

Anwendbarkeit vorgeschäumter Luftporen im Betonbau

1. Problemstellung und Zielsetzung

Zur Erzielung einer hohen Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit von Konstruktionsbetonen werden in der Praxis z. Z. luftporenbildende Zusatzmittel, sogenannte LP-Bildner oder LP-Mittel, am häufigsten verwendet. Die Wirksamkeit dieser LP-Bildner ist von zahlreichen Einflüssen, wie Zusammensetzung des Betons, Temperatur, Mischdauer, Mischintensität, Liegezeit und Konsistenz abhängig [2, 5, 6, 7, 10, 15]. Eine sichere Anwendung von LP-Bildnern ist nur durch erfahrenes Personal und mit erhöhtem Kontrollaufwand möglich. Die Schwierigkeiten in der Anwendung liegen in der Größe und Verteilung der resultierenden Luftporen aus LP-Bildnern unter variierenden Randbedingungen bei der Herstellung und Verarbeitung des Betons. Man ist bemüht, andere Mittel und Verfahren zu finden, die zu einer hohen Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit führen können und die darüber hinaus aus der Sicht der Praxis einfacher und zielsicherer zu verwenden sind. Neben weiteren Alternativen, wie beispielsweise Imprägnierungen, Verwendung von Mikrohohlkugeln aus Kunststoff oder Glas und Wachs, die bereits untersucht worden sind [1, 16], bietet sich die Anwendung von vorgefertigten sehr feinen Luftblasen aus Schaum an [9]. Das Einsatzgebiet des Schaums beschränkt sich bislang auf die Herstellung von haufwerksporigen Betonen z.B. als Füllmaterial oder als Ausgleichsschicht. Verbesserte Herstellungsverfahren und angepasste Tensidprodukte lassen auf dem Gebiet der frostbeständigen Betone einen erfolgreichen Einsatz der Schaumtechnologie erwarten.

Ziel des Forschungsvorhabens ist, zu untersuchen, inwieweit sich vorgeschäumte Luftporen in der Praxis des Betonbaus anwenden und als Ersatz konventioneller LP-Bildner zur Herstellung von Betonen mit hoher Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit einsetzen lassen.

2. Untersuchungsmethode

Das Arbeitsprogramm teilt sich in 3 Arbeitsschritte auf, die im folgenden kurz erläutert werden.

2.1 Vorversuche

Im Arbeitsschritt 1 werden grundsätzliche Anwendungsvoraussetzungen untersucht und diskutiert. Im wesentlichen wird mit dem Beton M1 (vgl. Tabelle 2.1) den Fragen der zielsicheren Dosierung, Verarbeitbarkeit, Reproduzierbarkeit, Stabilität und Luftporenkennwerte nachgegangen.

Betonbezeichnung		M1
w/z- Wert	[-]	0,47
Wasser	[l/m ³]	165
Zement	Typ	CEM I 32,5 R
	Typ [kg/m ³]	350
Sieblinie		A/B 16

Tabelle 2.1: Mischungszusammensetzung des Betons M1

2.2 Hauptversuche

Der Arbeitsschritt 2 beinhaltet Vergleichsuntersuchungen im Hinblick auf Empfindlichkeit der Anwendung von Schaum und konventionellen LP-Bildnern gegenüber Mischungszusammensetzung, Temperatur, Verarbeitungsdauer (exemplarisch) und Mischzeit (exemplarisch). An dieser Stelle werden zusätzlich Druckfestigkeit und Frost-Tausalzbeständigkeit vergleichend für Schaum und LP-Bildner untersucht. Die untersuchten Betone sind in Tabelle 2.2 angegeben.

Betonbezeichnung	Beton 1	Beton 2	Beton 3
w/z- Wert [-]	0,5	0,5	0,5 ^{*)}
Wasser [l/m ³]	180	180	153
Zement Typ	CEM I 32,5 R	CEM III/A 32,5	CEM I 32,5 R
[kg/m ³]	360	360	270
Flugasche [kg/m ³]	0	0	90
Sieblinie	A/B 16		

Tabelle 2.2: Mischungszusammensetzung der Betone B1, B2, B3

^{*)} $w/(z + k \cdot f)$

2.3 Praxisversuch

Im 3. Arbeitsschritt wird in einem Transportbetonwerk unter Praxisbedingungen überprüft, ob durch Zugabe von Schaum ein bestimmter LP-Gehalt eingestellt werden kann und inwieweit dieser nach einem Pumpvorgang des Betons beibehalten wird. Die untersuchte Betonmischung ist in Tabelle 2.3 angegeben.

