

Prüftechnische Einflüsse auf die Bestimmung des Ausbreitmaßes von Beton

Von Horst Grube und Jürgen Krell, Düsseldorf

Übersicht

Die Prüfung der vereinbarten, auf den Baustellenablauf abgestimmten Frischbetonkonsistenz erfordert aussagekräftige und gut reproduzierbare Konsistenzprüfverfahren.

Für den Ausbreitversuch nach DIN 1048 Teil 1, der für die baustellenüblichen plastischen bis fließfähigen Betone gut geeignet ist, wurden geräte- und versuchsbedingte Einflußgrößen auf das Prüfergebnis erfaßt und quantifiziert. Hieraus wurden Empfehlungen zur Vermeidung von Fehlern und zur weiteren Vergleichmäßigung der Ausbreitmaßbestimmung abgeleitet.

1. Einleitung

Zur Bestimmung der Konsistenz von Frischbeton werden überwiegend die nach DIN 1048 [1] beschriebenen Verfahren Verdichtungsversuch und Ausbreitversuch sowie z. B. die ISO-Verfahren „slump“ (Setzmaß) [2] und Vebezeit [3] angewendet. Für baupraktisch übliche Konsistenzen der plastischen bis fließfähigen Betone ist das Ausbreitmaß hinsichtlich Differenzierbarkeit und Prüfstreuung den anderen obengenannten Verfahren überlegen [4 bis 6]. Die große baupraktische Bedeutung des Ausbreitversuches liegt zudem in der Möglichkeit, das Zusammenhaltevermögen des Betons während des Versuches nach Augenschein beurteilen zu können.

Trotz seiner Vorzüge im Vergleich zu den anderen Konsistenzprüfverfahren befriedigt das Verfahren der Ausbreitmaßbestimmung nach DIN 1048 nicht vollauf, insbesondere hinsichtlich seiner Streuung bei der Vergleichsprüfung. In [4] wurden Unterschiede bis zu 10 cm bei der Vergleichsprüfung von verschiedenen Geräten am gleichen Beton einer Herstellung gefunden. Die Vergleichsstandardabweichung betrug dabei rd. 3 cm. Die Wiederholstandardabweichung des Ausbreitversuches liegt nach [6] bei rd. 1,5 cm. Die Ursache für die relativ großen Streuungen werden nach [4] in Unterschieden bei den Ausbreittischen und unterschiedlicher Versuchsdurchführung gesehen. In der vorliegenden Arbeit werden systematisch mögliche Einflußgrößen auf das Prüfergebnis getrennt untersucht und die Auswirkungen auf das Ergebnis der Ausbreitmaßbestimmung mit einem hierfür entwickelten Meßgerät bestimmt. Daraus ergeben sich Vorschläge zur Vergleichmäßigung der Ausbreitmaßbestimmung.

2. Beschreibung des Ausbreitversuches nach DIN 1048

Der Ausbreittisch ist unter anderem mit folgenden Größen definiert: Masse der Tischplatte (16 kg), Grundfläche (700 mm · 700 mm), Stahlblechplatte (2 mm) und einseitige Hubhöhe (40 mm).

Die Betonkegelform wird mit den Innenmaßen $d_{in} = 200$ mm, $d_o = 130$ mm und $h = 200$ mm und der Holzstampfer mit einer quadratischen Grundfläche von 40 mm · 40 mm beschrieben.

Für die Bestimmung des Ausbreitmaßes sind der Tisch waagrecht und unnachgiebig aufzustellen und die Tischplatte und Innenflächen der Kegelform feucht abzuwischen. Der Beton wird in zwei Schichten in die mittig auf dem Tisch stehende Form eingefüllt und durch 10 leichte Stöße mit dem Holzstampfer bearbeitet. Der Über-

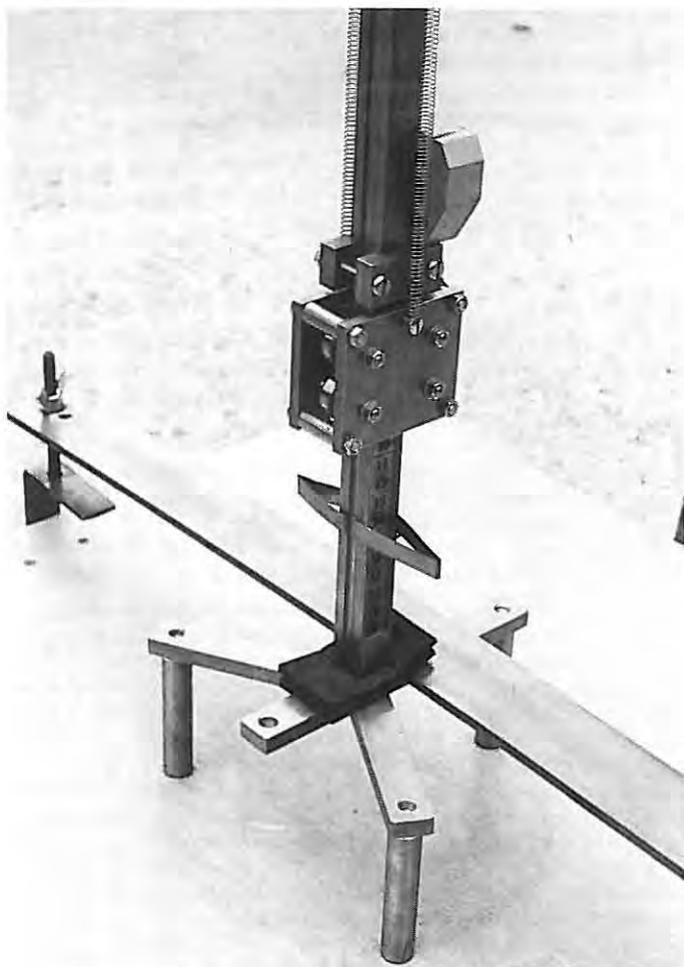


Bild 1 Schlagmeßgerät (Detail)

