

Zum Einfluß von Zusatzmitteln auf die Entstehung sogenannter Schrumpfrisse

Von Wilhelm Manns und Kurt Zeus, Stuttgart *)

Übersicht

Als Schrumpfrisse werden Risse bezeichnet, die manchmal bei wasserreichem Frischbeton mit ausgeprägtem Wasserrückhaltevermögen durch das bei scharfem Austrocknen auftretende Schwinden (plastische Schwinden) hervorgerufen werden. Zur Abklärung der Frage, inwieweit Zusatzmittel auf die Widerstandsfähigkeit von Beton gegenüber der Bildung von Schrumpfrissen einwirken können, wurden Versuche mit Verzögerern auf der Basis von Phosphaten und Oxycarbonsäuren und mit Verflüssigern (Fließmittel) auf der Basis von Ligninsulfonaten und Melaminharzderivaten sowie mit Fettalkoholen an unterschiedlich schrumpfrißempfindlichen, randbewehrten Betonplatten im Windkanal durchgeführt.

Die Versuche ergaben, daß Verzögerer als ungünstige Nebenwirkung eine Schrumpfrißbildung intensivieren oder sie sogar initiieren können. Der ungünstige Einfluß kann weitgehend vermieden werden, wenn eine zeitliche Abstimmung der Verzögerungszeit auf den Einbaupunkt erfolgt. Verflüssiger und Fließmittel können unterschiedlich wirken. Bei Beton mit hohem Wasserzementwert (schrumpfrißempfindlicher Beton) kann eine Schrumpfrißbildung abgeschwächt, bei Beton mit mittlerem Wasserzementwert (schrumpfrißunempfindlicher Beton) dagegen der Widerstand gegen Schrumpfrißbildung abgebaut werden. Letzteres scheint besonders ausgeprägt bei nennenswerten Anteilen an verzögernden Nebenbestandteilen. Fettalkohole, als Zusatzmittel angewendet, können die Schrumpfrißempfindlichkeit eines Betons abbauen.

1. Einleitung

Zusatzmittel werden in der Betontechnologie heute vielfach angewendet, wenn es darum geht, die natürlichen Eigenschaften des Betons gezielt den vielfältigen Erfordernissen der Praxis anzupassen. Die Wirkstoffe in den Zusatzmitteln können sowohl die Eigenschaften des Frischbetons, wie Erstarrungsverhalten, Konsistenz und Verarbeitbarkeit, als auch diejenigen des Festbetons, wie Festigkeit

*) Überarbeitete Fassung eines Vortrags von W. Manns auf der Technisch-wissenschaftlichen Zement-Tagung der Vereins Deutscher Zementwerke am 13. September 1978 in München.

und Beständigkeit, verändern. Die Zusatzmittel werden nach ihrer Hauptwirkung benannt. Zur Zeit unterscheidet man gemäß bauaufsichtlicher Regelung Verflüssiger, Fließmittel, Luftporenbildner, Betondichtungsmittel, Erstarrungsverzögerer, Erstarrungsbeschleuniger, Erhärtingsbeschleuniger, Einpreßhilfen und Stabilisierer.

Die Zusatzmittel können zusätzlich auch andere Wirkungen aufweisen als in ihrer Bezeichnung zum Ausdruck kommt. Verflüssiger können beispielsweise auch verzögern oder Luftporen einführen, Verzögerer nebenher verflüssigen. Zusatzmittel können zwar auf der einen Seite mehrere Betoneigenschaften günstig, jedoch auf der anderen Seite auch andere ungünstig beeinflussen; so können bekanntlich die Festigkeitsentwicklung und die Endfestigkeit beeinträchtigt, das Schwinden erhöht und übermäßig Luftporen eingeführt werden.

Aus diesem Grunde wurde in den letzten Jahren zunehmend der Frage nachgegangen, inwieweit Zusatzmittel auf die Widerstandsfähigkeit von Beton gegenüber der Bildung von Schrumpfrissen (Bild 1) einwirken können [1, 2, 3]. Die Gefahr etwaiger Schrumpfrissbildung besteht nach heutigem Wissen vor allem, wenn ein wasserreicher Frischbeton mit ausgeprägtem Wasserrückhaltevermögen stark austrocknender Umwelt ausgesetzt wird, dabei scheint es unerheblich zu sein, wie die Schrumpfrisse zustande kommen [4].



Bild 1
Schrumpfrisse in
einer Betondecke

Wegen ihrer mutmaßlichen Bedeutung und der großen Anwendungsbreite in der Praxis wurde dem Einfluß von Verflüssigern, Fließmitteln und Verzögerern mit Wirkstoffen unterschiedlicher Natur auf das Entstehen von Schrumpfrissen in Versuchen mit unterschiedlich schrumpfrißempfindlichen Betonen im Otto-Graf-Institut der Universität Stuttgart, Abt. Beton, Steine und Bindemittel, nachgegangen. Diese Untersuchungen [5] wurden vom Deutschen Ausschuß für Stahlbeton finanziell getragen. Darüber hinaus wurde mit finanzieller Unterstützung des Vereins Deutscher Zementwerke in Versuchen der Wirkung von Fettalkoholen als Zusatzmittel auf die Schrumpfrißbildung nachgegangen [6]. Über die wichtigsten Ergebnisse beider Untersuchungen wird nachfolgend kurz berichtet.

2. Versuchseinrichtung und -programm

Die Versuche wurden mit der in [4] näher beschriebenen Versuchseinrichtung durchgeführt. Diese besteht im wesentlichen aus einer Stahlform für 8 cm dicke Betonplatten von 160 cm Länge und 60 cm Breite mit einer Randbewehrung, die den untersuchten Proben das Verhalten einer dünnen, großflächigen Platte aufzwingt (siehe Bild 2). Die Versuchsplatten stellen gleichsam einen Ausschnitt aus einer Betondecke dar. Die Versuchsplatten wurden bei den Versuchen mit einem Windkanal abgedeckt, durch den Luft von 30 °C mit einer relativen Feuchte von rd. 50 % mit einer Geschwindigkeit von rd. 5 m/s geleitet wurde. Die Versuchsplatten wurden nach der Herstellung fortlaufend beobachtet, bis die Rißbildung entweder abgeschlossen oder keine Rißbildung mehr zu erwarten war. Außerdem wurden das Erstarren von Zementleimen mit Normsteife nach DIN 1164, das Bluten und das plastische Schwinden der Betone sowie der Einfluß langen Mischens untersucht. Um den Umfang der Versuche zu begrenzen, wurde der Beton mit nur einem Zement und Zuschlaggemisch sowie einem Mischungsverhältnis Zement : Zu-

