

AiF-Forschungsvorhaben- Nr. : 16328 N
Bewilligungszeitraum: 01.01.2010-30.06.2012

Forschungsthema:

Zielsichere Herstellung von Industrieböden für Frei- und Hallenflächen

1 Wissenschaftlich-technische Problemstellung

Industrieböden für Frei- und Hallenflächen sind in der Regel während ihrer Nutzung hohen Beanspruchungen ausgesetzt und benötigen daher dauerhafte Gebrauchseigenschaften. Somit werden hohe Anforderungen an ihre Oberfläche gestellt (zum Beispiel an den Verschleißwiderstand und die Ebenheit), die unmittelbar von der Stabilität des Betons bei Einbau und Bearbeitung abhängig sind.

Kriterien für geeignete Betonzusammensetzungen, die die betontechnologischen Anforderungen in verschiedenen Ausführungssituationen sicher erfüllen, können bisher nicht angegeben werden. Aus der Praxis wurden Schadensfälle gemeldet, die als Folge des Zusammenwirkens betontechnologischer Einflüsse, der Umgebungsbedingungen und der Herstellung (Einbau bzw. Baustellengegebenheiten) angesehen werden können. Es wird über eine mangelnde Stabilität des Betons durch Wasserabsondern (Bluten) und durch ungewöhnliche Erhärtungsvorgänge, wie verzögertes oder plötzliches Erstarren, bei Einbau und Bearbeitung unter Baustellenbedingungen berichtet.

Praktiker beklagen Schwierigkeiten bei der Planung und Herstellung von Betonböden. Ursache sei u. a. die z. T. unklare Lage im Regelwerk. Eine Besonderheit bei Industrieböden besteht darin, dass diese in der Regel keine tragenden Bauteile sind und die Regeln der DIN 1045 nicht in jedem Fall zur Anwendung kommen. Hinweise für Betonböden finden sich in Merkblättern des Bundesverbandes Estrich und Belag e.V. (BEB), des Deutschen Beton- und Bautechnik Vereines e.V. (DBV) und der Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V. (AGI). Bei genauerer Durchsicht der Merkblätter stellt man fest, dass die Anforderungen an die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit ohne Berücksichtigung der konkreten Randbedingungen der Bauweise gestellt werden. Die in der Praxis herangezogenen Anhaltswerte für die Planung und Ausführung von Industriebetonböden führen scheinbar nicht immer zu zufriedenstellenden Ergebnissen.

Betonwerke beklagen, dass sie nach DIN 1045 geeignete Betonrezepturen für die Expositionsclassen XM entwerfen sollen, jedoch keine Hinweise finden, wann ein Beton für eine entsprechende Oberflächenbehandlung geeignet ist. Zudem liegen keine geeigneten Abnahme-/Übergabekriterien vor. Bei auftretenden Schadensfällen führt die rechtliche Unsicherheit daher häufig zur Inanspruchnahme des Betonherstellers.

Wann die Stabilität einer Betonzusammensetzung im Hinblick auf eine geeignete Kornpackung, abgestimmte Fließmitteldosierung und planmäßige Wechselwirkung zwischen Fließmittel und Zement gegeben ist, kann zurzeit nicht sicher beantwortet werden. Die vielseitige Abhängigkeit des Wasserabsonderns des Betons von der Betonzusammensetzung und Faktoren wie Bauablauf und Bauteilgeometrie erfordern gezielte Erstprüfungen. Die Menge an abgesondertem Wasser, das bei Einbau und Bearbeitung tolerierbar ist, ist aber nicht defi-

niert. Darüber hinaus fehlen Kenntnisse über die Eigenschaften des Oberflächenmörtels in Abhängigkeit von Betonzusammensetzung und Betonverarbeitung. Die Zusammensetzung und die Dicke des Oberflächenmörtels bestimmen die Eigenschaften der Oberfläche und somit sind Kenntnisse darüber erforderlich, um die Bearbeitung in der Praxis zu erleichtern.

Zusammenfassend stellt man fest, dass zurzeit wissenschaftlich begründete und quantifizierte begründete Angaben und Prüfkriterien fehlen, die dem Planer, dem Betonhersteller und dem ausführenden Unternehmen als Hilfe bei der Auswahl der Betonzusammensetzung für Betonböden dienen können.

2 Forschungsziel und Lösungsweg

Ziel des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung von Empfehlungen zur zielsicheren Herstellung von Betonböden. Als primäres Ziel verfolgte dieses Forschungsvorhaben die Optimierung der Betonzusammensetzung zwecks Verringerung der Sedimentations- und Entmischungsneigung und unter Berücksichtigung der Stabilität des Betons. Dabei sollten das Wasserabsondern (Bluten) des Betons und seine Bewertung für die Bauweise einbezogen werden. Es wurde folgender methodischer Ansatz gewählt.

1. Erarbeitung einer praxisbasierten Datenbank und Auswertung von baustellenbegleitenden Untersuchungen, um zunächst praxisrelevante Anhaltswerte für die Betonzusammensetzungen hinsichtlich des Einbaus und der Mischungsstabilität zu gewinnen.
2. Erweiterung der Erkenntnisse zu baupraktisch relevanten Betonzusammensetzungen und zu geeigneten Prüfverfahren zur Beurteilung der Stabilität sowie Quantifizierung maßgebender Werte der Konsistenz, des Wasserabsonderns und des Erstarrens für die Bauweise im Labor.
3. Definition betontechnischer Maßnahmen zur Erzielung der für die betrachtete Bauweise adäquaten Eigenschaften (z. B. Entmischungsstabilität).
4. Praxisnahe Betonage eines im Transportbetonwerk hergestellten Betons nach den Empfehlungen aus dem Forschungsvorhaben.

3 Forschungsergebnisse

3.1 Ergebnisse der praxisbezogenen Betonboden-Datenbank und der baustellenbegleitenden Untersuchungen

Am Beginn des Projektes standen die Erarbeitung einer praxisbasierten Datenbank sowie die Dokumentation der Herstellung von Industriebetonböden auf Baustellen. Die Datenaufbereitung und die Untersuchungen auf den Baustellen wurden durch das Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung (IBF) durchgeführt. Es wurden 45 Baustellen im Jahr 2010 ausgewertet. Die Daten lieferten praxisrelevante Anhaltswerte für die Betonzusammensetzungen einschließlich einer Bewertung der Einbaueinflüsse in der Praxis.

In der Datenbank und bei den begleiteten Baustellen handelte es sich überwiegend um Betonböden, die in innenliegenden Hallenflächen hergestellt wurden. Die Betone wurden als Transportbeton an die Baustellen geliefert. In der Regel wurden Betone der Festigkeitsklasse C 25/30 bzw. C 30/37 mit CEM II- und CEM III-Zementen der Zementfestigkeitsklassen 32,5 N und 42,5 N hergestellt, s. Bild 1. Der Zementgehalt lag zwischen 320 und 340 kg/m³; der

Wasserzementwert zwischen 0,44 und 0,55. Die Gesteinskörnungen bestanden überwiegend aus Kies 0-16 mm bzw. 0-32 mm, teilweise aus Splitt 0-22 mm.

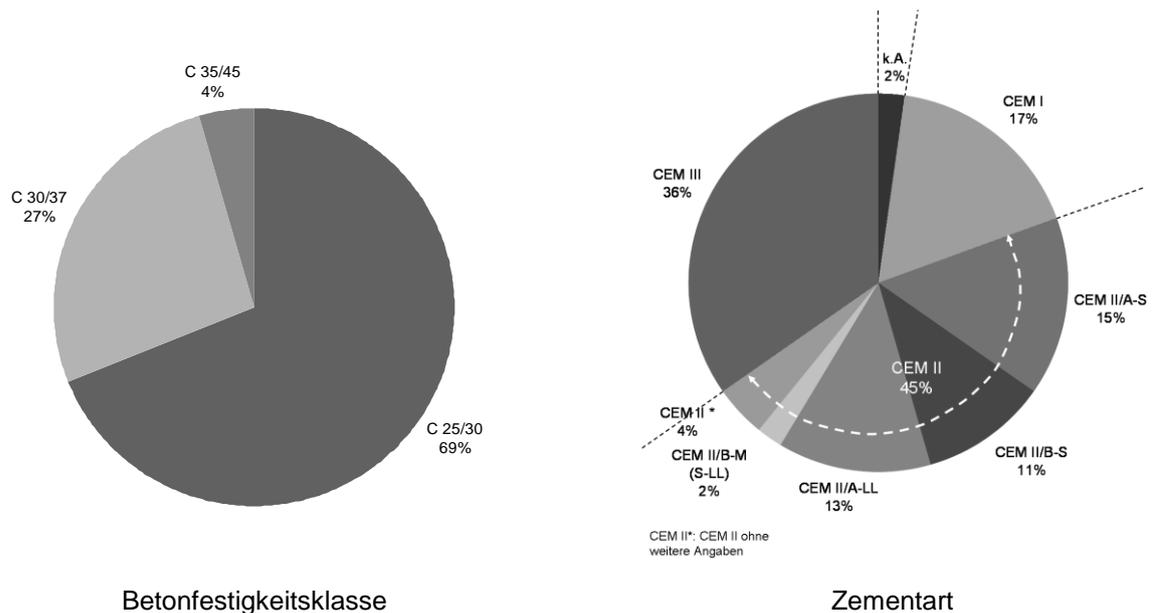


Bild 1 Daten zur Betonzusammensetzung (Auswertung basiert auf einer Stichprobe von 45 deutschen Baustellen im Jahr 2010; k. A.: keine Angaben)