stand ist mit dem Stahllineal bündig abzuziehen und die Tischplatte feucht zu reinigen. 30 Sekunden nach dem Abziehen des Betons wird die Form lotrecht hochgenommen und die Tischplatte innerhalb von 15 Sekunden 15mal bis zum Anschlag angehoben und frei fallengelassen. Dabei darf nicht kräftig gegen den Anschlag gestoßen werden.

Das Ausbreitmaß ist als Mittelwert aus den zwei zu den Tischkanten parallelen Durchmessern des Betonkuchens zu bestimmen.

3. Entwicklung eines Meßgerätes

Um die unterschiedliche Schlagbeanspruchung, die der Beton auf dem Ausbreittisch erfährt, meßtechnisch zu erfassen, wurde ein Meßgerät entwickelt, im folgenden Schlagmeßgerät genannt, das auf den Ausbreittisch aufgespannt wird und die Schlagwirkung in Tischmitte beim Aufschlagen des Klapptisches mißt.

Das Meßgerät besteht aus einem Gewicht, das an einer Führung mittels Federn an einem oberen Anschlag gehalten wird (Bild 1). Beim Fallenlassen des Klapptisches wird dieses Gewicht auf die Geschwindigkeit $v_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ (h = Fallhöhe unter dem Meßgerät, g = Erdbeschleunigung, $9,81 \text{ m/s}^2$) beschleunigt und nach dem Aufschlag durch die Federn abgebremst. Der dabei auftretende Federweg, der mittels Schleppzeiger gemessen wird, ist ein Maß für die Schlagwirkung auf der Tischplatte. Dieser Wert wird im weiteren Schlagwert SW (mm) genannt, er ist insbesondere abhängig von der Hubhöhe und den elastischen Verformungen des Tisches. Die Hubhöhe bestimmt die Geschwindigkeit v_0 (siehe o. g. Formel), d. h. den Impuls des schwingenden Körpers vor dem Schlag, während eine mangelnde Steifigkeit der Tischplatte, die Zusammendrückung der Auflageflächen und eine weiche Aufstellung des Tisches eine Dämpfung des Schlages bewirken. Bild 2 zeigt das auf dem Aus-



Bild 2 Schlagmeßgerät (Gesamtaufbau)

Tafel 1 Kenndaten des Schlagmeßgerätes

Bezeichnung	Kennbuchstabe	
Masse des Meßgeräts	m_g	3200 g
Masse der Aufspannvorrichtung	m_a	2100 g
Schwingende Masse	m_s	576 g
Federsteifigkeit der Aufhängung	λ	24 N/m

breitisch aufgespannte Meßgerät. Tafel 1 nennt die beweglichen und unbeweglichen Massen des Gerätes und die Federsteifigkeit der Aufhängung.

4. Vergleichmäßigung des Hubvorgangs

Zur Vermeidung subjektiver Einflüsse beim Anheben und Loslassen des Klapptisches wurde eine Hubschnecke (Bild 3) angefertigt, die mittels Kurbeltrieb eine definierte Hub- und Fallbewegung des Klapptisches bewirkt.

Für die Ausführung der Hubschnecke sind die nachstehenden Punkte wesentlich:

- Die Schnecke muß unterschritten sein, um den freien Fall des Mitnehmers nicht zu behindern.
- Der Mitnehmer muß scharfkantig und ohne Rolle ausgebildet sein, damit unabhängig von der Drehgeschwindigkeit der Schnecke die Fallhöhe stets konstant ist.
- Die Form der Schnecke muß stetig gekrümmt sein, so daß kein Hüpfen des Mitnehmers auftritt. Die in Bild 3 dargestellte Form hat sich bei den hier durchgeführten Versuchen gut bewährt. Maßgebend ist, daß der Radiensprung größer als 40 mm ist, damit der Tisch

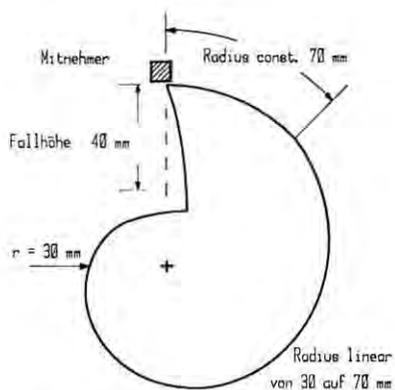


Bild 3
Prinzipische Skizze der Hubschnecke zur Vergleichmäßigung des Klappvorgangs

auf die Aufschlagflächen und nicht auf den Mitnehmer aufschlägt. Aus dem gleichen Grund ist zu beachten, daß für z. B. eine $\frac{1}{4}$ -Drehung nach dem freien Fall noch kein Hebevorgang erfolgt. Das am Ausbreittisch angebaute Gerät ist in Bild 4 dargestellt.

