

Ergebnisse von Laboruntersuchungen

Vergleichende Bestimmung des Luftgehalts an Frischbetonen mit 5-l- und 8-l-Luftgehaltsprüfgeräten

Joachim Schulze und Wolfgang Breit, Kaiserslautern

Im Rahmen von Betonprüfungen ist der Luftgehalt eine wesentliche Kenngröße des verdichteten Frischbetons, der in Deutschland am häufigsten durch das so genannte Druckausgleichsverfahren nach DIN EN 12350-7 bestimmt wird. In der Baupraxis werden zur Prüfung des Luftgehalts in der Regel Luftgehaltsprüfgeräte mit einem Nennvolumen von 8 l verwendet, die aus den Prüfvorschriften der inzwischen ersetzten DIN 1048 übernommen wurden. Da die aktuelle Norm Luftgehaltsprüfgeräte ab einem Nennvolumen von 5 l zulässt, wurden Vergleichsprüfungen mit einem praxisüblichen 8-l-Luftgehaltsprüfgerät und einem prinzipiell baugleichen Luftgehaltsprüfgerät mit einem Nennvolumen von 5 l durchgeführt, wobei das um ca. 7 kg reduzierte Füllgewicht bei dem 5-l-Luftgehaltsprüfgerät aus arbeitsphysiologischer Sicht eine deutlich bessere Handhabbarkeit ermöglichte. Es wurden Betone unterschiedlicher Konsistenz und mit verschiedenen Größtkörnern untersucht. Die Luftgehalte des Frischbetons wurden durch Zugabe von unterschiedlichen Mengen an Luftporenbildner variiert und zeitgleich mit dem 5-l- und dem 8-l-Luftgehaltsprüfgerät gemessen. Auf Basis der erhaltenen Messergebnisse konnte ein aussagekräftiger Vergleich der Luftgehaltsprüfgeräte mit unterschiedlichen Nennvolumina abgeleitet werden, der belegte, dass die mit dem 5-l-Luftgehaltsprüfgerät ermittelten Luftporengehalte eine vergleichbare Präzision aufweisen wie die Messwerte des baugleichen 8-l-Luftgehaltsprüfgeräts.

1 Ausgangssituation

Im Rahmen von Frischbetonprüfungen ist der Luftgehalt eine wesentliche Kenngröße des verdichteten Betons. Daraus ergeben sich Informationen über die Verdichtbarkeit des Frischbetons und die zu erwartenden Festbetoneigenschaften wie Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit [1]. Insbesondere bei Straßenbetonen ist die Überprüfung des Luftgehalts am Frischbeton von großer Bedeutung. Bei solchen Betonen bestehen Anforderungen an einen hohen Frost- bzw. Frost-Taumittel-Widerstand (Expositionsklasse XF). Aus diesem Grund sind Mindestluftgehalte am Frischbeton nachzuweisen, anhand derer auf einen ausreichend großen Luftporengehalt im Festbeton geschlossen werden kann. Die Bestimmung des Luftgehalts von verdichtetem Frischbeton, der mit normaler Gesteinskörnung mit einem Größtkorn von maximal 63 mm hergestellt wurde, erfolgt mittels Druckverfahren, die in DIN EN 12350-7 [2] geregelt sind. Die Norm stellt hierzu zwei Prüfverfahren zur Verfügung, die nach dem Prinzip des Boyle-Mariotteschen Gesetzes arbeiten.

■ Das Wassersäulenverfahren, bei dem Wasser über eine verdichtete Betonprobe bekannten Volumens bis auf eine festgelegte Höhe eingefüllt und ein festgelegter Luftdruck über dem Wasser aufgebracht wird. Die Abnahme des Luftvolumens in der

Betonprobe wird durch Beobachten der Verringerung des Wasserpegels gemessen, die Wassersäule ist dabei auf den prozentualen Luftgehalt der Betonprobe kalibriert.

■ Das Druckausgleichsverfahren, bei dem ein bekanntes Luftvolumen bei bekanntem Druck in einer dicht verschlossenen Kammer mit dem unbekanntem Luftvolumen in der Betonprobe ausgeglichen wird. Dabei ist die Skalenteilung des Druckmessers (Manometer) für den resultierenden Druck auf den prozentualen Luftgehalt der Betonprobe kalibriert.

In Deutschland wird das Druckausgleichsverfahren am häufigsten verwendet. Geprüft wird i.d.R. mit Druckmessgeräten (Luftgehaltsprüfgeräten) mit einem Nennvolumen von 8 l, wobei diese Gerätegröße nicht zwingend von der Norm vorgeschrieben ist, sondern auf das „traditionelle“ Prüfverfahren nach DIN 1048-1 [3] zurückzuführen ist. In DIN EN 12350-7 ist für den Behälter lediglich ein Mindestnennvolumen von 5 l und ein Durchmesser-Höhen-Verhältnis zwischen 0,75 und 1,25 festgelegt.

Aufgrund des geringeren Volumens und dem damit zusammenhängenden geringeren Füllgewicht (Gewichtseinsparung ca. 7 kg), ist bei dem 5-l-Luftgehaltsprüfgerät aus arbeitsphysiologischer Sicht eine deutlich bessere Handhabbarkeit zu erwarten (Bild 1).

