

# Zusammensetzung und Eigenschaften von zementgebundenem Fließestrich

Von Karsten Rendchen, Düsseldorf

## Übersicht

*Die Technologie des zementgebundenen Fließestrichs wird seit einigen Jahren diskutiert und propagiert. Seine Anwendung hat sich insbesondere im Baugewerbe aber bis heute noch nicht endgültig durchgesetzt. Im Forschungsinstitut der Zementindustrie wurden daher in den letzten Jahren mit finanzieller Unterstützung der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) umfangreiche Untersuchungen über die Zusammensetzung und Eigenschaften von zementgebundenen Fließestrichen durchgeführt. Sie erstreckten sich vorwiegend auf die Optimierung von Estrichmörtelzusammensetzung hinsichtlich seines Fließverhaltens. Weiterhin wurde untersucht, ob der erhärtete Mörtel mit Fließmittel gleiche Gebrauchseigenschaften wie der Mörtel ohne Fließmittel aufweist. Hierzu wurden die Biegezug-, Spaltzug- und Druckfestigkeit in verschiedenen Altersstufen und der Verschleißwiderstand verglichen. Zusätzlich wurden Estrichplatten auf dicker Dämmschicht unter praxisnahen Ausführungsbedingungen untersucht.*

*Fließestriche erfordern einen hohen Feinstkornanteil. Die Verwendung von Flugaschezement oder die Verwendung von Flugasche als Zusatzstoff haben sich als günstig erwiesen. Sachgerecht hergestellte Fließestriche erfüllen alle Anforderungen der Estrichnorm DIN 18 560 hinsichtlich Festigkeit und Verschleißwiderstand. Schwimmende Estriche auf dicken Dämmschichten lassen sich mit geringerem Arbeitsaufwand und mit geringeren Estrichdicken als herkömmliche Estriche zuverlässig herstellen.*

## 1 Einleitung

Positive Erfahrungen mit Fließbeton im Hochbau und im Straßenbau lassen vermuten, daß die Anwendung dieser Technologie auch für andere Gebiete des Bauens sinnvoll und vorteilhaft sein kann. Eines der dafür in Frage kommenden Gebiete ist der Bereich der Baumörtel und hier insbesondere der Estriche. Bei Zementestrichen, deren Anteil derzeit rd. 70% der insgesamt hergestellten Estriche beträgt, kann die Verwendung von Fließmörtel zu einer Verbesserung der Technologie, zur zielsicheren Erreichung der Eigenschaften und nicht zuletzt zu einer Vereinfachung der Einbauverfahren und damit auch zu einer Verringerung der Schadenshäufigkeit führen. Aufgrund des Arbeitskräfteschwundes im Estrichverlegege-

werke verfügen die Estrichbetriebe heute zum Teil nur noch über etwa 50% ihrer Kapazität, was manchmal zu Engpässen bei der Deckung der Nachfrage führte.

Als erschwerend für die Herstellung von schwimmenden Estrichen haben sich auch die unter dem Druck der Energieeinsparung geänderten Festlegungen in den Vorschriften ausgewirkt. Durch die entsprechenden Verordnungen (Wärmeschutzverordnung, Schallschutzbestimmung) können in bestimmten Bereichen z. B. Decken unter nicht ausgebauten Dachgeschossen oder Decken, die Aufenthaltsräume nach unten gegen Außenluft abschließen, an schwimmende Estriche höhere wärme- und schalltechnische Anforderungen gestellt werden. Dadurch ergeben sich mit bis zu 70 mm Dicke [1] deutlich größere Mindestdicken für die Dämmschichten als bisher. Für Estrichmörtel auf dicken Dämmschichten, die u. U. deutlich stärker beansprucht werden und für die eine höhere Qualität und eine größere Homogenität notwendig sind, werden derzeit meist steife bis plastische Mörtel verwendet, für die allerdings bei diesen Dämmschichtdicken die bisherigen Einbauverfahren in vielen Fällen nur noch unzureichend anwendbar sind.

Die nachfolgend beschriebenen, im Forschungsinstitut der Zementindustrie durchgeführten und von der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsgemeinschaften (AIF) finanziell geförderten Untersuchungen sollen zusammen mit der Auswertung des Schrifttums einen Beitrag zur Frage der Zusammensetzung und Eigenschaften von zementgebundenen Fließestrichen liefern.

## 2 Schrifttum

Zur Frage der Zusammensetzung und Herstellung von zementgebundenen Fließmörteln und speziell von solchen Fließestrichen sind bislang nur wenige Untersuchungen durchgeführt worden. Erste umfassende Versuche auf diesem Gebiet wurden in den 70er Jahren an der RWTH Aachen von H. R. Sasse und H.-P. Preiß [2, 3, 4] durchgeführt. Es wurden die Wirksamkeit des Fließmittels, die Verarbeitbarkeit von Mörtel und der Einfluß der Ausgangsstoffe auf die Eigenschaften von zementgebundenen Fließmörteln mit sehr großem Fließvermögen — sogenannte „selbstnivellierende Estriche“ — untersucht. Dabei zeigte sich, daß als Zuschlag ein Gemisch zwischen den Korngrößen 0,25 mm und 4 mm geeignet ist. Je kleiner das Größtkorn gewählt wird, um so ausgeprägter ist die Verbesserung des Fließverhaltens durch Fließmittelzusatz und um so geringer die Entmischungsneigung. Weiterhin stellten die Autoren fest, daß die Estrichmischungen sehr empfindlich auf veränderte Wasserzugaben reagierten, was des öfteren zu Entmischungsercheinungen führte, insbesondere bei höheren Fließmittelgehalten, die von rd. 3% bis über 9% (bezogen auf den Zementgehalt) zudosiert wurden. Daher wurde für die Praxis empfohlen, vorgemischte getrocknete Ausgangsstoffe (Siloware) zu verwenden [5].

Zu anderen, teilweise sogar widersprechenden Ergebnissen gelangte P. Nischer in seinen Untersuchungen über Fließestriche [6, 7]. In [6] schließt Nischer aus den Untersuchungen an Betonen mit 8 mm und Mörtel mit 4 mm Größtkorn mit unterschiedlichen Sieblinien, daß die Herstellung von Fließbeton mit 8 mm Größtkorn mit ge-

eigneten Kornzusammensetzungen gut möglich sei. Als günstig erwiesen sich Kornverteilungen mit einem hohen Feinkornanteil von rd. 40 Gew.-% bei 0,5 mm, einem sehr geringen Anteil (rd. 5 Gew.-%) 0,5/2 mm und rd. 55 Gew.-% 2/8 mm.

Sieblinien mit 4 mm Größtkorn führten demgegenüber leichter zu Entmischungen und waren daher weniger geeignet. Leider fehlen in [6] Angaben über die Zementgehalte und die absoluten Ausbreitmaße, so daß eine Beurteilung der Estriche nicht möglich ist. In [7] untersuchte Nischer die Zusammensetzung für „selbstnivellierende“ Estriche, wobei im wesentlichen dem Einfluß von Zusatzstoffen einschließlich Zement als Feinststoff auf das Fließverhalten sehr weicher zementgebundener Estriche nachgegangen wurde. Als zweckmäßig hat sich danach ein w/z-Wert von  $\leq 0,60$  und ein Ausbreitmaß gemäß DIN 1048 Teil 1 der Ausgangsmischung von 45 bis 50 cm erwiesen. Die Untersuchungen ergaben weiterhin, daß für „selbstnivellierende“ Estriche Ausbreitmaße von  $\geq 77$  cm anzustreben sind, ohne daß ein Entmischen eintritt. In Übereinstimmung mit [2] waren hierfür Sieblinien mit einem Größtkorn von 4 mm günstiger als mit 8 mm, da die Korngruppe 4/8 mm zum Sedimentieren neigte. Um zufriedenstellende, ausreichend ebene Oberflächen zu erhalten, waren Estrichmischungen mit einem Mindestzementgehalt von  $550 \text{ kg/m}^3$  mit unterschiedlichen Mengen der verschiedenen Zusatzstoffe, wie Kalksteinmehl, Quarzmehl, Flugasche, erforderlich. Zusätzliche Schwindmessungen ergaben auch für Estriche mit höheren Zementgehalten bei gleichbleibendem Wassergehalt keine größeren Schwindmaße.

