

---

## Erste Erfahrungen mit dem Einsatz von Mikrozementbeimischungen zu Spritzzementen

---

FIRST EXPERIENCES WITH MICROCEMENT ADMIXTURES FOR SHOTCRETE

UNIV. DOZ. DIPL.-MIN. DR. MONT. CLEMENS REIMANN, WIETERSDORFER & PEGGAUER, ZEMENTWERKE KNOCH, KERN & CO., KLEIN ST. PAUL

Die Auswirkungen von Mikrozementbeimischungen zu Spritzzementen wurden untersucht. Mikrozemente sind Bindemittel mit einem Blaine-Wert zwischen 10.000 und 20.000 cm<sup>2</sup>/g. Sie werden seit einigen Jahren von verschiedenen Herstellern angeboten. Wegen der hohen Feinheit sollten sich mit Mikrozementbeimischungen zumindest ähnliche Effekte wie mit Beimischungen von Silikafume erzielen lassen, allerdings mit dem zusätzlichen Vorteil, daß Mikrozemente selbst auch sehr reaktive Bindemittel sind.

Versuche mit Beimischungen von Mikrozement zu verschiedenen Zementsorten zeigten, daß bei Einsatz von etwa 30 % Mikrozement die Erstarrungszeiten um bis zu 1 Stunde abnehmen und die Frühfestigkeiten bis zum Prüfalter von 3 Tagen auf fast das Doppelte zunehmen.

Spritzversuche mit Mikrozementbeimischungen (Ersatz des Zementes durch verschiedene Anteile Mikrozement) zeigten, daß durch Zusatz von Mikrozement der Rückprall deutlich verringert werden kann. Außerdem kann wegen der hohen Reaktivität des Mikrozementes der Beschleunigerzusatz um bis zu 90 % zurückgenommen werden. Bei geringen Anforderungen an die Frühfestigkeiten kann sogar ohne jeden zusätzlichen Beschleuniger gespritzt werden.

*The effects of microcement admixtures were studied. Microcements are binders with a Blaine fineness between 10,000 and 20,000 cm<sup>2</sup>/g; they have been on the market for several years. Because of their great fineness, microcement admixtures are expected to produce similar effects as silicafume admixtures, with an additional advantage deriving from the fact that microcements themselves are very reactive binders.*

*Tests in which microcement was admixed to different types of cement showed that with about 30 % microcement added the initial setting times decreased by up to one hour and that the early strength values until the test age of 3 days almost doubled.*

*Spraying tests with microcement admixtures (substitution of the cement by different portions of microcement) demonstrated that the rebound can be reduced noticeably. Moreover, because of the microcement's high reactivity the accelerator dosage can substantially reduced (up to 90 %).*

## 1. Einleitung

Mikrozemente weisen eine 3 - 5mal so hohe spezifische Oberfläche wie Normalzemente auf (Tab. 1) /1/.

Gemeinsam mit der TVFA-Graz (Prof. Geymayer, Doz. Tritthart) durchgeführte Untersuchungen an solchen Bindemitteln zeigten gegenüber Normalzementen deutlich veränderte Eigenschaften, zu denen eine erhöhte Viskosität und eine auffällige Klebrigkeit des Mörtels gehörten. Unter anderem wegen der Erhöhung der Klebewirkung wird Microsilica im Trockenspritzverfahren gelegentlich eingesetzt /2, 3, 4/. Es lag daher nahe, den Einfluß von Mikro-zementbeimischungen zu normalen Zementen bzw. unmittelbar im Spritzverfahren näher zu untersuchen.

Tabelle 1 faßt einige Kenngrößen von Zement, Microsilica und Mikro-zement zusammen. Natürlich besteht immer noch ein großer Unterschied in der spezifischen Oberfläche von Mikro-zement und Microsilica. Die extrem große Oberfläche sowie das geringe Schüttgewicht machen Microsilica in der Praxis schwierig zu handhaben. Chemisch gleicht Mikro-zement weitgehend Portlandzement. Es kann jedoch zu  $SO_3$ -Anreicherungen (Gips) im Mikro-zement kommen. Bei den Frühfestigkeiten zeigen Mikro-zemente deutlich höhere Werte als normaler Portlandzement.

## 2. Beimischung von Mikro-zement zu Normalzementen

Um den Einfluß von Mikro-zementbeimischungen auf normale Zemente besser kennenzulernen, wurde zu verschiedenen Zementsorten Mikro-zement beigemischt und Wasseranspruch, Erstarren (Beginn/Ende) sowie Biegezug- und Druckfestigkeit nach ÖNORM B 3310 geprüft. Tabelle 2 faßt die Ergebnisse bei 30 % Mikroze-

mentbeimischung zu einem EPZ 275, PZ 275(F), PZ 275(H), PZ 375(H) und PZ 475 zusammen.

Als wesentliches Ergebnis zeigt sich eine deutliche Verkürzung der Erstarrungszeiten sowie eine starke Zunahme der Frühfestigkeiten bei einer Beimischung von Mikro-zement (Bild 1). Bei den von vornherein feiner gemahlten Sorten PZ 375(H) und PZ 475 ist dieser Effekt weniger stark ausgebildet als bei den anderen drei Zementen.