Alle Betone wurden mit Zusatzmitteln (BV oder FM) auf die an der Baustelle geforderte Konsistenz eingestellt. Die Betone wurden i. d. R. in der Konsistenzklasse F4 eingebaut und das Wasserabsondern wurde mit qualitativen Angaben der ausführenden Unternehmen bewertet, s. Bild 2. Im Zuge der Dokumentation der Baustellen wurde festgestellt, dass eine max. Blutwassermenge von ca. 4 kg/m³ gemessen im „Bluteimertest“ nach DBV-Merkblatt [DBV07] der qualitativen Aussage „gering“ entsprach.

Die Datensammlung lieferte zudem Erkenntnisse zum Zeitfenster, innerhalb dessen üblicherweise das Glätten der Betonoberfläche stattfindet bzw. eine Verschleißschicht (Hartstofffeinstreuung, Hartstoffestrich) aufgebracht werden kann. Die Liegezeit vom Einbau des Betons bis zum Beginn der Bearbeitung der Oberfläche wird durch die Luft- und Frischbetontemperatur beeinflusst. Steigende Luft- und Frischbetontemperaturen verkürzen tendenziell den Zeitraum bis zum Beginn der Bearbeitung der Oberfläche. Eine eindeutige Abhängigkeit der Bearbeitungszeiten von der Zementart konnte nicht gefunden werden. Eine eindeutige Abhängigkeit vom Wasserzementwert oder vom Ausbreitmaß konnte ebenfalls nicht gefunden werden.

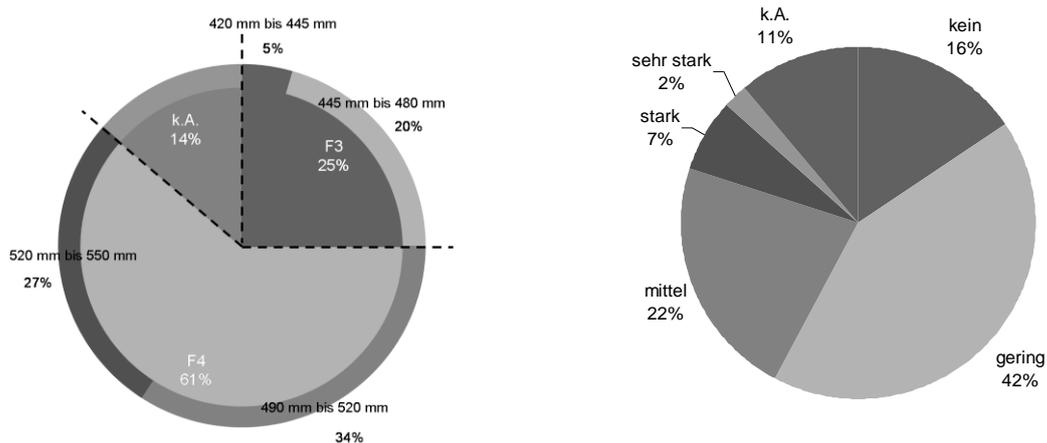


Bild 2 Daten zu Frischbetoneigenschaften (Auswertung basiert auf einer Stichprobe von 45 deutschen Baustellen im Jahr 2010; k. A.: keine Angaben)

3.2 Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen

Es wurden siebenundsechzig Betonzusammensetzungen ohne und mit Zusatzmittel im Labor untersucht. Es wurden acht Zemente, achtzehn Sieblinien und vier Zusatzmittel eingesetzt.

Im Zentrum der Betrachtungen stand die Auswirkung unterschiedlicher Betonzusammensetzungen auf die Stabilität. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt: Bestimmung der Konsistenz und des Wasserabsonderns mit dem „Bluteimer“, optische Beurteilung der Entmischung des Frischbetons und der Bewertung des Querschnitts erhärteter Betone, Bestimmung der Zusammensetzung im Betonquerschnitt, Untersuchungen zur Bestimmung des Erstarrens und der Erhärtung sowie Untersuchungen des Wasserabsonderns mit der Filterpresse.

3.2.1 Untersuchte Betonzusammensetzungen

Folgende Zemente wurden verwendet: CEM I 32,5 R, CEM I 42,5 R, CEM I 52,5 R; CEM II/B-S 32,5 R, CEM II/B-S 42,5 N; CEM II/A-LL 32,5 R, CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R; CEM III/A 42,5 N).

Der Zementgehalt der Betone variierte zwischen 300 kg/m³ und 360 kg/m³. Die Betone wurden mit einem Wasserzementwert zwischen 0,50 und 0,60 hergestellt. Das Zugabewasser wurde dem Düsseldorfer Leitungsnetz entnommen.

Es wurden die Sieblinien A8/B8, A16/B16 und A32/B32 mit und ohne Zugabe der Fraktion 0 / 0,25 mm untersucht. Es wurden Rheinkies-Gesteinskörnungen verwendet.

Zur Einstellung der Konsistenz wurden Zusatzmittel verwendet. Es wurde ein handelsübliches Fließmittel auf der Basis des Melamin- und Naphthalinsulfates (MNS) und zwei Polycarboxylatether (PCEs) ausgewählt. Das MNS wird für die Fertigteilindustrie und auf Baustellen verwendet. Das PCE-Fließmittel „Typ Fertigteilindustrie“ wird nur für die Fertigteilindustrie verwendet. Das PCE „Typ Konsistenzhalter“ wird im Bereich Transportbeton zur Konsistenz-

steuerung für sehr lange Transport- und Verarbeitungszeiten verwendet. Ergänzend wurde ein handelsüblicher Betonverflüssiger BV verwendet.

3.2.2 Frischbetoneigenschaften der Betone

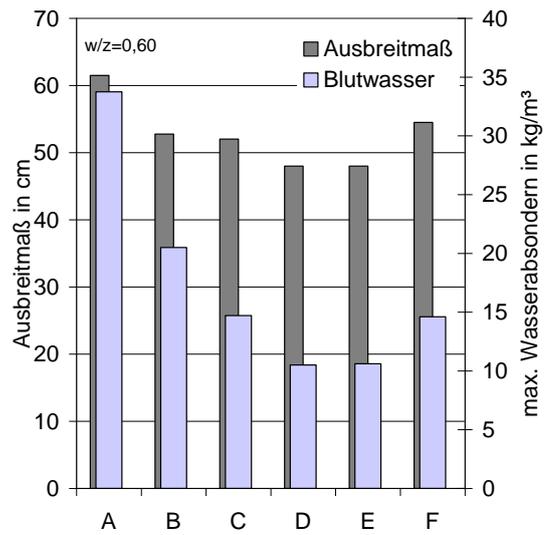
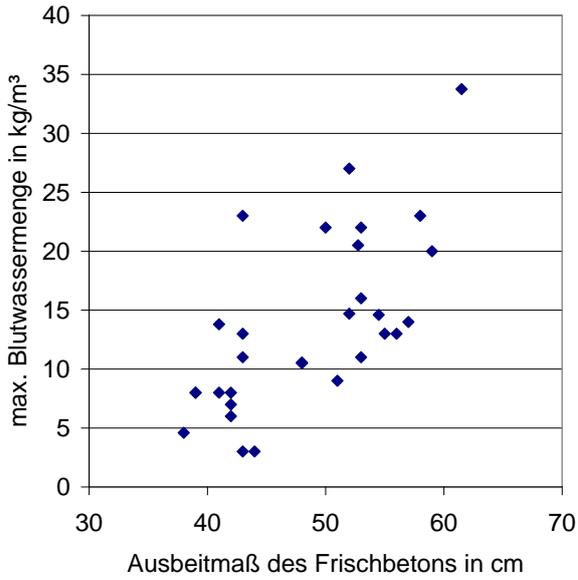
Zur Erfassung des Wasserabsonderns wurde der „Bluteimertest“ nach [DBV07] benutzt. Das Verfahren liefert Ergebnisse je nach Betonzusammensetzung ca. 3 bis 5 Stunden nach Mischende. Systematische Untersuchungen zum Einfluss der Betonzusammensetzung auf die Ergebnisse des Bluteimertests lagen zu Beginn des Projektes veröffentlicht nicht vor. Zu vermutende betontechnologische Zusammenhänge konnten teilweise bestätigt werden. Die Blutwassermenge ist stark abhängig vom Wassergehalt, von der Sieblinie der Gesteinskörnung und von Zusatzmittelart und -dosierung. Hierbei sind verfahrensbedingte Einflüsse auf das Ergebnis zu beachten.