Über die Entwicklung und Anwendung von zementgebundenem Flugascheestrich berichten H.-U. Kambor und P. Siebert in [8]. Bei ihren Untersuchungen verwendeten sie Zuschlag mit 8 mm Größtkorn, Zementgehalte zwischen  $150 \text{ kg/m}^3$  und  $250 \text{ kg/m}^3$  und Flugaschegehalte zwischen  $350 \text{ kg/m}^3$  und  $250 \text{ kg/m}^3$  bei w/(z+FA)-Werten von 0,50 und 0,45. Die Ausbreitmaße der Ausgangsmischungen ergaben sich etwa zu 50 cm, die der Fließmörtel waren  $> 65$  cm mit Größtwerten über 70 cm bei Fließmittelgehalten von bis zu 2%, bezogen auf Zement + Flugasche. Die Schwindmaße von Fließestrichen ohne FA und von Fließestrichen mit z:FA = 1:1 waren nach 360 Tagen ebenso wie der Verschleißwiderstand etwa gleich. Beim eingebauten erhärteten Fließestrich traten Risse auf, die auf eine unsachgemäße Vorbehandlung der Rohdecke und auf eine mangelnde Nachbehandlung des Estrichs zurückgeführt wurden. Schwindrisse wurden dagegen nicht festgestellt.

Abschließend sei noch vermerkt, daß zur Herstellung von Fließestrich mehrere Patentansprüche angemeldet wurden, z. B. [9, 10].

Die Auswertung des Schrifttums macht deutlich, daß sich die Gesetze des Fließbetons nicht ohne weiteres auf Fließmörtel übertragen lassen. Die bisher durchgeführten Untersuchungen befaßten sich nahezu ausschließlich mit Estrichen mit sehr hohem Fließvermögen mit Ausbreitmaßen  $> 65$  cm unter Zugabe von Zusatzstoffen und z. T. mit Zuschlägen, wie sie örtlich nicht immer zur Verfügung stehen. Dabei wies bereits der Ausgangsestrich eine plastische bis weiche Konsistenz ( $a = 45$  bis 50 cm) auf. Der Frage der Herstellung von Estrichen mit Fließmitteln bzw. Fließestrichen mit und ohne Zusatzstoff mit ausreichendem Wasserrückhaltevermögen und den Eigenschaften

von auf Dämmschichten eingebautem, erhärtetem Fließestrich wurde dabei nicht nachgegangen.

### 3 Ziel der Untersuchungen

Mit den nachfolgend beschriebenen Versuchen sollte insbesondere der Frage nachgegangen werden, ob Zementmörtel mit Fließmittel für die Anwendung des Estrichs zweckmäßig und vorteilhaft sind. Dabei galt es, die für die jeweiligen Anwendungsgebiete geeigneten Zusammensetzungen herauszufinden.

## 4 Versuche

### 4.1 Zusammensetzung der Mischungen

Für die Versuche wurden ein Portlandzement Z 35 F mit einer spezifischen Oberfläche von 3020 cm<sup>2</sup>/g und Rheinkiesand aus dem Raum Düsseldorf der Sieblinie B8 verwendet. Obwohl es sich hierbei im Sinne von DIN 1045 um Betone handelt, wird im nachfolgenden der Begriff Mörtel beibehalten, da in der Praxis im Zusammenhang mit Estrichen unabhängig vom Zuschlaggrößtkorn die Bezeichnung Mörtel üblich ist. Zur Ermittlung geeigneter Zusammensetzungen wurden sowohl der Zementgehalt als auch der w/z-Wert und der Fließmittelgehalt variiert. In zusätzlichen Versuchen wurde der Einfluß von Zusatzstoffen durch Zugabe von Kalksteinmehl und von Flugasche bzw. die Verwendung eines Flugaschezements — vom gleichen Hersteller wie der verwendete PZ 35 F — untersucht. Neben den Ausgangsmischungen wurden stets Mischungen mit mindestens einem Fließmittel hergestellt, ausgehend von einer Zugabe von 3 Gew.-%, die stets auf die Wasserzugabemenge angerechnet wurden. Bei den als Fließmörtel geeigneten Mörtelzusammensetzungen wurde die Wirksamkeit unterschiedlicher Fließmittelarten und -zugabemengen untersucht. Insgesamt wurden acht verschiedene Fließmittel verwendet (Tafel 1). Alle Fließmittel waren handelsübliche Betonzusatzmittel mit Prüfzeichen des Instituts für Bautechnik, Berlin. Auf die grundsätzliche Wirkungsweise verschiedener Fließmittel soll hier nicht näher eingegangen werden, da hierüber bereits zahlreiche Veröffentlichungen erschienen sind, z.B. [11, 12, 13, 14, 15].

Tafel 1: Wirkstoffe der verwendeten Fließmittel

Fließmittel	Wirkstoffe
1	Melaminsulfonat
2	Naphtalinsulfonat
3	Melaminsulfonat
4	Ligninsulfonat
5	Ligninsulfonat + aromatisches Sulfonsäurederivat
6	Kombination aus Naphtalinsulfonat, Ligninsulfonat und Melaminsulfonat
7	sulfoniertes Amidharz
8	Naphtalinsulfonat

## 4.2 Herstellung, Lagerung und Prüfung

Die Ausgangsstoffe wurden in der Reihenfolge Zement — Zuschlag — Wasser in einen 150 Liter-Tellermischer gefüllt und gemischt. Um einen Einfluß der Mischzeit zu eliminieren, wurden sowohl der Nullmörtel als auch der Mörtel, dem nach 2 min das Fließmittel zugegeben wurde, insgesamt 5 min gemischt. Unmittelbar nach Beendigung des Mischvorgangs wurden die Prüfungen am Frischmörtel durchgeführt und anschließend die Probekörper für die Prüfungen am Festmörtel hergestellt. Der Mörtel wurde je nach Konsistenz dabei durch Stampfen, Rütteln auf einem Rütteltisch mit Schwingungsbreite 1 mm und Schwingungszahl 3000/ min oder durch Stochern bzw. leichtes Klopfen an der Schalung in den Formen verdichtet. Alle Proben lagerten 24 h in der Form unter feuchten Tüchern im Herstellungsraum und anschließend nach dem Entschalen einen Tag (2-Tage-Festigkeiten) bzw. sechs Tage (7-Tage-Festigkeiten) unter Wasser. Die nach 28 bzw. 91 Tagen zu prüfenden Proben lagerten ab dem siebten Tag im Klimaraum bei 20°C/65% r.L. Das galt abweichend von DIN 1048 Teil 1 auch für die Proben zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeit, um den Verhältnissen in der Praxis näher zu kommen.

Von allen Estrichen wurden am Frischmörtel das Ausbreitmaß und/oder das Verdichtungsmaß sowie teilweise der Luftgehalt nach DIN 1048 Teil 1 bestimmt. Zusätzlich wurde augenscheinlich das Wasserrückhaltevermögen und gegebenenfalls auftretendes Entmischen beurteilt. Am erhärteten Mörtel wurden die Druck- und Biegezugfestigkeit an Prismen 40 mm x 40 mm x 160 mm und die Druck- und Spaltzugfestigkeit an Würfeln der Kantenlänge  $a = 100$  mm teilweise im Alter von 2 Tagen bzw. nach 7, 28 und 91 Tagen geprüft. An Würfeln mit 50 cm<sup>2</sup>-Flächen wurde außerdem der Schleifverschleiß des Estrichs nach 28 Tagen mit der Böhmescheibe gemäß DIN 52 108 ermittelt.