Die Autoren:

Dr. rer. nat. Joachim Schulze war nach seinem Chemiestudium an der Technischen Universität Kaiserslautern wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Anorganische Chemie der TU Kaiserslautern, wo er auch promovierte. Seit 1994 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen an der TU Kaiserslautern, u.a. auf dem Arbeitsgebiet der Entwicklung und Anwendung von Hochleistungsbetonen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit war nach seinem Bauingenieurstudium Mitarbeiter am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac), wo er auch promovierte. Anschließend war er als Oberingenieur in der Abteilung Betontechnik am Forschungsinstitut der Zementindustrie des Vereins Deutscher Zementwerke e.V. Düsseldorf tätig, u.a. als Leiter des betontechnischen Labors. Im Jahr 2007 folgte er einem Ruf an die Technische Universität Kaiserslautern und leitet dort nun das Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen. Darüber hinaus hat er im Jahr 2008 die Leitung des Materialprüfamts der TU Kaiserslautern übernommen. Wolfgang Breit arbeitet in zahlreichen Gremien des DIN, DAfStb, DVGW und DWA, u.a. ist er Obmann des nationalen Gremiums „Prüfverfahren für Beton“ und nationaler Vertreter im europäischen Gremium CEN/TC104/SC1/TG8 „Testing of concrete“.



Bild 1: Luftgehaltsprüfgeräte mit Volumina von 8 l (links) und 5 l (rechts)

Im Rahmen der Untersuchungen sollten die ermittelten Luftgehalte eines 8-l-Luftgehaltsprüfgeräts bei unterschiedlichen Betonzusammensetzungen und Luftgehalten mit den Messergebnissen eines 5-l-Luftgehaltsprüfgeräts verglichen und ausgewertet werden. Für die Untersuchungen wurden als Referenzbetone (ohne Luftporenbildner, Konsistenz F1/F2) zwei Betonzusammensetzungen mit einem Größtkorn von 8 mm sowie einem Größtkorn von 16 mm gewählt (Tafel 1). Die Luftgehalte wurden durch Zugabe von unterschiedlichen Mengen an Luftporenbildner zwischen ca. 1,5 Vol.-% und ca. 8,0 Vol.-% variiert.

2 Versuchsvorbereitung

2.1 Kalibrierung der Luftgehaltsprüfgeräte

Das am Verschlussaggregat des Luftgehaltsprüfgeräts angebrachte Druckmessgerät soll nach DIN EN 12350-7 für einen Luftgehalt von mindestens 8 Vol.-%, vorzugsweise 10 Vol.-% kalibriert sein. Der gemessene scheinbare prozentuale Luftgehalt soll mit einer Genauigkeit von 0,1 Vol.-% angegeben werden. Die Skala des Manometers soll wie folgt unterteilt sein:

- 0 Vol.-% bis 3 Vol.-% 0,1 Vol.-%
- 3 Vol.-% bis 6 Vol.-% 0,2 Vol.-%
- 6 Vol.-% bis 10 Vol.-% 0,5 Vol.-%

Tafel 1: Betonzusammensetzungen

		Beton I (8 mm)	Beton II (16 mm)
Zement CEM I 42,5 N	kg/m ³	370	370
Wasser	kg/m ³	178	165
Wasserzementwert		0,48	0,45
Rheinsand 0/2	kg/m ³	610	536
Rheinkies 2/8	kg/m ³	1154	637
Rheinkies 8/16	kg/m ³	-	641
Sieblinienbereich		A/B	A/B
k-Wert		3,62	4,18

Das in Bild 2 dargestellte Manometer zeigt die Skaleneinteilung der in dieser Untersuchungsreihe eingesetzten Luftgehaltsprüfgeräte, wobei die Prüfgeräte mit unterschiedlichen Nennvolumina die gleiche Skaleneinteilung aufweisen. Die Anforderungen der DIN EN 12350-7 bzgl. der Skaleneinteilung werden erfüllt.

Die für diese Untersuchungen verwendeten werksneuen Luftgehaltsprüfgeräte (Hersteller: Testing, Bluhm & Feuerherdt GmbH) wurden vor dem Beginn des Versuchsprogramms kalibriert. Darüber hinaus wurden die Prüfgeräte während des laufenden Prüfprogramms mehrfach überprüft (Wiederholung der Kalibrierung), um mögliche Abweichungen und eine damit zusammenhängende Verfälschung der Versuchsergebnisse festzustellen bzw. zu vermeiden.

2.2 Festlegung der Betonzusammensetzung

In Anlehnung an [4] wurden für die Versuche zwei Betonzusammensetzungen ausgearbeitet, die als Straßenbetone eingesetzt werden könnten. Für die Mischungen mit einem Größtkorn von 16 mm wurde ein Wasserzementwert von 0,45 gewählt, für die Mischungen mit 8 mm Größtkorn ein höherer Wasserzementwert von 0,48, da sich für diese Betone aufgrund der feineren Körnung eine tendenziell steifere Konsistenz im Vergleich zu den Betonen mit größerem Größtkorn einstellt. Bei allen Mischungen wurde ein Portlandzement CEM I 42,5 N aus einer Charge verwendet, um hinsichtlich des Zements Einflüsse auf die Prüfergebnisse ausschließen zu können. Sämtliche Gesteinskörnungen wurden getrocknet (Rheinsand 0/2, Rheinkies 2/8 und Rheinkies 8/16).

