

Verwendung von heißem Anmachwasser für Beton im Winterbau

Von Gerd Wischers und Eberhard Krumm, Düsseldorf

Übersicht

Durch Versuche an Betonen unterschiedlicher Zusammensetzung und Konsistenz aus sehr verschiedenen Zementen sollte geklärt werden, in welchem Maße 60 und 90 °C heißes Anmachwasser, das dem Gemisch von kaltem Zement und kaltem Zuschlag in einen laufenden Mischer zugegeben wird, die Konsistenz und Festigkeit des Betons verändert.

Bei einer Temperatur des Zements und des Zuschlags von 5 °C rief 60 °C warmes Anmachwasser keine Veränderung der Verarbeitbarkeit und Festigkeit hervor; es wurde eine Frischbetontemperatur von etwa 20 °C erreicht. 90 °C heißes Anmachwasser bewirkte ein geringfügiges Versteifen und ein teilweises Koagulieren des Zementleims, aber auch hierbei änderte sich die Festigkeit gegenüber dem Vergleichsbeton (alle Komponenten 20 °C) praktisch nicht. Die Frischbetontemperatur lag zwischen 25 und 30 °C. Grundsätzliche Bedenken gegen heißes Anmachwasser, das dem Gemisch aus Zement und Zuschlag in die laufende Mischmaschine zugegeben wird, bestehen nicht. Da die Zemente etwas verschieden auf sehr heißes Anmachwasser reagierten, empfiehlt sich damit jedoch eine Eignungsprüfung.

1. Allgemeines

Nach den Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton muß bei kühler Witterung die Temperatur des Frischbetons wenigstens + 5 °C betragen. Die „Vorläufigen Richtlinien für Transportbeton“ erweitern diese Vorschrift dahin, daß bei Lufttemperaturen unter - 3 °C die Temperatur des Transportbetons bei Übergabe + 10 °C sein muß. Diesen Forderungen liegt die Erkenntnis zugrunde, daß zweckmäßig zusammengesetzter Beton, der mit diesen Temperaturen eingebaut und gegen rasches Abkühlen etwas geschützt wird, so weit erhärtet, daß er ein anschließendes Einfrieren ohne Gefügelockerung übersteht, und nach seinem Auftauen bei feuchter Nachbehandlung ordnungsgemäß weiter erhärtet. Diejenige Druckfestigkeit, die der junge Beton aufweisen muß, um ein Einfrieren ohne Schaden zu überstehen, liegt bei etwa 50 kp/cm² [1], neuere Arbeiten halten auch rd. 30 kp/cm² schon für ausreichend [2].

Um bei kalten Baustoffen die Frischbetontemperatur auf den gewünschten Wert anzuheben, müssen eine oder mehrere Betonkomponenten angewärmt werden. Die erforderliche Erwärmung

läßt sich nach der Gleichung

$$t_B = \frac{Z \cdot t_Z \cdot c_Z + G \cdot t_G \cdot c_G + W \cdot t_W \cdot c_W}{Z \cdot c_Z + G \cdot c_G + W \cdot c_W} \quad (1)$$

errechnen [3]. Dabei sind Z, G und W der Zement-, Zuschlagstoff- und Wassergehalt des Betons in kg/m³, t deren Temperatur und c deren spezifische Wärme. Da die spezifische Wärme des Wassers gleich 1 und die von Zement und Zuschlag etwa 0,2 kcal/kg beträgt, läßt sich Gleichung (1) vereinfachen zu

$$t_B = \frac{Z \cdot t_Z + G \cdot t_G + 5 \cdot W \cdot t_W}{Z + G + 5 \cdot W} \quad (2)$$

Aus Gleichung (2) läßt sich leicht errechnen, welche Betontemperatur t_B bei bekannter Temperatur der Ausgangsstoffe entsteht oder – nach Umformung – wie stark eine oder mehrere Ausgangsstoffe erwärmt werden müssen, um eine bestimmte Betontemperatur zu erreichen.