## 5 Erörterung der Versuchsergebnisse

### 5.1 Zusammensetzung und Frischmörteleigenschaften

Die Untersuchungen ergaben, daß zusatzstofffreie Estrichmörtel mit Zementgehalten  $< 350$  kg/m<sup>3</sup>, d.h. mit geringem Feinstkornanteil, und mit Wassergehalten unter 180 l/m<sup>3</sup> unabhängig von der Dosierung des Fließmittels für die Herstellung von Fließmörtel ungeeignet waren. Die Mörtel waren i. a. auch nach Einmischen des Fließmittels noch steif bis zäh-plastisch mit Verdichtungsmaßen der Ausgangsmischung zwischen 1,30 und 1,50 und zwischen 1,15 und 1,35 nach Zugabe von 3% Fließmittel. Die Ausbreitmaße dieser Mörtel mit Fließmittel — sofern überhaupt meßbar — waren  $< 40$  cm. Auch durch höhere Fließmitteldosierungen bis zu 6% konnte das Fließvermögen nicht verbessert werden, dagegen zeigten sich danach trotz der steifen Ausgangsmischungen bereits Entmischungserscheinungen. Zusatzstofffreie Mörtel mit weicher Konsistenz KR nach DIN 1045 ergaben sich nach Zugabe von Fließmittel erst bei Zusammensetzungen mit Zementgehalten von mindestens 350 kg/m<sup>3</sup> und je nach Zementleimgehalt und Fließmittelart mit unterschiedlichen Fließmittelzugaben (Tafel 2). Zusatzstofffreie Fließestriche (Konsistenz KF nach DIN 1045) mit Ausbreitmaßen zwischen 49 und 60 cm ergaben sich bei Zementgehalten von 350 bis 400 kg/m<sup>3</sup> i. a. nur für Mörtel, deren w/z-Wert  $\geq 0,50$  betrug. Mörtel mit w/z  $< 0,50$  erforderten eine Erhö-

Tafel 2: Zusammensetzung und Ausbreitmaße von Estrich ohne und mit Fließmittel (a = 42 bis 48 cm)

Mischung Nr.	Zementgehalt (kg/m <sup>3</sup> )	w/z-Wert	Fließmittel		Ausbreitmaß (cm)	Bemerkung
			Art	Menge (%)		
1	350	0,57	—	—	37	schwaches Blüten —
			1	1,5	47	
2	375	0,50	—	—	35	— schwaches Blüten
			1	2,5	46	
3	400	0,47	—	—	zerf. (v = 1,29)	— mittleres Blüten
			1	3,0	44	
4	400	0,50	—	—	37	— —
			1	1,5	47	
5	425	0,44	—	—	zerf. (v = 1,32)	— — —
			4	3,0	46	
			2	2,0	45	
6	425	0,47	—	—	40	— —
			5	3,0	48	
7	450	0,44	—	—	35	— —
			1	1,5	44	

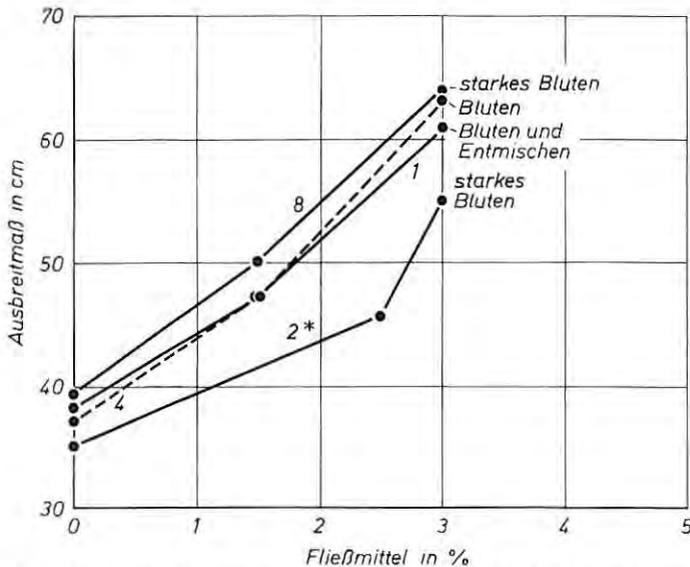


Bild 1 Ausbreitmaße verschiedener Estrichmischungen in Abhängigkeit der Fließmittelzugabemenge (\*Mischungs-Nr. nach Tafel 2 bis 4)

Tafel 3: Zusammensetzung und Ausbreitmaße von Fließestrich (a = 49 bis 60 cm)

Mischung Nr.	Zementgehalt (kg/m <sup>3</sup> )	w/z-Wert	Fließmittel		Ausbreitmaß (cm)	Bemerkung
			Art	Menge (%)		
1	350	0,57	— 1	— 3,0	37 61	schwaches Bluten sehr starkes Bluten, Entmischen
2	375	0,50	— 1	— 3,0	35 55	— starkes Bluten
8	375	0,53	— 1	— 1,5	38 49	schwaches Bluten —
5	425	0,44	— 1 2 5 6	— 3,0 2,5 3,0 3,0	zerf. (v = 1,32) 58 60 51 50	— — leichtes Bluten — —
6	425	0,47	— 4 6 2 1	— 3,0 3,0 1,5 2,0	40 55 60 53 50	— mittleres Bluten leichtes Bluten — —
9	450	0,39	— 1	— 6,0	zerf. (v = 1,38) 59	— sehr starkes Bluten
7	450	0,44	— 1 4 6 7 3 8 8	— 3,0 3,0 3,0 3,0 3,0 2,0 2,5	35 55 56 51 53 56 54 58	— — — — — — — leichtes Bluten

hung des Feinstkornanteils, hier des Zementgehaltes  $> 400 \text{ kg/m}^3$ , und der Fließmittelzugabe (Tafel 3 und Bild 1).

Mit diesen Zusammensetzungen lassen sich ebenfalls Estriche mit sehr großem Fließvermögen („Nivellierestriche“) mit  $a > 60 \text{ cm}$  herstellen. Doch waren das Zusammenhalte- und Wasserrückhaltevermögen der Mörtel mit  $z < 400 \text{ kg/m}^3$  noch nicht zufriedenstellend (Tafel 4). Mörtel mit  $z \geq 400 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z \leq 0,50$  und Fließmitteldosierungen von zwischen 2,0 und 3,0% vom Zementgewicht mit Ausbreitmaßen der Nullmischungen zwischen 35 und 45 cm zeigten ein gutes Fließvermögen bei ausreichendem Zusammenhaltevermögen. Sie entmischten nicht mehr, jedoch neigten einige Mörtel einige Zeit nach Mischende zum Bluten. Für einige dieser Mischungen ist das Ausbreitmaß in Abhängigkeit der Fließmittelmenge in Bild 2 dargestellt. In der Praxis kann sich Bluten, wie Untersuchungen von G. Wischers und W. Manns [16] an Beton gezeigt haben, günstig auf

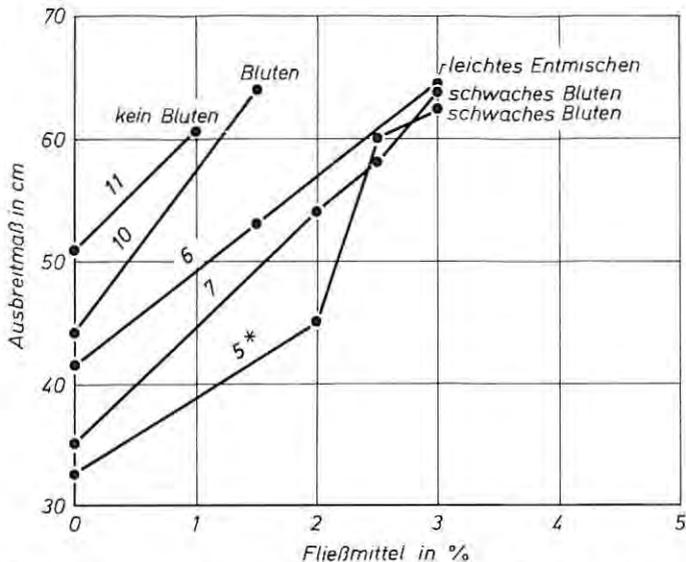


Bild 2 Ausbreitmaße verschiedener Fließestriche und Estriche mit hohem Fließvermögen in Abhängigkeit der Fließmittelzugabemenge (\*Mischungs-Nr. nach Tafel 2 bis 4)

die Vermeidung von Rissen infolge zu schnellen und zu frühen Austrocknens auswirken, da sich zum einen der ursprüngliche Wassergehalt in der Mörtelmischung verringert und da zum anderen keine Volumenverminderung und Zwängungsspannungen entstehen, solange nur das auf der Mörteloberfläche stehende Wasser verdunstet.