In der Regel zeigten Betone mit CEM II- und CEM III/A-Zementen bei gleicher Betonzusammensetzung eine geringere Blutneigung als Beton mit CEM I-Zementen. Die Zunahme der Festigkeitsklasse der verwendeten CEM I-Zemente aus dem gleichen Zementwerk führte zu einer Abnahme des Wasserabsonderns und der gesamten Prüfdauer. Das kann auf die Mahlfineinheit der Zemente und auf die damit verbundene Beschleunigung des Erstarrens zurückgeführt werden.

Die Verringerung des Größtkorns der Gesteinskörnung bzw. die Verwendung von Quarzmehlen führten zu einer z. T. deutlichen Verringerung des Wasserabsonderns.

Bei Beton ohne verflüssigende Zusatzmittel vergrößerte sich das Wasserabsondern mit größerem Ausbreitmaß, s. Bild 3.

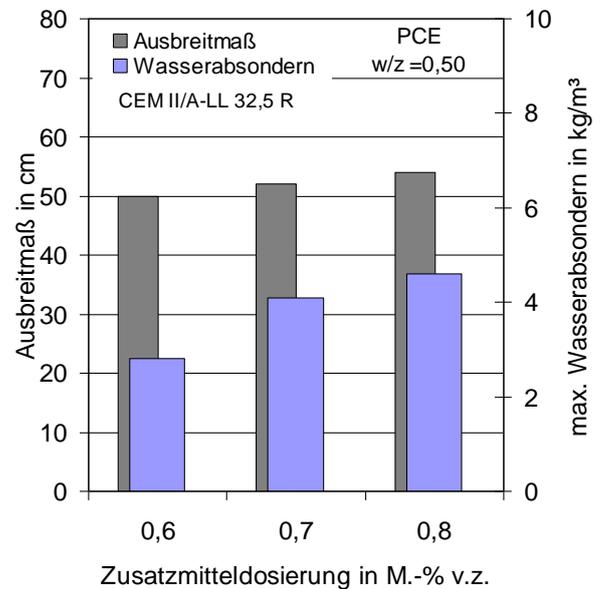
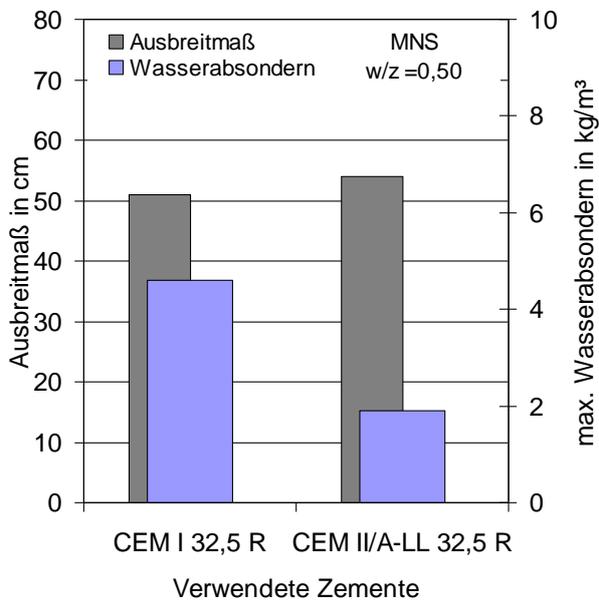
Wie auch an anderen Stellen festgestellt [Ric06a], beeinflusst die Wechselwirkung zwischen Zement und Zusatzmittel neben anderen betontechnologischen Parametern maßgeblich die Neigung von Beton zum Wasserabsondern bzw. Entmischen. Bei Beton mit verflüssigenden Zusatzmittel zeigte sich ein deutlicher Einfluss der Zusatzmittelart und der Dosierung auf die Blutwassermenge bei vergleichbarem Ausbreitmaß. Bild 4 zeigt dies beispielhaft. Die Konsistenzsteuerung erfolgte mit Zusatzmittel. Die Zielkonsistenz betrug nach 35 Minuten 540 ± 20 mm. Man erkennt deutlich, dass in Abhängigkeit der Zement/Zusatzmittelkombination von einem z. T. erheblichen Einfluss auf das Wasserabsondern ausgegangen werden muss.



z zwischen 320 und 360 kg/m³;
 w/z zwischen 0,50 und 0,60;
 A8/B8; A16/B16; A32/B32;
 Verschiedene Zemente

z = 340 kg/m³; w/z = 0,60; A16/B16
 A: CEM I 32,5 R; B: CEM I 32,5 R; C: CEM II/A-LL 32,5 R;
 D: CEM II/B-S 42,5 N; E: CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R;
 F: CEM III/A 42,5 N

Bild 3 Ausbreitmaß und Wasserabsondern bei Betonen ohne Zusatzmittel

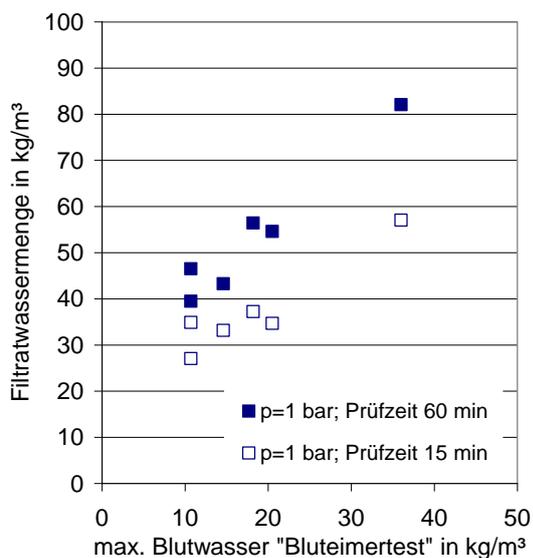


z = 340 kg/m³; w/z = 0,50; A16/B16; Mehlkorngesamt im Beton = 340 kg/m³

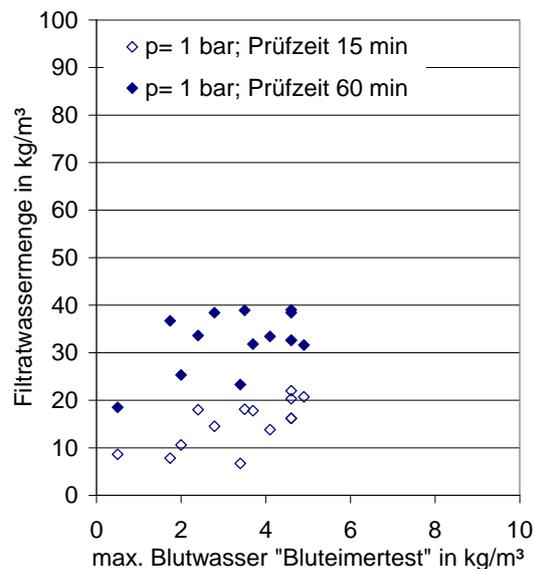
Bild 4 Ausbreitmaß und Wasserabsondern bei Betonen mit Zusatzmittel. Beispiele

Das bis hierher verwendete Verfahren „Bluteimertest“ zeigte in diesem Programm und an anderer Stelle [HBr12] nicht unerhebliche Streuungen. Darüber hinaus liegen die Ergebnisse erst rd. 3 bis 5 Stunden nach dem Betoneinbau vor. Eine alternative Methode, mit der sich Ergebnisse schneller und reproduzierbar ermitteln lassen, wäre somit wünschenswert. Daher wurden orientierende Untersuchungen mit der Filterpresse in Anlehnung an [MOV09] mit Veränderung des Prüfdruckes von 3 bar auf 1 bar durchgeführt.