Aus Gleichung (2) geht auch hervor, daß ein Erwärmen des Anmachwassers besonders wirksam ist, da seine spezifische Wärme fünfmal so groß ist wie die von Zement und Zuschlag. Das Erwärmen des Anmachwassers ist technisch einfach möglich [4] und auch am wirtschaftlichsten. Besonders günstig ist möglichst heißes Anmachwasser [5, 6, 7, 8]. Es wird jedoch im allgemeinen davor gewarnt, heißes Anmachwasser über 50 °C direkt mit dem Zement oder dem Gemisch aus Zement und Zuschlag zusammenzubringen, da dann der Zement zu rasch erstarren könne. E. Schleicher führt an, daß auch eine geringere Festigkeit entstehen und das Schwinden größer anfallen könne [9]. Bei 80 bis 90 °C heißem Anmachwasser wird empfohlen, zunächst nur den kalten Zuschlag mit dem heißen Anmachwasser wenigstens 1 min zu mischen [1, 7] und dann erst den Zement zuzugeben. Ein solches Vorgehen schaltet die Bedenken aus, da dann der Zement nur mit mäßig warmem Wasser (unter 35 °C) in Berührung kommt. Die Leistung der Betonmischanlage sinkt jedoch wegen der längeren Mischzeit um 30 bis 50 %. Schwierigkeiten können sich auch in Mischtürmen oder Dosieranlagen von Transportbetonwerken ergeben, in denen eine bestimmte Reihenfolge der Zugabe der einzelnen Betonkomponenten elektronisch festgelegt ist. Des öfteren taucht daher die Frage auf, ob Mängel zu erwarten sind, wenn in eine laufende Mischmaschine sehr heißes Anmachwasser dem Gemisch aus Zement und Zuschlag zugegeben wird.

2. Versuchsplan und Baustoffe

25 Betone steifer, plastischer und weicher Konsistenz aus zehn verschiedenen Zementen wurden mit Zementgehalten von 240 und 300 kg/m³ und einer Kornzusammensetzung im „besonders guten“ Bereich bei 20 °C mit etwa 20 °C warmem Wasser und bei 5 °C mit 60 °C und 90 °C heißem Wasser hergestellt. In einem Tellermischer mit horizontalem Boden (50 l-Eirich-Zwangsmischer) wurden unten zuerst der trockene Zuschlag und dann darüber der Zement gleichmäßig ausgebreitet. Gleichzeitig mit dem Mischbeginn wurde auch das Anmachwasser von oben zugegeben, das dadurch zu einem überwiegenden Teil zunächst

mit dem Zement in Berührung kam. Mit trockenem Zuschlag versteift der Beton rascher als mit feuchtem Zuschlag, so daß die Versuchsanordnung einen sehr ungünstigen Fall darstellt.

Nach 3 min und größtenteils auch nach einer Stunde wurde die Konsistenz geprüft und nach 28 Tagen die Druckfestigkeit an 20 cm-Würfeln ermittelt.

2.1 Zement

In die Versuche wurden insgesamt 10 Zemente einbezogen: zwei PZ 275, zwei HOZ 275, drei PZ 375, ein HOZ 375 und zwei PZ 475. Ihre Eigenschaften bei Prüfung nach DIN 1164 sind in Tafel 1 zusammengestellt; zusätzlich wurde auch das Erstarren bei 30 °C geprüft, da hiervon ein Aufschluß über die Erstarrungsverhältnisse des Betons erwartet wurde.

Die Zemente waren unterschiedlich fein gemahlen; der Rückstand auf dem Sieb 0,09 DIN 4188 schwankte zwischen 0,1 und 8,2 Gew.-%. Bei 20 °C lag der Erstarrungsbeginn bei den Portlandzementen zwischen 1 h 25 min und 2 h 40 min, der der Hochofenzemente zwischen 3 h 00 min und 3 h 50 min. Bei 30 °C änderte sich der Erstarrungsbeginn unterschiedlich und betrug bei einem PZ 475 dann nur noch 1 h 10 min; der Wasseranspruch der Zemente für gleiche Normensteife stieg um 0 bis 3,5 Gew.-% an.

Mit einem der Zemente (PZ 375, wbn) wurden sowohl 24 Stunden nach Verlassen der Mühle als auch 20 und 22 Tage später gleiche Mischungen hergestellt, um einen Hinweis auf den Einfluß frischen Zements zu erhalten.

2.2 Zuschlagstoffe

Bei allen Mischungen wurde Rheinkiessand 0...30 mm als Zuschlag verwendet. Er wurde aus insgesamt 6 Korngruppen so zusammengesetzt, daß eine Kornzusammensetzung etwas unterhalb der Regelsieblinie E im besonders guten Bereich nach Bild 2 der DIN 1045 entstand; der Sandanteil 0...7 mm betrug 55 Gew.-%.