		Beton 4
Betonkategorie		BII
Betonfestigkeitsklasse		B 35
w/z- Wert	[-]	0,47
Zement Typ		CEM I 32,5 R
	[kg/m ³]	350
Wasser	[l/m ³]	163
Konsistenz		KP
Sieblinie		A/B 16

Tabelle 2.3: Mischungszusammensetzung des Betons B4

2.4 Herstellungsverfahren zur Schaumerzeugung

Von unterschiedlichen Firmen werden z. Z. verschiedene Herstellungsgeräte und -verfahren zur Schaumproduktion angeboten. Es existieren ebenfalls zahlreiche Tenside auf dem Markt, die als Basiskonzentrat zur Produktion des Schaums verwendet werden können. Das gewählte Herstellungsverfahren, bestehend aus einem Schaumgenerator und einem zugehörigen Schaumtensidkonzentrat, scheint aufgrund seiner konstanten Produktion von besonders feinen Schaumblasen für das betrachtete Anwendungsgebiet besonders geeignet zu sein. Das Herstellungsverfahren des Schaums ist seit vielen Jahren bekannt und in der Praxis vertreten [8, 11]. Derzeitige Anwendungsgebiete liegen in der Produktion von Werkfrischmörteln, leichten Wärmedämmmörteln, Porenleichtbetonen und Leichtbetonen mit haufwerksporigem Gefüge. Der Schaumeinsatz diente bislang zur Reduzierung der Rohdichte und Verbesserung

der Wärmedämmeigenschaft des Materials. Bei der Schaumherstellung steht der sogenannte Schaumgenerator im Mittelpunkt. An diesem laufen die drei Ausgangskomponenten Wasser, Druckluft und Schaumtensid zusammen (vgl. Bild 2.1). Die Porengröße des Schaums ist über eine austauschbare poröse Membran steuerbar ist. Zur Überwachung der Schaumherstellung wird neben der augenscheinlichen Kontrolle die Schaumröhdichte als Kennwert bestimmt.

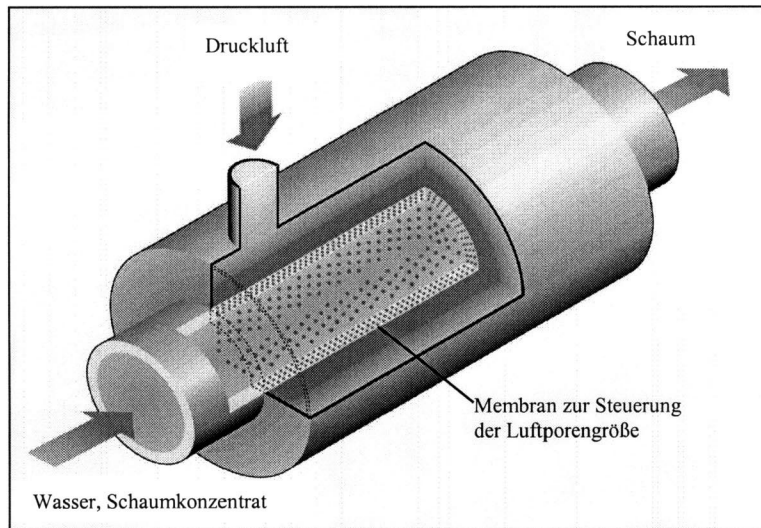


Bild 2.1: Schematischer Aufbau und Funktionsprinzip des Schaumgenerators

3. Ergebnisse und Schlußfolgerungen

3.1 Vorversuche

Zwischen Schaumgehalt und LP-Gehalt hat sich ein nahezu linearer Zusammenhang ergeben (vgl. Diagr. 3.1). Das eingeführte Schaumvolumen bringt durch Nachschäumen während seiner Verteilung im Mischer einen höheren LP-Gehalt als theoretisch erwartet. Dieses ist jedoch aufgrund der Gleichmäßigkeit im Nachschäumenverhalten des Schaums abschätzbar und kalkulierbar. Zusätzlich zu der plastifizierenden Wirkung der Schaumluftporen konnte ein geschmeidiges Verhalten des Betons beobachtet werden, was zu einem besseren Zusammenhalt der Betonmischung geführt hat. Mit zunehmender Schaumdosierung kann das Ausbreitmaß jedoch nicht beliebig weit vergrößert werden.