Die je Versuchsreihe hergestellte Betonmenge war ausreichend für das zu absolvierende Prüfprogramm von fünf Messzeitpunkten zwischen Betonherstellung 0 min und 60 min, an denen jeweils die Luftgehalte mit dem 5-l- und 8-l-Luftgehaltsprüfgerät zeitgleich gemessen wurden (ca. 13 l pro Messzeitpunkt). Die Konsistenzbestimmung erfolgte direkt nach dem Mischen des Betons und nach 60 min. Ausgehend von den in Tafel 1 aufgeführten Betonen wurden den Betonmischungen unterschiedliche Mengen an Luftporenbildner zugegeben, um die ange-



Bild 2: Skala des Manometers am 5-l-Luftgehaltsprüfgerät

strebten Luftgehalte von ca. 3,0 Vol.-% bis ca. 8,0 Vol.-% zu erhalten.

Festgelegt war für alle Versuche eine Vermischzeit der trockenen Bestandteile von insgesamt 60 s. Der LP-Bildner wurde dem Zugabewasser unmittelbar vor dem Einfüllen in den Mischer beigegeben. Die Mischzeit nach Zugabe aller Bestandteile betrug 180 s und vor jedem weiteren Prüfzeitpunkt erfolgte ein erneutes Aufmischen des Betons über einen Zeitraum von 60 s.

2.3 Festlegung der Versuchsabläufe

Ziel des Untersuchungsprogramms war eine Beurteilung der Vergleichbarkeit der Messergebnisse eines 5-l-Luftgehaltsprüfgeräts mit einem 8-l-Luftgehaltsprüfgerät. Um eine größtmögliche Genauigkeit und Parallelität jedes einzelnen Arbeitsschritts zu gewährleisten, wurden alle Versuchsreihen nach derselben Mischprozedur (Mischzeit, Drehzahl), einem festgelegten Verdichtungsverfahren (Rüttelzeit, Rüttelfrequenz) und exakt einzuhaltenden Arbeitsabläufen (z.B. Luftgehaltsprüfgerät: Anfeuchten, Einfüllen, Glätten usw.) durchgeführt.

2.3.1 Frischbetonrohddichte

Die Bestimmung der Frischbetonrohddichte erfolgte nach den Vorgaben der DIN EN 12350-6 [5]. Die Massen wurden mit dem Prüfen des Luftgehalts an den LP-Töpfen bestimmt, deren Volumen bereits aus der Kalibrierung bekannt war. Zur Ermittlung der Rohdichten wurde für jede Mischung vor dem ersten Befüllen (Zeitpunkt 0 min) der angefeuchtete Behälter des Luftgehaltsprüfgeräts leer gewogen und dann zu allen Messzeitpunkten (0 min, 15 min, 30 min, 45 min, 60 min) die Masse des mit Beton gefüllten, verdichteten und geglätteten Behälters bestimmt.

2.3.2 Konsistenz

Eine Konsistenzbestimmung wurde an jeder Betonmischung direkt nach dem Mischvorgang (Zeitpunkt 0 min) und am Ende der jeweiligen Prüferie (Zeitpunkt 60 min) durchgeführt. Die Bestimmung des Ausbreitmaßes erfolgte nach DIN EN 12350-5 [6]. Bei den steiferen Betonen, bei denen das Ausbreitmaß keine verwertbaren Ergebnisse lieferte, wurde zusätzlich das Verdichtungsmaß nach DIN EN 12350-4 [7] ermittelt.

2.3.3 Temperatur

Zu jedem Prüfzeitpunkt wurde in Anlehnung an DIN 1048-1 [3] direkt nach dem Mischvorgang und vor der Entnahme des Betons aus dem Mischer die Frischbetontemperatur sowie die Lufttemperatur bestimmt und aufgezeichnet.

2.3.4 Luftgehalt

Aufgrund der Erfahrungen und Ergebnisse aus durchgeführten Vorversuchen für die Messung des Frischbeton-Luftgehalts nach dem Druckausgleichsverfahren nach DIN EN 12350-7 [2] mussten zur Minimierung von verfahrensbedingten Einflüssen bzw. Schwankungen die Versuchsabläufe präzise festgelegt und exakt eingehalten werden. Die Mischzeiten, Rüttelzeiten- und -intensitäten sowie sämtliche Arbeitsabläufe wurden vor Beginn der eigentlichen Versuchsreihen auf Basis der Erkenntnisse von [8] und der in Vorversuchen gesammelten Erkenntnisse festgelegt und bei allen Mischungen beibehalten.

Die Luftgehaltsprüfgeräte wurden vor jedem Befüllen angefeuchtet, um das Aufsteigen von Luftblasen an der Behälterwand zu erleichtern. Auf dem Rütteltisch, mit festgelegter Rüttelfrequenz, wurden die Prüftöpfe mithilfe der seitlichen Griffe während des Einfüllvorgangs und Verdichtens von jeweils einer Person festgehalten. Da prinzipiell die Gefahr besteht, dass gezielt eingefügte Luftporen durch zu lange Verdichtungsvorgänge ausgetrieben werden können, wurden die Rüttelzeiten in einem Vorversuch ermittelt. Als Beurteilungskriterium wurde in Anlehnung an DIN EN 12350-7 das Vorhandensein von aufsteigenden, großen Luftblasen während des Verdichtungsvorgangs der einzelnen Frischbetonschichten gewählt. Die nach dieser Methode ermittelten Verdichtungszeiten lagen zwischen 45 s und 60 s je eingefüllter Frischbetonschicht. Nach dem Verdichten der zweiten Lage wurden die Oberflächen geglättet, die Ränder der Luftgehaltsprüfgeräte gesäubert und die Töpfe zur Berechnung der Frischbetonrohddichten gewogen. Anschließend wurden die Oberteile (Verschlussaggregat inklusive Manometer) der jeweiligen Luftgehaltsprüfgeräte aufgesetzt und die Messung des Luftgehalts zeitgleich an beiden LP-Töpfen nach DIN EN 12350-7 durchgeführt.