Eine erhöhte Fließmittelzugabe führte bei einigen Mörteln mit hohem Zementleimgehalt sowohl bei gleichbleibendem Wassergehalt (Tafel 4, Mischung 11) als auch bei verringertem Wassergehalt (Tafel 3, Mischung 9) zu deutlichen Absetz- bzw. Entmischungserscheinungen, da bei gleichbleibender prozentualer Zugabe die absolute Fließmittelmenge zunimmt und dann das Zusammenhaltevermögen und das Wasserrückhaltevermögen des Estrichmörtels wieder ungünstig beeinflusst werden. Dies zeigt auch Bild 3, in dem die Ausbreitmaße von verschiedenen Estrichmörteln mit gleichem Wasserzementwert von 0,50 über der Fließmittelmenge aufgetragen sind. Während Mörtel 2 mit 375 kg Zement und 3% Fließmittel ein in sich geschlossenes Ausbreitmaß von 55 cm ergab, zeigte sich bei Mischung 4 mit 400 kg Zement bei einem Ausbreitmaß von 63 cm nach einiger Zeit bereits starkes Wasserabsondern. Bei Mörtel 11 mit 450 kg Zement wurde bereits bei 2% Fließmittelzugabe ein leichtes und bei 3% ein starkes Entmischen festgestellt, ohne daß das Ausbreitmaß von 71 cm auf 72 cm noch wesentlich zunahm (Bilder 4a bis 4c).

Tafel 4: Zusammensetzung und Ausbreitmaße von Estrich mit sehr großem Fließvermögen ( $a > 60$  cm)

Mischung Nr.	Zementgehalt (kg/m <sup>3</sup> )	w/z-Wert	Fließmittel		Ausbreitmaß (cm)	Bemerkung
			Art	Menge (%)		
8	375	0,53	—	—	38	schwaches Bluten starkes Bluten
			1	3,0	64	
4	400	0,50	—	—	37	— mittleres Bluten
			1	3,0	63	
5	425	0,44	—	—	zerf. ( $v = 1,32$ )	— leichtes Bluten
			2	3,0	62	
6	425	0,47	—	—	40	— leichtes Entmischen leichtes Bluten starkes Entmischen
			1	3,0	64	
			7	3,0	62	
			2	3,0	64	
10	425	0,50	—	—	44	leichtes Bluten starkes Bluten
			1	1,5	64	
7	450	0,44	—	—	35	— mittleres Bluten leichtes Bluten —
			2	3,0	62	
			8	3,0	64	
			5	3,0	63	
11	450	0,50	—	—	51	— — leichtes Bluten starkes Bluten, Entmischen
			1	1,0	61	
			1	2,0	71	
			1	3,0	72	

## 5.2 Einfluß von Fließmittel

Der Frage des Zusammenwirkens von Zementleimgehalt und Fließmittel wurde in zusätzlichen Frischmörteluntersuchungen nachgegangen. Die Ergebnisse sind in Bild 5 dargestellt. Aufgetragen sind die Ausbreitmaße für drei Estrichmischungen mit Zementgehalten von 375, 400 und 450 kg/m<sup>3</sup> mit gleichem w/z-Wert von 0,50 über dem Zementleimgehalt. Bei geringem Zementleimgehalt bleibt das Ausbreitmaß unabhängig von der Fließmitteldosierung nahezu gleich. Mit zunehmendem Zementleimgehalt nimmt die Fließfähigkeit des Mörtels erst ab einer gewissen Fließmittelmenge zu. 1% Fließmittel veränderte die Konsistenz des Mörtels nur wenig. Bei Vergrößerung des Fließmittelanteils auf 3% nahm das Ausbreitmaß von 37 cm für die Nullmischung auf je nach Fließmittelart 55 bis 60 cm zu. Eine noch höhere Dosierung — hier von 3 auf 4% — bewirkte dann aber keine wesentliche Verbesserung des Fließverhaltens mehr. Ab einem Zementgehalt von 329 l/m<sup>3</sup> ( $z = 400$  kg/m<sup>3</sup>) verläuft die Zunahme des Ausbreitmaßes für die hier untersuchte Mischungszusammensetzung unabhängig von der Höhe der Fließmittelzugabe etwa parallel.

Das bedeutet, daß eine gewisse Mindestmenge an Zementleim vorhanden sein muß, damit das Fließmittel wirksam werden kann. Oberhalb dieser Mindestzementmenge, die je nach Art und Menge

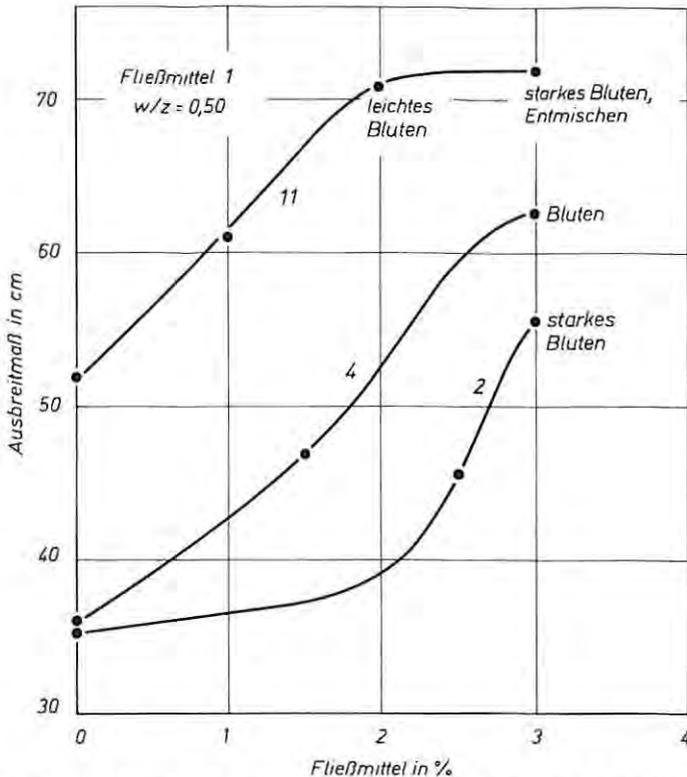
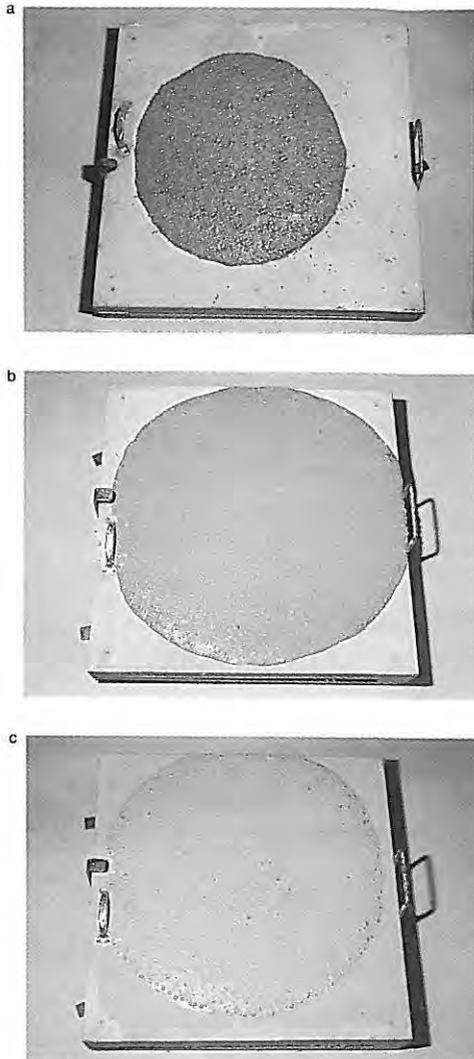


Bild 3 Zunahme des Ausbreitmaßes der Mischungen 2, 4 und 11 mit gleichem Wasserzementwert, aber unterschiedlichen Zementleimgehalten in Abhängigkeit der Fließmittelzugabemenge

der Mörtelausgangsstoffe unterschiedlich groß sein kann, liegt der eigentliche Wirkungsbereich des Fließmittels. Bei darüber hinausgehender Erhöhung des Zementleimgehalts bleibt die Wirkung des Fließmittels konstant, das heißt, die weitere Verbesserung des Fließvermögens beruht allein auf der verbesserten Schmierwirkung durch die Erhöhung des Zementleimgehalts. Dies gilt offensichtlich unabhängig von der Art des Fließmittels. Die Kurvenverläufe in Bild 5 sind für die Fließmittel 1, 2 und 4 etwa gleich, auch wenn mit Fließmittel 1 bei 1% noch eine geringe Zunahme des Ausbreitmaßes bei der Erhöhung des Zementleimgehaltes von 329 auf 370 l/m<sup>3</sup> gemessen wurde.