2.3 Konsistenz, Zementgehalt, Mischungsverhältnis

Untersucht wurden Betone in drei Konsistenzbereichen: K 1 (steif; Eindringmaß nach DIN 1048 rd. 5 cm), K 2 (plastisch; Ausbreitmaß nach DIN 1048 rd. 38 cm) und K 3 (weich; Ausbreitmaß rd. 50 cm). Der Zementgehalt betrug im allgemeinen 300 kg/m³, bei einem Teil der Versuche im plastischen Konsistenzbereich 240 kg/m³. Mit dem durch die verschiedenen Konsistenzen unterschiedlichen Wasseranspruch ergaben sich folgende Mischungsverhältnisse (Mittelwerte):

Zementgehalt	Konsistenz	Zement	: Zuschlag	: Wasser
300 kg/m ³	K 1	1	: 6,49	: 0,50
	K 2	1	: 6,33	: 0,56
	K 3	1	: 6,23	: 0,60
240 kg/m ³	K 2	1	: 8,17	: 0,68

Tafel 1 Eigenschaften der Zemente bei Prüfung nach DIN 1164

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Zement	Rückstand auf Sieb 0,09 DIN 4188	Erstarren bei 20 °C			Erstarren bei 30 °C			Biegezugfestigkeit nach Tagen				Druckfestigkeit nach Tagen			
		Wasser- anspruch	Beginn	Ende	Wasser- anspruch	Beginn	Ende	1	3	7	28	1	3	7	28
—	Gew.-%	Gew.-%	h; min	h; min	Gew.-%	h; min	h; min	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²
PZ 275, wdc (Aug. 1962)	8,2	26,5	2;40	4;40	29,5	2;40	4;10	—	—	58	78	—	—	300	447
PZ 275, wdc (Mai 1963)	6,6	26,5	2;20	4;20	28,5	2;00	3;15	18	40	59	78	63	195	313	426
PZ 275, nvr	6,6	25,5	2;20	4;00	29,0	2;10	4;10	—	—	64	75	—	—	293	384
HOZ 275, wre	0,4	29,0	3;50	6;35	31,0	3;00	5;10	—	—	50	81	—	—	224	420
HOZ 275, w \ddot{u}	2,1	26,5	3;00	5;05	29,0	2;40	4;30	13	37	54	82	54	162	264	440
PZ 375, wbn	2,7	27,5	2;15	4;35	30,0	2;45	4;20	17	36	51	75	64	157	247	405
PZ 375, wml	3,2	27,5	2;30	4;00	30,0	2;00	3;30	—	57	69	96	—	296	405	534
PZ 375, swi	2,2	27,5	1;25	3;20	28,0	1;45	3;00	31	55	64	78	120	262	370	483
HOZ 375, wre	0,2	28,5	3;00	4;45	31,0	2;20	3;35	28	47	62	88	94	211	334	520
PZ 475, wln	0,4	29,0	2;40	4;10	32,0	1;20	2;55	46	62	78	86	198	337	455	553
PZ 475, nae	0,1	33,5	1;40	4;10	33,5	1;10	2;30	37	73	81	91	155	381	491	573

3. Versuchsdurchführung

In Tafel 2 sind der Zement, der Zementgehalt, die Konsistenz und die Temperatur des Anmachwassers sowie die Bezeichnung der insgesamt 71 Mischungen (je 55 l Frischbeton) zusammengestellt. Mit vier Zementen wurden alle drei Konsistenzbereiche und alle drei Anmachwassertemperaturen untersucht, während mit den übrigen Zementen nur Betone der Konsistenz K 2 hergestellt wurden.

Die Mischungen mit 20 °C warmem Anmachwasser wurden in einem Raum mit ebenfalls rd. 20 °C Geräte- und Lufttemperatur hergestellt. Die Mischzeit betrug 2 min. Dann wurde die Frischbetontemperatur und nach weiteren 3 min die Konsistenz gemessen (Ausbreitmaß und Aufschläge im Verformungsgerät nach Powers). Bei dem größten Teil der Versuche wurde die Konsistenz auch noch eine Stunde nach dem Mischen festgestellt; der