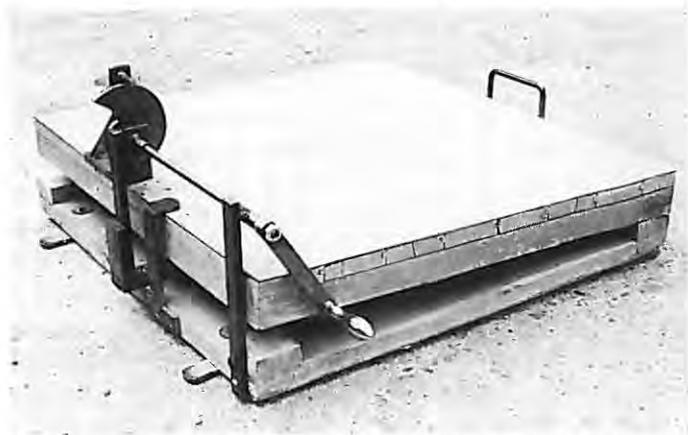


Bild 4 Darstellung der am Ausbreittisch angebrachten Hubschnecke

5. Untersuchungen und Ergebnisse

5.1 Erfassung der Unterschiede von Ausbreittischen mit dem Schlagmeßgerät

Die Schlagwerte von 10 verschiedenen Ausbreittischen, die in Labors und auf Baustellen zur Ausbreitmaßbestimmung verwendet wurden, wurde mit Hilfe des Meßgerätes nach Abschn. 3 ermittelt. Hierfür wurde die Meßeinrichtung gemäß Bild 2 in Tischmitte auf die Ausbreittische aufgespannt und die Schlagwerte für jeweils 15 Fallschläge ermittelt. Die Ausbreittische waren dabei waagrecht auf Betonfußboden aufgestellt. Darüber hinaus wurden die Schlagwerte für eine mittels Distanzstück am Anschlagwinkel um 10 mm verminderte Hubhöhe an den Ausbreittischen ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tafel 2 dargestellt. Dabei sind die Tische nach steigendem Schlagwert geordnet ohne Berücksichtigung der Hubhöhen, die bei ihnen vorhanden waren (Tafel 2, Zeile 4).

Die jeweils unter gleichen Bedingungen ermittelten 15 Schlagwerte wiesen bei allen Versuchen (auch bei denen nach Abschn. 5.2 und 5.3) eine Standardabweichung unter 1 mm auf, so daß in der Tafel 2 (Gleiches gilt für die Tafel 5) nur die Mittelwerte der Schlagwerte angegeben sind.

An den 10 Ausbreittischen wurde zusätzlich die Plattendicke der Tische bestimmt und der optische Eindruck der Auflageflächen erfaßt und in der Tafel 2 mit angegeben. Die letzte Zeile von Tafel 2 wird im Rahmen der Auswertung des Abschnitts 6 erläutert.

8 Tafel 2 Kennwerte der 10 Ausbreittische

Meßgröße	Ausbreittisch Nr.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schlagwert bei voller Hubhöhe in mm	46	47	48	49	50	50	51	51	53	54
Schlagwert bei um 10 mm verminderter Hubhöhe in mm	36	37	38	39	40	41	40	42	43	44
Dicke der Holzplatte in mm	20	15	20	15	20	20	15	15	20	20
Hubhöhe in mm	40,5	40,5	36,0	39,0	43,0	40,0	39,0	37,0	42,0	41,0
Verwendung des Tisches (L = Labor, B = Baustelle)	L	B	L	B	B	L	B	B	B	B
Beschaffenheit der Aufschlagflächen nach Augenschein (+ = gut, o = leicht verformt, - = stark verformt)	-	o	+	o	-	o	+	+	+	+
Rechnerischer Schlagwert in mm für eine Hubhöhe von 40 mm	46	47	52	50	47	50	52	54	51	53

5.2 Untersuchungen mit dem Schlagmeßgerät an einem Ausbreittisch

Der Einfluß des Loslassens des Ausbreittisches aus der angehobenen Lage auf den Schlagwert wurde exemplarisch für den Ausbreittisch 3 geprüft. Das ruckartige richtige Loslassen ergab einen Schlagwert von 48 mm, während ein langsames Abgleitenlassen über die Fingerkuppen (weiches Loslassen) einen um 3 mm geringeren Federweg ergab.

Bei Verwendung der in Abschnitt 4 beschriebenen Hubschnecke zur Bewegung des Klapptisches ergab sich bei allen Messungen konstant ein Schlagwert von 48 mm (Tafel 3).

Tafel 3 Einfluß des Anhebens und der Aufstellung des Ausbreittisches auf den Schlagwert für Ausbreittisch Nr. 3

Versuchsbedingungen	Schlagwert in mm (Mittelwert aus 15 Einzelmessungen)
nach DIN 1048	48
„weiches“ Loslassen (Abschn. 5.2)	45
Hub- und Fallvorgang mittels Hubschnecke (Abschn. 5.2)	48
Aufstellung auf Betonfußboden	48
Aufstellung auf festem Rasen	45

Der Einfluß des Untergrundes, auf dem der Tisch während des Versuches aufgestellt ist, wurde orientierend für Betonfußboden und Rasen untersucht. Um subjektive Einflüsse dabei auszuschalten, wurde dafür der mit der Hubschnecke ausgerüstete Ausbreittisch 3 verwendet. Für die Aufstellung des Tisches auf festem Rasenboden ergab sich eine Verminderung des Schlagwertes gegenüber der Aufstellung auf Betonfußboden von 3 mm (Tafel 3).