Abschließend sei noch kurz auf die verflüssigende Wirkung und auf die Wirksamkeitsdauer der verwendeten Fließmittel eingegangen (Bild 6). Gemessen wurde das Ausbreitmaß bis etwa 3 h nach Mischende. Bei anfänglich etwa gleicher verflüssigender Wirkung der Fließmittel 1, 4, 5, 6 und 7 ergaben sich für die Fließmittel 4 und 7 die kürzesten Wirkzeiten. Fließmittel 1 sowie Fließmittel 5 und 6 wirkten etwas länger. Fließmittel 2 zeigte sowohl die stärkste Verflüssigung als auch die zeitlich längste Wirkungsdauer. Die Fließmittel

Bild 4  
Ausbreitmaß  
für Mischung 11;  
a: ohne Fließmittel;  
b: mit 2% und  
c: mit 3% Fließ-  
mittel 1

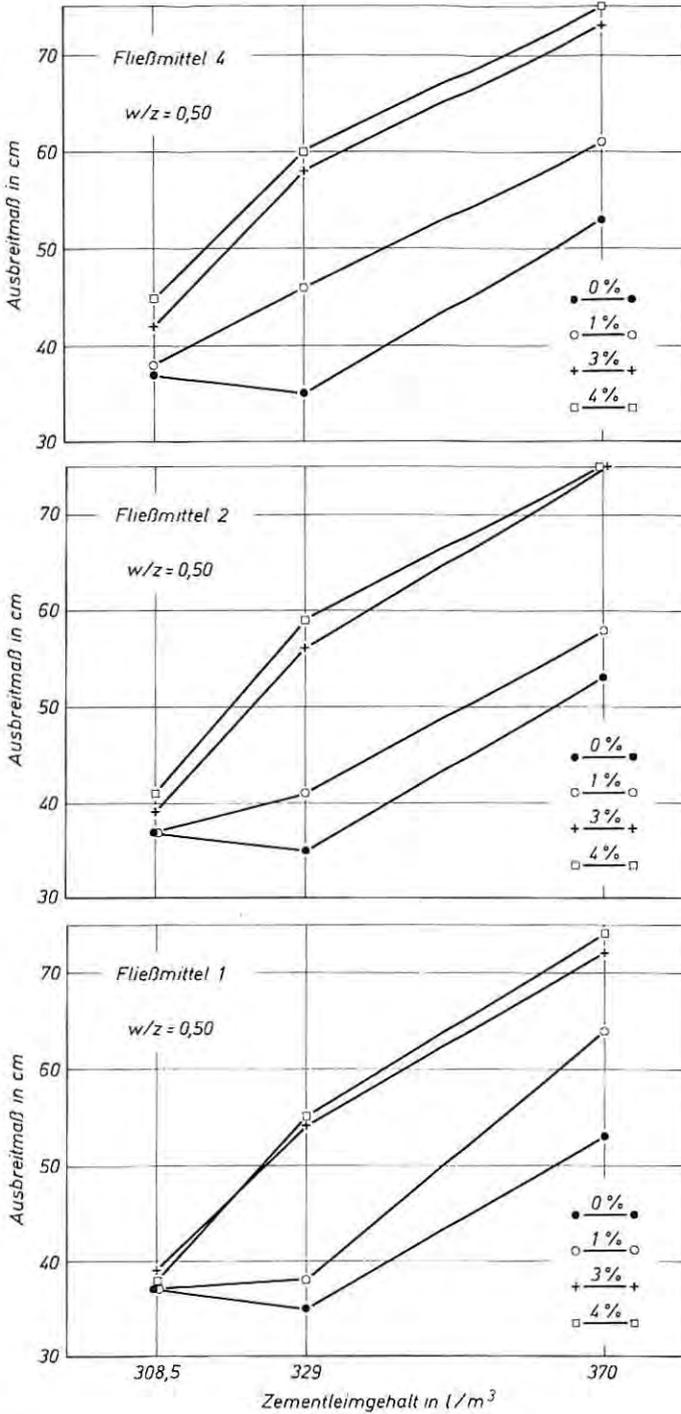


3 bzw. 8 wurden hierbei nicht gesondert berücksichtigt, da sie wirkstoffmäßig vergleichbar waren mit den Fließmitteln 1 bzw. 2 (vgl. Tafel 1) und auch zu annähernd gleichen Ergebnissen führten (s. Tafel 3 bzw. Tafel 4).

### 5.3 Einfluß von Zusatzstoff

Die zuvor beschriebenen Untersuchungen haben gezeigt, daß ohne Zusatzstoff durch einen entsprechend hohen Zementgehalt ein ausreichend hoher Feinststoffanteil erreicht werden kann und daß mit einem darauf abgestimmten, möglichst geringen Wassergehalt ge-

Bild 5  
Zusammenhang  
zwischen Zementleim-  
gehalt und Fließmittel-  
zugabemenge sowie  
Ausbreitmaß



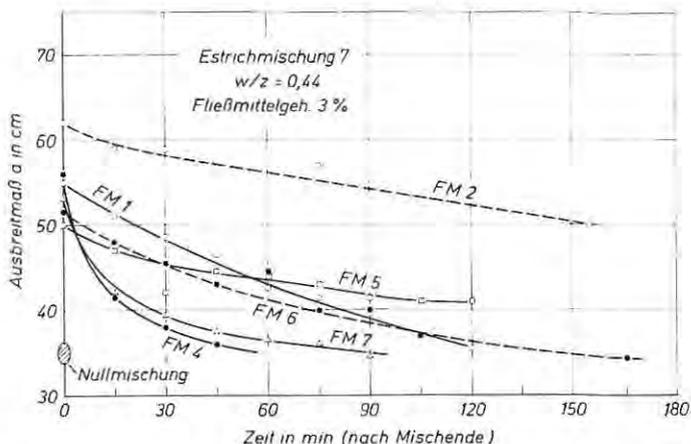


Bild 6 Wirksamkeit und Wirkungsdauer verschiedener Fließmittel, beurteilt anhand der Veränderung des Ausbreitmaßes

eignete Fließestriche bzw. Estriche mit großem Fließvermögen hergestellt werden können, die zudem ein gutes Zusammenhalte- und Wasserrückhaltevermögen aufweisen. Nach der Estrichnorm DIN 18560 ist der Zementgehalt auf das „notwendige“ Maß zu begrenzen, da in der Praxis zementreiche Estriche aus Verarbeitungsgründen einen relativ hohen Wassergehalt erfordern, der insbesondere bei wenig sachgerechtem Einbau und geringer Nachbehandlung zu Schwindrissen oder — insbesondere bei Estrichen auf Dämm- oder Trennschichten — zu Aufwölbungen führen kann. Deshalb wurde, ausgehend von der Zusammensetzung von Mischung 7, der Einfluß von Zusatzstoff als teilweiser Ersatz des Feinststoffes Zement untersucht. Als Zusatzstoffe wurden eine Flugasche mit Prüfzeichen des IfBt mit einer spezifischen Oberfläche nach Blaine von  $3440 \text{ cm}^2/\text{g}$  und Kalksteinmehl mit einer spezifischen Oberfläche von  $5150 \text{ cm}^2/\text{g}$  verwendet. Der Zementgehalt wurde zwischen  $300$  und  $450 \text{ kg/m}^3$  variiert. Der Fließmittelgehalt betrug  $3\%$ , bei Mischung 7-8 und 7-9 für das Fließmittel 2  $1,5\%$  vom Zementgehalt bzw. vom Zement- und Zusatzstoffgehalt. Die Ergebnisse sind in Tafel 5 zusammengestellt.

### 5.3.1. Wirkung von Kalksteinmehl

Die Verwendung von Kalksteinmehl hatte unabhängig von der zugegebenen Menge bei Verwendung von Fließmittel 1 nur eine geringe, bei Verwendung von Fließmittel 2 praktisch keine das Fließvermögen verbessernde Wirkung im Vergleich zu Mischung 7 ohne Zusatzstoff. Der erhöhte Luftgehalt im Frischmörtel läßt allerdings vermuten, daß solche Estrichmörtel mit Kalksteinmehl trotz vergleichbarem Ausbreitmaß wie bei Mischung 7 etwas zäher sind. Ein ähnliches Verhalten ist auch von Betonen mit einem erhöhten Anteil an Feinstzuschlag bekannt. Dieses Zusammenhaltevermögen führt dazu, daß der durch das Fließmittel 2 offensichtlich in stärkerem Maße erzeugte „Luftgehalt“ bei gleicher Verdichtung im Mörtel verbleibt

und auch Ursache für die etwas geringeren Festigkeiten sein könnte.

