



# Praxistest ultrahochfester Beton im Transportbetonwerk

Zusammenfassung eines Forschungsvorhabens

Olaf Aßbrock, Berlin, Raymund Böing, Heidelberg,  
Werner Rothenbacher, Ulm, Klaus Stein, Heidelberg,  
und Reinhard Winzer, Wiesbaden

## Zusammenfassung eines Forschungsvorhabens

# Praxistest ultrahochfester Beton im Transportbetonwerk

Olaf Aßbrock, Berlin, Raymund Böing, Heidelberg, Werner Rothenbacher, Ulm, Klaus Stein, Heidelberg, und Reinhard Winzer, Wiesbaden

Seit einiger Zeit stehen auch ultrahochfeste Betone (UHFB) mit Druckfestigkeiten über 120 N/mm<sup>2</sup> bis 200 N/mm<sup>2</sup> immer wieder im Fokus der Forschung. In Transportbetonwerken werden solche Betone bislang nicht hergestellt. Ein von der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB) initiiertes Forschungsvorhaben sollte klären, inwieweit nach derzeitigem Standard ausgerüstete Anlagen in der Lage sind, UHFB herzustellen. Dabei wurde in Praxisversuchen nicht nur die Mischtechnik mit verschiedenen Mischertypen berücksichtigt, auch die Anlagenkapazität bezüglich Lagerung und Dosierung der Ausgangsstoffe, sowie Dosierreihenfolge, Transport und Förderung des ultrahochfesten Betons wurden betrachtet. Die Untersuchungen sollten insbesondere aufzeigen, wie künftige Anlagen zur serienmäßigen Herstellung von ultrahochfestem Beton konzipiert sein müssen. Darüber hinaus wurde eine Kostenschätzung für die zusätzlichen Komponenten einer solchen Pilotanlage erstellt.

## 1 Einleitung

Hochfeste Betone der Festigkeitsklassen C55/67 bis C100/115 haben in den vergangenen Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Die Herstellung dieser Betone ist in herkömmlich ausgestatteten Transportbetonanlagen ohne großen Mehraufwand möglich. Seit einiger Zeit stehen auch ultrahochfeste Betone (UHFB) mit Druckfestigkeiten über 120 N/mm<sup>2</sup> bis 200 N/mm<sup>2</sup> immer wieder im Fokus der Forschung. Erreicht werden diese Druckfestigkeiten durch einen extrem niedrigen Wasserzementwert zwischen 0,2 und 0,3, einen hohen Zementgehalt, hochwertige Zusatzstoffe, ausgewählte feine Gesteinskörnungen und leistungsfähige PCE-Zusatzmittel in Verbindung mit Stahl- und oder Polypropylenfasern. Die Ausgangsstoffe müssen aufeinander abgestimmt sein und werden dann in eine möglichst hohlraumarme Mischung gepackt. Dadurch wird die hohe Dichtigkeit und Druckfestigkeit erreicht. Erste Erfahrungen mit praktischen Beispielen gibt es im In- und Ausland.

Diese Betone erlauben durch die hohen Druckfestigkeiten schlanke Querschnitte und somit eine entsprechende Material- und Gewichtseinsparung. Letzteres ist vor allem bei weit gespannten Bauteilen von Vorteil, wo häufig das Eigengewicht die maßgebende Bemessungslast darstellt.

Die hohe Dichtigkeit des ultrahochfesten Betons gewährleistet außerdem eine verbesserte Dauerhaftigkeit, da angreifende Stoffe kaum eindringen können. Dies hat positive Auswirkungen auf die Lebensdauer, ebenfalls ein wichtiger Aspekt bei den heutigen Anforderungen zur Nachhaltigkeit.

Die Anwendungsmöglichkeiten für ultrahochfeste Betone sind deshalb sehr vielfältig, zum Beispiel für Tragwerke mit schlanken Querschnitten wie Träger, Stützen und Platten für Brücken oder im Industrie- und Hochbau oder hochverschleiß-

feste Schichten für starke Beanspruchungen im Industriebau und auf Flughäfen. Als weitere mögliche Anwendungsfelder sind Sicherheits- und Schutzbauwerke, sowie Behälter und Rohre mit hohem Säurewiderstand denkbar.