Tafel 2 Kennzeichnung der Mischungen

Zement	Zementgehalt in kg/m ³	Konsistenz	Bezeichnung der Mischung bei einer Temperatur des Anmachwassers von		
			20 °C	60 °C	90 °C
PZ 275, wdcn (Aug. 1962)	300	K 1	A 1/20	A 1/60	A 1/90
		K 2	A 2/20	A 2/60	A 2/90
		K 3	A 3/20	A 3/60	A 3/90
PZ 275, wdcn (Mai 1963)	300	K 1	H 1/20	H 1/60	H 1/90
		K 2	H 2/20	H 2/60	H 2/90
		K 3	H 3/20	H 3/60	H 3/90
PZ 275, wdcn (Mai 1963)	240	K 2	U 2/20	U 2/60	U 2/90
PZ 275, nvr	300	K 2	D 2/20	—	D 2/90
HOZ 275, wre	300	K 2	E 2/20	—	E 2/90
HOZ 275, wmi	300	K 2	I 2/20	I 2/60	I 2/90
PZ 375, wbn (frisch)	300	K 2	M 2/20	M 2/60	M 2/90
PZ 375, wbn	300	K 2	L 2/20	L 2/60	L 2/90
PZ 375, wml	300	K 2	G 2/20	—	G 2/90
PZ 375, swi	300	K 1	K 1/20	K 1/60	K 1/90
		K 2	K 2/20	K 2/60	K 2/90
		K 3	K 3/20	K 3/60	K 3/90
HOZ 375, wre	300	K 1	N 1/20	N 1/60	N 1/90
		K 2	N 2/20	N 2/60	N 2/90
		K 3	N 3/20	N 3/60	N 3/90
HOZ 375, wre	240	K 2	V 2/20	V 2/60	V 2/90
PZ 475, wln	300	K 2	F 2/20	—	F 2/90
PZ 475, nae	300	K 1	O 1/20	O 1/60	O 1/90
		K 2	O 2/20	O 2/60	O 2/90
		K 3	O 3/20	O 3/60	O 3/90
PZ 475, nae	240	K 2	W 2/20	W 2/60	W 2/90

Beton lagerte bis dahin in einer Wanne unter feuchten Tüchern bei etwa 20 °C. Gleichzeitig mit der ersten Konsistenzmessung wurden drei 20 cm-Würfel gefüllt, mit Innenrüttler ϕ 32 mm an vier oder fünf Stellen je nach Konsistenz insgesamt 12 bis 50 sec verdichtet (nach Augenschein vollständige Verdichtung) und abgeglichen. Anschließend wurde an ihnen die Frischbetonrohichte ermittelt. Bis zur Prüfung auf Druckfestigkeit lagerten sie bei 20 °C zunächst 7 Tage feucht, dann 21 Tage an Luft von rd. 65 % rel. Feuchtigkeit.

Die Mischungen mit 60 und 90 °C heißem Anmachwasser wurden in einem Raum mit rd. 5 °C Lufttemperatur hergestellt. Mischer, Zement und Zuschlagstoffe waren mehrere Tage vorher in diesen Raum gebracht worden. Das 60 oder 90 °C heiße Anmachwasser wurde bei Mischbeginn aus einer Gießkanne (ohne Brause) zügig zugegeben; die Mischzeit betrug wiederum 2 min. Anschließend wurde der Mischer aus dem 5 °C-Raum in einen Vorraum mit rd. 20 °C Lufttemperatur gefahren. Alle weiteren Prüfungen entsprachen denen mit 20 °C warmem Anmachwasser (siehe zuvor).

4. Versuchsergebnisse

4.1 Frischbetoneigenschaften

Die Prüfwerte der Frisch- und Festbetoneigenschaften sind in Tafel 3 zusammengestellt.

In Spalte 6 ist die gemessene *Frischbetontemperatur* der nach Gleichung (2) errechneten Temperatur (Spalte 5) gegenübergestellt. Die errechnete Temperatur stimmt im allgemeinen sehr gut mit der gemessenen überein, so daß unter den vorliegenden Verhältnissen mit der Gleichung (2) die Frischbetontemperatur zuverlässig aus der Betonzusammensetzung und der Temperatur der Ausgangsstoffe errechnet werden kann.