Insgesamt ergab sich eine gute Übereinstimmung in der Aussage der Filterpresse und des Bluteimers bei Beton mit $w/z = 0,60$ ohne Zusatzmittel, s. Bild 5 links. Die zuvor gefundenen betontechnischen Einflüsse wurden überwiegend bestätigt. Allerdings wird der Zusammenhang bei Variation weiterer Einflussfaktoren (verschiedene w/z -Werte, Zemente, Sieblinien, Zusatzmittel) schwächer, s. Bild 5 rechts.



$z = 340 \text{ kg/m}^3$; $w/z = 0,60$; ohne Zusatzmittel;
Sieblinie A16/B16; verschiedene Zemente



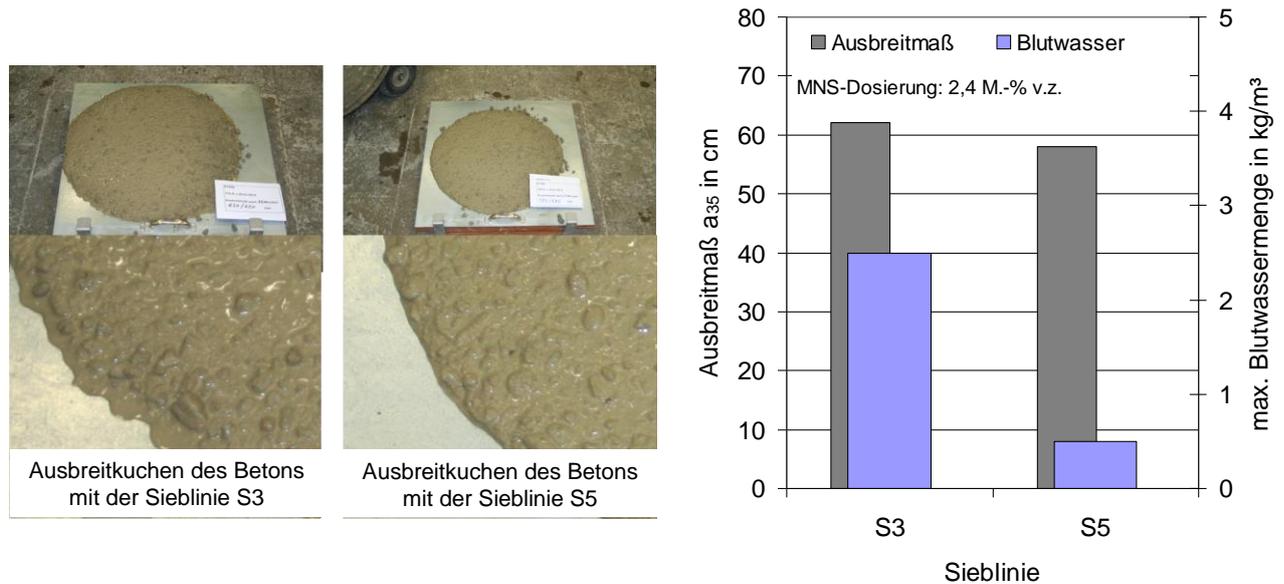
$z = 340 \text{ kg/m}^3$; verschiedene w/z , Sieblinie, Zemente; mit verschiedenen Zusatzmitteln

Bild 5 Filtratwassermenge in Abhängigkeit von der max. Blutwassermenge im Bluteimertest

Das Filterpresseverfahren bietet den Vorteil, dass innerhalb eines überschaubaren Zeitfensters Ergebnisse erzielt werden können, die in ihrer Aussage die Ergebnisse des Bluteimertests bestätigen. Es erscheint lohnenswert, durch weitere Untersuchungen die Aussagefähigkeit der Methode in der Zukunft unter Beweis zu stellen.

3.2.3 Stabilität des Betons

Im Zentrum der Betrachtungen der Untersuchungen stand die Auswirkung der Betonzusammensetzung auf die Stabilität des Betons. Die Stabilität des Betons wurde zunächst am Mischende bei der Bestimmung des Ausbreitmaßes beurteilt. Am Mischende deuten Leim- oder Wasserränder des Ausbreitkuchens auf Stabilitätsprobleme des Betons hin. Betone zeigten bei ähnlichen Ausbreitmaßen unterschiedlich stark ausgeprägte Ränder des Ausbreitkuchens. Es wurden abnehmende Ränder und Blutwassermengen bei zunehmendem Mehlkorngesamtgehalt und bei abnehmendem Wassergehalt bzw. Zusatzmitteldosierung festgestellt, s. Bild 6.



$z = 340 \text{ kg}/\text{m}^3$; $w/z = 0,50$; MNS; CEM II/B-S 42,5 N; Sieblinie A16/B16;
 Mehlkorn im Beton mit der Sieblinie S3 $370 \text{ kg}/\text{m}^3$ und mit S5 $380 \text{ kg}/\text{m}^3$

Bild 6 Stabilität des Betons am Mischende: Ausbreitkuchen und Frischbetoneigenschaften

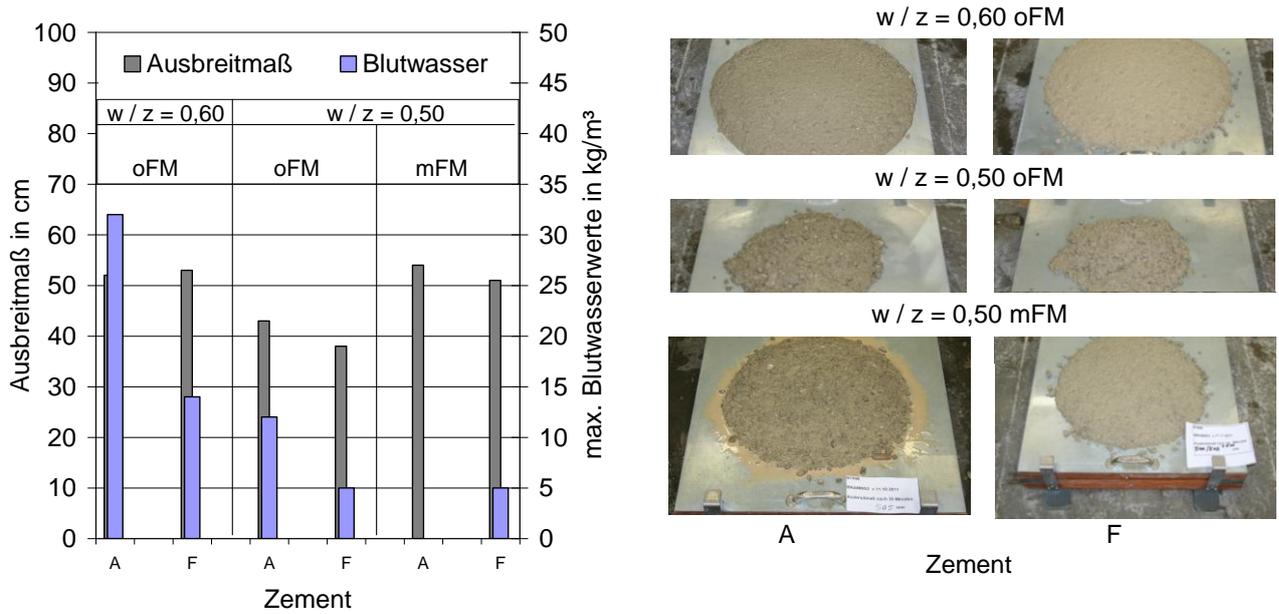
Die Ergebnisse zeigen, dass die Blutwassermenge allein für eine Stabilitätsbeurteilung nicht ausreicht. Bild 6 zeigt, dass eine mehr als verdoppelte Blutwassermenge nicht zu einer deutlich verstärkten Entmischung führte.

Die Ergebnisse weiterer Betonzusammensetzungen in Bild 7 bestätigen das. Am Beispiel des Betons mit Zement A, $w/z = 0,60$ ohne Fließmittel macht deutlich, dass sich trotz einer max. Blutwassermenge von rd. $30 \text{ kg}/\text{m}^3$ ein stabiler „Ausbreitkuchen“ auf dem „Ausbreitisch“ einstellte.

Allerdings wurde mit zunehmenden Blutwassermengen ein zunehmender Wassergehalt-Gradient im Betonquerschnitt bestimmt. Der Wassergehalt-Gradient war stark vom Wassergehalt des Betons abhängig (Bild 8). Die Untersuchungen zum Einfluss des Wasserabsonderns auf die Zusammensetzung des Betons über die Höhe des Probekörpers wurden mit dem „Bluteimer“ durchgeführt. Der Wassergehalt und die Verteilung der Gesteinkörnungen des Betons wurden über die Höhe der Prüfkörper ermittelt. Bild 8 zeigt, dass der Gradient bis zu 6 h mit zunehmendem w/z -Wert zunimmt. Im Alter von 24 h, bedingt durch die Zementhydratation, nähern sich die Wassergehalte oben und unten bei beiden w/z -Werten.