## Die Autoren:

**Dr.-Ing. Olaf Aßbrock** studierte Bergbau an der Technischen Universität Clausthal mit anschließender Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am dortigen Institut für Bergbaukunde und Bergwirtschaftslehre. 1993 wechselte er zu den Verbänden der Baustoffindustrie in Duisburg. Nach Tätigkeiten als Ressortleiter in den Bereichen Transportbeton und Recycling-Baustoffe gehörte er dort seit 1997 der Geschäftsführung des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. (BTB) an. Seit 2012 ist er mit der Verlegung des Sitzes des BTB nach Berlin Hauptgeschäftsführer des Verbands.

**Dipl.-Ing. Raymund Böing** studierte Bauingenieurwesen mit der Studienrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau“ an der Universität Essen GH. Von 1984 bis 1997 war er Mitarbeiter der Forschung, Entwicklung und Beratung der Heidelberger Zement AG, Leimen, mit den Schwerpunkten Betontechnologie und Bauberatung. In der Zeit von 1998 bis 1999 war er beim Heidelberger Technology Center der Heidelberger Zement AG für die Koordinierung der Bauberatung in Deutschland verantwortlich. Von 2000 bis Juni 2004 war er als Leiter Betontechnologie bei der Heidelberger Beton GmbH tätig. Seit Juli 2004 ist er Leiter Betontechnologie Transportbeton in der Abteilung Entwicklung und Anwendung der HeidelbergCement AG Zentraleuropa West.

**Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Werner Rothenbacher** studierte Bauingenieurwesen an der FH Biberach und Wirtschaftsingenieurwesen an der FHT Esslingen. Im Anschluss war er als Bauleiter im Bereich Ingenieur- und Schlüsselertigbau tätig. Seit 1995 ist Werner Rothenbacher in der Anwendungstechnik der Schwenk Zement KG tätig. Seit 2006 ist er Leiter der Anwendungstechnik Zement.

**Klaus Stein** studierte Bauingenieurwesen mit Vertieferrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau“ an der RWTH Aachen. Nach diversen Aufgaben in zwei Transportgesellschaften (u.a. Laborleiter und Geschäftsführer) war er von 1990 bis zu seinem Eintritt in den Ruhestand im Jahr 2011 bei der Heidelberger Beton GmbH verantwortlich für den Bereich Technik.

**Reinhard Winzer** studierte Bauingenieurwesen an der Ingenieurhochschule Cottbus. Anschließend war er wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent an der Hochschule für Bauwesen Cottbus, wo er auch promovierte. Ab 1992 war er Geschäftsführer der Dyckerhoff Transportbeton Lausitz GmbH & Co. KG, ab 2001 Handlungsbevollmächtigter im Fachbereich Technik und Qualitätsmanagement der Dyckerhoff Beton GmbH, Wiesbaden. Seit 2002 ist Reinhard Winzer Handlungsbevollmächtigter der Dyckerhoff AG und seit 2005 Zielgruppenmanager im Produktmarketing der Dyckerhoff AG.

**Tafel 1: Übersicht der für die Praxisversuche ausgewählten Mischanlagen- und Dosiertechnik**

Praxisversuch		I	II	III	IV
Anlagentyp		Turmanlage	Reihenanlage	Turmanlage	Sternanlage
Lager	Gesteinskörnung	sieben Kammern	sechs Kammern	sieben Kammern	sechs Boxen
	Zement und Zusatzstoffe	sieben Silos	sechs Silos	sechs Silos	drei Silos
Mischertyp		3-m <sup>3</sup> -Ringteller-mischer mit Wirbler	1,5-m <sup>3</sup> -Ringteller-mischer ohne Wirbler	2,75-m <sup>3</sup> -Doppelwellen-Trogmischer	1-m <sup>3</sup> -Einwellen-Trogmischer
Wiegekapazität	Zement und Zusatzstoffe	bis 2000 kg	bis 1000 kg	bis 1500 kg	bis 500 kg
	Gesteinskörnung	bis 8000 kg	bis 6000 kg	bis 7000 kg	bis 2500 kg
	Wasser	bis 1000 kg	bis 750 kg	bis 900 kg	bis 300 kg
	Zusatzmittel	bis 100 kg	bis 50 kg	bis 55 kg	bis 15 kg

In Transportbetonwerken werden ultrahochfeste Betone im Festigkeitsspektrum von 120 N/mm<sup>2</sup> bis 200 N/mm<sup>2</sup> bislang nicht hergestellt. Die Untersuchungen sollten zeigen, inwieweit nach derzeitigem Standard ausgerüstete Anlagen in der Lage sind, solche Betone herzustellen. Dabei wurde in Praxisversuchen nicht nur die Mischtechnik mit verschiedenen Mischertypen berücksichtigt. Auch die Anlagenkapazität bezüglich Lagerung und Dosierung der Ausgangsstoffe sowie Dosierreihenfolge, Transport und Förderung des ultrahochfesten Betons wurden betrachtet.