Wenn die Temperatur von Zement und Zuschlag rd. 5 °C betrug, so erreichte man bei üblicher Betonzusammensetzung mit 60 °C warmem Wasser eine Frischbetontemperatur von etwa 20 °C, mit 90 °C heißem Wasser sogar Betontemperaturen zwischen 25 und 30 °C. Da gefrorene Zuschlagstoffe vor ihrer Verwendung aufgetaut werden sollten (z. B. mit Infrarotstrahlern oder Dampfplanzen), wird man somit nur durch Erwärmen des Anmachwassers bereits ausreichend hohe Frischbetontemperaturen erzielen.

Die *Konsistenz* (Ausbreitmaß nach DIN 1048 siehe Spalten 8 und 9, Aufschläge im Powersgerät siehe Spalten 10 und 11 der Tafel 3) war bei 60 °C warmem Anmachwasser in der überwiegenden Zahl der Mischungen kaum von der verschieden, die sich mit 20 °C Stofftemperatur einstellte; meist trat eine geringfügige Verminderung des Ausbreitmaßes ein (in einigen Fällen auch eine Vergrößerung). Bei 90 °C heißem Anmachwasser war der Beton im allgemeinen etwas steifer. Die Anzahl der Aufschläge stieg bei der Konsistenz K 1 um höchstens 4, bei den beiden anderen Konsistenzen um 2 an. Das Ausbreitmaß verringerte sich um höchstens 9 cm. Verschiedentlich änderte es sich jedoch auch hier nicht oder wurde sogar etwas größer.

Tafel 3 Eigenschaften der Betone (Zementart und -güteklasse, Zementgehalt und Bezeichnung der Mischungen siehe Tafel 2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Konsistenzgrad	Bezeichnung der Mischung	Luft, Zement, Zuschlag	Temperatur				Konsistenz				Rohdichte		28 Tage-Druckfestigkeit (20 cm-Würfel)	Prozent der Festigkeit mit 20 °C Wasser
			Wasser	errechnet	Beton gemessen		Ausbreitmaß *)		Aufschläge Powers		Frischbeton	Festbeton		
					nach 3 min	nach 1 h	nach 3 min	nach 1 h	nach 3 min	nach 1 h				
—	—	°C	°C	°C	°C	°C	cm	cm	—	—	kg/dm ³	kg/dm ³	kp/cm ²	%
Steifer Beton	A 1/20	20	20	—	21,5	—	—	—	10	—	2,41	2,38	430	100
	A 1/60	5	60	18,7	19	—	—	—	11	—	2,43	2,40	436	101
	A 1/90	5	90	26,2	25,5	—	—	—	10	—	2,41	2,39	419	97
	H 1/20	23	17	—	22	23	(40)	—	9	12	2,41	2,39	455	100
	H 1/60	5	60	18,8	19	22	(38)	—	10	14	2,41	2,38	455	100
	H 1/90	5	90	26,3	26	24	(41)	—	13	18	2,41	2,38	452	99
	K 1/20	20	18,5	—	20,5	21	(40)	—	12	14	2,41	2,39	526	100
	K 1/60	5	60	18,8	19,5	20	(36)	—	10	13	2,43	2,39	515	98
	K 1/90	5	90	26,3	27	24	(34)	—	11	17	2,43	2,40	538	102
	N 1/20	20	20	—	21,5	20,5	36	—	8	11	2,41	2,40	549	100
	N 1/60	5	60	18,8	18,5	18,5	(38)	(38)	9	10	2,41	2,40	543	99
	N 1/90	5	90	26,3	26	24	(37)	—	10	12	2,41	2,39	526	96
	O 1/20	23	16	—	24	24	(34)	—	12	14	2,40	2,39	535	100
	O 1/60	5	60	18,8	22	21	(38)	—	16	19	2,42	2,41	560	105
	O 1/90	5	90	26,3	28	24,5	(34)	—	16	18	2,43	2,41	550	103