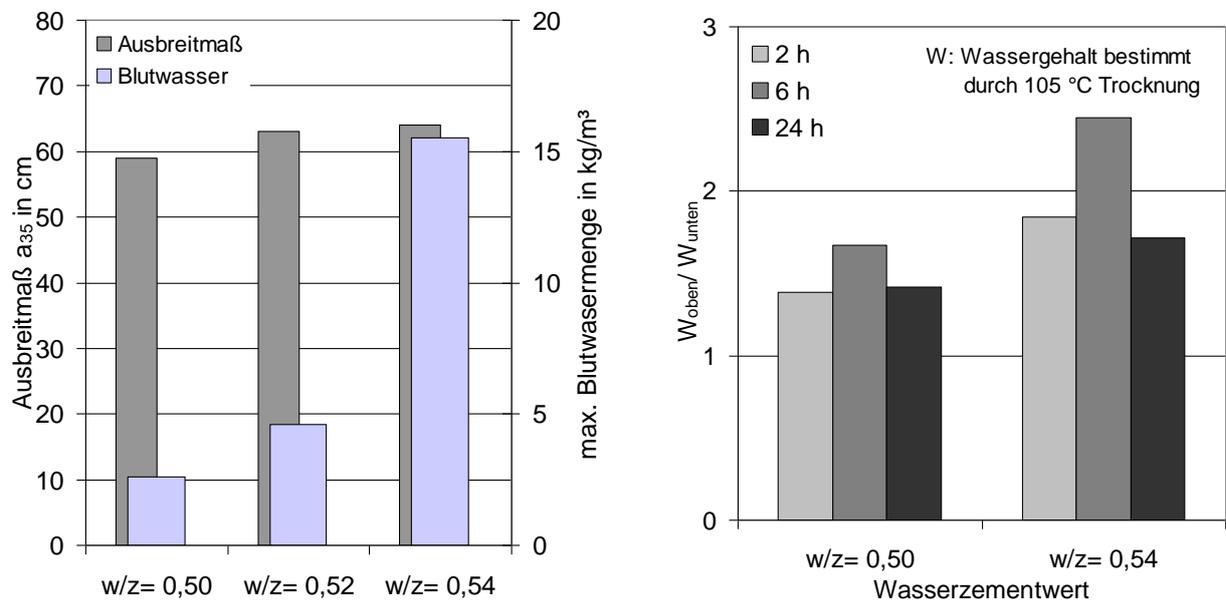
Die optische Beurteilung des erhärteten Betons an Prüfkörpern aus den „Bluteimern“ und Bohrkernen zeigte, dass sich trotz Einhaltung der Zielwerte der Konsistenz und Blutwassermenge durch das Wasserabsondern eine veränderte Betonzusammensetzung im Querschnitt einstellen kann und sich ggf. Mörtelanreicherungen an der Oberfläche bilden können.

Die Ergebnisse zeigen, dass erweiterte Erstprüfungen erforderlich sind, um die Stabilität des Betons unter Berücksichtigung der Zielwerte von Konsistenz und Wasserabsondern sicherstellen zu können.



A: CEM I 32,5 R; F: CEM III/A 42,5 N; z = 340 kg/m³; A16/B16; Mehlkorngelalt im Beton 345 kg/m³
 oFM: ohne Zusatzmittel; mFM: mit Zusatzmittel;
 Bei dem Beton mit dem Zement A und mFM wurde das Blutwasser nicht bestimmt

Bild 7 Frischbetoneigenschaften und Ausbreitkuchen verschiedene Betone



z = 340 kg/m³; CEM II/A-LL 32,5 R ; Sieblinie A16/B16; MNS: 1,4 M.-% v.z

Bild 8 Frischbetoneigenschaften und Wassergehalt-Gradienten im Querschnitt

3.2.4 Ergebnisse der Optimierung der Betonzusammensetzung im Labor

Die Optimierung der Betonzusammensetzung im Labor wurde an einem zunächst relativ instabilen Beton durchgeführt. Aus der Datensammlung, Literaturdaten und der Stellungnahme ausführender Firmen im Projektbegleitenden Ausschuss wird für Industriebetonböden eine Zielkonsistenz von rd. 540 mm beim Einbau und ein Wasserabsondern von rd. 3 kg/m³ im Winter bzw. 5 kg/m³ im Sommer als zielführend angesehen. Dabei sollten die Betone mit einem Zementgehalt von 340 kg/m³ und einem Wasserzementwert von 0,50 unter Verwendung von Zusatzmitteln hergestellt werden.

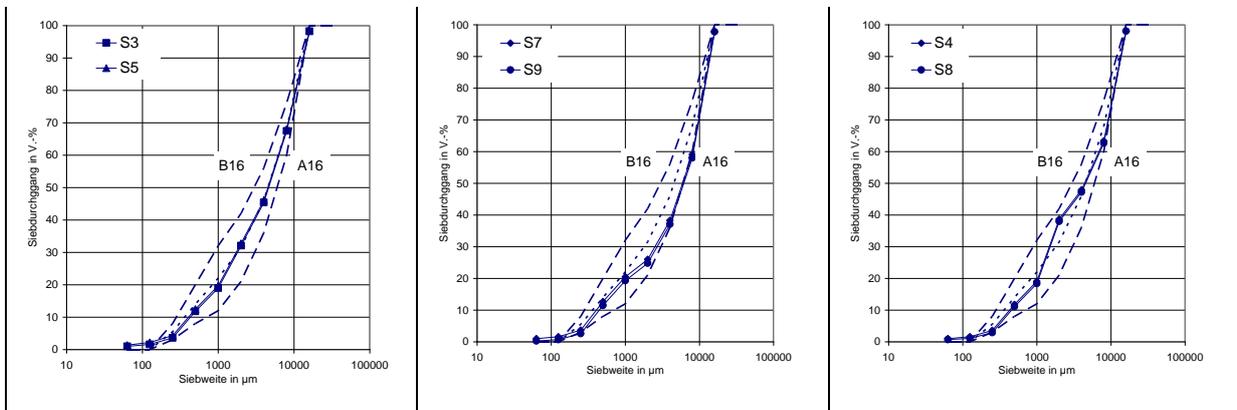
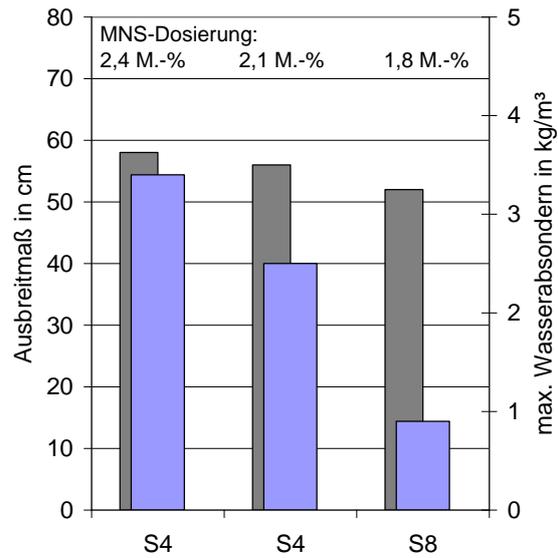
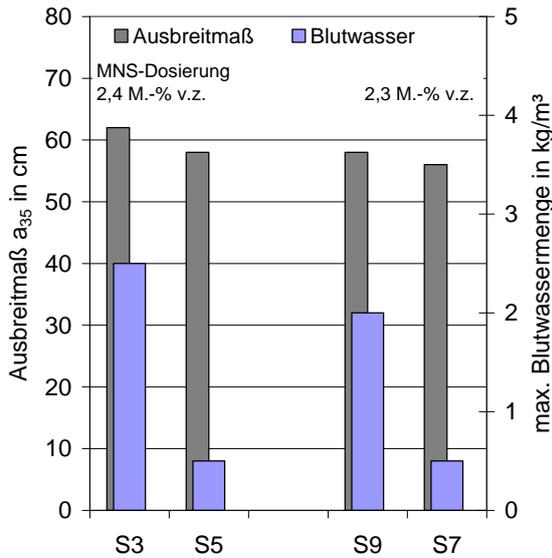
Die Auswirkung der Sieblinie auf die Verarbeitung des Frischbetons ist von vielen weiteren Faktoren abhängig. Der Wasseranspruch einer Betonzusammensetzung wird durch die Kornzusammensetzung, die Zementleimmenge und den Zementgehalt bestimmt. Dabei werden die Verarbeitbarkeit, Sedimentation und Wasserabsondern u. a., von der Verflüssigungswirkung des Zusatzmittels geprägt und Eignungsprüfungen sind unerlässlich [MRe09, Roe12, Spr07].

