“

Konsistenzbereich	Wassergehalt W [kg/m <sup>3</sup> ] bei den Zuschlagsieblinien A 63 bis C 8 bzw. den Körnungsziffern 6,15 bis 2,27											
	A 63 6,15	A 32 5,48	B 63 4,91	A 16 4,61	B 32 4,20	C 63 3,72	B 16 3,66	A 8 3,64	C 32 3,30	B 8 2,89	C 16 2,75	C 8 2,27
K 1	95 ± 15	105 ± 15	115 ± 15	120 ± 20	130 ± 20	135 ± 20	140 ± 20	150 ± 20	160 ± 20	170 ± 20	175 ± 20	185 ± 20
K 2	125 ± 10	135 ± 10	145 ± 10	155 ± 15	165 ± 15	175 ± 15	180 ± 15	185 ± 15	195 ± 15	200 ± 15	205 ± 15	215 ± 15
K 3	140 ± 10	150 ± 10	165 ± 10	175 ± 10	185 ± 10	190 ± 10	200 ± 10	205 ± 10	215 ± 10	220 ± 10	225 ± 10	235 ± 10

ergebnissen liegen die Werte von K. Walz damit am oberen Rande des Bereichs und dürften teilweise etwas zu große Wassergehalte W liefern.

Für Beton der Konsistenzen K 2 und K 3 liegen die Wassergehalte nach K. Walz bei grobkörnigen Zuschlaggemischen (Sieblinien A 63, A 32 und B 63) zwischen den Werten der Tafeln 9 und 10, bei den übrigen Zuschlaggemischen sind sie gleich oder etwas kleiner als die Werte der Tafel 10 (Beton mit Zuschlag mit geringem Wasseranspruch). Damit stehen die Wassergehalte nach K. Walz für Beton der Konsistenzen K 2 und K 3 bei grobkörnigen Zuschlaggemischen (Sieblinien A 63, A 32 und B 32) in guter Übereinstimmung mit den Werten der Tafeln 9 und 10. Für die übrigen Zuschlaggemische liegen sie jedoch am unteren Rande des Bereichs und dürften, beurteilt nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen, in einigen Fällen etwas zu kleine Wassergehalte W ergeben.

## **7. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen**

Die im Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, und in der Abteilung Betontechnologie des Instituts für Beton und Stahlbeton der Universität Karlsruhe in den Jahren 1970 bis 1975 durchgeführten umfangreichen Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

7.1 Der Einfluß der Kornzusammensetzung und des Größtkorns des Zuschlags ist überragend, so daß damit der Wasseranspruch des Frischbetons in erster Näherung abgeschätzt werden kann. Für die Beurteilung des Einflusses der Kornzusammensetzung und des Größtkorns ist die Körnungsziffer des Zuschlaggemischs ein zuverlässiger und leicht bestimmbarer Parameter.

7.2 Für ein genaueres und praxisnäheres Abschätzen der Wassergehalte sollten auch Art und Eigenschaften des Zuschlagskorns und in bestimmten Fällen auch der Zementgehalt und der Zement berücksichtigt werden.

7.3 Die untersuchten Zuschläge ließen sich in „Zuschläge mit großem Wasseranspruch“ und in „solche mit geringem Wasseranspruch“ unterteilen. Ein deutlicher Einfluß dieser beiden Zuschlagkategorien auf den Wasseranspruch zeigte sich bei Beton aller Konsistenzen mit den Sieblinien A 63, A 32, B 63, A 16, B 32, C 16 und C 8 und bei Beton mit den übrigen Sieblinien im Konsistenzbereich K 1.

7.4 Für Beton mit „Zuschlag mit großem Wasseranspruch“ und für Beton mit „Zuschlag mit geringem Wasseranspruch“ wurde je ein Vorschlag für den Wassergehalt W nach DIN 1045 aufgestellt, der für Beton mit einem Zementgehalt unter  $330 \text{ kg/m}^3$  und mit einem Zement mit einer spezifischen Oberfläche nach DIN 1164 etwa unter  $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$  gilt.

7.5 Insbesondere bei mehlkorn- und feinsandärmerem Beton und bei Beton der Konsistenz K 1 kann ein Zementgehalt etwa über  $330 \text{ kg/m}^3$  einen im Mittel um etwa  $10 \text{ l/m}^3$  größeren Wassergehalt

W erfordern als gleicher Beton mit einem Zementgehalt unter  $330 \text{ kg/m}^3$ .

7.6 Aufgrund lediglich orientierender Feststellungen über den Einfluß des Zements erscheint es zweckmäßig, bei Verwendung von feinem Zement mit einer spezifischen Oberfläche nach DIN 1164 etwa über  $4500 \text{ cm}^2/\text{g}$  den Wassergehalt W von grobkörnigen Betonen (Körnungsziffer etwa über 4,40) stets und von Beton mit mittlerer Kornzusammensetzung (Körnungsziffer etwa zwischen 4,40 und 3,40) bei einem Zementgehalt über  $330 \text{ kg/m}^3$  um etwa  $10 \text{ l/m}^3$  größer anzusetzen.

#### SCHRIFTTUM

- [1] Zement-Taschenbuch 1976/77. Bauverlag, Wiesbaden/Berlin 1976, Tafel 17.
- [2] Walz, K.: Verarbeitbarkeit und mechanische Eigenschaften des Frischbetons. Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, H. 91, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1938.
- [3] Gaede, K.: Der Wasserbedarf des Betons und der Abrams'sche Feinheitsmodul. Die Bautechnik 25 (1948) H. 9, S. 198/201.
- [4] Kluge, F.: Vorausbestimmung der Wassermenge bei Betonmischungen für bestimmte Betongüten und Frischbetonkonsistenzen. Der Bauingenieur 24 (1949) H. 6, S. 172/175.
- [5] Walz, K.: Anleitung für die Zusammensetzung und Herstellung von Beton mit bestimmten Eigenschaften. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1958 (2. Aufl. 1963).
- [6] Foth, J.: Wasseranspruch und betontechnologische Berechnung. Die Bauwirtschaft 18 (1964) H. 15, S. 366/371.
- [7] Koch, K., und E. Würth: Wasseranspruchs- und Stoffraumrechnung für Beton. beton 21 (1971) H. 8, S. 324/327.
- [8] Weber, J. W., u. K. Wesche: Kennwerte für die Kornverteilung nach dem Wasseranspruch. Betonstein-Zeitung 37 (1971) H. 9, S. 550/556.
- [9] Walz, K.: Herstellung von Beton nach DIN 1045. 2. Auflage. Beton-Verlag, Düsseldorf 1972.