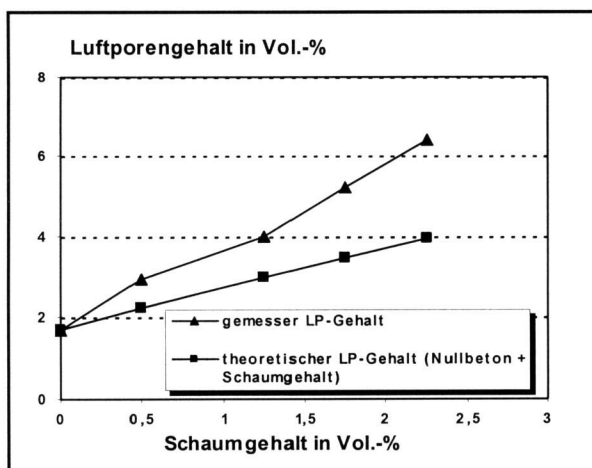


Diagramm 3.1: Zusammenhang zwischen LP-Gehalt und Schaumgehalt

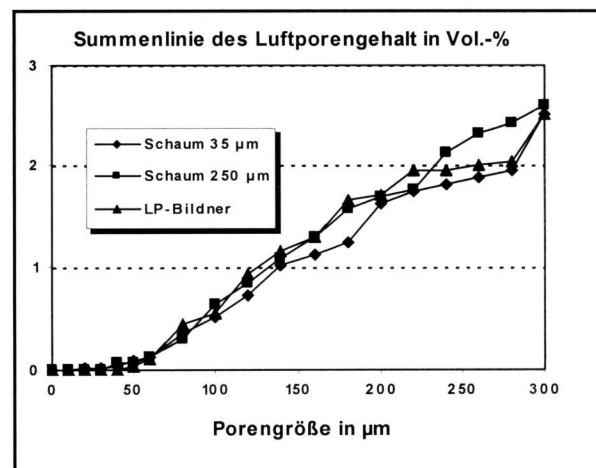


Diagramm 3.2: LP-Gehalt in Abhängigkeit von der Porengröße (Summenlinie)

Die Reproduzierbarkeit gezielter Luftporengehalte und auch die Stabilität des Frischbetons gegenüber Zusammensacken sind in den untersuchten LP-Bereichen gegeben. Durch Zugabe vorgefertigter Schäume lassen sich für frost- und frost-tausalzbeständige Betone geeignete Luftporenkennwerte (AF und A_{300}) einstellen [12, 13].

Die Luftporenkennwerte und -verteilungen liegen bei sachgerechter Anwendung von konventionellen LP-Bildnern und Schaum sehr nahe beieinander (vgl. Diagr. 3.2). Durch die lichtmikroskopische Betrachtung von Proben, die mit Schaum hergestellt wurden, konnten überwiegend geschlossene, separate und kugelförmige Poren beobachtet werden.

3.2 Hauptversuche

Mit den feinen Schaumblasen sind gegenüber Luftporen aus konventionellem LP-Bildner Vorteile in der Anwendung beobachtet worden. Die Einstellung des Luftporengehaltes ist auch bei Schaumzugabe von der Temperatur und der Bindemittelzusammensetzung abhängig; der Einfluß ist gegenüber LP-Bildnern jedoch geringer ausgefallen (vgl. Diagr. 3.3 bis 3.6).