Die Untersuchungen sollten insbesondere aufzeigen, wie künftige Anlagen zur serienmäßigen Herstellung von ultrahochfestem Beton konzipiert sein müssen. Darüber hinaus wurde eine Kostenschätzung für die zusätzlichen Komponenten einer solchen Pilotanlage erstellt.

## 2 Stand der Normung

Die Betonnormen DIN EN 206-1/DIN 1045-2 enthalten Regelungen für die Herstellung von Betonen der Festigkeitsklasse C8/10 bis C100/115. Darin enthalten sind die hochfesten Betone in den Druckfestigkeitsklassen C55/67 bis C100/115. Für Betone mit Druckfestigkeiten über die Festigkeitsklasse C100/115 hinaus gibt es derzeit keine Normen oder Richtlinien in Deutschland. Das erfordert bei Anwendung von ultrahochfesten Betonen im bauaufsichtlich relevanten Bereich entweder eine „allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) oder eine „Zustimmung im Einzelfall“ durch die Landesbaubehörde.

## 3 Ausgangssituation

Aus den im Sachstandsbericht des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e.V. (DAfStb) im Jahr 2007 zusammengefassten Erfahrungen ist bekannt, dass UHFB aus Werk trockenmischungen oder auch aus Einzelkomponenten hergestellt werden kann. Voraussetzung dafür sind eine gleichmäßige Dosierung aller Ausgangsstoffe, insbesondere der feinstkornreichen Stoffe und flüssigen Zusatzmittel, und ein intensives Mischen durch leistungsfähige und ausreichend genaue Einrichtungen. Bindemittelseitig sind konventionelle Zemente, spezielle Zemente mit besonde-

**Tafel 2: Dosierreihenfolgen**

Praxisversuch	I	II	III	IV
Dosierreihenfolge				
1.	Gesteinskörnung	Gesteinskörnung	Gesteinskörnung	Gesteinskörnung, Stahlfasern*)
2.	Silikastaub*)	Bindemittel-Compound	Quarzsand	Zement, Quarzmehl, Flugasche
3.	Zement	Stahlfasern*)	Silikastaub*) und Flugasche	
4.	Quarzmehl*)	Zugabewasser	Zement	Zugabewasser, Fließmittel*)
5.	Frischwasser	Fließmittel*)	Quarzmehl*)	
6.	Fließmittel		Zugabewasser	
7.	Stahlfasern*)		Fließmittel	
Nennfüllung	3,0 m <sup>3</sup>	1,5 m <sup>3</sup>	2,75 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>
Versuchsfüllung	1,5 m <sup>3</sup>	0,75 m <sup>3</sup>	2 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>

\*) Zugabe per Hand

ren Feinststoffen und auch komplette Bindemittelcompounds mit Quarzmehlen verfügbar. UHFB der Kategorie bis 200 N/mm<sup>2</sup> lässt sich bei Einhaltung der genannten Voraussetzungen grundsätzlich mit den für übliche Betone gängigen Misch- und Dosier-technologien wie Teller- oder Trogmischer (ggf. mit Wirbler) herstellen.

Die Frage ist aber, ob UHFB auch in üblichen Transportbetonwerken hergestellt werden kann. Die Anlagentechnik in Deutschland kann schätzungsweise in 29 % Turmanlagen, 36 % Reihenanlagen und 35 % Sternanlagen unterteilt werden. Hinsichtlich einer Eignung zur Herstellung von UHFB müssen hierbei aber in jedem Einzelfall und abhängig von den eingesetzten Ausgangsstoffen insbesondere die Dosier- und Lagermöglichkeiten sowie die entsprechenden Wiege- und Transportkapazitäten eingeschätzt und ggf. ergänzt werden. Erfahrungen u.a. zur optimalen Dimensionierung bzw. wirtschaftlichen Auslegung von Silos und Waagen für Zement, Zusatzstoffe und Zusatzmittel, zu Faserdosiereinrichtungen oder auch zur Gesteinskörnungslagerung fehlen. Um diese Lücke zu schließen, führten im Rahmen eines Forschungsvorhabens Transportbetonhersteller praktische Versuche mit vorhandenen Mischanlagen durch.