Um den Einfluss der Kornzusammensetzung auf die Konsistenz und das Wasserabsondern zu untersuchen, wurde der Kornbereich 0/2 mm an den Sieblinien A16/B16 gezielt variiert. Ziel war die Entstehung einer stabilen Mischung bei Einhaltung der o. g. Zielwerte für Konsistenz und Wasserabsondern. Die Stabilität wurde durch die optische Bewertung von Entmischungerscheinungen im Frisch- und Festbeton beurteilt.

Die Ergebnisse zeigten, dass eine Zunahme des Mehlkorngehaltes im Beton zur Abnahme des Wasserabsonderns bei starkem Einfluss der Zusatzmitteldosierung führt. Bild 9 oben links zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen bei gleichbleibender Dosierung des Zusatzmittels. Um eine stabile Betonmischung bei einer Abnahme des Mehlkorngehalts im Beton zu erhalten, ist die Fließmitteldosierung gezielt zu verringern. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Abnahme des Mehlkorngehalts um 10 kg/m³ und der Zusatzmitteldosierung um 0,3 M.-% v. z. zu einer deutlichen Abnahme des Wasserabsonderns führen kann, vgl. Bild 9.

Entsteht durch die Veränderung der Sieblinie eine höhere Packungsdichte der Gesteinskörnung, auf die jedoch nicht mit einer Anpassung insbesondere des Wassergehalts reagiert wird, so ist mit einem Wasserüberschuss und Wasserabsondern zu rechnen. Bild 10 zeigt, dass eine Verringerung des Anteils der Fraktionen 0 bis 2 mm bei gleichbleibendem Mehlkorngehalt und Feinsandgehalt des Betons zur Verringerung des Wasserabsonderns von ca. 3,5 kg/m³ auf 0,5 kg/m³ führt. Der mit der Sieblinie S4 hergestellte Beton zeigte bei höchster Packungsdichte und niedrigstem Wasseranspruch der Sieblinie eine leichte Leimumrandung im Ausbreitversuch. Die Bildung eines Wasser- bzw. Leimrandes beim Ausbreitversuch wurde umso größer, je niedriger der Mehlkorngehalt bei unverändertem Sandanteil war.

Durch das Spalten der Festbetonprobekörper zeigte sich der z. T. deutliche Einfluss der Sieblinie auf die Zusammensetzung des Betons, s. Bild 11.



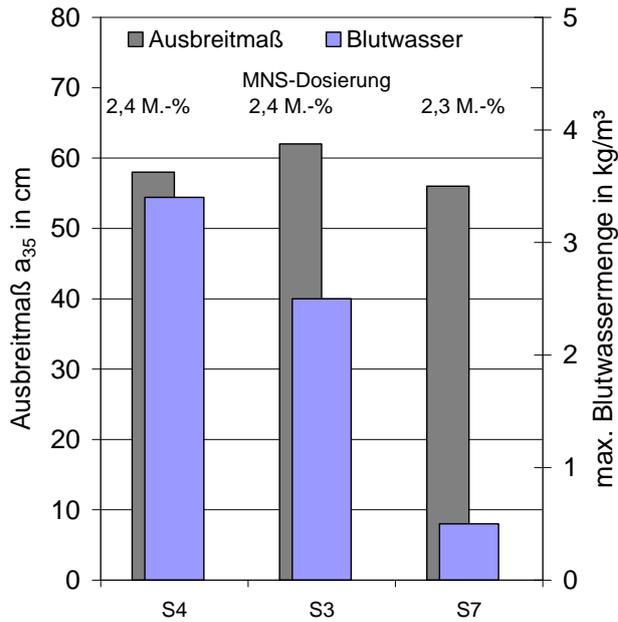
Sieblinie und Mehlkorngehalt des Betons

S3	370 kg/m^3	S9	350 kg/m^3	S8	360 kg/m^3
S5	380 kg/m^3	S7	370 kg/m^3	S4	370 kg/m^3

$z = 340 \text{ kg}/\text{m}^3$; $w/z = 0,50$; Zement D: CEM II/B-S 42,5 N; Zusatzmittel MNS

Bild 9 Abhängigkeit des Ausbreitmaßes und Wasserabsondern vom Mehlkorngehalt; verschiedene Zusatzmitteldosierungen

Untersuchungen an praxisnahen Versuchsflächen erfolgten an Betonplatten im Labor mit den Abmessungen 50 cm x 50 cm und einer Dicke von 20 cm und 25 cm. Die Untersuchung der Blutwassermenge wurde in Anlehnung an das DBV-Merkblatt durchgeführt. Die Untersuchungen mit rechteckigen Querschnitten zeigten, dass die gemessene Blutwassermenge auf der Platte gegenüber den Ergebnissen nach dem DBV-Eimer leicht abnahm und sich mit zunehmender Dicke der Platte das Wasserabsondern tendenziell verringert.



Daten zur Betonzusammensetzung	Sieblinie		
	S4	S3	S7
Gesteinskörnung der Fraktion 0 bis 2 mm in Vol.-%	39	32	26
Mehlkorn- und Feinsandgehalt 0 bis 0,25 mm des Betons in kg/m³	406	406	408
Mehlkorngehalt 0 bis 0,125 mm des Betons in kg/m³	370		
Zementgehalt in kg/m³	340		
Wassergehalt in kg /m³	170		
Zement: CEM II/B-S 42,5 N			

Bild 10 Frischbetoneigenschaften der Betone mit 370 kg/m³ Mehlkorn und Daten zur Betonzusammensetzung



Sieblinie S4; MNS: 2,40 M.-% v.z

Sieblinie S7; MNS: 2,30 M.-% v.z.

z=340 kg/m³; w/z=0,50; Mehlkorn des Betons: 370 kg/m³; Zement D: CEM II/B-S 42,5 N; Zusatzmittel

Bild 11 Optische Beurteilung des Frischbetons und des erhärteten Betons

Bohrkerne aus den Platten ermöglichten eine Beurteilung der Stabilität am Festbeton. Die optische Bewertung des Querschnitts zeigte, dass sich der Beton bei Einhaltung der zuvor formulierten Zielwerte für das Ausbreitmaß und das Wasserabsondern am Frischbeton in

Abhängigkeit der Sieblinie stark voneinander unterscheiden konnte und sich z. T. deutliche Leimablagerungen an der Oberfläche zeigten. Bild 12 zeigt ein Beispiel.

Durch Einsatz von Rüttelflaschen wurde eine leichte Zunahme des gemessenen Wasserabsondorns im Vergleich zum Rütteltisch festgestellt. Eine Verlängerung der Verdichtungszeiten führte ebenfalls zu einer leichten Abnahme des Wasserabsondorns.

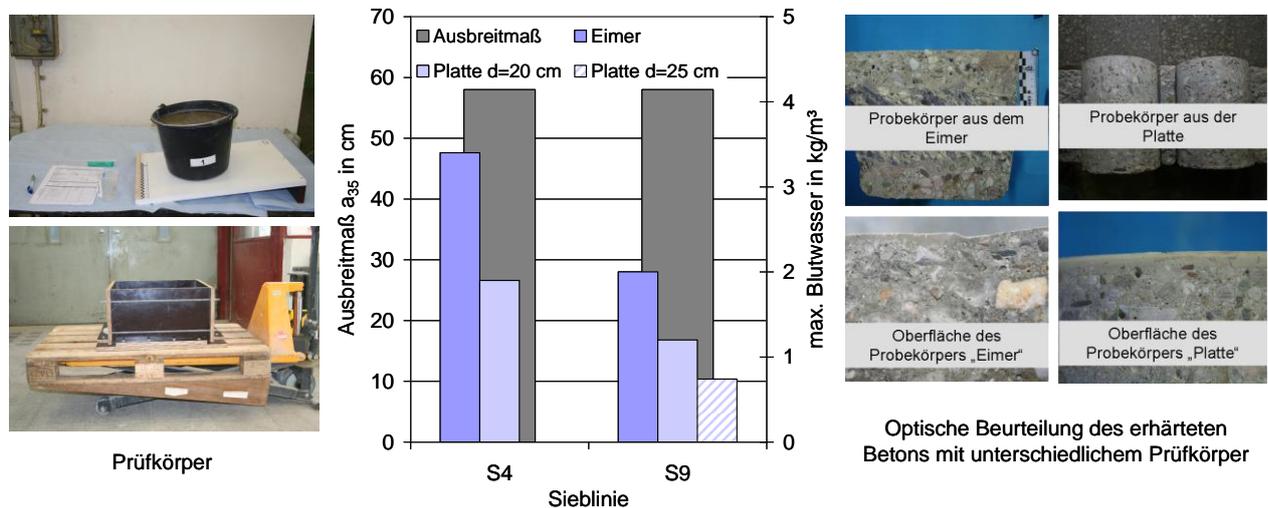


Bild 12 Geometrieinfluss auf die Frischbeton- und Festbetoneigenschaften
($z = 340 \text{ kg/m}^3$; $w/z = 0,50$; Zement CEM II/B-S 42,5 N; Zusatzmittel: MNS)

Der Transport des Frischbetons zur Baustelle ist als weitere Einflussgröße zu berücksichtigen. Längere Mischzeiten verringerten teilweise die Blutwassermenge. Bei einem Beton mit dem PCE Typ „Konsistenzhalter“ führten längere Mischzeiten zu einer annähernd vollständigen Unterbindung des Wasserabsondorns. Dies ist im Falle der Herstellung von Industriebetonböden aber nicht zielführend [DBa11].