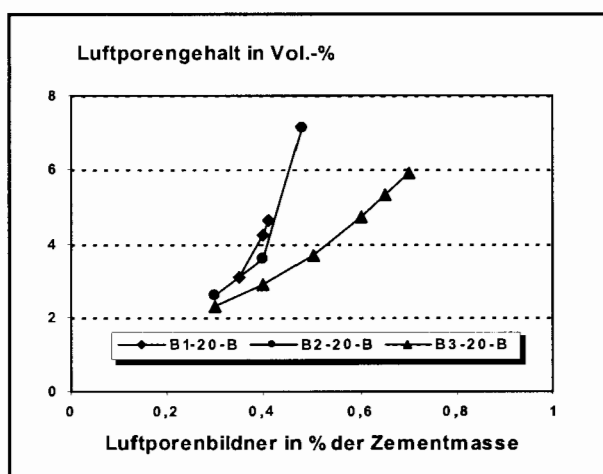


Diagramm 3.3: LP-Gehalt aus konventionellem LP-Bildner für 3 verschiedene Bindemittel (T = 20 °C)

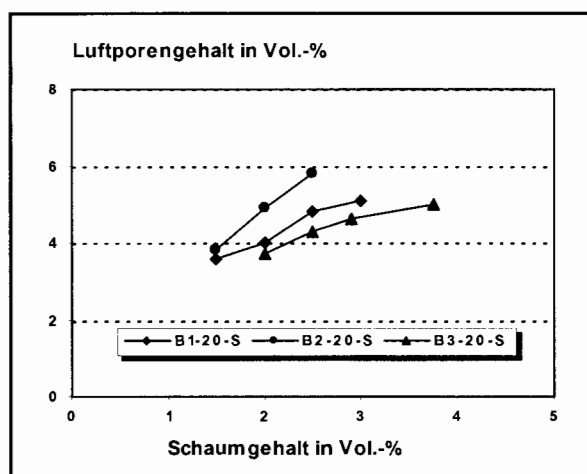


Diagramm 3.4: LP-Gehalt aus Schaum für 3 verschiedene Bindemittel (T = 20 °C)

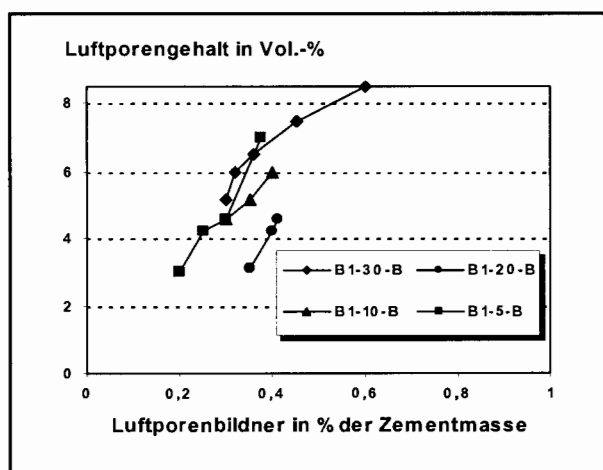


Diagramm 3.5: Wirkung eines konventionellen LP-Bidners bei verschiedenen Temperaturen

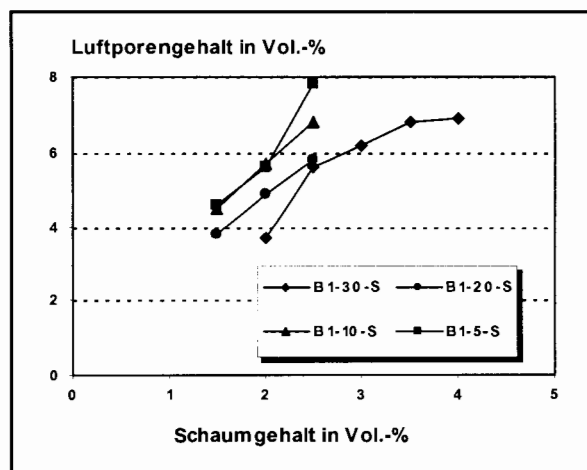
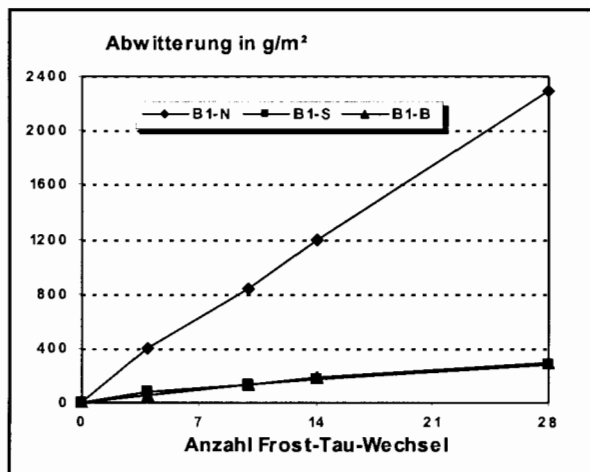