## 4 Praxisversuche

Für die Praxisversuche wurden verschiedene Anlagen ausgewählt, die das wesentliche Spektrum der in Deutschland vorhandenen Mischanlagentypen darstellen (Tafel 1). Dabei wurden in Grenzen Lager- und Waagentechnik, Mischertyp und deren Nennvolumen variiert, um vereinfacht wesentliche Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit vorhandener Technik bzw. notwendige Ergänzungen peripherer Technik für die Herstellung von UHFB herauszuarbeiten. Die Ausnutzung der Mischer-Nennfüllung variierte zwischen 50 % und 100 % (Tafel 2). Diese Werte ergaben sich aus der Kombination aus vorhandener Mischergröße sowie der vorhandenen Dosier- und Wiegekapazitäten. Gezielte Vorgaben hinsichtlich der Ausnutzung der Mischer-Nennfüllung erfolgten nicht. Deshalb kann aus diesen Untersuchungen keine Aussage hinsichtlich einer Bevorzugung eines Mischertyps und dessen Füllungsgrads gemacht werden.

Da die Aufgabe bestand, mit vorhandenen technischen Einrichtungen einen ultrahochfesten Beton herzustellen, mussten einige Ausgangsstoffe per Hand dosiert werden. Hierbei war grundsätzlich zu beobachten, dass dies nur durch sehr hohen personellen und ablauftechnischen Aufwand, durch

**Tafel 3: Zusammensetzung der untersuchten Betone**

Praxisversuch			I	II	III	IV
Zement	CEM I 42,5 R	kg/m <sup>3</sup>			700	
	CEM I 52,5 R	kg/m <sup>3</sup>	600			
	CEM II/ B-S 52,5 R *)	kg/m <sup>3</sup>		1048		
	CEM II/ B-M (S-D) 52,5 N	kg/m <sup>3</sup>				710
Flugasche		kg/m <sup>3</sup>			100	50
Gesteinsmehl	W3/M4/W12/D9	kg/m <sup>3</sup>	305	im Compound	125	200
Quarzsand	0,1 mm bis 1 mm	kg/m <sup>3</sup>			100	
Silikastaub		kg/m <sup>3</sup>	110		75	im Zement
Wasser		kg/m <sup>3</sup>	165	163	150	180
Fließmittel	PCE	M.-% v.z	3	2,25	4,3	4
Stahlfasern		kg/m <sup>3</sup>	100	101		50
Gesteinskörnung	0/2	kg/m <sup>3</sup>	426	426	870	460
	2/5	kg/m <sup>3</sup>		879		970
	2/8	kg/m <sup>3</sup>	875		270	

\*) Compound aus Zement + Gesteinsmehl

gründliche Vorbereitung und mit zusätzlicher Aufmerksamkeit bei der Durchführung arbeitsschutzgerecht sicherzustellen ist.

Für die Betonzusammensetzungen (Tafel 3) wurden weitestgehend die für die Normalproduktion vorhandenen Ausgangsstoffe

verwendet. Auf eine Optimierung der UHFB-Zusammensetzungen hinsichtlich hoher Werte z. B. der Druck- und Biegezugfestigkeit wurde verzichtet. Hauptaugenmerk wurde auf die prinzipielle Herstellbarkeit und auf eine praxisgerechte Verarbeitungskonsistenz über 90

Minuten gelegt. Im Praxisversuch III wurde zusätzlich die Pumpbarkeit des UHFB untersucht.

Unter Berücksichtigung der Laborergebnisse und in Abhängigkeit von den Dosier- und Mischeinrichtungen wurden unterschiedliche Dosierreihenfolgen für die Mischgutbestandteile gewählt. Die Ziele einer homogenen Mischung und eines vollständigen schnellen Aufschlusses der komplexen Zusatzmittel und der teilweise verwendeten Feinstzusatzstoffe wurde in allen Fällen durch verlängerte Mischzeiten (ca. drei bis fünf Minuten) erreicht.

Die Dosierreihenfolgen wurden zunächst jeweils in Abhängigkeit von der erfahrungsgemäß bestmöglichen Wirkung der Ausgangsstoffe gewählt. Das heißt, in Laborversuchen, die im Vorfeld der Praxistests durchgeführt wurden, erfolgte eine zeitverzögerte Zusatzmittelzugabe nach der Wasserdosierung. Da im Rahmen der Praxisversuche auf Änderungen in der Anlagensteuerung verzichtet wurde (I-IV) bzw. aufgrund der technischen Gegebenheiten (z. B. fehlende Zusatzmittel-Dosierkammer bei IV) konnte die Reihenfolge beim Anlagenversuch (s. Tafel 2) jedoch nicht optimal gestaltet werden. Einen Eindruck vom Ablauf der Praxistests vermitteln die Bilder 1 bis 3.