3 Versuchsergebnisse

3.1 Allgemeines

Die Bestimmung der Frischbetoneigenschaften (Rohdichte, Luftgehalt, Konsistenz) sowie die Ermittlung der Beton- und Lufttemperatur wurde an insgesamt zehn Betonmischungen durchgeführt, je fünf Betone mit einem Größtkorn von 8 mm (Betonbezeichnung 8-1 bis 8-5) und fünf Betone mit einem Größtkorn von 16 mm (Betonbezeichnung 16-1 bis 16-5). Die in den Tafeln 2 und 3 zusammengefassten Ergebnisse der Luftgehaltsbestimmungen decken den betontechnisch relevanten Bereich zwischen ca. 1,5 Vol.-% und 8,0 Vol.-% ab.

Tafel 2: Ergebnisse Beton I mit 8 mm Größtkorn

		Messzeitpunkt [min]				
		0	15	30	45	60
8-1 Beton I ohne LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,35	2,34	2,34	2,33	2,33
	8 l	2,36	2,35	2,35	2,35	2,35
Ausbreitmaß [mm]		330 (F1)				n.b.
Verdichtungsmaß [-]		1,18 (C2)				1,3 (C1)
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	1,8	2,1	2,3	2,6	2,6
	8 l	1,6	1,8	2,2	2,4	2,5
8-2 Beton I mit 0,1 M.-% v.z LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,31	2,32	2,32	2,33	2,33
	8 l	2,31	2,32	2,31	2,31	2,31
Ausbreitmaß [mm]		330 (F1)				n.b.
Verdichtungsmaß [-]		1,21 (C2)				1,29 (C1)
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	2,7	3,7	3,1	3,2	3,4
	8 l	3,2	3,2	3,5	3,6	3,7
8-3 Beton I mit 0,2 M.-% v.z LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,28	2,26	2,30	2,29	2,28
	8 l	2,27	2,26	2,29	2,26	2,27
Ausbreitmaß [mm]		330 (F1)				n.b.
Verdichtungsmaß [-]		1,16 (C2)				1,23 (C2)
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	4,8	5,1	4,6	4,7	4,9
	8 l	4,7	4,9	4,4	4,8	5,0
8-4 Beton I mit 0,3 M.-% v.z LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,23	2,24	2,27	2,25	2,27
	8 l	2,21	2,22	2,23	2,23	2,24
Ausbreitmaß [mm]		370 (F2)				n.b.
Verdichtungsmaß [-]		1,10 (C3)				1,16 (C2)
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	7,1	6,3	6,2	6,1	6,2
	8 l	6,8	6,4	6,5	6,4	6,2
8-5 Beton I mit 0,4 M.-% v.z LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,11	2,18	2,19	2,20	2,23
	8 l	2,13	2,18	2,18	2,19	2,20
Ausbreitmaß [mm]		420 (F3)				n.b.
Verdichtungsmaß [-]		1,10 (C3)				1,22 (C2)
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	10,4	8,8	8,0	7,7	7,7
	8 l	9,4	7,6	8,0	7,9	7,8

3.2 Beton I mit 8 mm Größtkorn

Die Zusammensetzung des Betons mit einem Größtkorn 8 mm ist in Tafel 1 aufgeführt. In Tafel 2 sind die ermittelten Messwerte des Referenzbetons ohne Luftporenbildner (8-1) sowie die Betone mit unterschiedlichem Gehalt an Luftporenbildner (8-2 bis 8-5) aufgeführt, wobei mit fortlaufender Nummerierung die Zugabe des Luftporenbildners erhöht wurde.

Die steigende Zugabemenge des Luftporenbildners veränderte erwartungsgemäß die Frischbetoneigenschaften. Die Frischbetonrohddichte sinkt mit steigendem Luft-

gehalt. Diese Tendenz ist sowohl mit dem 5-l- als auch mit dem 8-l-Luftgehaltsprüfgerät in gleicher Weise nachweisbar. Die Konsistenz wird erwartungsgemäß mit steigender Zusatzmitteldosierung zunehmend plastischer bzw. weicher. In Bild 3 sind die mit dem 5-l- und dem 8-l-Luftgehaltsprüfgerät ermittelten Luftgehalte in Abhängigkeit von der Zeit (Betonalter) und der Menge des zugesetzten Luftporenbildners dargestellt. Der qualitative Vergleich der Luftgehaltswerte der beiden Luftgehaltsprüfgeräte zeigt eine gute Übereinstimmung der ermittelten Werte, wobei keine eindeutige Tendenz festzustellen