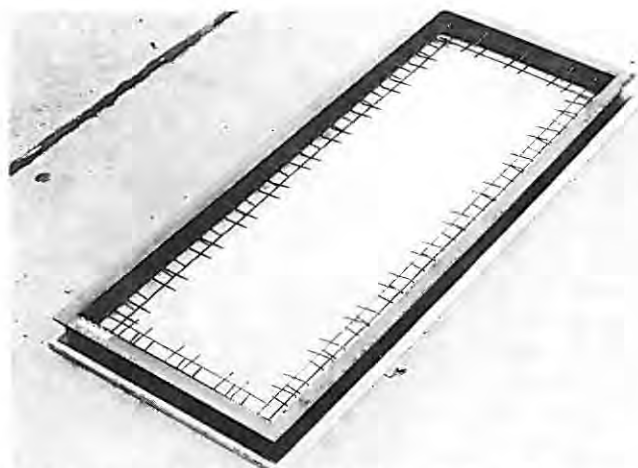


Bild 2 Stahlform für die Herstellung der Versuchsplatten

Tafel 1 Übersicht über Versuchsreihen

Versuchsreihe	W/Z-Wert				Beton ohne Zusatzmittel				Beton mit Fettalkohol				Einbau sofort	nach 90 min	Kurzbezeichnung
	0,60	0,75	10	0,80	VZ 1	VZ 2	BV	BVF	5	10	15	cm ³ je kg Z			
1	x	x			x	x			x	x			x		0,60-OZ 0,75-OZ 0,80-OZ
2		x			x				x	x			x		0,75-OZ 0,75-VZ 1 0,75-VZ 2 0,75-BV 0,75-BVF
3	x	x			x				x	x			x		0,60-OZ 0,60-VZ 1 0,60-VZ 2 0,60-BV 0,60-BVF
4	x	x			x				x	x			x		0,60-OZ 0,60-VZ 2 0,60-VZ 2M
5		x							x	x			x		0,75- 0 0,75- 5 0,75-10 0,75-15
6	x	x							x				x		0,60- 0-OZ 0,60- 0-VZ 0,60-15-VZ

schlag hergestellt. Eine Zusammenstellung der einzelnen Versuchsreihen ist aus Tafel 1 zu ersehen. Jede Versuchsvariante wurde in der Regel einmal wiederholt, die Zahlenwerte in den Tafeln 4 und 5 geben das mittlere Verhalten wieder. Angaben über die Ausgangsstoffe und die Betonzusammensetzung finden sich in Abschnitt 3.

3. Beton ohne Zusatzmittel

Der Einfluß von Zusatzmitteln auf das Geschehen der Schrumpfrißbildung wird zweckmäßigerweise am Verhalten von Betonen ohne Zusatzmittel untersucht, deren Schrumpfrißempfindlichkeit so eingestellt ist, daß sich bei den gegebenen Verhältnissen gerade noch keine Schrumpfrisse oder immer Schrumpfrisse bilden.

Für alle untersuchten Betone wurde als Zuschlag Rheinkies mit 8 mm Größtkorn der Sieblinie B8 aus der Karlsruher Gegend, als Betonzusatzstoff Kalksteinmehl mit einer spezifischen Oberfläche nach Blaine von 6680 cm²/g und als Zement ein PZ 35 F aus Süddeutschland verwendet. Der Beton ohne Zusatzmittel – mit einem Zementgehalt von rd. 360 kg/m³ und einem Mehrkornggehalt von rd. 680 kg/m³ – wurde mit Hilfe des Wasserelementwertes in seiner Schrumpfrißempfindlichkeit verändert¹⁾. Der Wassergehalt der Be-

¹⁾ Der Beton mit dem Wasserelementwert von 0,60 wies einen Zementgehalt von 348 kg/m³ und einen Mehlkornggehalt von 657 kg/m³ auf.

tone ohne Zusatzmittel betrug 209 kg/m^3 für 0,60-OZ, 267 kg/m^3 für 0,75-OZ und 387 kg/m^3 für 0,80-OZ. Bei den Betonen mit den einzelnen Zusatzmitteln unterschied sich der Wassergehalt nur wenig. Er lag für die Betone mit dem W/Z-Wert 0,60 bei rd. 208 kg/m^3 und für die Betone mit dem W/Z-Wert von 0,75 bei rd. 267 kg/m^3 .

Die Versuchsergebnisse mit den Wasserzementwerten 0,60, 0,75 und 0,80 zeigt Bild 3. Während man unter den gegebenen Verhältnissen den Nullbeton mit dem Wasserzementwert von 0,60 gerade noch als „keine Schrumpfrisse bildend“, also als „schrumpfrißunempfindlich“, ansehen kann, ist das bei den Wasserzementwerten von 0,75 oder 0,80 nicht mehr der Fall. Hier kann man von einer ausgeprägten Schrumpfrißempfindlichkeit sprechen. Für die weiteren Versuche erschienen der Nullbeton mit dem Wasserzementwert 0,60 als schrumpfrißunempfindlich bzw. keine Schrumpfrisse bildend und der Nullbeton mit dem Wasserzementwert 0,75 als schrumpfrißempfindlich bzw. als immer Schrumpfrisse bildend geeignet und wurde auch ausgewählt.