5.3 Vergleichende Untersuchungen mit dem Schlagmeßgerät und dem Ausbreitmaß von Testmischungen

Die Aussagefähigkeit des Schlagwertes wurde anhand von Vergleichsversuchen überprüft. Hierfür wurden die drei Ausbreittische Nr. 3, 6 und 8 ausgewählt, wobei unterschiedliche Hubhöhen und

Tafel 4 Zusammensetzung der Prüfmischungen

Bestandteile		Mischung	
		1	2
Quarzmehl 0/0,1 mm (anstelle von Zement)	in kg/m ³	290	290
Wassergehalt	in l/m ³	150	120
Rhein-Kiessand, Sieblinie		BC 32	BC 32

Tafel 5 Vergleich von Schlagwert und Ausbreitmaß für die Ausbreittische 3, 6 und 8 nach Tafel 2

Versuchsbedingungen	Hubhöhe nach Tafel 2	Ausbreittisch 3			Ausbreittisch 6			Ausbreittisch 8	
		Schlagwert ¹⁾ in mm	Ausbreitmaße in cm Mischung 1 Mischung 2		Schlagwert ¹⁾ in mm	Ausbreitmaße in cm Mischung 1 Mischung 2		Schlagwert ¹⁾ in mm	Ausbreitmaße in cm Mischung 1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nach DIN 1048	voll	48	46	39	50	47	40	51	48
	vermindert ²⁾	38	42	35	41	43	36	42	44
Tisch einseitig auf vorderer Ecke um 5 mm unterfüttert	voll	46	45	37	47	–	–	48	46
Aufschlagfläche einseitig um 5 mm erhöht	voll	46	45	37	47	–	–	48	46
Ausbreitkegel 4 cm ausmittig in Richtung größerer Fallhöhe	voll	54	49	40	56	50	41	57	51
	vermindert ²⁾	43	44	36	45	45	38	47	46
Ausbreitkegel 4 cm ausmittig in Richtung geringerer Fallhöhe	voll	42	44	36	–	–	–	48	47
	vermindert ²⁾	32	40	33	–	–	–	39	43
Ausbreitkegel seitlich um 6,5 cm verschoben	voll	47	45	38	49	–	–	50	48

1) Mittelwert aus jeweils 15 Einzelwerten.

2) Die Hubhöhe wurde mittels Distanzstück um 10 mm vermindert.

Aufstellungsvarianten gewählt wurden und jeweils der Federweg nach Abschnitt 5.1 und das Ausbreitmaß nach DIN 1048 bestimmt wurden. Als „Testbeton“ wurden zur Vermeidung von Konsistenzänderungen über die Versuchsdauer zementfreie Mischungen aus zementfeinem Quarzsand, Zuschlag und Wasser verwendet, die ein betonähnliches Konsistenzverhalten mit gutem Zusammenhaltvermögen aufwiesen. Die beiden in Tafel 4 dargestellten Mischungen hatten in früheren Versuchen das gleiche rheologische Verhalten wie Frischbeton gezeigt. Die Mischungen wurden in Chargen von 40 l in einem 75-l-Labortellermischer bei einer Mischdauer von 120 Sekunden hergestellt. Die Mischungstemperatur betrug einheitlich 20 ± 2 °C.

Für die Ausbreitversuche waren die Tische auf waagrechtem Betonfußboden aufgestellt, dabei wurden die neun in Tafel 5 angegebenen Versuchsvarianten unterschieden. Z. B. wurde neben der normalen Aufstellung die Hubhöhe mittels 10 mm Distanzstück reduziert, der Tisch verdrillt durch einseitige Unterfütterung des Untergestells an einer vorderen Ecke des Tisches um 5 mm, eine Aufschlagfläche mit einer 5 mm dicken Platte einseitig erhöht oder der Ausbreitkegel nicht mittig aufgesetzt. Die Versuchsvarianten und Ergebnisse für Schlagwerte und Ausbreitmaße sind in Tafel 5 zusammengestellt.

5.4 Ausbreitmaßbestimmungen an Betonen

Zur Bestimmung der Einflußgrößen, die nicht mit dem Schlagmeßgerät erfaßbar waren, wurden Betonversuche mit Tisch 3 durchgeführt. Die Betonzusammensetzungen sind in Tafel 6 dargestellt.

Tafel 6 Zusammensetzung der Versuchsbetone

Betonbestandteile	Beton		
	1	2	3
Zementgehalt (PZ 35 F) in kg/m ³	330	330	360
Wasserzementwert	0,60	0,50	0,50
Rhein-Kiessand, Sieblinie	B 32	AB 32	AB 32

Die Betone wurden in Chargen von 40 l in einem 75-l-Labortellermischer 120 Sekunden gemischt. Die Frischbetontemperatur betrug einheitlich 20 ± 2 °C.

Die Ausbreitmaßbestimmung erfolgte rund 10 Minuten nach der Wasserzugabe, dabei wurden bei sonst gleicher Versuchsdurchführung die folgenden Versuchsvarianten unterschieden:

- Zur Erfassung einer nicht waagrechten Tischaufstellung wurde der Aufschlagrahmen auf einer Seite vorne und hinten durch 10 cm dicke Betonscheiben angehoben.
- Für die Ermittlung des möglichen Fehlers bei unsachgemäßem Anheben des Tisches wurde ein festes Anschlagen an den oberen Anschlag beim Hochziehen der Tischplatte ausgeführt.