Ungünstig wirkte sich eine Reduzierung des Wassergehaltes von 198 l/m<sup>3</sup> (Mischung 7-7) auf 187 l/m<sup>3</sup> (Mischung 7-9) aus, da sich nur noch Ausbreitmaße von etwa 40 cm ergaben. Der Mörtel erwies sich als sehr kompakt und zäh-zusammenhängend. Daraus kann gefolgert werden, daß solche Mörtel mit einem höheren Anteil an Kalk-

Tafel 5: Zusammensetzung und Frischmörteleigenschaften von Estrich mit Zusatzstoff

Mischung Nr.	Zementgehalt (kg/m <sup>3</sup> )	Zusatzstoff (kg/m <sup>3</sup> )	Wassergehalt (l/m <sup>3</sup> )	Fließmittel Art <sup>1)</sup>	Ausbreitmaß (cm)	Luftgehalt (Vol.-%)	Festigkeit in N/mm <sup>2</sup>		Bemerkung
							Biegezug 28d	Druck 28d	
7	450	-	198	-	35	3,0	9,1	62	-
				1	55	2,4	8,3	66	-
				2	62	3,0	8,0	63	-
7-1	450	-	198	-	38	2,4	8,2	65	-
				1	72	2,2	8,2	71	-
				2	73	3,6	7,7	67	-
7-2	400	50 FA	198	-	34	3,0	9,1	58	leichtes Bluten
				1	68	2,1	8,7	64	leichtes Bluten
				2	69	3,0	7,9	62	leichtes Bluten
7-3	350	100 FA	198	-	34	2,8	8,3	55	-
				1	70 <sup>1)</sup>	1,4	7,9	59	mittleres Bluten
				2	73	5,2	8,3	56	-
7-4	300	150 FA	198	-	38	3,1	7,9	47	-
				1	71 <sup>2)</sup>	1,2	7,1	49	-
				2	71 <sup>3)</sup>	2,8	6,6	45	-
7-5	400	50 KSt	198	-	35	3,0	8,0	56	-
				1	59	3,0	8,3	58	-
				2	60	4,1	7,9	54	-
7-6	350	100 KSt	198	-	35	2,8	7,2	49	-
				1	61	2,5	7,1	50	leichtes Bluten
				2	63	4,6	6,7	47	-
7-7	300	150 KSt	198	-	33	2,3	6,0	40	-
				1	60	2,2	6,4	42	-
				2	63	4,5	5,7	37	-
7-8	300	150 FA	187	1	69	2,4	9,0	61	-
				2 <sup>**)</sup>	71	2,0	7,6	56	-
7-9	300	150 KSt	187	1	37	3,1	7,7	53	-
				2 <sup>**)</sup>	41	3,7	9,1	57	-

\*) Zugabemenge 3% vom Zement bzw. von (Zement + Zusatzstoff)

\*\*\*) Zugabemenge 1,5% von (Zement + Zusatzstoff)

1) Nach dem 7. Hub

2) Nach dem 2. Hub

3) Nach dem 6. Hub

steinmehl sehr empfindlich auf eine Über- bzw. Unterdosierung des Zubebewassers reagieren, was zu Problemen in der Praxis bei der Verarbeitung solcher Estriche führen kann.

### 5.3.2 Wirkung von Flugasche

Die Zugabe von Flugasche führte im Vergleich zur Kalksteinmehlzugabe zu einer deutlichen Verbesserung des Fließverhaltens, bezogen auf das Fließverhalten von Estrich ohne Zusatzstoff. Bereits 50 kg Flugasche bewirkten, insbesondere bei Verwendung von Fließmittel 1, eine deutliche Vergrößerung des Ausbreitmaßes, wobei sich allerdings gleichzeitig eine Verringerung des Wasserrückhaltevermögens einstellte. Eine weitere Erhöhung des Flugascheanteils wirkte sich weniger in einer Vergrößerung des Ausbreitmaßes aus als vielmehr in der Verringerung der Anzahl der Hübe, mit denen das maximale Ausbreitmaß erreicht wurde, d.h. der Mörtel wurde „dünnflüssiger“. So wurde bei Zugabe von 150 kg Flugasche ein gleichmäßig geschlossenes Ausbreitmaß von 71 cm mit Fließmittel 1 bereits nach zwei Hüben und mit Fließmittel 2 nach sechs Hüben erreicht. Mischung 7-3 und 7-4 ließen deutlicher als die übrigen Mischungen erkennen, daß Fließmittel 1 einen etwas dünnflüssigeren Mörtel ergibt, der sein endgültiges Ausbreitmaß nach einer geringeren Hubzahl erreichte als z.B. mit Fließmittel 2 (Tafel 5). Der Mörtel mit Fließmittel 2 war etwas zähflüssiger, wodurch ein mit Fließmittel 1 vergleichbares Ausbreitmaß einige Hübe mehr erforderte. Dennoch ergaben sich für mit Fließmittel 2 hergestellte Mörtel außer bei 7-4 stets — z. T. nur geringfügig — größere Ausbreitmaße. Dies und die in Bild 6 dargestellten Ergebnisse führten zur Verringerung der Fließmittelzugabemenge in den Mischungen 7-8 und 7-9. Eine Verringerung des Wassergehaltes von 198 l/m<sup>3</sup> (Mischung 7-4) auf 187 l/m<sup>3</sup> (Mischung 7-8) ergab praktisch gleiche Ausbreitmaße.

Vergleichend zu der Herstellung von Estrichmörtel aus Zement und Flugasche wurde in die Untersuchungen auch ein werkmäßig hergestellter Flugaschezement FAZ 35 F mit einem Flugaschegehalt von etwa 15% einbezogen (Mischung 7-1). Dieser wurde aus dem gleichen Klinker wie der bei den Versuchen verwendete PZ 35 F und aus der Flugasche hergestellt, die auch für die übrigen flugaschehaltigen Estrichmischungen eingesetzt wurde. Obwohl der damit hergestellte Estrich mit etwa 70 kg Flugasche nur wenig mehr Flugasche als Mischung 7-2 enthielt, zeigte er ein besseres Fließverhalten, vergleichbar etwa mit dem von Mischung 7-3. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß die Kornverteilung, die nach [17] und [18] das Fließvermögen von Beton in starkem Maße beeinflußt, sich bei dem werkmäßig hergestellten FAZ 35 F günstiger einstellt als die Kornverteilung, die sich bei getrennter Zugabe der Ausgangsstoffe PZ 35 F und Flugasche in den Mischungen 7-2 und 7-3 einstellt.

## 5.4 Festmörtel Eigenschaften

### 5.4.1 Festigkeit

Die an Prismen nach DIN 1164 Teil 7 ermittelten Festigkeiten ergaben sich unabhängig von der Mörtelzusammensetzung, Art und Menge des Fließmittels sowie der Verdichtung nach 28 Tagen für