*) Bei eingeklammerten Werten war der Kegel zerfallen

Fortsetzung der Tafel 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Konsistenzgrad	Bezeichnung der Mischung	Luft, Zement, Zuschlag	Temperatur				Konsistenz				Rohdichte		28 Tage-Druckfestigkeit (20 cm-Würfel)	Prozent der Festigkeit mit 20 °C Wasser
			Wasser	errechnet	Beton gemessen		Ausbreitmaß *)		Aufschläge Powers		Frischbeton	Festbeton		
					nach 3 min	nach 1 h	nach 3 min	nach 1 h	nach 3 min	nach 1 h				
—	—	°C	°C	°C	°C	°C	cm	cm	—	—	kg/dm ³	kg/dm ³	kp/cm ²	‰
Plastischer Beton	A 2/20	20	20	—	21,5	—	40	—	7	—	2,42	2,3 ⁶	364	100
	A 2/60	5	60	20,2	20,5	—	41	—	7	—	2,40	2,3 ⁶	370	102
	A 2/90	5	90	28,5	28,5	—	37	—	7	—	2,39	2,3 ⁶	365	100
	H 2/20	23	16	—	21,5	22	43	(36)	6	8	2,40	2,37	373	100
	H 2/60	5	60	20,2	21	22,5	36	(38)	6	7	2,42	2,37	377	101
	H 2/90	5	90	28,5	29	25	36	39	7	8	2,41	2,3 ⁶	380	102
	U 2/20	23	16	—	22	22	40	40	6	8	2,38	2,34	289	100
	U 2/60	5	60	19,9	20,5	21,5	36	(38)	8	8	2,40	2,34	295	102
	U 2/90	5	90	28,1	28,5	26	38	(42)	6	9	2,41	2,37	290	100
	D 2/20	21	20	—	22	—	38	—	7	—	2,39	2,35	310	100
	D 2/90	5	90	28,5	28	—	38	—	9	—	2,38	2,34	315	102
	E 2/20	20	20	—	21	—	38	—	6	—	2,39	2,3 ⁶	354	100
	E 2/90	5	90	28,5	27,5	—	40	—	6	—	2,39	2,3 ⁶	333	94
	I 2/20	20	18,5	—	20	20	41	(39)	6	8	2,40	2,3 ⁶	357	100
	I 2/60	5	60	20,2	20	20	44	35	4	7	2,40	2,3 ⁶	402	112
	I 2/90	5	90	28,5	28	24	43	37	6	8	2,41	2,3 ⁶	409	114
	M 2/20	21	20	—	22	21	48	40	5	7	2,41	2,37	332	100
	M 2/60	5 **)	60	20,4	21	20	46	37	5	6	2,41	2,37	360	108
	M 2/90	5 **)	90	28,7	29	25	42	39	6	8	2,41	2,3 ⁶	352	106
	L 2/20	21	20	—	21	22	48	36	5	6	2,42	2,35	348	100
L 2/60	5	60	20,2	22	22	47	38	5	7	2,42	2,37	366	105	
L 2/90	5	90	28,5	29,5	25	44	36	5	7	2,41	2,3 ⁶	370	106	
G 2/20	21	20	—	22	—	42	—	6	—	2,39	2,35	422	100	
G 2/90	5	90	28,5	28,5	—	33	—	8	—	2,40	2,37	440	104	

	K 2/20	20	18,5	—	20,5	21	34	(36)	7	7	2,41	2,37	445	100
	K 2/60	5	60	20,2	21	21	36	34	7	7	2,41	2,37	453	102
	K 2/90	5	90	28,5	29	25	34	32	7	8	2,41	2,37	447	100
	N 2/20	20	20	—	21	20,5	47	36	5	8	2,40	2,38	465	100
	N 2/60	5	60	20,2	21	20,5	45	38	5	8	2,41	2,37	440	95
	N 2/90	5	90	28,5	28,5	25,5	38	(38)	7	8	2,39	2,37	443	95
	V 2/20	21	20	—	21	21	45	40	5	6	2,40	2,35	358	100
	V 2/60	5	60	19,9	21	20,5	43	(42)	5	7	2,39	2,36	363	101
	V 2/90	5	90	28,1	29	26	42	—	5	9	2,41	2,37	361	101
	F 2/20	20	20	—	22	—	36	—	8	—	2,41	2,36	478	100
	F 2/90	5	90	28,5	29	—	36	—	7	—	2,38	2,36	477	100
	O 2/20	23	16	—	24	24	37	34	7	9	2,39	2,37	485	100
	O 2/60	5	60	20,2	22	22	33	(34)	8	9	2,38	2,36	460	95
	O 2/90	5	90	28,5	30	26,5	30	36	9	11	2,41	2,37	483	100
	W 2/20	23	16	—	23,5	21,5	42	34	7	8	2,39	2,34	389	100
	W 2/60	5	60	19,9	22	22	36	36	7	8	2,39	2,36	401	103
	W 2/90	5	90	28,1	29	24,5	36	38	7	10	2,39	2,36	401	103
Weicher Beton	A 3/20	20	20	—	21	—	53	—	4	—	2,41	2,36	358	100
	A 3/60	5	60	21,1	21,5	—	54	—	5	—	2,41	2,35	341	95
	A 3/90	5	90	29,9	29	—	46	—	5	—	2,39	2,36	320	89
	H 3/20	23	16	—	21,5	21,5	52	46	4	9	2,38	2,35	303	100
	H 3/60	5	60	21,2	21,5	23	51	37	3	6	2,40	2,36	335	111
	H 3/90	5	90	29,9	29,5	26	44	37	5	7	2,39	2,35	343	113
	K 3/20	20	19	—	20,5	21	54	36	4	8	2,39	2,36	407	100
	K 3/60	5	60	21,2	22,5	22	52	40	4	6	2,41	2,37	405	100
	K 3/90	5	90	29,9	30	24,5	43	34	5	6	2,41	2,36	382	94
	N 3/20	21	20	—	21	20,5	55	42	5	5	2,40	2,36	421	100
	N 3/60	5	60	21,2	22	21,5	54	37	3	6	2,39	2,36	415	99
	N 3/90	5	90	29,9	29	26,5	52	36	4	6	2,39	2,36	421	100
	O 3/20	23	16	—	24	23	46	34	5	7	2,37	2,34	451	100
	O 3/60	5	60	21,2	22	22	43	36	5	6	2,40	2,35	459	102
	O 3/90	5	90	29,9	31	27	38	32	7	9	2,39	2,35	430	95