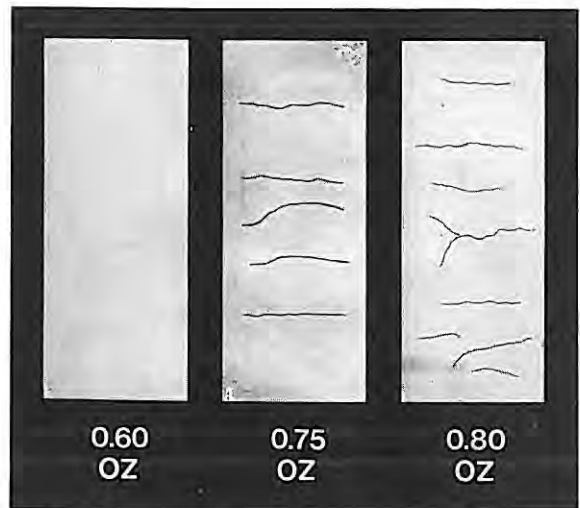


Bild 3 Rißbildung bei unterschiedlichem Wassergehalt

4. Beton mit Zusatzmitteln

4.1 Eigenschaften der Zusatzmittel

Als Zusatzmittel wurden Betonverflüssiger, Fließmittel und Verzögerer ausgewählt. Die Rohstoffbasis, die im weiteren verwendeten Kurzzeichen, die zulässigen und angewendeten Zusatzmengen in cm^3/kg Zement sowie die Feststoffgehalte in M.-% für die einzelnen Zusatzmittel sind in Tafel 2 zusammengestellt. Das Erstarrungsverhalten bei Normsteife in Tafel 3 zeigt, daß der Zementleim ohne Zusatzmittel (OZ) mit einem Erstarrungsbeginn nach 2 Stunden 50 min, einem Erstarrungsende nach 3 Stunden 35 min und somit ei-

Tafel 2 Übersicht über die untersuchten Zusatzmittel

Art	Basis	Zeichen	Zusatz in cm ³ /kg Z		Feststoff M.-%
			zul.	angew.	
Verzögerer	Phosphate	VZ 1	6,0	6,0	42
Verzögerer	Oxycarbonsäuren	VZ 2	6,0	4,0	50
Verflüssiger (normal)	Ligninsulfonate	BV	1,5	1,5	64
Verflüssiger (Fließmittel)	Melaminharze	BVF	20,0	20,0	21

Tafel 3 Erstarren von Zementleim mit und ohne Zusatzmittel bei Normsteife (DIN 1164)

Zeichen	Beginn Std. Min.	Ende Std. Min.	Zeitraum Std. Min.
OZ	2.50	3.35	0.45
VZ 1	4.45	8.45	4.00
VZ 2	5.20	10.25	5.05
BV	2.50	5.00	2.50
BVF	1.40	4.55	3.15

dem Erstarrungszeitraum von nur 45 min vom Zementleim mit Zusatzmitteln sehr abweicht. Während der Erstarrungsbeginn bei den Verzögerern erwartungsgemäß hinausgeschoben wurde, blieb er beim Verflüssiger gleich und trat beim Fließmittel früher ein. Das Erstarrungsende lag bei allen Zementleimen mit Zusatzmitteln später. Der Erstarrungszeitraum war – und das scheint besonders wichtig – beim Zementleim mit Zusatzmitteln bei allen Zusatzmitteln wesentlich größer als beim Zementleim ohne Zusatzmittel. Er beträgt bei den Fließmitteln das drei- bis vierfache und bei den Verzögerern sogar das fünf- bis siebenfache. Die zeitliche Vergrößerung des Erstarrungszeitraums gegenüber dem Zementleim ohne Zusatzmittel (OZ) lag insgesamt zwischen etwa 2 h und 4 h 20 min.

4.2 Schrumpfrißempfindlicher Beton

Den Einfluß der Zusatzmittel auf die Rißbildung beim rißempfindlichen Beton mit dem Wasserzementwert von 0,75 zeigt Bild 4. Während bei den Verzögerern die Rißanzahl zugenommen hat, nahm sie bei den Verflüssigern nicht unbeträchtlich ab. Stärker noch als in der Rißzahl kommt das unterschiedliche Rißverhalten in der mittleren Rißweite und in der Summe der Rißweiten zum Ausdruck, siehe Tafel 4. Die mittlere Rißweite und die Summe der Rißweiten werden durch die Verzögerer erhöht und durch die Verflüssiger erniedrigt.

Ein Einfluß von Wassergehalt oder Umwelt auf das unterschiedliche Verhalten des Betons mit und ohne Zusatzmittel scheidet aus, da beide Einflüsse bei allen Betonen gleich waren. Von den eingangs genannten Einflußgrößen auf die Schrumpfrißbildung kommt nur noch das Wasserrückhaltevermögen oder sein Kennwert, das Bluten, in Frage.

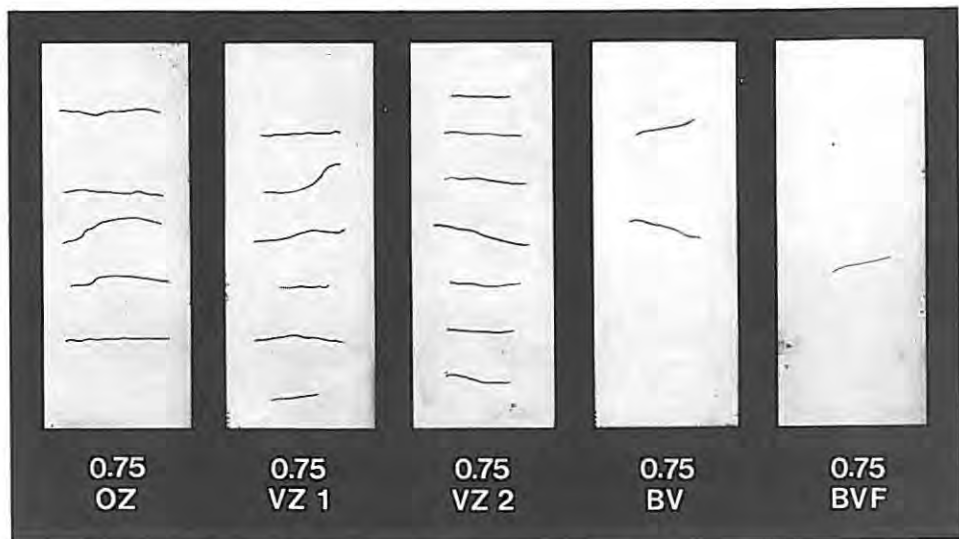


Bild 4 Rißbildung in einem schrumpfrißempfindlichen Beton ohne und mit Verzögerern und Verflüssigern

Das Bluten in l/m^2 Oberfläche (siehe Tafel 5) wird durch die Zusatzmittel jedoch in allen Fällen vergrößert, was nach allgemeiner Auffassung zu einer verringerten Schrumpfrißneigung führen müßte, was jedoch nur bei den Verflüssigern BV und BVF der Fall war. Es müssen also noch ein oder mehrere andere Einflüsse vorhanden sein, die den Einfluß des Blutens weitgehend zu überdecken vermögen. Nach ersten Überlegungen ist dieser Einfluß weitgehend in der Veränderung des Erstarrungsverhaltens der Betone durch die Zusatzmittel zu suchen, die schon bei den Zementleimuntersuchungen zu erkennen war, siehe Tafel 2.