Eine direkte Übertragung der Werte aus dem Bluteimertest auf Praxisverhältnisse ist somit nicht möglich (vgl. auch [wer07]). Darüber hinaus sind die verfahrensbedingten Streuungen zum Teil erheblich und liegen teilweise in der Größenordnung der diskutierten Kriterien (vgl. auch [HBr12]).

3.3 Ergebnisse der Praxisbetonage

Die Herstellung größerer Bodenflächen fand am 28.02.2012 im Institut für Baustoffprüfungen (IBF), Troisdorf statt. Auf der Grundlage der Laboruntersuchungen wurde der Beton in einem Transportbetonwerk hergestellt. Insgesamt wurden 16 m^3 Transportbeton in zwei Lieferungen verarbeitet. Bei Ankunft des Betons wurde zur Einstellung der angestrebten Zielkonsistenz (Ausbreitmaß) von rd. 540 mm ein Fließmittel des Typs MNS zugegeben. Die Lufttemperatur in der Halle betrug rd. $17 \text{ }^\circ\text{C}$. Der Beton wurde mit dem Zement CEM II/B-S 42,5 N hergestellt. Der Zementgehalt betrug 340 kg/m^3 und der Wasserzementwert 0,50.

Der Beton ließ sich gut verarbeiten und problemlos abscheiben und glätten. Nach dem Verdichten wurde die Betonoberfläche abgezogen. Bis zum Beginn der weiteren Oberflächenbearbeitung setzte sich bei allen Versuchsflächen nur eine geringe Menge Wasser an der

Oberfläche ab. Beim Einbau des Betons sowie bei der Oberflächenbearbeitung des Betons wurden zwischen den einzelnen Versuchsflächen keine wesentlichen Unterschiede festgestellt. Bild 13 zeigt Fotos der Betonage und der Flächen.



Bild 13 Betonage horizontaler Flächen am 29.02.2012

Zum Vergleich wurden weitere Untersuchungen mit dem Beton gleicher Betonzusammensetzung im Forschungsinstitut durchgeführt. Einen Überblick wesentlicher Untersuchungsergebnisse im Vergleich zeigt Bild 14.

Die Blutwassermenge im Eimertest des Praxisbetons betrug $2,3 \text{ kg/m}^3$. Der Vergleichsversuch im Labor des FIZ ergab einen Wert von $3,5 \text{ kg/m}^3$. Erklärbar werden diese Unterschiede durch die Überlagerung mehrerer Effekte, die zuvor bereits identifiziert wurden: Längere Mischzeit des Praxisbetons, Verdichtung der Bluteimer auf dem Rütteltisch im Vergleich zur „Handverdichtung“ bei der Praxisbetonage. Alle genannten Parameter tragen zur Verringerung des Wasserabsonderns bei.

Die Würfeldruckfestigkeiten des Betons der Praxisbetonage waren zu allen Prüfterminen geringer als die des Laborbetons. Die Unterschiede können mit dem erhöhten Wassergehalt des Praxisbetons gegenüber dem Laborbeton erklärt werden, weil im Labor die Gesteinskörnungen trocken verwendet werden und der Wassergehalt des Fließmittels an der Baustelle nicht berücksichtigt wurde.

Die in der IBF-Halle hergestellten Flächen wiesen keine Mörtel- bzw. Zementleimanreicherungen an den Oberflächen auf.

Die Ergebnisse aus Labor und Praxis waren grundsätzlich vergleichbar. Die Eignungsprüfungen unter Laborbedingungen führten zu einer Betonzusammensetzung, die für die qualifizierte Verarbeitung zu einer hochwertigen Industriebetonbodenfläche geeignet war (Bilder 13 und 15).

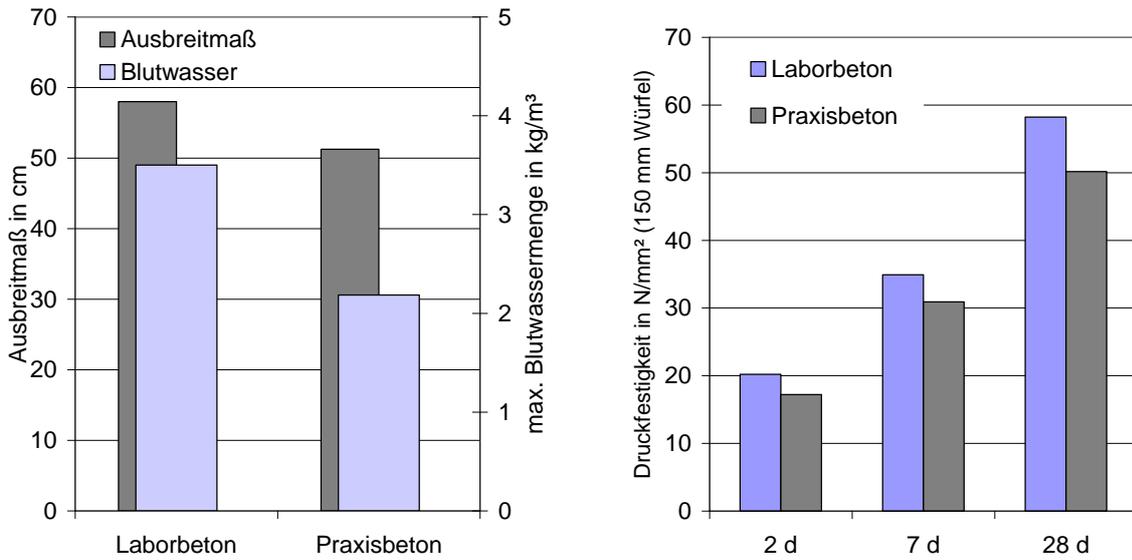


Bild 14 Frischbeton- und Festbetoneigenschaften des Laborbetons und des Praxisbetons. Mittelwerte

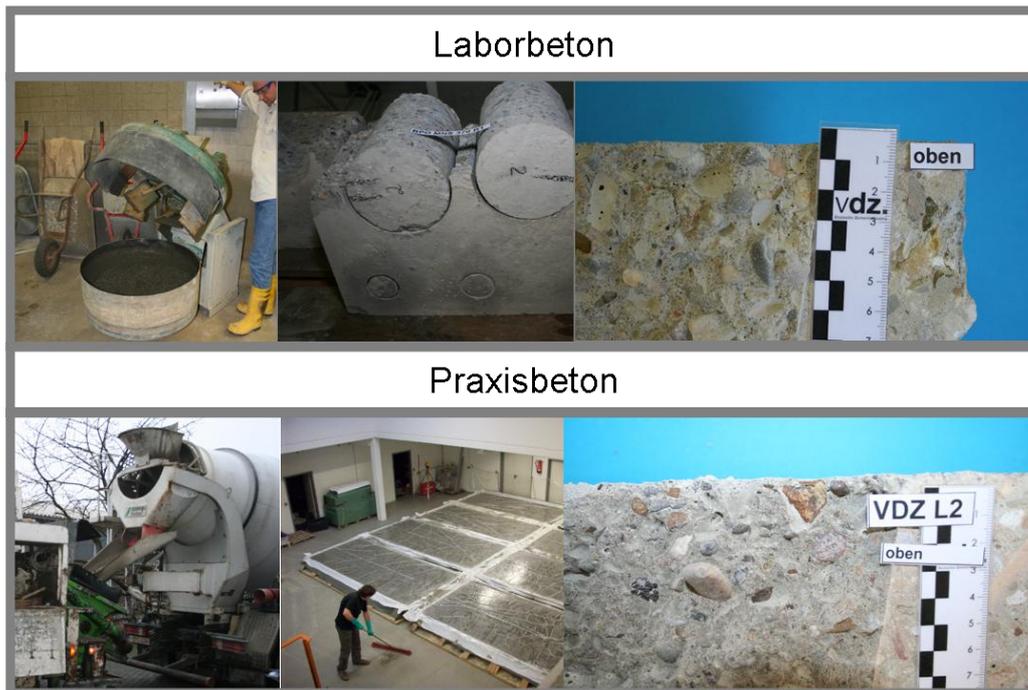


Bild 15 Laborbeton und Praxisbeton: Betonherstellung, horizontale Fläche und erhärteter Betonschnitt

4 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden Untersuchungen mit dem Ziel der Erarbeitung von Empfehlungen zur zielsicheren Herstellung von Betonböden durchgeführt.