– Zur Erfassung des möglichen Einflusses beim Einfüllen des Betons wurde eine starke Verdichtung des Betons (mit Hilfe des Holzstößels nach DIN 1048) beim Einfüllen vorgenommen.

– Der Einfluß des Feuchtigkeitsgrades der Tischplatte wurde mit den Versuchen bei trockener bzw. nasser Oberfläche (ca. 1 mm Wasserfilm) der Tischplatte erfaßt.

Die Ergebnisse sind als Mittelwert der Ausbreitmaßbestimmungen von jeweils 2 Betonversuchen in Tafel 7 zusammengestellt.

Tafel 7 Ausbreitmaße für die Betonversuche mit Ausbreittisch Nr. 3

Versuchsbedingungen	Ausbreitmaß in cm (Mittel aus 2 Versuchen)		
	Beton 1	Beton 2	Beton 3
nach DIN 1048	38	42	46
Tisch nicht waagrecht aufgestellt (einseitig 10 cm erhöht)	38	43	46
Beton beim Einfüllen verdichtet	36	41	45
Beim Anheben stark gegen oberen Anschlag geschlagen	n. b.	n. b.	51
Trockene Ausbreittischoberfläche	n. b.	n. b.	45
Nasse Ausbreittischoberfläche	n. b.	n. b.	48

n. b. = nicht bestimmt

6. Erörterung der Ergebnisse

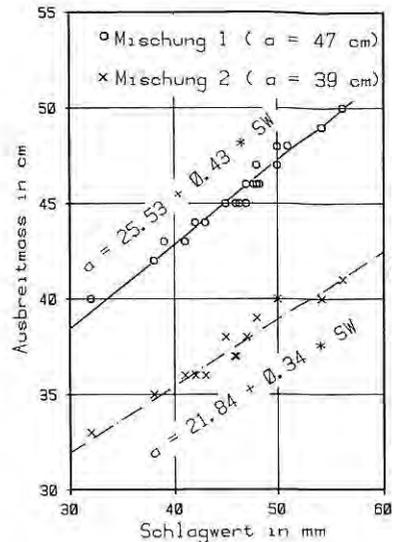
6.1 Zusammenhang zwischen Ausbreitmaß und Schlagwert

In Bild 5 sind die Meßwerte aus Tafel 5 für Ausbreitmaß und Schlagwert grafisch gegenübergestellt. Es zeigt sich eine direkte lineare Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß über 95 % zwischen Ausbreitmaß und Schlagwert. Der Schlagwert ist somit eine charakteristische Kenngröße für die auf dem Ausbreittisch auftretende Schlagwirkung, die zum Ausbreiten des Betons während des Versuches führt.

Die gute Korrelation zwischen Ausbreitmaß und Schlagwert, die unabhängig davon war, ob ein geringer Schlagwert aus einer geringen Fallhöhe oder aus einer großen Dämpfung des Aufschlags resultierte, ermöglicht im weiteren die alleinige Betrachtung der Schlagwerte und Umrechnung auf entsprechende Ausbreitmaße.

Die weichere Mischung 1 reagiert etwas stärker auf unterschiedliche Schlagwerte, was sich in dem etwas steileren Anstieg der Geraden ausdrückt. Bezogen auf die Ausgangskonsistenzen $a=47$ cm und $a=39$ cm, die einem Schlagwert von 50 mm zugeordnet wurden, entspricht für beide Testmischungen eine Schlagwertveränderung um 1 mm einer Veränderung des Ausbreitmaßes um 0,9 %. Rechnerisch entspricht damit eine Schlagwertänderung von z. B. ± 10 mm bei einer Ausgangskonsistenz

Bild 5
Korrelation zwischen Ausbreitmaß und Schlagwert



von 40 cm einer Ausbreitmaßänderung von rd. $\pm 3,6$ cm
 von 45 cm einer Ausbreitmaßänderung von rd. $\pm 4,1$ cm
 von 50 cm einer Ausbreitmaßänderung von rd. $\pm 4,5$ cm.

6.2 Versuchstechnische Einflüsse auf das Ergebnis der Ausbreitmaßbestimmung

6.2.1 Gerätebedingte Einflüsse

Bei den 10 untersuchten Ausbreittischen waren unterschiedliche Hubhöhen zwischen 36 und 43 mm gefunden worden. Aus den Versuchen mit den mittels Distanzstück um 10 mm reduzierten Fallhöhen (Tafel 2 und Tafel 5) ergab sich unabhängig von der Größe des jeweiligen Schlagwertes eine Verminderung des Schlagwertes von im Mittel 10 mm. D. h. die Hubhöhe, die den Impuls bestimmt, korreliert gut mit der Schlagwertänderung. Für Beton mit Regelkonsistenz bedeutet demnach die beobachtete Abweichung der Hubhöhe von ± 4 mm vom Sollwert eine Ausbreitmaßänderung von $\pm 1,6$ cm.