Der zeitliche Verlauf der Konsistenz (Bild 4) und die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen (Bild 5) zeigen die grundsätzliche Herstellbarkeit von UHFB auf vorhandenen Transportbetonmischanlagen, unab-



**Bild 1: Übersicht über die Anlagen der Praxistests**





Bild 2: Manuelle Dosierung der Ausgangsstoffe

hängig davon, welche Mischanlagenvariante verwendet wird.

Folgende wesentlichen Erkenntnisse konnten nach Auswertung der Praxisversuche gewonnen werden:

- UHFB lässt sich im Spektrum bis 200 N/mm<sup>2</sup> grundsätzlich auf vorhandenen Transportbetonmischanlagen in Deutschland herstellen und unter Beachtung eines möglicherweise erhöhten Drucks auch pumpen.
- Das fertige Mischgut klebt nicht an den Stahl- oder Kunststoffteilen der Mischer- bzw. Fahrmischartechnik und lässt sich durch einfachen Wasserstrahl leicht entfernen.
- Die Dosierung einzelner Ausgangsstoffe (z.B. Silikastaub oder Quarzmehl) von

Hand erfordert angepasste Arbeitsschutzmaßnahmen.

- Für Gesteinsmehle, Feinstsande und Fasern muss die Anlagentechnik i.d.R. durch zusätzliche Lager- und Dosiereinrichtungen ergänzt werden.
- Die Mischzeiten sind gegenüber üblichem Beton erheblich länger und sind neben der ggf. notwendigen Reduzierung des Füllgrads maßgebend für die Leistung der Mischanlage.
- Die Dosierung, die Dosierreihenfolge und ggf. die Dosieranlagenerweiterung muss in Abhängigkeit der Wahl der Zusammensetzung steuerungsseitig angepasst werden. Die Verwendung von Bindemittel-Compounds (Zement + Quarzfeinstsand) benötigt dabei die geringste Anpassung, gefolgt von Spezialbindemittel (Zement inkl. Silikastaub).



Bild 3: Einwellenmischer aus Praxistest IV

### 5 Konzeption von Prototypanlagen

Die in Abschnitt 4 beschriebenen Praxisversuche haben gezeigt, dass UHFB mit heute vorhandenen Transportbetonanlagen ohne anlagentechnische Ergänzungen hergestellt werden konnte. In den Praxisversuchen kamen drei Ausgangsstoff-Varianten zum Einsatz:

- I. Compound bestehend aus speziellem Zement, Quarzmehl und ggf. Silikastaub. Damit sind keine zusätzlichen Silos für Silikastaub und Quarzmehl notwendig (Praxisversuch II).

- II. Spezieller Zement, bei dem auf die gesonderte Zugabe von Silikastaub verzichtet werden kann. Damit ist ein zusätzliches Silo für Quarzmehl notwendig (Praxisversuch IV).

- III. Konventioneller Zement. Für Quarzmehl und Silikastaub sind jeweils Silos notwendig (Praxisversuche I und III).

Herstellungstechnisch musste ein sehr großer Aufwand betrieben werden. Die Zugabe von Quarzmehl, Fasern und einer Teilmenge des Zusatzmittels (Nachdosierung für KonsistenzEinstellung) erfolgte teilweise manuell und war daher sehr personal- und zeitaufwändig. Eine wirtschaftliche UHFB-Produktion ist unter diesen Randbedingungen nur schwer vorstellbar, da diese hohe Personalkosten und eine geringe Anlagenkapazität zur Folge haben.

Nur eine kleintechnische Herstellung von UHFB ist unter den bei den Praxisversuchen vorherrschenden Randbedingungen unter Beachtung der arbeitssicherheitstechnischen Auflagen denkbar.

Auf der anderen Seite ist aber auch eine großtechnische Herstellung von UHFB möglich. Dabei sind dann in Abhängigkeit von den gewählten Ausgangsstoff-Varianten unterschiedlich aufwändige anlagentechnische Veränderungen im Transportbetonwerk notwendig. Eine Übersicht hierzu gibt Tafel 4.