Tafel 3: Ergebnisse Beton II mit 16 mm Größtkorn

		Messzeitpunkt [min]				
		0	15	30	45	60
16-1 Beton II ohne LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,38	2,36	2,38	2,39	2,40
	8 l	2,37	2,36	2,36	2,36	2,36
Ausbreitmaß [mm]		320 (F1)				n. b.
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	1,5	2,0	1,9	2,0	2,0
	8 l	1,5	2,0	2,0	2,3	2,3
16-2 Beton II mit 0,2 M.-% v.z LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,32	2,33	2,35	2,35	2,35
	8 l	2,33	2,36	2,35	2,36	2,36
Ausbreitmaß [mm]		330 (F1)				n. b.
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	3,5	3,1	2,9	3,1	3,2
	8 l	3,5	3,1	3,2	3,2	3,2
16-3 Beton II mit 0,4 M.-% v.z LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,22	2,27	2,27	2,28	2,28
	8 l	2,22	2,25	2,25	2,27	2,28
Ausbreitmaß [mm]		350 (F2)				320 (F1)
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	6,3	5,8	5,5	5,5	5,2
	8 l	6,0	5,8	5,5	5,0	5,1
16-4 Beton II mit 0,5 M.-% v.z LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,23	2,23	2,25	2,24	2,27
	8 l	2,23	2,24	2,25	2,26	2,27
Ausbreitmaß [mm]		360 (F2)				320 (F1)
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	7,0	6,8	6,3	6,3	5,8
	8 l	6,8	6,9	6,4	6,4	5,8
16-5 Beton II mit 0,6 M.-% v.z LP						
Rohdichte [kg/dm ³]	5 l	2,18	2,19	2,20	2,22	2,23
	8 l	2,19	2,20	2,22	2,22	2,23
Ausbreitmaß [mm]		380 (F2)				310 (F1)
LP-Gehalt [Vol.-%]	5 l	8,0	8,0	7,6	7,4	7,2
	8 l	8,0	7,6	7,4	7,5	7,2

len ist, welches Prüfgerät höhere bzw. niedrigere Luftgehalte anzeigt. Diese Schwankungen liegen im Bereich der Prüfstreuungen des Verfahrens.

3.2 Beton II mit 16 mm Größtkorn

In Tafel 3 sind die ermittelten Messwerte des Referenzbetons ohne Luftporenbildner (16-1) sowie die Betone mit unterschiedlichem Gehalt an Luftporenbildner aufgeführt (16-2 bis 16-5), wobei mit fortlaufender Nummerierung die Zugabe des Luftporenbildners erhöht wurde.

Die steigende Zugabemenge des Luftporenbildners veränderte die Frischbetoneigenschaften des Betons II mit einem Größtkorn von 16 mm erwartungsgemäß in gleicher Weise wie bei dem in Abschnitt 3.1 aufgeführten Beton I mit einem Größtkorn von 8 mm. Um die vorgegebenen Luftgehaltswerte zu erreichen, war bei Beton II al-

lerdings eine höhere Zugabemenge von Luftporenbildner erforderlich. Die Frischbetonrohichte sinkt mit steigendem Luftgehalt. Diese Tendenz ist wiederum mit dem 5-l- sowie mit dem 8-l-Luftgehaltsprüfgerät in gleicher Weise nachweisbar. Die Konsistenz wird mit steigender Zusatzmitteldosierung zunehmend plastischer.

Bild 4 stellt die mit dem 5-l- und dem 8-l-Luftgehaltsprüfgerät ermittelten Luftgehalte des Betons II in Abhängigkeit von der Zeit und der Menge des zugesetzten Luftporenbildners dar. Der qualitative Vergleich der Luftgehaltswerte der beiden Luftgehaltsprüfer zeigt auch bei Beton II eine gute Übereinstimmung der ermittelten Werte, wobei wiederum keine eindeutige Tendenz festzustellen ist, welcher der Luftgehaltsprüfer größere bzw. kleinere Luftgehalte anzeigt. Eine genauere Beurteilung der Messwerte erfolgt in Abschnitt 4.

Bei Luftgehalten größer als etwa 5 Vol.-% verringern sich die gemessenen Luftgehalte mit zunehmendem Frischbetonalter deutlich. Die Luftgehaltswerte sinken, ausgehend vom Zeitpunkt direkt nach dem Anmischen (0 min) bis zur letzten Luftgehaltsmessung (60 min), um bis zu ca. 1,0 Vol.-%. Offensichtlich werden die höheren, durch Zugabe von Luftporenbildnern erzielten Luftgehalte im Laufe von relativ kurzen Zeiträumen und wiederholten, kurzen Mischprozessen (60 s nach je 15 min) reduziert. Dieses Phänomen ist mit beiden Luftgehaltsprüfgeräten in gleicher Weise belegbar.

4 Auswertung der gemessenen Luftgehalte

In Bild 5 sind die aus den Versuchen erhaltenen Wertepaare grafisch dargestellt. Die gemessenen Werte nähern sich nahezu an den Idealverlauf (gestrichelte Linie) an, bei dem identische Messwerte der Luftgehalte sowohl bei dem 5-l- als auch dem 8-l-Luftgehaltsprüfgerät zugrunde gelegt wurden. Die lineare Regressionsgerade (durchgezogene Linie) der gemessenen Einzelwerte verdeutlicht die geringen Unterschiede (Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,9814$) zwischen den beiden Luftgehaltsprüfgeräten. Lediglich im Bereich sehr hoher Luftgehalte zwischen ca. 8 Vol.-% und 10 Vol.-% (oberhalb der in der Betontechnologie üblichen Luftporengehalte) wurden zwei Messwerte mit höheren Abweichungen ermittelt.

Die berechnete mittlere Abweichung der Messwerte des 5-l-Luftgehaltsprüfgeräts zu denen des 8-l-Luftgehaltsprüfgeräts (durchschnittliche vertikale Entfernung der Messwerte in Bild 5 von der Ideallinie) beträgt $\pm 0,21$ Vol.-%.