*) Bei eingeklammerten Werten war der Kegel zerfallen

**) Zementtemperatur 7 °C

(Für die bei den einzelnen Zementen etwas unterschiedliche Wirkung konnte kein Zusammenhang mit den in Tafel 1 wiedergegebenen Eigenschaften gefunden werden.)

Auch im Verlauf einer Stunde versteifte der Beton mit 60 oder 90 °C heißem Anmachwasser nicht mehr als solcher mit Wasser von 20 °C. Die Anzahl der Aufschläge war um etwa das gleiche Maß größer, während das Ausbreitmaß mit 90 °C heißem Wasser überwiegend sogar etwas weniger abnahm als mit Wasser von 20 °C. (Bei zwei Zementen war das Ausbreitmaß nach einer Stunde größer als nach 3 min, doch hatte die Zahl der Aufschläge ebenfalls zugenommen.)

Während Betone, die mit 60 °C warmem Wasser angemacht wurden, das übliche Aussehen besaßen, neigten Betone mit 90 °C heißem Anmachwasser etwas zum Entmischen. Der Zementleim schien nicht mehr so homogen, und es bildeten sich kleine Flocken ähnlich wie bei geronnener Milch; anscheinend koagulierten die Zementkörner teilweise. Auch das Fließen des Betons beim Verdichten mit einem Innenrüttler schien oft nicht mehr so gleichmäßig.

Die *Frischbetonrohichte* der Betone wurde durch heißes Anmachwasser praktisch nicht verändert; die Dichten lagen höchstens um 0,03 kg/dm³ höher oder tiefer als bei den entsprechenden Mischungen mit 20 °C warmem Anmachwasser; das entspricht etwa dem gewöhnlichen Streubereich.

Die Mischungen mit einem *Zementgehalt* von 240 kg/m³ verhielten sich hinsichtlich der untersuchten Eigenschaften nicht anders als die Mischungen mit 300 kg/m³. Auch das *Alter des Zements* war bei der untersuchten Marke ohne Einfluß.

4.2 Eigenschaften des erhärteten Betons

Für die *Rohdichte* des erhärteten Betons gilt das gleiche wie für die des Frischbetons; es wurden Abweichungen von + 0,03 bis - 0,01 kg/dm³ gegenüber den Mischungen mit 20 °C warmem Anmachwasser gefunden.

Die *28 Tage-Würfeldruckfestigkeit* wurde durch heißes Anmachwasser, das dem Gemisch aus Zement und Zuschlag direkt zugegeben wurde, praktisch nicht verändert.

Bei 21 Mischungen mit 60 °C warmem Wasser lag das Mittel aller Abweichungen bei 3,5 % (bezogen auf die Festigkeiten bei 20 °C warmem Wasser). Für die Konsistenzbereiche K 1, K 2 und K 3 ergaben sich Abweichungen von 1,8 bzw. 4,2 bzw. 3,5 %. Der Festigkeitsanstieg (13 Mischungen) betrug im Mittel 4,2 %, der Abfall (6 Mischungen) 3,2 %. Als größte Steigerung wurden 12 %, als größte Minderung 5 % gefunden.