Die Gefahr einer Schrumpfrißbildung ist naturgemäß um so höher, je größer das plastische Schwinden ist. Diese Aussage gilt sowohl für den Größtwert des plastischen Schwindens (siehe Tafel 5) wie auch für die Geschwindigkeit des plastischen Schwindens [5]. Sind Umweltbedingungen und Betonzusammensetzung – wie bei diesen Versuchen – gleich, so wird das plastische Schwinden maßgeblich von dem Zeitraum bestimmt, der zwischen dem Ende des Blutens und dem Erstarrungsende vergeht. Dieser Zeitraum, in dem im wesentlichen das plastische Schwinden stattfindet, wird als sogenannte Liegezeit bezeichnet. Diese Liegezeit wird – wie aus den Zahlenwerten der Tafel 5 leicht zu ersehen – von den Zusatzmitteln stark beeinflusst. Der Einfluß der untersuchten Zusatzmittel auf die Gefahr oder die Intensität einer Schrumpfrißbildung scheint im wesentlichen auf der Beeinflussung des Blutens, der Liegezeit und des plastischen Schwindens zu beruhen. Während Bluten und Liegezeit weitgehend unabhängig voneinander erscheinen, ist das plastische Schwinden eng mit dem Bluten und der Liegezeit verknüpft. Das plastische Schwinden wiederum korreliert recht gut mit den Kennwerten für die Schrumpfrißbildung, wie Rißzahl, mittlere Rißweite und Rißweitensumme.

Tafel 4 Rißverhalten der Betone

Kurzbezeichnung	Rißzahl	Rißweite in mm	
		Mittel	Summe
0,60-OZ	0	0	0
0,75-OZ	5	0,5	2,5
0,80-OZ	7	0,7	4,9
0,75-OZ	5	0,5	2,5
0,75-VZ 1	6	0,6	3,6
0,75-VZ 2	7	0,9	6,3
0,75-BV	2	0,4	0,8
0,75-BVF	1	0,3	0,3
0,60-OZ	0	0	0
0,60-VZ 1	1	0,5	0,5
0,60-VZ 2	2	0,5	1,0
0,60-BV	0	0	0
0,60-BVF	0	0	0
0,60-OZ	0	0	0
0,60-VZ 2	2	0,5	1,0
0,60-VZ 2M	0	0	0
0,75-0	5	0,5	2,5
0,75-5	4	0,2	0,8
0,75-10	2	0,2	0,4
0,75-15	1	0,2	0,2
0,60-0-OZ	0	0	0
0,60-0-VZ	2	0,5	1,0
0,60-15-VZ	1	0,2	0,2

4.3 Schrumpfrißunempfindlicher Beton

Die Wirkung der Zusatzmittel auf den rißunempfindlichen Beton zeigt Bild 5. Das augenfälligste Ergebnis ist, daß ein Beton, der unter den gegebenen Versuchsbedingungen sich als schrumpfrißunempfindlich zeigte, durch die Zugabe von Verzögerern so weit verändert wurde, daß sich Schrumpfrisse ausbildeten, siehe auch Tafel 4. Beim Beton mit Verflüssiger und Fließmittel sind dagegen wie beim Nullbeton keine Schrumpfrisse aufgetreten.

Das Bluten war bei allen Betonen mit dem Wasserzementwert 0,60 kleiner als bei denjenigen mit dem Wasserzementwert von 0,75 (siehe Tafel 5). Der Rückgang war jedoch beim Beton mit dem Fließmittel besonders ausgeprägt, er blutete praktisch nicht mehr. Die Liegezeit wurde unterschiedlich beeinflußt, jedoch war die Liegezeit der Betone mit den Verzögerern weiterhin deutlich größer als beim Beton ohne Zusatzmittel. Das plastische Schwinden wurde erwartungsgemäß bei allen Betonen kleiner, es betrug beim Wasserzementwert 0,60 nur noch 48 bis 88 % der Werte, die beim Wasserzementwert 0,75 gemessen wurden. Erwähnenswert ist, daß

Tafel 5 Bluten, Liegezeit und plastisches Schwinden der Betone

Kurzbezeichnung	Bluten l/m ²	Liegezeit Std. Min.	plast. Schwind. mm/m
0,60-OZ	0,64	3.30	1,03
0,75-OZ	0,92	4,00	2,11
0,80-OZ	1,44	4.50	2,51
0,75-OZ	0,92	4.00	2,11
0,75-VZ 1	1,75	6.05	3,28
0,75-VZ 2	1,48	7.40	5,08
0,75-BV	1,27	5.00	1,93
0,75-BVF	1,30	3.55	1,69
0,60-OZ	0,64	3.30	1,03
0,60-VZ 1	0,68	6.05	2,00
0,60-VZ 2	0,73	6.00	2,55
0,60-BV	0,68	5.50	1,69
0,60-BVF	0,02	4.10	1,47
0,60-OZ	0,64	3.30	1,03
0,60-VZ 2	0,73	6.00	2,55
0,60-VZ 2M	0,00	4.00	0,69
0,75-O	0,92	4.00	2,11
0,75-5	0,95	2.30	0,64
0,75-10	0,92	3.00	0,49
0,75-15	0,91	3.05	0,59
0,60-0-OZ	0,64	3.30	1,03
0,60-0-VZ	0,73	6.00	2,55
0,60-15-VZ	0,51	5.10	1,33