Die Messwerte schwanken zufällig, d.h. es sind keine Anzeichen für systematische Messwertabweichungen nach DIN 1319-3 [9] vorhanden. Somit lässt sich schließen, dass die Genauigkeit bei den Messgeräten und in der Versuchsdurchführung ausreichend war, um die vorliegenden Ergebnisse als statistisch verwertbare, repräsentative Stichprobe der Grundgesamtheit aller möglichen Messwerte zu bewerten [10]. Bei der durchgeführten Versuchsserie liegt die Standardabweichung bei $\pm 0,23$ Vol.-%. Dieser relativ niedrige Wert der Standardabweichung bestätigt die gute Übereinstimmung sowohl in der Durchführung der Versuche als auch bei dem Vergleich der Luftgehaltsprüfgeräte selbst.

5 Schlussbetrachtung

Im Rahmen von Betonprüfungen ist der Luftgehalt eine wesentliche Kenngröße des verdichteten Frischbetons, der in Deutschland am häufigsten durch das so genannte Druckausgleichsverfahren mit 8-l-Luftgehaltsprüfgeräten (LP-Töpfen) ermittelt wird. Mittlerweile wird ein normkonformes, prinzipiell baugleiches Luftgehaltsprüfgerät mit einem Nennvolumen von 5 l angeboten. Aufgrund des geringeren Volumens und dem damit zusammenhängenden deutlich geringeren Füllgewicht (Gewichtsreduzierung ca. 7 kg) ist dem 5-l-Luftgehaltsprüfgerät eine