Bei 25 Mischungen mit 90 °C heißem Wasser betrug die durchschnittliche Abweichung 3,9 % (bezogen auf die Festigkeiten bei 20 °C warmem Wasser). In den Konsistenzbereichen K 1, K 2 und K 3 waren die Abweichungen 2,6 bzw. 3,3 bzw. 7,0 %. Der mittlere Festigkeitsanstieg (11 Mischungen) lag ebenso wie der mittlere Abfall (8 Mischungen) bei 5,1 %. Die größten Abweichungen waren + 14 und - 11 %.

5. Zusammenfassung

5.1 Aus der Betonzusammensetzung und der Temperatur der Ausgangsstoffe läßt sich die Frischbetontemperatur zuverlässig errechnen. Wenn die Temperatur von Zement und Zuschlag rd. 5 °C beträgt, erreicht man bei üblicher Betonzusammensetzung mit 60 °C warmem Anmachwasser eine Frischbetontemperatur von etwa 20 °C, mit 90 °C heißem Wasser von 25 bis 30 °C.

5.2 Die Zugabe von 60 °C warmem Anmachwasser zu dem Gemisch aus Zement und Zuschlägen in die laufende Mischmaschine bewirkte praktisch keine Veränderung der Verarbeitbarkeit und Festigkeit.

5.3 Die Zugabe von 90 °C heißem Anmachwasser rief zum Teil ein gewisses Versteifen und ein leichtes Entmischen durch Koagulieren einzelner Zementkörner hervor. Es ergab sich jedoch praktisch keine Veränderung der Festigkeit.

5.4 Der Zementgehalt des Betons und das Alter des Zements (bei nur einem Vergleich) veränderten bei Verwendung von heißem Anmachwasser die Verarbeitbarkeit und Festigkeit gegenüber Mischungen mit Anmachwasser von 20 °C nicht.

5.5 Nach diesen Feststellungen bestehen keine Bedenken dagegen, daß man 60 °C heißes Anmachwasser dem Gemisch aus Zement und Zuschlag in die laufende Mischmaschine direkt zugebt. Auch wenn dabei versehentlich höhere Wassertemperaturen vorkommen, ist keine Schädigung des Betons zu erwarten.

5.6 Soll regelmäßig mit sehr heißem Anmachwasser betoniert werden, empfiehlt sich jedoch eine Eignungsprüfung, da u. U. andere Zemente verschieden darauf ansprechen können.

SCHRIFTTUM :

- [1] Zement-Merkblatt 5: Wie wird bei kühler Witterung und bei Frost betoniert? Herausg. Fachverband Zement e. V., Köln 1962.
- [2] Powers, T. C.: Prevention of frost damage to green concrete. RILEM Bulletin 14 (März 1962) S. 120/124; ebenso PCA Research Department, Bulletin 148. Skokie/Illinois 1962.
- [3] Bonzel, J.: Über den Einfluß erhöhter Zement- und Betontemperaturen. beton 11 (1961) H. 3, S. 192/194; ebenso Betontechnische Berichte 1961, Beton-Verlag, Düsseldorf 1962, S. 129/135.
- [4] Ott, W.: Winterarbeiten im Hochbau 1955–1958; ebenso Teil II: 1957–1959. Bauverlag, Wiesbaden-Berlin 1959.
- [5] Bundesministerium für Wohnungsbau: Hinweise für die Vorbereitung und Durchführung von Winterarbeiten im Hochbau (Fassung Nov. 1955).
- [6] Thoms, H.: Was Du beim Bauen im Winter beachten solltest. Bau-Trichter (1957) H. 1, S. 1/32.
- [7] Meyer, A.: Herstellung und Nachbehandlung von Beton bei niedrigen Temperaturen. Bau-Markt 60 (1961) H. 46, S. 2331/2342.
- [8] Böhm, F., und W. Drechsel: Das Betonieren bei Frost. 5. Aufl. Verlag von W. Ernst & Sohn, Berlin 1951.
- [9] Schleicher, E.: Ratgeber für das Bauen im Winter. Bauverlag, Wiesbaden-Berlin 1956, S. 93.