die Biegezugfestigkeit zwischen 7,5 und 11,6 N/mm<sup>2</sup>. Die Druckfestigkeit lag zwischen 60 und 80 N/mm<sup>2</sup>, wobei die Festigkeiten von Mischung 9, die für die Herstellung von Fließestrich als ungeeignet angesehen werden muß, unberücksichtigt blieben. Alle hier aufgeführten Estrichzusammensetzungen entsprachen somit den gemäß DIN 18 560 Teil 1 an Estriche im Rahmen der Eignungsprüfungen gestellten Mindestanforderungen für die Estrichfestigkeitsklasse ZE 40 (Tafel 5, Tafel 6) bzw. für die Mischungen 7-4, 7-6 und 7-7 der Estrichfestigkeitsklasse ZE 30. Die im Alter von 7 und 91 Tagen bestimmten Druck-, Biegezug- und Spaltzugfestigkeiten sowie die jeweiligen Rohdichten sind in Tafel 6 nicht aufgeführt, da sie zu keinen zusätzlichen Aussagen führten.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß die Druck- und Biegezugfestigkeiten der Estrichmörtel mit und ohne Fließmittel in der Regel vergleichbare (Mischungen 5, 6 und 7) oder gleiche Festigkeiten (Mischung 2, 3, 4, 10 und 11) nach 7 bzw. 28 Tagen erreichten. Lediglich bei den Mischungen 1 und 8 ergaben sich für die steif-plastischen Ausgangsmischungen durch die intensive Verdichtung auf dem Vibrationstisch höhere Festigkeiten als für die Mörtel mit Fließmittel, die nur durch Stochern verdichtet werden konnten und sehr starkes Bluten oder Entmischungen aufwiesen. Das zeigt, daß fließfähige Mörtel mit ausreichendem Zusammenhaltevermögen durch Stochern ebensogut verdichtbar sind wie Mörtel mit plastischer Konsistenz auf einem Vibrationstisch. Die geringfügigen Druckfestigkeitsunterschiede der Mörtelmischungen 5, 6 und 7 im Alter von 28 Tagen können möglicherweise auf einen wirkstoffbedingten Einfluß des Fließmittels zurückgeführt werden, der sich offensichtlich jedoch bei den verschiedenen Mischungen graduell unterschiedlich auswirkt. So ergeben sich bei Mischung 6 und 7 mit Fließmittel 6 zwar geringere Druckfestigkeiten als mit den übrigen Fließmitteln, bei Mischung 5 aber die größte Druckfestigkeit. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Mörtelfestigkeit und verwendetem Fließmittel scheint dagegen für Fließmittel 4 zu bestehen, das durch seine stärker als bei den anderen Fließmitteln wirkende Verzögerung bei allen damit hergestellten Mörteln deutlich geringere Frühfestigkeiten nach zwei Tagen ergab.

Die an Prismen ermittelten Biegezugfestigkeiten bzw. die an Würfeln ermittelten Spaltzugfestigkeiten ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen Mörteln mit und ohne Fließmittel.

#### *5.4.2 Verschleißwiderstand*

Der Verschleißwiderstand wurde durch Prüfung des Estrichmörtels im Alter von 28 Tagen auf der Böhmescheibe in Anlehnung an DIN 52108 beurteilt. Der an der Herstellungsoberseite gemessene Schleifverschleiß lag für Estrichmörtel mit und ohne Fließmittel mit wenigen Ausnahmen in etwa gleicher Größenordnung. Insgesamt betragen die Meßwerte für den Schleifverschleiß zwischen 1,3 und 5,8 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>. Dabei ergab sich für Mischung 1 mit 3% und für Mischung 9 mit 6% Fließmittel mit 5,8 bzw. 4,7 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup> ein deutlich geringerer Verschleißwiderstand, was auf die Entmischung und das verstärkte Bluten dieser Mischungen zurückzuführen ist. Zwar liegen auch die Prüfergebnisse für den Schleifverschleiß unterhalb der in Tabelle 8 von DIN 18560 Teil 1 angegebenen Richtwerte für

Tafel 6: Festmörtel Eigenschaften

Mischung Nr.	Fließmittel		Festigkeit in N/mm <sup>2</sup> nach . . . Tagen						Schleifverschleiß 7-cm-Würfel Abrieb cm <sup>2</sup> /50 cm <sup>2</sup>
	Art	Menge	Prismen 4 x 4 x 16 cm <sup>3</sup>				10-cm-Würfel		
			Biegezug		Druck		Druck	Spaltzug	
			2	28	2	28	28	28	
1	—	—	—	9,9	—	73	58	4,0	2,8
	1	1,5	—	9,6	—	62	53	4,1	2,2
	1	3,0	—	7,5	—	60	46	3,1	5,8
2	—	—	—	11,1	—	74	66	4,3	2,0
	1	2,5	—	9,3	—	74	64	4,4	2,4
	1	3,0	—	10,5	—	73	54	3,4	2,7
3	—	—	—	11,1	—	78	74	4,2	2,6
	1	3,0	—	10,5	—	77	68	3,9	2,0
4	—	—	—	10,7	—	72	66	4,5	2,5
	1	1,5	—	10,1	—	71	60	4,6	—
	1	3,0	—	10,2	—	73	58	3,9	4,0
5	—	—	6,0	10,0	36	69	62	3,5	2,6
	1	3,0	5,6	9,7	35	67	57	4,0	2,4
	2	2,0	5,9	8,2	39	66	60	4,1	1,9
	2	2,5	5,6	8,2	36	66	60	4,1	2,0
	2	3,0	5,3	9,8	32	65	60	4,0	2,9
	4	3,0	3,2	11,3	18	74	67	4,6	2,2
	5	3,0	6,0	9,9	37	69	59	4,1	2,4
6	3,0	5,8	10,2	37	74	65	4,4	2,2	
6	—	—	6,4	10,2	39	70	63	4,5	2,1
	1	2,0	6,0	9,6	37	64	59	4,0	2,4
	1	3,0	5,6	10,0	38	68	59	4,1	2,5
	2	1,5	5,9	9,3	35	68	59	3,9	2,5
	2	3,0	4,7	8,5	34	67	52	3,4	3,8
	4	3,0	3,0	10,2	15	68	62	4,2	2,0
	5	3,0	6,4	9,7	38	67	58	4,3	2,2
	6	3,0	5,0	9,7	28	61	51	4,0	2,5
7	3,0	—	10,5	—	78	68	4,6	3,5	
7	—	—	6,2	10,9	41	77	68	4,7	2,9
	1	1,5	—	10,7	—	80	69	4,6	3,3
	1	3,0	6,1	10,2	42	77	67	3,8	1,3
	2	3,0	5,6	9,8	39	73	66	3,8	4,0
	3	3,0	6,3	10,3	41	76	66	4,1	2,3
	4	3,0	3,6	11,6	21	74	65	4,1	2,9
	5	3,0	6,5	9,9	36	70	63	3,8	1,7
	6	3,0	5,4	10,5	33	67	60	3,7	2,3
	7	3,0	4,2	8,4	25	76	57	3,4	3,4
	8	2,0	5,8	9,5	39	75	63	3,7	2,2
8	2,5	5,5	10,6	39	74	58	4,3	1,9	
8	3,0	6,2	10,2	41	72	67	4,3	3,5	
8	—	—	—	10,1	—	71	59	4,2	3,4
	1	1,5	—	9,3	—	66	60	3,6	2,3
	1	3,0	—	8,9	—	68	49	2,9	4,1
9	—	—	—	10,6	—	87	78	4,8	2,6
	1	6,0	—	10,4	—	82	66	4,6	4,7
10	—	—	—	10,2	—	74	57	4,3	2,6
	1	1,5	—	9,8	—	72	61	4,0	2,5
11	—	—	—	9,6	—	67	63	5,0	3,0
	1	1,0	—	8,5	—	65	64	4,7	2,8

die Eignungsprüfung, doch ist zu berücksichtigen, daß die in der Praxis leider häufig nicht sachgerecht durchgeführte Nachbehandlung eine deutliche Minderung der Eigenschaften der Estrichoberfläche zur Folge hat. Dies führt im Gebrauchszustand zu einem größeren Verschleiß der Oberfläche als bei den Laborversuchen. Die hier angegebenen Werte können daher nur einen Anhalt für den günstigstenfalls zu erreichenden Verschleißwiderstand geben.

## 6 Estrich auf Dämmschicht

Da die zuvor erörterten Untersuchungen nur als grundlegende Versuche anzusehen sind, die im Vergleich zu Baustellenverhältnissen unter günstigeren Voraussetzungen durchgeführt wurden, wurden zusätzlich orientierende Versuche mit Estrichen auf Dämmschicht unter praxisnäheren Ausführungsbedingungen durchgeführt.