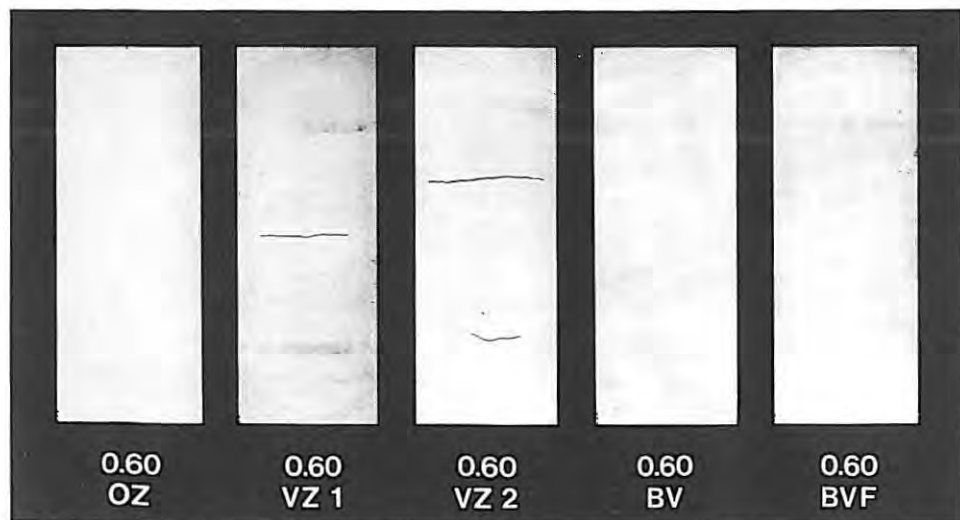


Bild 5 Rißbildung in einem schumpfrifunempfindlichen Beton ohne und mit Verzögerern und Verflüssigern

das plastische Schwinden des Betons mit Zusatzmittel gegenüber dem Beton ohne Zusatzmittel deutlich größer war. Dies ist deshalb bemerkenswert, weil beim Beton mit dem Wasserzementwert 0,75 das plastische Schwinden der Betone mit Verflüssiger und Fließmittel deutlich kleiner war als beim Nullbeton, was auch bei der Intensität der Schrumpfrißbildung deutlich zum Ausdruck kam. Aus dem Vergleich der Schwindwerte für den Wasserzementwert 0,60 folgt, daß zwar die Betone ohne Zusatzmittel, mit Verflüssiger und mit Fließmittel keine Schrumpfrisse ausbildeten, daß jedoch die Schrumpfrißunempfindlichkeit durch Verflüssiger und Fließmittel nicht unbeträchtlich abgebaut wurde. Insbesondere für den Beton mit dem Verflüssiger BV, der eine verzögernde Nebenwirkung hatte, kann man folgern, daß dieser praktisch unmittelbar vor der Schrumpfrißbildung gestanden hat.

4.4 Folgerungen für die Praxis

Bei schrumpfrißempfindlichem Beton haben sowohl der Verflüssiger auf der Basis Ligninsulfonat als auch das Fließmittel auf der Basis Melaminharzderivat zu einer Verminderung der Schrumpfrißbildung nach Rißzahl und Rißweite beigetragen. Diese günstige Nebenwirkung war beim Verflüssiger etwas weniger ausgeprägt als beim Fließmittel. Die Nebenwirkung verkehrte sich ins Gegenteil beim schrumpfrißunempfindlichen Beton. Obwohl sich hier wie beim Nullbeton keine Schrumpfrisse ausbildeten, wurde der Sicherheitsabstand gegenüber der Schrumpfrißbildung abgebaut, was sich am Anstieg des plastischen Schwindens bemerkbar machte. Der Anstieg des plastischen Schwindens war beim Zusatzmittel auf der Basis Ligninsulfonat größer als beim Zusatzmittel auf der Basis Melaminharzderivat. Dieser Unterschied ist vermutlich auf eine verzögernde Nebenwirkung zurückzuführen, die Zusatzmittel auf der Basis Ligninsulfonat in der Regel mehr oder weniger ausgeprägt aufweisen. Diese verzögernde Nebenwirkung geht auf Saccharosebestandteile zurück, die die aus Sulfitablauge aufbereiteten Ligninsulfonate in mehr oder weniger großen Mengen enthalten. Je höher der Anteil an Saccharose ist, desto ausgeprägter ist die verzögernde Nebenwirkung und desto größer wird die Gefahr der Schrumpfrißbildung. Da der hier untersuchte Verflüssiger auf der Basis Ligninsulfonat wenig verzögerte – er enthielt nach Auskunft des Herstellers wenig Saccharose –, muß in der Praxis in diesem Zusammenhang auch mit wesentlich ungünstigerem Verhalten gerechnet werden, wenn die verzögernde Wirkung ausgeprägter als im vorliegenden Fall ist. Es ist anzunehmen, daß solche Verflüssiger und Fließmittel zu einer Schrumpfrißbildung führen können, auch wenn der Nullbeton keine Schrumpfrisse ausbilden würde. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß die verzögernde Nebenwirkung solcher Zusatzmittel durch geeignete Wirkstoffe kompensiert werden kann.

Die untersuchten Verzögerer wirkten in der Regel ungünstig. Diese Aussage gilt sowohl für einen schrumpfrißempfindlichen Beton, bei dem die Schrumpfrißbildung beträchtlich intensiviert wird, als auch für einen schrumpfrißunempfindlichen Beton, bei dem die Schrumpfrißbildung erst durch die Zusatzmittelzugabe einsetzt. Diese unerwünschte Nebenwirkung hinsichtlich der Schrumpfriß-

bildung scheint beim Verzögerer auf der Basis von Phosphaten etwas weniger ausgeprägt zu sein als bei demjenigen auf der Basis von Hydroxycarbonsäuren. Verzögerer auf der Basis von Saccharose dürften ein ähnliches Verhalten zeigen wie solche auf der Basis von Hydroxycarbonsäuren. Verzögerer dieser Wirkstoffgruppen führen in der Regel zu einer größeren Spreizung zwischen Erstarrungsbeginn und Erstarrungsende als solche auf der Basis von Phosphaten, was vermutlich in ihrer unterschiedlichen Wirkung auf die C_3A - und C_3S -Bestandteile des Zements begründet ist. Ein größerer Zeitraum zwischen Erstarrungsbeginn und Erstarrungsende führt in der Regel auch zu einer größeren Liegezeit (Zeitspanne zwischen Ende des Blutens und Ende des Erstarrens), mit der größeren Liegezeit zu einem größeren plastischen Schwinden und damit zu einem ungünstigen Einfluß bei Gefahr einer Schrumpfrißbildung.