Im Rahmen des Praxisversuchs III wurden 2 m<sup>3</sup> UHFB hergestellt und diese ohne

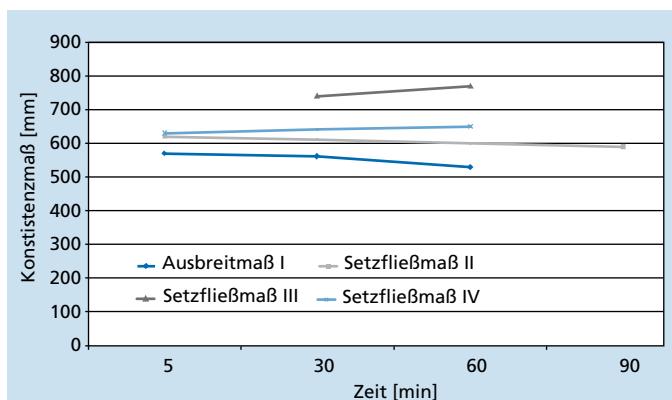


Bild 4: Zeitlicher Verlauf der Konsistenz

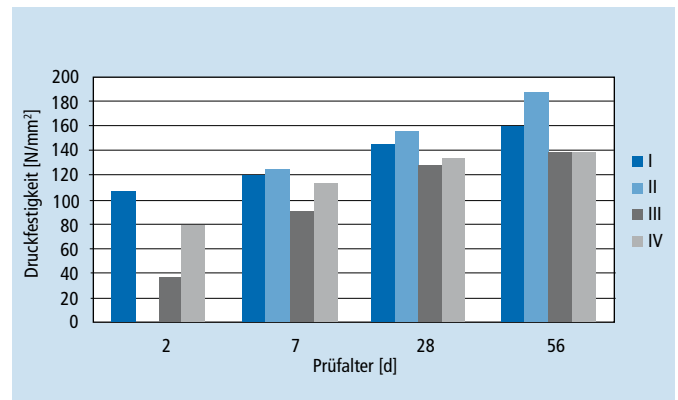


Bild 5: Druckfestigkeit ermitteln an 150-mm-Würfeln

Tafel 4: Anlagentechnische Veränderungen und Hinweise für die UHFB-Produktion

Ausgangsstoff-Variante	Compound	Spezieller Zement	Konventioneller Zement
<b>Ausgangsstoffe</b>			
Zement	CEM II/B-S 52,5 R (Bestandteil des Compounds)	CEM II/B-M (S-D) 52,5 N	CEM I 42,5 R, 52,5 L, 52,5 R
Silikastaub <sup>1)</sup>			■
Quarzmehl	Bestandteil des Compounds	■	■
Gesteinskörnung		■	
Flugasche		■	■
Fließmittel		■	
Stahlfasern		■ <sup>2)</sup>	
<b>Zusätzliche Silos oder Dosiermöglichkeit für<sup>3)</sup></b>			
Zement		■ <sup>4)</sup>	
Silikastaub <sup>6)</sup>			■
Quarzmehl <sup>6)</sup>		■	■
Compound	■ <sup>5)</sup>		
zusätzliche Silos – gesamt	1	1 oder 2 <sup>4)</sup>	2 oder 3 <sup>4)</sup>
Fließmittel	■	■	■
Stahlfasern	■	■	■
<b>Anlagenausstattung</b>			
Zementwaage	ausreichend groß wählen, insbesondere bei der Verwendung der Compound-Variante, sonst kapazitätsreduzierend		
Quarzmehl	über Zementwaage		
Fließmittelwaage/-dosierzylinder	sehr hoher Zusatzmittelbedarf, daher ausreichend groß wählen, sonst kapazitätsreduzierend		
Stahlfasern	Dosiereinrichtung inkl. Verwiegung		
Mischer	je leistungsfähiger der Mischer, desto höher die Kapazität		
Feuchtemessung feine Gesteinskörnung	Von großer Bedeutung und daher regelmäßig notwendig. Kontinuierliche Messungen mittels Mikrowellen- oder kapazitive Feuchtemess-Verfahren sind zu empfehlen. Regelmäßige Kalibrierung laut Herstellerangaben.		
Gesteinskörnung	Eigenfeuchte u. U. rezepturbedingt begrenzt. Witterungsunabhängige Lagerung, Fremdwasserzutritt verhindern		
Anlagensteuerung	anzupassen		
Fahrmischer	keine Besonderheiten		
Betonpumpe	UHFB des Praxisversuches III war pumpbar, höherer Pumpendruck ist zu erwarten		
<b>Hinweise</b>			
Zusatzmitteldosierung	nach der Wasserzugabe		
Konsistenzkorrektur	im Fahrmischer kaum möglich		
Reinigungsbedarf	Praxisversuche zeigten keinen erhöhten Reinigungsbedarf		

1) Pulverförmig, als Slurry wegen des zusätzlichen Wassers eventuell nicht möglich

2) Zur Steigerung der Duktilität notwendig

3) Durch das Zusammenfassen mehrerer trockenerer Bestandteile könnten Silos gespart werden (bauaufsichtliche Anforderungen sind zu berücksichtigen).