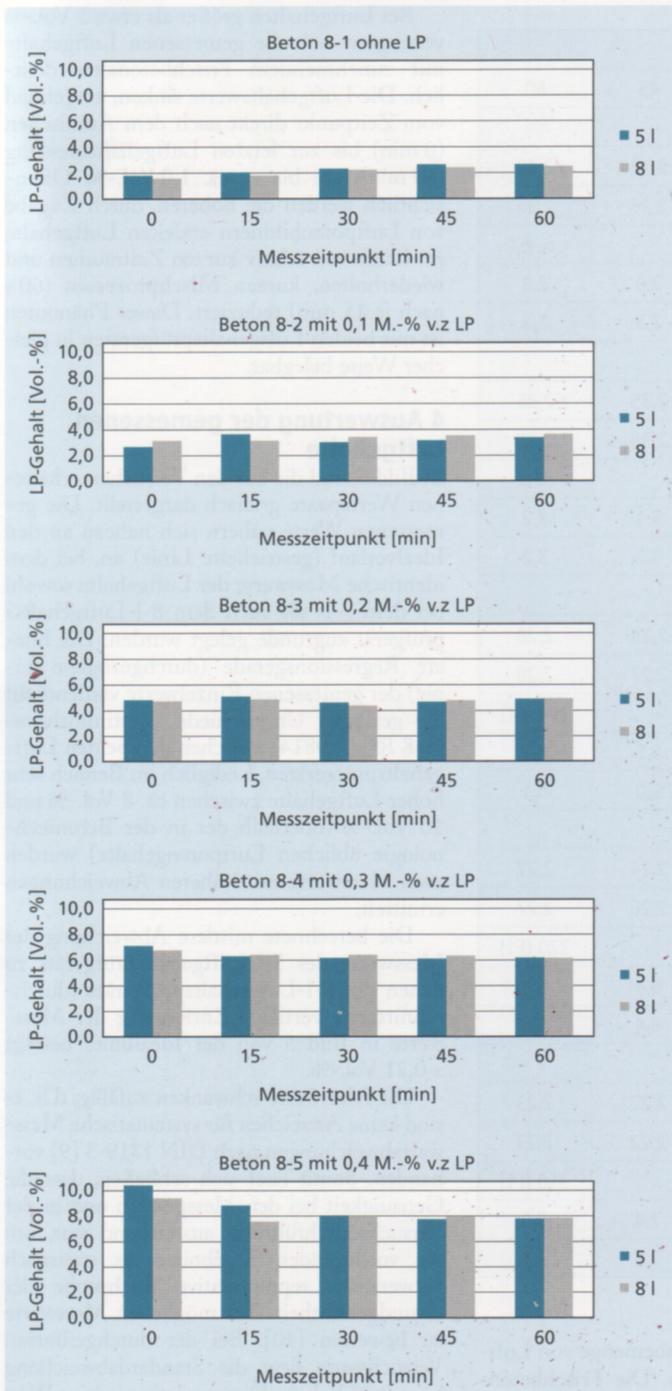


Bild 3: Luftgehalte der Betonserie I mit einem Größtkorn von 8 mm

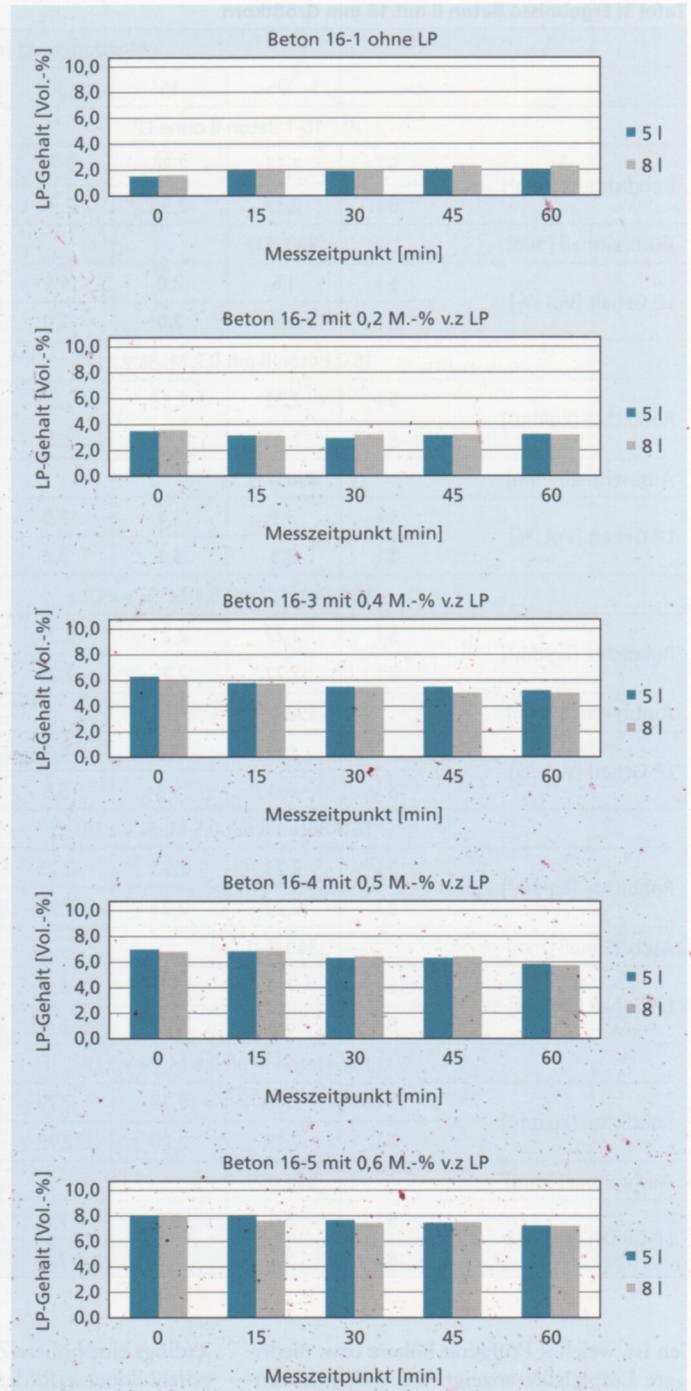


Bild 4: Luftgehalte der Betonserie II mit einem Größtkorn von 16 mm

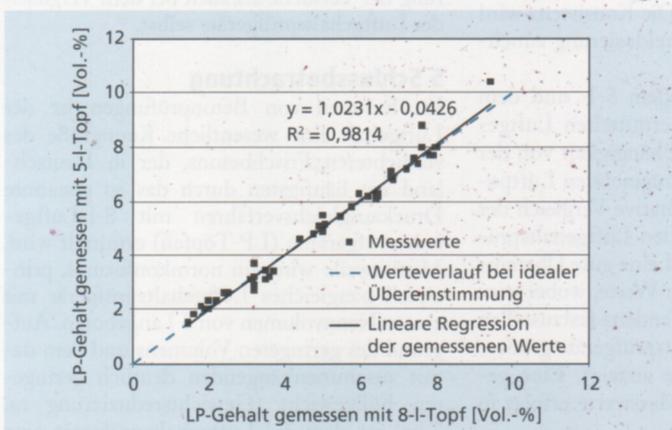


Bild 5: Vergleich der Messwerte der Luftgehaltsprüfgeräte

bessere Handhabbarkeit zuzuschreiben. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungsreihe sollten die ermittelten Luftgehalte des 8-l-Luftgehaltsprüfgeräts bei unterschiedlichen Betonzusammensetzungen und Luftgehalten mit den Messergebnissen des 5-l-Luftgehaltsprüfgeräts an denselben Frischbetonen (aus einer Mischung entnommen) zeitgleich gemessen, verglichen und ausgewertet werden.

Für die Untersuchungen wurden zwei Betonzusammensetzungen mit unterschiedlicher Konsistenz und verschiedenen Größtkörnern gewählt. Die Luftgehalte der Betone wurden durch Zugabe von unterschiedlichen Mengen an Luftporenbildner variiert. Auf

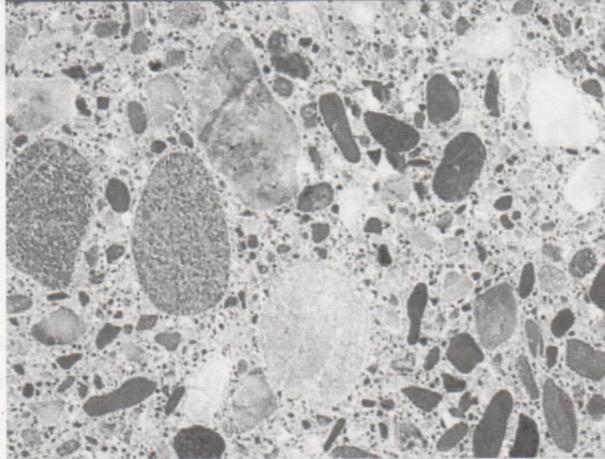
Guter Beton

Basis der erhaltenen Messergebnisse kann bestätigt werden, dass die verwendeten Luftgehaltsprüfgeräte mit einem Nennvolumen von 5 l bzw. 8 l statistisch gesehen nahezu gleiche Ergebnisse liefern. Die mittleren Abweichungen liegen bei etwa 0,2 Vol.-%. Dieser Wert liegt im Bereich der verfahrensbedingten Abweichungen bei der Ermittlung des Luftgehalts. Systematische Abweichungen aufgrund des unterschiedlichen Nennvolumens können nach dem derzeitigen Stand der Kenntnisse ausgeschlossen werden.