4.5 Nachgemischter Beton

Wenn der negative Einfluß der Verzögerer im wesentlichen auf der Vergrößerung der Liegezeit gegenüber dem nicht verzögerten Beton beruht, müßte er zurückgehen, wenn die Liegezeit entsprechend verkürzt, d. h. der Beton nicht unmittelbar nach dem Mischen, sondern entsprechend später eingebaut wird. Das Ergebnis einer Versuchsreihe, die hierüber Auskunft gibt, zeigt Bild 6. Der

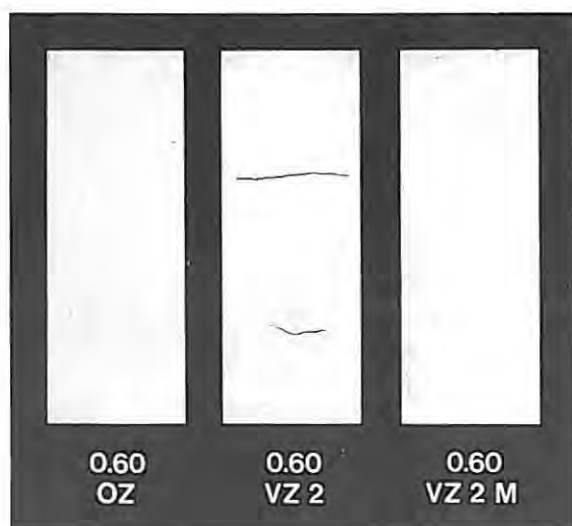


Bild 6 Rißbildung in einem schrumpfrißunempfindlichen Beton ohne und mit Verzögerer, eingebaut sofort oder nach 90minütigem Mischen

schrumpfrißunempfindliche Beton mit Wasserzementwert 0,60, der unmittelbar nach dem Herstellen eingebaut ohne Zusatzmittel keine Schrumpfrisse und mit Verzögerer Schrumpfrisse bildet, bleibt als verzögerter Beton ohne Schrumpfrisse, wenn er nach 90minütigem

langsamen Mischen (wie beim Transportbeton nach DIN 1045 zulässig) eingebaut wird, siehe auch Tafel 4. Der schrumpffrißunempfindliche Beton, durch den Verzögerer schrumpffrißempfindlich, ist durch das lange Mischen also wieder schrumpffrißunempfindlich geworden.

Die Auswirkung des langen Mischens auf Bluten, Liegezeit und plastisches Schwinden ist wiederum aus Tafel 5 zu ersehen. Während das Bluten nahezu auf Null zurückging, wurde die Liegezeit von 6 auf 4 Stunden verkürzt und das plastische Schwinden von 2,55 auf 0,69 mm/m verringert. Daß keine Schrumpfrisse mehr gebildet wurden, ist daher leicht verständlich.

Wird verzögerter Beton zu schrumpffrißgefährdeten Bauteilen (Platten im Hoch- und Ingenieurbau) verarbeitet, so sollte insbesondere bei Transportbeton darauf geachtet werden, daß Verzögerung und Einbau zeitlich gut aufeinander abgestimmt sind. Ein verzögerter Transportbeton, bei dem Verzögerung und Einbau nicht gut aufeinander abgestimmt werden, kann – wie der Beton 0,60-VZ 2 – zur Schrumpffrißbildung neigen. Ein verzögerter Transportbeton dagegen, bei dem Verzögerung und Einbau gut aufeinander abgestimmt werden, d. h. der kurzfristig nach dem Einbau erstarrt und erhärtet, wird so schrumpffrißempfindlich oder schrumpffrißunempfindlich sein wie der Beton ohne Zusatzmittel.

5. Beton mit Fettalkohol

5.1 Eigenschaften der Fettalkohole

Mit dem Thema Zusatzmittel und Schrumpfrisse erhebt sich auch die Frage, ob die Widerstandsfähigkeit von Beton gegen Schrumpffrißbildung durch Wirkstoffe, die dem Beton in Form von Zusatzmitteln zugegeben werden, nennenswert zu steigern ist. In diesem Zusammenhang wurden auf ihre Brauchbarkeit zur Steigerung der Widerstandsfähigkeit gegen Schrumpffrißbildung einige Fettalkohole untersucht. Aufgrund ihrer Eigenschaften, insbesondere ihrer Dichte, ist bei den Fettalkoholen zu vermuten, daß sie, als Zusatzmittel benutzt, an der Oberfläche des Betons eine Schicht bilden, die den Beton vor zu schnellem Austrocknen schützt und dadurch zur Steigerung der Widerstandsfähigkeit gegen Schrumpffrißbildung beiträgt.

Als Fettalkohole werden die durch Reduktion von natürlichen Fettsäuren erhältlichen einwertigen Alkohole mit 8 bis 22 Kohlenstoffatomen in geraden Ketten bezeichnet. Die Fettalkohole sind je nach der Länge der Kohlenstoffkette farblose Flüssigkeiten oder weiche Massen, die in Wasser schwer- bis unlöslich, in Alkohol oder Äther jedoch leicht löslich sind.

Einige Eigenschaften der Fettalkohole mit 8, 14 und 18 Kohlenstoffatomen sind in Tafel 6 zusammengestellt.

Für Verdunstungsversuche am Beton wurden die Fettalkohole mit 8 und 14 Kohlenstoffatomen ausgewählt. Während der Fettalkohol mit 8 Kohlenstoffatomen, der sich als farblose ölige Flüssigkeit von leicht unangenehmem Geruch darstellt, in Wasser emulgierbar war, mußte der Fettalkohol mit 14 Kohlenstoffatomen, der in fester Form