4) Zwei (spezieller Zement) bzw. drei (konventioneller Zement) Silos nur notwendig, wenn der Zement nicht für normale Betonproduktion eingesetzt oder ein anderes Silo nicht hierfür frei gemacht werden kann.

5) Bauaufsichtliche Zulassung für das Compound notwendig

6) Auch über eine Pulverdosiervorrichtung („big bag“ denkbar) möglich

Probleme 20 Minuten im Kreis gepumpt, d. h. Übernahme aus dem Fahrmischer in die Pumpe und über den Pumpenschlauch wieder in die Trommel zurück. Es war ein für üblichen Beton normaler Pumpendruck weit unter 100 bar festzustellen.

Die Empfehlungen zu den anlagentechnischen Veränderungen im Hinblick auf eine „Serienproduktion“ von UHFB sind in einem beispielhaften Anlagenschema dargestellt (Bild 6). Die zusätzlich erforderlichen UHFB-spezifischen Komponenten sind farblich gekennzeichnet. Aus dem Fließbild sowie aus den Empfehlungen der Tafel 4 lassen sich die folgenden Mindestanforderungen an die zusätzliche Ausstattung eines Transportbetonwerks zur kontinuierlichen Herstellung von UHFB ableiten:

- Bis zu drei zusätzliche Bindemittelsilos mit mindestens 80 t Kapazität, je nach Wahl des Bindemittels
- Zwei zusätzliche Boxen zur Lagerung von Gesteinskörnung
- Vergrößerung der Zementwaage
- Zusätzliche Zusatzmitteldosierung mit größerem Zylinder (100 kg)
- Separate Faserdosierung mit Verwiegung
- Anpassung der Steuerung

Eine Kostenschätzung für eine Anlagenergänzung mit zwei Bindemittelsilos am Beispiel einer 2-m<sup>3</sup>-Reihensiloanlage enthält Tafel 5.

## 6 Zusammenfassung

Ultrahochfester Beton ist im Transportbetonwerk zielsicher herstellbar. Das ist ein zentrales Ergebnis der vorgestellten Untersuchungen. Die untersuchten Anlagensysteme können ohne Änderung der Anlagenausstattung genutzt werden, wenn es sich um kleinere Produktionsmengen oder Einzelaufträge handelt. Dabei wird dann eine manuelle Dosierung von Ausgangsstoffen erforderlich sein. Diese Dosierung stellt jedoch erhöhte Anforderungen an die Arbeitssicherheit. Die Anlagenkapazität ist dabei deutlich reduziert. Die Anforderungen an die Dokumentation der werkseigenen Produktionskontrolle sind unter Umständen über handschriftliche Aufzeichnungen zu erfüllen.

Für eine kontinuierliche Herstellung größerer Mengen in einer vollautomatischen Prozesskette sind jedoch zusätzliche Investitionen notwendig. Dies bedeutet Modifizierungen im Bereich der Anlagensteuerung sowie der Zuführungs- und Dosierungseinrichtungen und der Lagerkapazitäten. Der Umfang der erforderlichen Anpassungen ist abhängig von der Art und Anzahl der eingesetzten Ausgangsstoffe.

Aus den Versuchsergebnissen wurden Hinweise für Anlagenmodifikationen abgeleitet und in einer Tafel übersichtlich zusammengefasst. Ein beispielhaftes Anlagenschema einschließlich einer Abschätzung der Kosten verdeutlichen die vorgeschlagenen Modifikationen.

Auch der Transport des Betons und das Pumpen konnte in den Untersuchungen unter realistischen Bedingungen getestet werden. Transportzeiten bis 90 min und Pump-

Tafel 5: Kostenschätzung UHFB-Erweiterungen (Quelle: Liebherr Mischtechnik)