Aus arbeitsphysiologischer Sicht weist das neue 5-l-Luftgehaltsprüfgerät damit deutliche Vorteile gegenüber dem üblichen 8-l-Luftgehaltsprüfgerät auf.

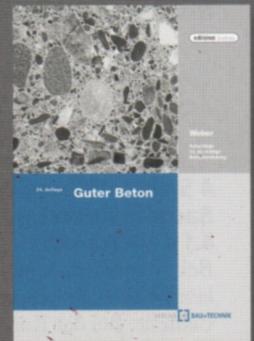
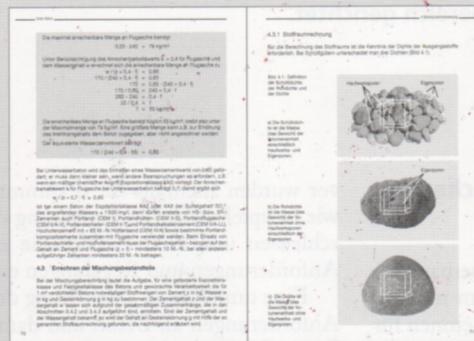
Literatur

- [1] Biscop, M.; Richter, T.: Frischbeton. Eigenschaften und Prüfung. Zement-Merkblatt Betontechnik B4 (März 2013)
- [2] DIN EN 12350-7:2009-08 Prüfung von Frischbeton – Teil 7: Luftgehalt Druckverfahren
- [3] DIN 1048-1:1991-06 Prüfverfahren für Beton – Teil 1: Frischbeton
- [4] Eickschen, E.: Wirkungsmechanismen Luftporen bildender Betonzusatzmittel und deren Nachaktivierungspotenzial. Schriftenreihe der Zementindustrie, Band 73, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf 2009
- [5] DIN EN 12350-6:2011-03 Prüfung von Frischbeton – Teil 6: Frischbetonrohichte
- [6] DIN EN 12350-5:2009-08 Prüfung von Frischbeton – Teil 5: Ausbreitmaß
- [7] DIN EN 12350-4:2009-08 Prüfung von Frischbeton – Teil 4: Verdichtungsmaß
- [8] Gast, R.: Luftporen im Beton. Veränderungen durch Transport und Einbau. beton 30 (1980) H. 10, S. 367–371
- [9] DIN 1319-3:1996-05 Grundlagen der Messtechnik – Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Messunsicherheit
- [10] Papula, L.: Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Band 3: Vektoranalysis; Wahrscheinlichkeitsrechnung, Mathematische Statistik, Fehler- und Ausgleichsrechnung. Vieweg+Teubner Verlag/GWV Fachverlage, Wiesbaden 2008, S. 651 ff.



edition beton

Überarbeitete
Neuaufgabe!



Das Kompendium „Guter Beton“ bewährt sich seit Jahrzehnten als besonders wichtige und aktuelle Arbeitshilfe. Die starke Nachfrage machte eine Neuaufgabe erforderlich, die gleichzeitig zu einer Überarbeitung und Erweiterung führte. Berücksichtigung fanden dabei die Änderungen der Betonnormen und die der tangierenden Normen für die Ausgangsstoffe.

Das Buch vermittelt auch in seiner 24. Auflage den neuesten Erkenntnisstand für die Herstellung, Verarbeitung und Prüfung des Betons und gibt wertvolle Hinweise für die tägliche Betonbaupraxis. Die Ausführungen werden durch 22 Beispiele vertieft. Dargestellt werden die stofflichen Grundlagen für Beton und seine Ausgangsstoffe unter Berücksichtigung der Anforderungen der Regelwerke.

„Guter Beton“ dient einerseits als aktuelles Lehrbuch an Universitäten, Technischen Hochschulen, Fachhochschulen und berufsbildenden Einrichtungen und ist andererseits ein leicht verständliches Nachschlagewerk für den Gebrauch im Ingenieurbüro, im Transportbeton- und Betonfertigteilwerk sowie auf der Baustelle.

Aus dem Inhalt:

Begriffsbestimmungen / Ausgangsstoffe des Betons: Zement, Gesteinskörnungen, Zugabewasser, Betonzusätze / Eigenschaften des Betons: Eigenschaften des Frischbetons, Eigenschaften des Festbetons, Formänderungen von Beton, Einflüsse auf Eigenschaften des Betons / Betonzusammensetzung: Standardbeton, Beton nach Eigenschaften, Errechnen der Mischungsbestandteile / Herstellen des Betons: Bereiten des Betons, Transportieren und Verarbeiten des Betons, Nachbehandeln, Schalung, Betondeckung der Bewehrung / Qualitätssicherung: Produktionskontrolle beim Betonhersteller, Überwachungsprüfungen durch das Bauunternehmen / Prüfungen: Zement, Prüfen der Gesteinskörnungen, Prüfen des Betons / Schrifttum, Normen, Richtlinien, Merkblätter

Weber
Guter Beton
 Ratschläge für die
 richtige Betonherstellung

24., überarb. Aufl., 2014,
 128 S., 14,8 x 21 cm,
 33 Abb., 46 Taf., Kart.
 € 24,80
 ISBN 978-3-7640-0586-3