Diagramm 3.6: Wirkung des Schäume bei verschiedenen Temperaturen

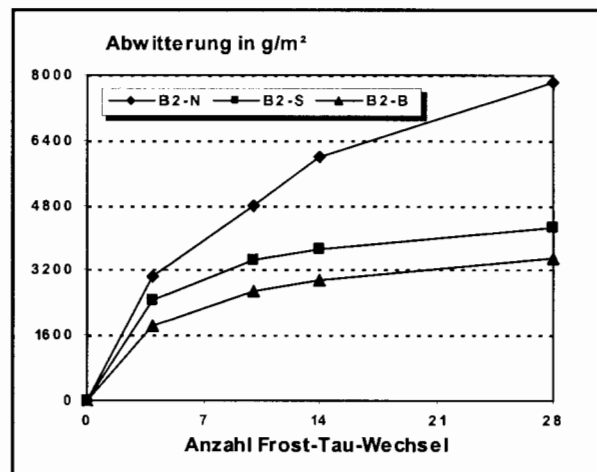
Bezeichnung	B1	B2	B3
Bindemittel	CEM I 32,5 R	CEM III/A 32,5	CEM I 32,5 R + Flugasche

Es zeigte sich ein linearer Zusammenhang zwischen Zugabemenge und resultierendem LP-Gehalt, der auch bei variierenden Randbedingungen bestehen blieb. Treten unplanmäßige Veränderungen auf, so ist zu erwarten, daß der Einfluß deutlich kleiner als bei LP-Bildnereinsatz ausfällt. Bezüglich der Verarbeitungsdauer, lagen die Verluste im LP-Gehalt nach 90 Minuten für LP-Bildner- und Schaumeinsatz insgesamt auf gleichem Niveau. Die Empfindlichkeit gegenüber der Mischdauer liegt beim Schaum deutlich niedriger als beim LP-Bildner. Die beiden unterschiedlichen Arten der Luftporenerzeugung zeigten keinen erkennbaren Einfluß auf die Druckfestigkeit.

Die positive Wirkung der Luftporen aus Schaum zur Steigerung der Frost-Tausalzbeständigkeit hat sich im CDF-Test bestätigt [14]. Zur Herstellung von frostbeständigen Betonen (B1 und B3) ist es somit möglich, neben den bisherigen LP-Bildnern zur Einstellung eines gewünschten LP-Gehalts auch die untersuchten Schäume zu verwenden. Die Betone mit Hochofenzement (B2) konnten weder mit Schaum noch mit LP-Bildner den Anforderungen an frost-tausalzbeständigen Betonen (Abwitterungsmenge nach 28 Zyklen < 1500 g/m²) genügen [3, 4] (vgl. Diagr. 3.7 bis 3.8).



Diagr. 3.8: Verlauf der Abwitterung im CDF- Test (B1)



Diagr. 3.9: Verlauf der Abwitterung im CDF- Test (B2)

N: Nullbeton ohne künstlich eingeführte Luftporen;
 S: Luftporen aus Schaum;
 B: Luftporen aus LP- Bildner;

3.3 Praxisversuch

Die sonst unter Laborbedingungen genaue Dosierbarkeit des Schäume ist mit der sehr leistungsfähig eingestellten Anlage im Werk bei den im Praxisversuch verwendeten geringen Betonmengen (2 x 1 m³) noch etwas schwierig. Durch eine maschinentechnische Drosselung der Schaumdosierung kann diese Schwierigkeit jedoch behoben werden. Für größere Betonmengen ist eine problemlose Dosierung zu erwarten. Eine Dosierung direkt in den Fahrnischer erscheint unproblematisch. Jedoch sollte der Schaum durch eine spezielle Ausstattung (Leitung) bis in die Mitte der Trommel eingeführt werden.

Der LP-Beton mit Schaumzugabe hat sich problemlos durch eine Pumpe fördern lassen. Die Luftporen blieben dabei im wesentlichen bestehen.