Bei den 10 obengenannten Ausbreittischen waren zwei unterschiedliche Bauarten gefunden worden, die sich im wesentlichen in der Art und Dicke der Holzplatte des Klapptisches unterschieden. Die Tische 2, 4, 7 und 8 wiesen eine 15 mm dicke Holzplatte auf, die jeweils aus 10 einzelnen nicht miteinander verbundenen Hartholzleisten bestand, während die anderen Tische eine 20 mm dicke Holzplatte aus 7 bis 8 mit Nut und Feder verbundenen Holzleisten (weicherer Holz) aufwiesen. Ein systematischer Einfluß der Bauart auf das Ergebnis der Schlagwertprüfung war nicht erkennbar. Rechnet man die ermittelten Schlagwerte auf die Sollhubhöhe von 40 mm um (nach Absatz 1 dieses Abschnittes entspricht 1 mm Hubhöhenänderung etwa 1 mm Schlagwertänderung), so ergeben sich die in Tafel 2 in der letzten Zeile dargestellten Schlagwerte von

46 bis 53 mm. Die geringeren Schlagwerte betreffen offensichtlich die Ausbreittische, die stark verformte Aufschlagflächen aufweisen, während die größten Schlagwerte bei den Tischen mit guten Aufschlagflächen auftreten.

Die nähere Betrachtung der Aufschlagflächen (Bild 6) zeigt, daß bei stark verquollenen Aufschlagflächen der Aufschlag des Tisches durch kurzzeitiges Schließen der Fugen gedämpft wird (Tisch 1, Bild 6 oben), während bei guter Beschaffenheit der Aufschlagfläche (Tisch 7, Bild 6 unten) ein harter satter Schlag erfolgt, der einen hohen Schlagwert bedingt.

Die Beschaffenheit der Aufschlagfläche übertrifft hier den Einfluß der Hubhöhe und der Bauart (siehe Tafel 2, letzte Zeile). Der Schlagwert wurde gegenüber einem harten Aufschlag von etwa 52 mm bei stark verquollenen Aufschlagflächen um bis zu 6 mm verringert, dies entspricht bei Beton mit Regelkonsistenz einer Ausbreitmaßänderung um rd. 2,4 cm.

6.2.2 *Einfluß der Aufstellung des Ausbreittisches*

In DIN 1048 wird eine waagrechte Aufstellung des Tisches gefordert. Die orientierenden Versuche nach Tafel 7 zeigen, daß bei den untersuchten Betonen 1 bis 3 nach Tafel 6 eine Schiefstellung des Tisches durch einseitiges Anheben um 10 cm bei den drei Betonen praktisch keinen Einfluß auf das Ergebnis der Ausbreitmaßbestimmung hatte. Die Betonkuchen wiesen bei diesen Versuchen keine runde Form auf, sondern waren zur tieferliegenden Seite oval verformt. Das Ausbreitmaß ergab jedoch keinen signifikanten Unterschied zur horizontalen Aufstellung.

Eine Verdrillung des Tisches durch eine unebene Aufstandsfläche beeinflußt das Ausbreitmaß deutlich, da der Tisch dann nicht mehr gleichzeitig satt auf beide Aufschlagflächen aufschlagen kann. In Tafel 5 wurde beim Anheben einer Ecke des Untergestells um 5 mm eine Verminderung des Schlagwertes um im Mittel 3 mm gefunden. Der gleiche Wert ergab sich bei der künstlichen Erhöhung einer Aufschlagfläche durch eine 5 mm dicke Scheibe, wodurch eine Verunreinigung der Aufschlagfläche durch Zementstein oder Zuschlagkörner simuliert wurde.

Die hier mit 5 mm vorgegebene relativ geringe Verdrillung des Ausbreittisches kann in der Praxis bei Aufstellung auf unebenem Boden leicht vorliegen, ohne daß dies bemerkt wird. Ein dadurch bewirktes einseitiges Aufschlagen des Tisches kann bei Beton mit Regelkonsistenz eine Veränderung des Ausbreitmaßes von $\pm 1,2$ cm bewirken.

Die Art des Untergrundes, auf dem der Ausbreittisch steht, kann das Ausbreitmaß verändern. Nach DIN 1048 ist eine unnachgiebige Aufstellung vorgesehen. Bei den Untersuchungen nach Tafel 3 ergab sich für eine Aufstellung auf festem kurzgeschnittenen Rasen ein um 3 mm geringerer Schlagwert als bei der Aufstellung auf Betonfußboden. Der relativ weiche Untergrund dämpft durch höhere eigene Elastizität den Aufschlag. Die Aufstellung des Ausbreittisches auf Beton oder Rasen kann bei Beton mit Regelkonsistenz eine Veränderung des Ausbreitmaßes um $\pm 1,2$ cm bewirken.