Es wurden Erkenntnisse zu praxisrelevanten Anhaltswerten für die Betonzusammensetzung, für die Einbaukonsistenz und für das Wasserabsondern gewonnen. Hierfür wurden eine pra-

xisbasierte Datenbank aufgebaut und baustellenbegleitende Untersuchungen durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen wurden 45 Baustellen im Jahr 2010 ausgewertet.

Aus den Ergebnissen der Datenbank und der Baustellendokumentation kann festgestellt werden, dass die eingebauten Betone i. d. R. mit CEM II- und CEM III-Zementen hergestellt wurden. Der Zementgehalt lag zwischen 320 und 340 kg/m³; der Wasserzementwert zwischen 0,44 und 0,55. Die Betone wurden i. d. R. in der Konsistenzklasse F4 eingebaut und das Wasserabsondern wurde mit qualitativen Angaben der ausführenden Unternehmen bewertet. Im Zuge der Dokumentation der Baustellen wurde festgestellt, dass eine max. Blutwassermenge von ca. 4 kg/m³ gemessen im „Bluteimertest“ der qualitativen Aussage „gering“ entsprach.

Es wurden siebenundsechzig Betonzusammensetzungen ohne und mit Zusatzmittel im Labor untersucht. Im Zentrum der Betrachtungen der Untersuchungen stand die Auswirkung der Betonzusammensetzung auf Wasserabsonderung und Sedimentation.

Zur Erfassung des Wasserabsonderns wurde der „Bluteimertest“ benutzt. Das Verfahren liefert Ergebnisse je nach Betonzusammensetzung ca. 3 bis 5 Stunden nach Mischende. Die Blutwassermenge ist stark abhängig vom Wassergehalt, von der Sieblinie und von Zusatzmittelart und -dosierung. Hierbei sind verfahrensbedingte Einflüsse auf das Ergebnis zu beachten.

Die Stabilität des Betons wurde zunächst am Mischende bei der Bestimmung des Ausbreitmaßes beurteilt. Am Mischende deuten Leim- oder Wasserränder des Ausbreitkuchens auf Stabilitätsprobleme des Betons hin. Betone zeigten bei ähnlichen Ausbreitmaßen unterschiedlich stark ausgeprägte Ränder des Ausbreitkuchens. Die Ergebnisse zeigen, dass die Blutwassermenge allein für eine Stabilitätsbeurteilung nicht ausreicht.

Mit zunehmenden Blutwassermengen wurde ein zunehmender Feuchtegradient im Betonquerschnitt bestimmt. Der Feuchtegradient war stark vom Wassergehalt des Betons abhängig.

Die optische Beurteilung des erhärteten Betons an Prüfkörpern aus den „Bluteimern“ und Bohrkernen zeigte, dass sich trotz Einhaltung der Zielwerte der Konsistenz und Blutwassermenge durch das Wasserabsondern eine veränderte Betonzusammensetzung im Querschnitt einstellen kann und sich ggf. Mörtelanreicherungen an der Oberfläche bilden können.

Die Ergebnisse zeigen, dass erweiterte Erstprüfungen erforderlich sind, um die Stabilität des Betons unter Berücksichtigung der Zielwerte von Konsistenz und Wasserabsondern sicherstellen zu können. Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Möglichkeiten der Optimierung der Betonzusammensetzung im Labor aufgezeigt.

In der Regel zeigten Betone mit CEM II- und CEM III/A-Zementen bei gleicher Betonzusammensetzung eine geringere Blutneigung als Betone mit CEM I. Eine Abnahme des Mehlkorngehaltes der Sieblinie kann das Ausbreitmaß und die Blutwassermenge erhöhen. Um gleichzeitig die Anforderungen an Verarbeitbarkeit, Wasserabsondern und Stabilität zu erfüllen, ist der erforderliche Mehlkorngehalt bei entsprechender Zusatzmitteldosierung zu ermitteln. Eine gezielte Anpassung der Kornfraktionen 0 bis 2 mm der Sieblinie kann Stabilitätsprobleme beheben. Entsteht durch die Veränderung der Sieblinie eine höhere Packungsdichte der Gesteinskörnung, auf die jedoch nicht mit einer Anpassung des Mehlkorns und insbesondere des Wassergehalts reagiert wird, so ist mit einem Wasserüberschuss und Wasser-

absondern zu rechnen. Somit kann die Abnahme des Wasseranspruches der Sieblinie bei Einhaltung des Zielwertes des Blutwassers zu einem inhomogenen Betonquerschnitt führen. Eine Übertragung der im Labor gewonnenen Ergebnisse auf die Bauwerkverhältnisse ist bedingt möglich. Für eine Übertragung auf die Praxis ist zu beachten, dass eine Abnahme des Wasserabsonderns im Vergleich zu den Ergebnissen im „Bluteimertest“ erwartet werden kann: bei horizontalen Flächen und gleicher Versuchshöhe von ca. 20 cm wird dies u. a. durch Anwendung von Rüttelflaschen im Vergleich zum Rütteltisch und durch Verlängerung der Mischzeiten erreicht.

Untersuchungen mit der Filterpresse an Betonen mit weichen Konsistenzen ergaben eine zeitabhängige Zunahme der Filtratwassermenge. Aussagefähige Filtratwassermengen wurden 15 bzw. 60 Minuten nach Mischende erfasst. Das Filterpressenverfahren bietet den Vorteil, dass innerhalb eines überschaubaren Zeitfensters Ergebnisse erzielt werden können, die in ihrer Aussage die Ergebnisse des Bluteimertests bestätigen. Es erscheint lohnenswert, durch weitere Untersuchungen die Aussagefähigkeit der Methode in der Zukunft unter Beweis zu stellen.

Mit dem vorliegenden Untersuchungsprogramm wurde der bisherige Erkenntnisstand zur Herstellung von Betonböden wesentlich erweitert.

„Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.“

5 Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 16328 N der Forschungsvereinigung Verein Deutscher Zementwerke e.V. bzw. VDZ gGmbH wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

6 Literaturverzeichnis

- [DBa11] Deutsche Bauchemie: Anwendung von Fließmitteln auf PCE-Basis im Industriebodenbau. Informationsschrift. 1. Ausgabe, Dezember 2011. Deutsche Bauchemie e.V.. Frankfurt am Main, 2011
- [DBV 07] Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E. V. (DBV), Merkblatt: Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton. Berlin 2007
- [HBr12] Heese, C.; Breit, W. Ermittlung der Blutneigung im Eimerverfahren. Verfahrensbedingte Einflussparameter. In Beton 4, 2012, S. 110-115.

- [MOV09] Merkblatt: Weiche Betone. Betone mit Konsistenz > F59. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik; Dezember 2009
- [MRe09] Müller, H.S.; Reinhardt, H.-w.: Beton. In: Betonkalender 2009. Band 1; S. 3-150. Ernst&Sohn; Berlin 2009
- [Ri06a] Rickert, J.; Strehlein, D.: Vermeidung von Farbunterschieden in Sichtbetonflächen. Mischungsstabilität und Transportphänomene. AIF-Forschungsvorhaben 14079 N1 / I . Schlussbericht. Forschungsinstitut der Zementindustrie, FIZ, Düsseldorf, 2006
- [Roe12] Röhling, S.: Betonbau: Zusammensetzung-Dauerhaftigkeit-Frischbeton. Frauenthörer IRB Verlag, 2012
- [Spr07] Spingenschmidt, R.: Betontechnologie für die Praxis. Bauwerk Verlag, Berlin 2007
- [WRe07] Wagner, J.-P.; Reichertz, A. et al.: Bluten von Frischbeton. Versuchsergebnisse mit dem Eimerverfahren des DBV-Merkblatts. In Beton 12, 2007, S. 558-565.