Tafel 6 Eigenschaften der Fettalkohole

Bezeichnung der Fettalkohole		F 8	F 14	F 18
Anzahl der Kohlenstoffatome		8	14	18
Gehalt an spezifischem Alkohol	Gew.-%	rd. 98	rd. 96	rd. 90
Dichte	kg/dm ³	0,825	0,823	0,812
Schmelzpunkt	°C	– 16	–	–
Erstarrungspunkt	°C	–	36–38	54–57
Siedebereich	°C	185–200	275–290	320–340
Flammpunkt	°C	82	145	185
Molgewicht		129–131	212–216	267–280
Wassergehalt	Gew.-%	< 0,15	< 0,1	< 0,1
Erscheinungsform		flüssig	fest	fest

nahezu geruchlos vorliegt, vor der Emulgation erst in Methanol gelöst werden. Die Verdunstungsversuche wurden an 50 cm x 30 cm x 8 cm großen Proben mit rd. 1500 cm² Verdunstungsfläche am Beton mit dem Wasserzementwert 0,75 (siehe Abschnitt 2) im Windkanal unter den in Abschnitt 2 aufgeführten Bedingungen durchgeführt. Die Versuchsergebnisse in Tafel 7 zeigen, daß beide Fettalkohole die Verdunstung – gemessen als verdunstete Wassermenge nach 4 Stunden – etwa gleich stark um rd. 20 % verringern. Um einen ersten Anhalt über unerwünschte Nebenwirkungen zu erhalten, wurde am gleichen Beton der Einfluß der Fettalkohole F 8 und F 14 auf das Ausbreitmaß und auf die 28 Tage-Druckfestigkeit an 10 cm-Würfeln nach DIN 1048 Teil 1 ermittelt, siehe Tafel 7. Die Verarbeitbarkeit des Betons wurde durch die Fettalkohole geringfügig verbessert; demgegenüber verringerte sich die Druckfestigkeit mit steigendem Fettalkoholgehalt. Es ist jedoch zu erwarten, daß der Druckfestigkeitsabfall, vor allem bei den Betonen mit 5 cm³ Fettalkohol je kg Zement, durch Reduzierung des Wassergehalts bis zum gleichen Ausbreitmaß wie beim Beton ohne Fettalkohol weitgehend

Tafel 7 Verdunstung, Ausbreitmaß und Druckfestigkeit von Betonen mit Fettalkoholen

Bezeichnung der Betone	Zusatzmenge an Fettalkohol cm ³ /kg Z	verdunstete Wassermenge l/m ²	Ausbreitmaß cm	Rohdichte (lufttrocken) kg/dm ³	Druckfestigkeit (28 Tage) N/mm ²
0,75–0	0	1,7	56	2,14	34,9
0,75– 5–F 8	5	1,4	58	2,14	32,5
0,75–10–F 8	10	1,5	57	2,14	31,2
0,75–15–F 8	15	1,4	58	2,14	30,2
0,75–0	0	1,7	56	2,14	34,9
0,75– 5–F 14	5	1,4	59	2,11	31,4
0,75–10–F 14	10	1,2	57	2,11	28,9
0,75–15–F 14	15	1,3	54	2,14	28,5

ausgeglichen werden kann. Hierbei ist noch mit einer weiteren geringfügigen Erhöhung des Widerstandes gegenüber Schrumpfrißbildung zu rechnen. Aufgrund der Versuchsergebnisse und wegen der leichteren Verarbeitbarkeit wurde der in flüssiger Form vorliegende Fettalkohol mit 8 Kohlenstoffatomen F 8 für die weiteren Versuche ausgewählt.

5.2 Schrumpfrißempfindlicher Beton mit Wasserzementwert 0,75

Der Einfluß des Fettalkohols mit 8 Kohlenstoffatomen auf das Entstehen von Schrumpfrissen wurde im Vergleich zum Verhalten des zusatzmittelfreien Betons mit dem Wasserzementwert von 0,75 beurteilt, der als schrumpfrißempfindlich zu bezeichnen ist, siehe Bild 3. Diesem Beton wurde der Fettalkohol mit den Zusatzmengen 5 cm³, 10 cm³ und 15 cm³ je kg Zement zugegeben. Durch Zugabe dieses Fettalkohols zum Anmachwasser wird der Widerstand dieses Betons gegenüber der Rißbildung wesentlich erhöht, siehe Bild 7. Obwohl in allen Platten mit Fettalkohol noch Risse auftraten, so nimmt die Rißzahl mit zunehmender Zugabe von Fettalkohol deutlich ab, und zwar von 5 Rissen beim Nullbeton über 4 Risse bei einer Zugabe von 5 cm³ und über 2 Risse bei einer Zugabe von 10 cm³ auf 1 Riß bei einer Zugabe von 15 cm³. Neben der Rißzahl wurde vor allem auch die Rißweite deutlich kleiner, siehe Tafel 4. Während die mittlere Rißweite beim Beton ohne Fettalkohol bei 0,5 mm lag, nahm sie mit zunehmender Zugabe von Fettalkohol ab und betrug bei der Zugabe von 15 cm³ je kg Zement noch 0,16 mm. Bei einer Rißweite von 0,16 mm wird nach allgemeiner Auffassung bei Stahlbetonbauteilen der Korrosionsschutz nicht mehr nennenswert beeinträchtigt. Der an der Oberfläche der Betone mit Fettalkohol durch das Bluten sich bildende Schutzfilm verkürzt die Liegezeit und vermindert dadurch in den kritischen Stunden das Austrocknen und damit das plastische Schwinden (Tafel 5).

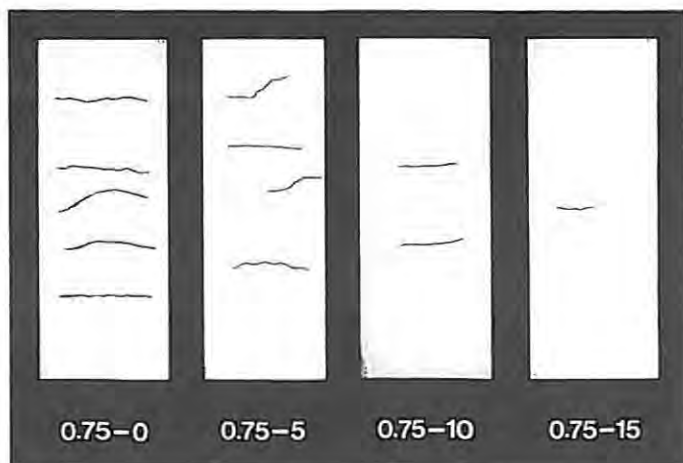


Bild 7 Rißbildung in einem schrumpfrißempfindlichen Beton ohne und mit Fettalkohol