2-m <sup>3</sup> -Reihensiloanlage		Standard	UHFB-Erweiterungen		
Bereich	Beschreibung	Beschreibung	Beschreibung	ca. Nettolistenpreise [€]	Erläuterungen/Bemerkungen
Bindemittel	Lagerung (Anzahl Kammern)	Standard (4 x)	bis zu 3 x 80 t	bis zu 13500	1. Silo für Spezialzement oder Compound 2. Silo für Quarzmehl (entfällt bei Compound)
	Verwiegung	Standard	größere Waage: min. 2500 kg	7500	gegebenenfalls Wiegebereichumschaltung bzw. zweite Waage wegen Kleinmengen
Gesteinskörnungen	Lagerung (Anzahl Kammern)	Standard (6 x)	2 x 35 m <sup>3</sup>	45000	falls noch nicht vorhanden: 2 x Splittkomponenten
	Wiegetechnik	Standard	unverändert		
	Feuchtemessung	Standard (min. 1 x)	1 x	3000	neben Sand noch nächst größere Körnung berücksichtigen
Zusatzmittel	Lagerung (Anzahl Kammern)	Standard (6 x)	1 x	1200	spezielles Zusatzmittel erforderlich
	Beschickung	Standard	1 x stärkere Pumpe	2700	z.B. Druckluft-Doppelmembranpumpe mit regelbarer Förderleistung 0 bis 70 l/min
	Verwiegung	Standard	zusätzliche Waage	16000	ähnlich Bindemittel, z.B.: 1. Waage: 10 kg 2. Waage: 100 kg
Fasern			automatische Dosieranlage	50000 bis 100000	
Steuerung		Standard	Wahlmöglichkeit: 1. aus jeweils mehreren Ausgangsstoffen 2. Dosierreihenfolge, Dosierzeiten, Dosierunterbrechungen	bauseits	mit modernen Steuerungen bereits heute möglich

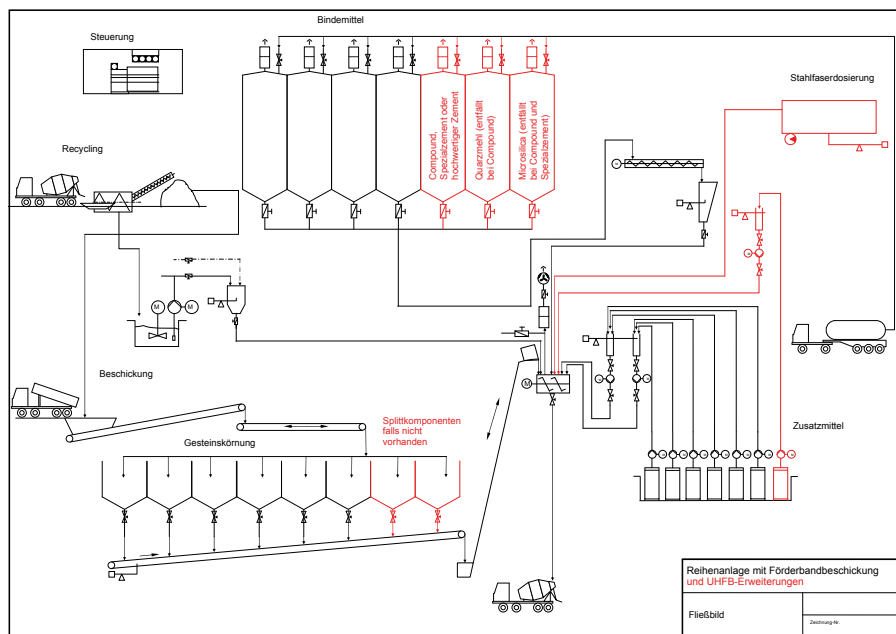


Bild 6: Fließschema einer Reihensiloanlage zur Herstellung von UHFB

zeiten bis 20 min wurden erreicht. Modifikationen an den eingesetzten Fahrmischern und Betonpumpen waren nicht erforderlich.

### Danksagung

Die Praxisversuche waren Bestandteil eines von der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB) finanzierten Forschungsvorhabens zur Herstellung von ultrahochfestem Beton im Transportbetonwerk. Besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in den beteiligten Werken folgender Unternehmen: Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG, Wiesbaden, Heidelberger Beton GmbH, Gebiet Rheinland, Sehring Beton GmbH & Co. KG, Frankfurt, TBR Frischbeton Stuttgart GmbH.

Die vorbereitenden Arbeiten in den Werken einschließlich der Bereitstellung der Ausgangsstoffe, die Durchführung der Praxistests selbst sowie die Auswertung der Ergebnisse sind als Eigenleistung der beteiligten Unternehmen in das Projekt eingeflossen. Dies war Voraussetzung dafür, den beschriebenen Versuchsumfang realisieren zu können.



**Bundesverband der Deutschen  
Transportbetonindustrie e.V.**

Kochstraße 6-7  
10969 Berlin  
Telefon 030 2592292-0  
Telefax 030 2592292-39  
info@transportbeton.org



[www.transportbeton.org](http://www.transportbeton.org)