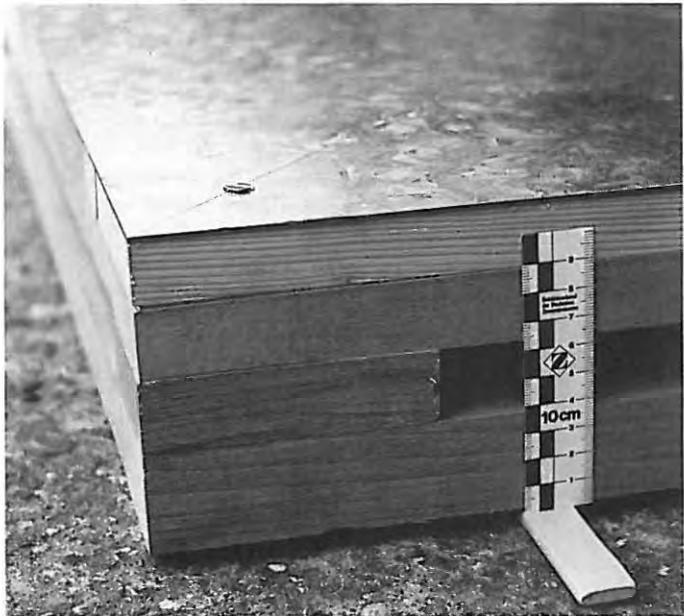
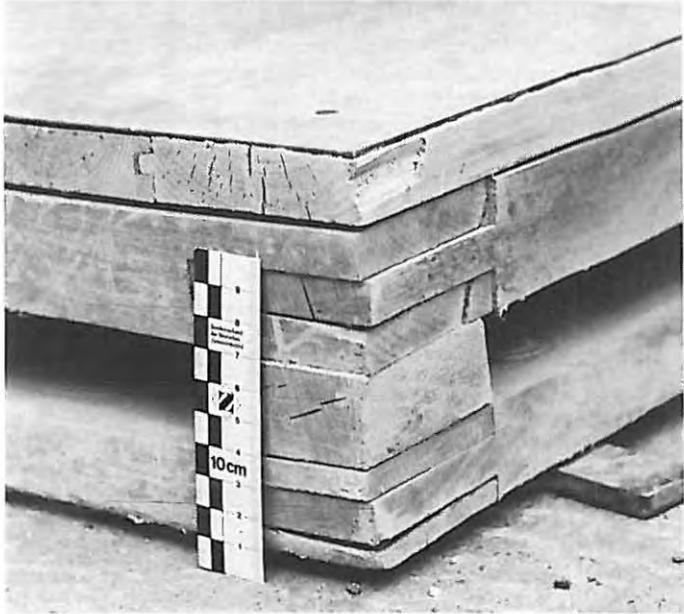


Bild 6 Vergleich von Aufschlagflächen unterschiedlicher Ausbreittische

6.3 Einfluß der Durchführung

Der Beton ist nach DIN 1048 in zwei Schichten einzufüllen und leicht mit dem Holzstößel zu bearbeiten. Die orientierenden Versuche nach Tafel 7 an den drei Betonen nach Tafel 6 ergaben für ein stärkeres Bearbeiten, das bereits an eine Verdichtung herankam, eine Vergrößerung des Ausbreitmaßes je nach Konsistenz des Betons um 1 bis 2 cm. Der Einfluß des Einfüllens nahm erwartungsgemäß mit weicher werdender Betonkonsistenz ab (Tafel 7).

Eine ausmittige Aufstellung des Betonkegels auf dem Ausbreittisch hat nach den Ergebnissen in Tafel 5 nur dann einen Einfluß auf das Ausbreitmaß, wenn sich dabei die wirksame Hubhöhe unter dem Betonkegel verändert. Ein Verschieben parallel zur Scharnierachse (hier um 6,5 cm) ergab keine Veränderung des Schlagwertes und des Ausbreitmaßes (Tafel 5). Für Ausmittigkeiten von ± 4 cm senkrecht zur Scharnierachse ergaben sich Schlagwertunterschiede von ± 5 mm, dies entspricht für Beton mit Regelkonsistenz einer Ausbreitmaßveränderung von im Mittel $\pm 2,0$ cm. Für praxisnahe Verhältnisse ist mit ± 2 cm Ausmittigkeit der Aufstellung des Betonkegels zu rechnen, die nicht immer ohne Hilfsmittel erkennbar ist. Eine derartige Ausmittigkeit entspricht einer Veränderung der Betonkonsistenz bei Regelkonsistenz von $\pm 1,0$ cm im Ausbreitmaß.

Vor dem Anheben der Betonform und dem Ausführen der 15 Schläge ist die Tischplatte feucht abzuwischen. Der Feuchtigkeitszustand der Platte kann die Reibung auf der Tischplatte beim Ausbreiten des Betons deutlich verändern. Für einen Beton mit Regelkonsistenz (Tafel 7) ergab eine trockene Tischplatte gegenüber der normgerechten feuchten Platte eine um 1 cm geringeres und eine nasse Tischplatte ein um 2 cm größeres Ausbreitmaß. Verunreinigungen durch z. B. Zementleim, die die Rauigkeit der Platte erhöhen, lassen danach einen Einfluß ähnlicher Größe erwarten.

Bei Bestimmung der zwei senkrecht zueinander stehenden Durchmesser kann ein Meßfehler auftreten. Die Durchmesser werden in der Praxis zumeist zwischen möglichst senkrecht an den Betonrand gehaltenen „Begrenzern“ (Kelle und Abziehstahl) mit dem Meterstab bestimmt. Durch nicht senkrecht Halten der beiden „Begrenzer“ kann leicht ein Meßfehler von $\pm 1,0$ cm auftreten.