5.3 Schrumpfrißempfindlicher Beton mit Wasserzementwert 0,60

Da die oben dargestellten Ergebnisse am Beton mit einem Wasserzementwert von 0,75 gewonnen wurden, erhebt sich die Frage, ob bei einem Beton mit niedrigerem Wasserzementwert, der weniger blutet, die günstige Wirkung des Fettalkohols noch vorhanden ist. Hierzu wurden Versuche an verzögertem Beton durchgeführt. Bei den gewählten Umweltbedingungen – 5m/s Windgeschwindigkeit, 30°C und 50 % Feuchte – bildet ein Beton mit einem Wasserzementwert von 0,60 normalerweise nur Schrumpfrisse aus, wenn er verzögert ist. Die Zugabe von Fettalkohol in einer Zusatzmenge von 15 cm³ je kg Zement verminderte bei solch einem Beton die Schrumpfrißbildung nach Rißzahl und Rißweite auch hier nennenswert, siehe Bild 8 und Tafel 4. Die Zugabe von Fettalkohol hat bei verzögertem Beton ungefähr dieselbe günstige Wirkung gebracht wie längeres Mischen vor dem Einbau. Obwohl aufgrund der Versuchsergebnisse noch kein Urteil über die Brauchbarkeit von Fettalkohol in der Praxis möglich ist, so zeigen die Ergebnisse doch schon, daß Fettalkohol als Zusatzmittel günstig in das Geschehen der Schrumpfrißbildung eingzugreifen vermag.

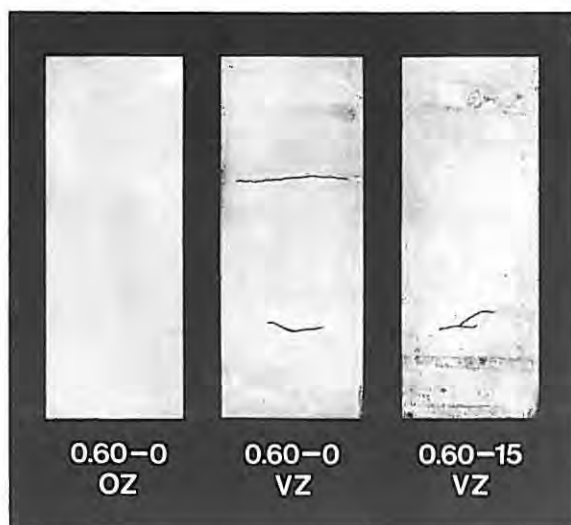


Bild 8 Rißbildung in einem schrumpfrißunempfindlichen Beton ohne und mit Verzögerer und Fettalkohol

6. Zusammenfassung

Zusatzmittel werden betontechnologisch angewendet, um die natürlichen Eigenschaften des Betons besonderen Erfordernissen anzupassen. Zusatzmittel können eine oder mehrere Betoneigenschaften günstig, jedoch nebenher andere auch ungünstig beeinflussen.

Im Zusammenhang mit unerwünschten Nebenwirkungen wurde der Frage nachgegangen, ob und wenn ja in welchem Umfang Verflüs-

siger, Fließmittel und Verzögerer sich auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber Schrumpfrißbildung auswirken können. Aus den Versuchsergebnissen läßt sich folgern:

6.1 Verzögerer können eine Schrumpfrißbildung intensivieren oder ggf. sogar initiieren. Dieser Einfluß ist um so ausgeprägter, je mehr der Zeitraum zwischen Erstarrungsbeginn und -ende gespreizt wird. Wirkstoffe, wie beispielsweise Saccharosen oder Hydroxycarbonsäuren, die den Erstarrungsbeginn weniger verzögern als das Erstarrungsende, scheinen sich weniger günstig zu verhalten als Wirkstoffe, wie beispielsweise Phosphate, die beide gleichmäßiger verzögern. Ein ungünstiger Einfluß einer Verzögerung kann durch eine zeitliche Abstimmung der Verzögerungszeit auf den Einbaupunkt weitgehend vermieden werden; dies erscheint wichtig für die Anwendung von verzögertem Transportbeton für schrumpfrißgefährdete Bauteile.

6.2 Verflüssiger und Fließmittel wirken unterschiedlich. Bei Beton mit hohem Wasserzementwert von 0,75, der ausgeprägt zur Schrumpfrißbildung neigte, wurde die Schrumpfrißbildung stark abgeschwächt, bei Beton mit mittlerem Wasserzementwert von 0,60, der keine Schrumpfrisse bildete, wurde dagegen der Widerstand gegenüber einer Schrumpfrißbildung vermindert. Verflüssiger und Fließmittel, die nennenswerte Anteile an verzögernden Nebenbestandteilen enthalten, können dabei wesentlich ungünstiger wirken als solche Mittel, die nicht oder nur wenig verzögern.

6.3 Versuche mit Fettalkoholen als Zusatzmittel zeigten, daß solche Stoffe eine Schrumpfrißempfindlichkeit beim Beton vermindern können. So wurde bei einem Beton mit hohem Wasserzementwert von 0,75 die Schrumpfrißbildung ebenso abgeschwächt wie bei einem verzögerten Beton mit einem Wasserzementwert von 0,60.

SCHRIFTTUM

- [1] Jaegermann, H. C., und D. Ravina: Effect of some admixtures on early shrinkage and other properties of prolonged-mixed concrete subjected to high evaporation. RILEM-Symposium on admixtures for mortar and concrete, Brüssel 1967. Proceedings Bd. IV, S. 321/350.
- [2] Ravina, D., und R. Shalon: Shrinkage of fresh mortars cast under and exposed to hot dry climate conditions. RILEM-CEMBUREAU-Colloquium on the shrinkage of hydraulic concretes, Madrid 1968. Proceedings Bd. II, Beitrag III-E.
- [3] Bermel, H. J., und J. Teubert: Fließbeton beim Bau einer Tankanlage. beton 27 (1977) H. 3, S. 89/92.
- [4] Wischers, G., und W. Manns: Ursachen für das Entstehen von Rissen in jungem Beton. beton 23 (1973) H. 4, S. 167/171, und H. 5, S. 222/228; ebenso Betontechnische Berichte 1973, Beton-Verlag, Düsseldorf 1974, S. 67/94.
- [5] Manns, W., und K. Zeus: Zum Einfluß von Zusatzmitteln auf die Schrumpfrißbildung. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- [6] Manns, W., und K. Zeus: Der Einfluß von Fettalkohol auf die Widerstandsfähigkeit von jungem Beton gegen Rißbildung. Versuchsbericht B 21983 des Otto-Graf-Instituts, Abteilung Beton, Steine und Bindemittel (unveröffentlicht).