In einem biegesteifen Rahmen mit den inneren Abmessungen 168 cm x 60 cm wurde auf einer 85 mm dicken Dämmschicht — bestehend aus einer Mineralfaser-Trittschalldämmplatte T-A2 DIN 18 165



Bild 7 Probeplatte (168 cm x 60 cm) eines Fließestrichs auf Dämmschicht; 40 mm Estrichmörtel auf 85 mm zweilagiger Dämmschicht

mit einer Dicke von 35/30 mm und einer Polystyrol-Trittschalldämmplatte T nach DIN 18 164 mit einer Dicke von 50/45 mm — Estrich-Probepplatten mit einer Nenndicke von 40 mm hergestellt. Die Mörtelzusammensetzung entsprach dabei Mischung 7 in Tafel 4 ohne und mit Fließmittel 8. Der Nullmörtel mit einem Ausbreitmaß von 34 cm wurde nach dem Einbringen in die Schalung mit einem Rüttelstamper insgesamt 90 sec verdichtet. Unmittelbar nach der Herstellung wurde die Zusammendrückung der Dämmschicht an sechs Punkten gemessen. Sie betrug im Mittel 7 mm. Für den Fließestrich mit 3% Fließmittel 8 betrug das Ausbreitmaß 60 cm. Der Estrich wurde nur durch leichtes Klopfen mit einem Reibbrett auf der leichtes Bluten zeigenden Mörteloberfläche verdichtet. Die anschließend gemessene mittlere Zusammendrückung der Dämmschicht betrug 4 mm. Die Estrichplatten lagerten fünf Tage unter feuchten Tüchern in einer Halle und wurden dann entschalt (Bild 7, Bild 8). Aus jeder Platte wurden anschließend drei Streifen naß herausgesägt zur Herstellung von Prismen von 4 cm x 4 cm x 16 cm, die im Alter von 7 und 28 Tagen auf Biegezug und Druck geprüft wurden (Tafel 7).

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß mit beiden Estrichmischungen praktisch gleiche Festigkeiten erzielt wurden. Dabei war die erforderliche Verdichtungsenergie und die Zusammendrückung der Dämmschicht bei Verwendung des herkömmlichen Estrichs allerdings wesentlich größer. Nach DIN 18 560 Teil 2, Tabelle 1, ist bei Zusammendrückbarkeiten der Dämmschichten über 5 mm die



Bild 8 Von der Dämmschicht abgelöste Estrichmörtelschicht

Tafel 7: Eigenschaften von Estrich auf Dämmschicht

Mischung Nr.	Fließmittelgehalt (%)	Ausbreitmaß (cm)	Zusammendrückung der Dämmschicht (mm)	Festigkeiten nach . . . Tagen in N/mm <sup>2</sup>			
				Biegezug		Druck	
				7	28	7	28
7	—	34	7	5,8	8,8	29	36
	3,0	60	4	5,8	8,5	32	37

Estrichennendicke um 5 mm zu erhöhen. Bei Einsatz von Fließestrich könnte demnach auf diese Vergrößerung der Nenndicke verzichtet werden. Hinsichtlich der Festigkeit zeigen diese Plattenversuche aber auch, daß die in Tabelle 1 von DIN 18 560 Teil 2 geforderte Biegezugfestigkeit zwar sicher erreicht wird, daß aber anstelle des bei den Versuchen unter Laborbedingungen hergestellten ZE 40 im Bauteil nur ein ZE 30 erzielt wurde.

## **7 Schlußfolgerungen**

7.1 Die Untersuchungen haben gezeigt, daß zementgebundene Fließestriche mit örtlich im Raum Düsseldorf anstehendem Zuschlag aus Rheinkiessand hergestellt werden können. Im Gegensatz zu den klassischen Estrichen ist jedoch eine eingehende Kenntnis des Zusammenwirkens der Ausgangsstoffe erforderlich, die i. a. stets entsprechende Eignungsprüfungen voraussetzt.

7.2 Fließestriche erfordern einen höheren Feinstkornanteil, der entweder durch den Zementgehalt oder durch den Einsatz von geeigneten Zusatzstoffen erreicht werden kann. Als günstig hat sich die Verwendung von Flugaschezement oder die Zugabe von Flugasche erwiesen. Die Zugabe hoher Anteile von Kalksteinmehl scheint nur bedingt geeignet, da derartige Estriche zäher sind und sehr empfindlich auf Schwankungen des Wassergehaltes reagieren.

7.3 Die bei den Versuchen verwendeten Fließmittel haben sich als geeignet erwiesen. Unterschiede zeigten sich nur hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, wodurch unterschiedliche Zugabemengen erforderlich wurden, und hinsichtlich ihrer Wirkungsdauer.

7.4 Die in der Praxis überwiegend verwendeten Estrichfestigkeitsklassen ZE 20 und ZE 30 können mit Fließestrichen auch unter den in der Regel ungünstigeren Baustellenbedingungen sicher hergestellt werden. Fließestriche höherer Festigkeitsklassen erfordern ebenso wie entsprechende herkömmliche Estriche besonders sorgfältige Zusammensetzung, Herstellung und Nachbehandlung.

7.5 Sachgerecht hergestellte Fließestriche mit ausreichendem Zusammenhalte- und Wasserrückhaltevermögen erreichen einen gleich hohen Verschleißwiderstand wie Estriche ohne Fließmittel.

7.6 Schwimmende Estriche, insbesondere solche auf dicken Dämmschichten, lassen sich mit Fließestrich bei gleicher Estrichfestigkeit mit geringerem Arbeitsaufwand und mit geringerer Estrichennendicke zuverlässig herstellen.

## SCHRIFTTUM

- [1] Brandt, J., R. Krieger und H. Moritz: Wärmeschutz nach Maß. Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Beton-Verlag, Düsseldorf 1983.
- [2] Sasse, H. R., und H.-P. Preiß: Rationelle Estrichherstellung mit Fließmörteln. Forschungsvorhaben F 44, durchgeführt im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn Bad-Godesberg, Januar 1978.
- [3] Preiß, H.-P.: Grundlagen für die Herstellung von Fließestrichen — Laborerfahrungen. Baugewerbe 58 (1978) H. 18, S. 48/53 und H. 19, S. 47/50.
- [4] Preiß, H.-P.: Fließmittel zur Herstellung von Fließmörteln. Effektivität und Kosten. Baugewerbe 60 (1980) H. 6, S. 45/49.
- [5] Estriche im Bauwesen — Rationalisierungsmöglichkeiten durch zementgebundenen Fließestrich. beton 30 (1980) H. 4, S. 148/150.
- [6] Nischer, P.: Fließbeton mit kleinem Größtkorn. Zement und Beton 26 (1981) H. 1, S. 6/9.
- [7] Nischer, P.: Estriche aus Fließbeton. Zement und Beton 28 (1983) H. 3, S. 79/84.
- [8] Kambor, H. U., und P. Siebert: Entwicklung und Anwendung von Flugscheestrichen. Bauplanung — Bautechnik 36 (1982) H. 5, S. 200/202 und S. 205.
- [9] Offenlegungsschrift DE 3031082 A 1: Verfahren zur Herstellung fließfähiger Baustoff-Mischungen (23.4.1981).
- [10] Offenlegungsschrift OS 3227347: Verfahren zum Herstellen einer Baustoffmischung für Fußboden-Estrich sowie danach hergestellte Baustoffmischung (26.1.1984).
- [11] Bonzel, J., und E. Siebel: Fließbeton und seine Anwendungsmöglichkeiten. beton 24 (1974) H. 1, S. 20/24 und H. 2, S. 59/63; ebenso Betontechnische Berichte 15 (1974) Beton-Verlag, Düsseldorf 1975, S. 21/44.
- [12] Morgan, D.R., und M.A. Ward: Einfluß ligninhaltiger Verflüssigungsmittel auf die Hydratation und verschiedene physikalische Eigenschaften von Zementpasten. Zement-Kalk-Gips 24 (1971) Nr. 2, S. 79/82.
- [13] Odler, I.: Wirkungsmechanismus von Betonverflüssigern. Abschlußbericht —Od 6/6; Stuttgart: Informationszentrum Raum und Bau, 1982.
- [14] Heinrich, W., und W. Bonder: Über Rohstoffe und Wirkungsweise von Betonverflüssigern. Beton- und Stahlbetonbau 78 (1983) H. 8, S. 218/220.
- [15] Aroh, C.: Zur Wirkung von Fließmittel für Zementmörtel bei hohen Mischtemperaturen. Dissertation RWTH Aachen, 1987.
- [16] 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.
- [17] Rendchen, K.: Einfluß der Granulometrie von Zement auf die Eigenschaften des Frischbetons und auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten des Festbetons. Schriftenreihe der Zementindustrie H. 45, Beton-Verlag, Düsseldorf 1985.
- [18] Wischers, G., und W. Richartz: Einfluß der Bestandteile und der Granulometrie des Zements auf das Gefüge des Zementsteins. beton 32 (1982) H. 9, S. 337/341 und H. 10, S. 379/386; ebenso Betontechnische Berichte 22 (1982/83), Beton-Verlag, Düsseldorf 1984, S. 61/93.