6.4 Zusammenstellung der Einflußgrößen

In den vorausgehenden Abschnitten wurden die einzelnen Einflußgrößen mit den möglichen Auswirkungen auf die Ausbreitmaßbestimmung dargestellt. Die beschriebenen Einflußgrößen treten i. d. R. in der Praxis nicht gleichzeitig und vor allem zum Teil gegenläufig auf, wie z. B. die auf gleiche Hubhöhe berechneten Schlagwerte der Tafel 2, letzte Zeile, anschaulich zeigen. Bei gleichzeitigem Auftreten aller genannten Einflußgrößen in gleicher Richtung könnten sich theoretisch z. B. für einen Beton mit Regelkonsistenz ergeben:

- 1,6 cm aus zu geringer Hubhöhe,
- 2,4 cm durch verquollene Aufschlagflächen,
- 1,2 cm durch Verdrillung des Ausbreittisches (nicht gleichzeitiges Aufschlagen),

- 1,2 cm durch weichen Untergrund,
- 1,0 cm durch zu starkes Bearbeiten beim Einfüllen,
- 1,0 cm durch ausmittige Aufstellung des Betonkegels,
- 1,0 cm durch trockene Tischoberfläche und
- 1,0 cm durch Meßfehler.

Als Summe ergäbe sich eine mögliche Verringerung des Ausbreitmaßes um rd. 10 cm durch die obengenannten Einflüsse. Viele dieser Einflüsse lassen sich jedoch durch ein sachgerechtes Vorgehen deutlich reduzieren bzw. völlig ausschließen.

7. Folgerungen für die Praxis

Mit den derzeit vorhandenen Ausbreittischen kann bei sachgerechter Anwendung und richtiger Wartung und Pflege der Geräte ein gut reproduzierbares Ausbreitmaß mit einer Standardabweichung unter etwa 2 cm bestimmt werden. Dafür sind die nachstehenden Punkte, die zum Teil über DIN 1048 hinausgehen, zu beachten:

7.1 Die Hubhöhe des Tisches muß in regelmäßigen Abständen geprüft und ggf. auf $40 \pm 0,5$ mm nachjustiert werden.

7.2 Die Aufschlagflächen sind in regelmäßigen Abständen auf Sauberkeit und Verformung zu überprüfen und ggf. nachzubessern (Bild 6).

7.3 Bei Aufstellen des Tisches auf einen ebenen und festen Untergrund achten. (Dies ist wichtiger als eine exakt waagerechte Aufstellung).

7.4 Ausbreitkegel mittig auf den Tisch stellen.

7.5 Beton nach dem Einfüllen leicht bearbeiten, nicht verdichten.

7.6 Tischplatte vor dem Anheben der Form feucht abwischen.

7.7 Griff langsam bis zum Anschlag anheben und ruckartig loslassen, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben.

7.8 Messung des Durchmessers zwischen senkrecht gehaltenen Meßstäben durchführen, ggf. entsprechend große Schieblehre verwenden.

8. Verbesserungsvorschläge für DIN 1048

Bei der Überarbeitung von DIN 1048 sollten die Festlegungen für die Durchführung des Ausbreitversuches und die Gerätebeschreibung schärfer fixiert werden. Neben den in Abschnitt 7 vorgeschlagenen Durchführungsregeln sollten die folgenden Punkte beachtet werden:

8.1 Die Angabe des Ausbreitmaßes ist auf volle cm gerundet anzugeben. Die derzeit vorgeschriebene Angabe in mm, die von der Praxis ignoriert wird, täuscht eine nicht vorhandene Genauigkeit vor.

8.2 Der Ausbreittisch sollte durch eine 3-Punkt-Aufstellung des Grundrahmens gegen Verdrillen gesichert sein, wodurch ein gleichmäßiges Aufschlagen des Tisches sichergestellt wird. Empfehlenswert ist dafür eine Dreipunktlagerung des Grundrahmens in der Mitte der Scharnierseite und unter beiden Aufschlagflächen.

8.3 Die Aufschlagflächen sollten zur Vermeidung von Federungen, insbesondere durch aufgequollenes Holz, in Form von Stahlplatten, die bis in die Unterkonstruktion verschraubt sind, ausgebildet werden.

8.4 Die Steifigkeit der Holzplatte ist durch Holzart und Dicke und Art der Querverleimung einheitlich vorzugeben. Die Stahlplatte muß stets auf der Holzplatte aufliegen.

8.5 Der Hub- und Fallvorgang ist zu vergleichmäßigen, z.B. durch eine Schnecke, wie in Abschnitt 6 beschrieben.

8.6 Die Gleichmäßigkeit von Ausbreittischen sollte durch ein Eichgerät, das die Schlagwirkung des Tisches erfaßt, geprüft werden. Dies gilt insbesondere für neue Geräte, aber auch für Überprüfung der „Alt“-Geräte in angemessenen Abständen. Die durchgeführten Versuche zeigen, daß ein derartiges Gerät Schlagwerte liefern kann, die sehr eng mit den zugehörigen Betonausbreitmaßen korrelieren.

SCHRIFTTUM

- [1] DIN 1048 – Prüfverfahren für Beton (Ausgabe Dezember 1978).
- [2] ISO 4109: Fresh Concrete – Determination of Consistency – Slump Test (1980).
- [3] ISO 4110: Fresh Concrete – Determination of Consistency – Vebe Test (1979).
- [4] Wierig, H.-J., und H. Nelskamp: Meßstreuungen bei der Prüfung der Frischbeton-Konsistenz. beton 33 (1983) H. 10, S. 380/384.
- [5] Wierig, H.-J.: Verfahren zur Prüfung der Konsistenz von Frischmörtel und Frischbeton. Schriftenreihe des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie, Beton-Verlag, Düsseldorf 1984.
- [6] Bonzel, J., und J. Krell: Konsistenzprüfung von Frischbeton, beton 34 (1984) H. 2, S. 61/65, und H. 3, S. 101/104.