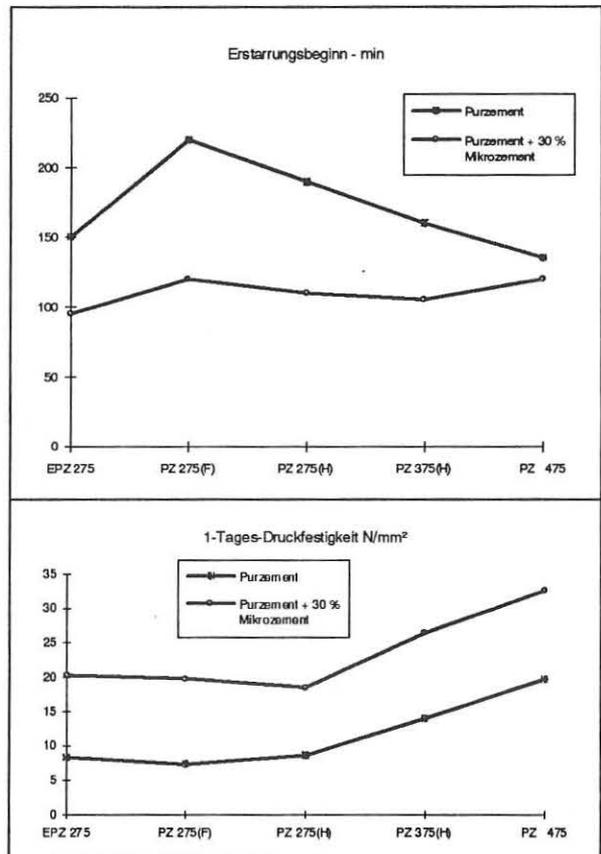


Bild 1: Erstarrungsbeginn und 1-Tages-Druckfestigkeiten einiger Zementsorten ohne und mit Beimischung von 30 % Mikro-zement.

		Portlandzement	Mikrozement aus Mahlung	Mikrozement aus Sichtung	Microsilica
Spez. Oberfläche	cm²/g	2800 - 6000	6000 - 10000	10000 - 20000	180000 - 220000
Dichte	kg/dm³	2,8 - 3,2	2,8 - 3,2	2,7 - 3,2	2,1 - 2,2
Schüttgewicht lose	kg/dm³	0,9 - 1,2	0,7 - 0,9	0,4 - 0,7	0,2 - 0,3
mittlere Korngröße (D50)	µm	8 - 25	3 - 7	0,5 - 2,5	< 0,15
SiO <sub>2</sub> - Gew. %		19 - 23	18 - 23	18 - 23	85 - 98
CaO - Gew. %		58 - 67	58 - 67	58 - 67	0,1 - 5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Gew. %		3 - 7	3 - 7	3 - 7	0,1 - 2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Gew. %		1,5 - 4	1,5 - 4	1,5 - 4	0,1 - 1
SO <sub>3</sub> - Gew. %		max. 3,5	max. 3,5	bis zu 10	< 0,5
Druckfestigkeiten	D1	5 - 22	25 - 30	32 - 55	-
ÖNORM B 3310	D3	15 - 40	40 - 50	44 - 57	-
N/mm²	D28	30 - 60	58 - 62	51 - 70	-

Tab. 1: Einige Kenngrößen von Portlandzement, Mikro-zement und Microsilica /1/

		EPZ 275		PZ 275(F)		PZ 275(H)		PZ 375(H)		PZ 475		
		pur	+ 30% MZ *)	pur	+ 30% MZ	pur	+ 30% MZ	pur	+ 30% MZ	pur	+ 30% MZ	
Wasseran- spruch	%	25,3	30,3	28,0	31,0	25,0	28,0	28,0	35,0	29,0	35,0	
Erstarren	Beginn	150	95	220	120	190	110	160	105	135	120	
	min. Ende	195	135	280	165	240	140	210	150	180	175	
Biegezug- festigkeiten	D1	2,3	4,4	1,7	4,0	2,2	4,1	3,5	5,1	4,1	5,8	
	D3	3,8	5,5	3,6	5,4	4,2	5,2	5,0	6,1	5,8	6,9	
	N/mm <sup>2</sup>	D7	5,3	6,6	5,2	6,3	5,1	6,5	6,0	7,6	7,5	8,0
	D28	7,6	7,8	6,6	7,2	7,7	7,2	8,4	7,4	8,4	7,7	
Druckfestig- keiten	D1	8,3	20,3	7,3	19,8	8,6	18,5	14,0	26,4	19,7	32,6	
	D3	18,0	29,9	18,8	29,9	20,1	28,5	28,7	37,5	38,0	46,0	
	N/mm <sup>2</sup>	D7	28,2	38,0	28,0	36,7	29,0	35,2	37,1	44,6	51,5	50,2
	D28	45,9	48,7	41,1	44,7	45,3	43,9	50,2	52,6	61,1	55,6	

\*) : MZ = Mikrozeement, Blaine 15.000 cm<sup>2</sup>/g, SO<sub>3</sub>: 5 %, 100 % < 10 µm

Tab. 2: Prüfergebnisse nach ÖNORM B 3310 an Normalzementen ohne und mit Beimischung von 30 % Mikrozeement

### 3. Anteiliger Bindemittlersatz in Spritzbetonmischungen durch Mikrozeement

#### 3.1 Rückprall

Microsilica kann zur Minderung des Rückpralls im Trockenspritzverfahren erfolgreich eingesetzt werden /2, 5/.

Der Einfluß des anteiligen Ersatzes des Bindemittels einer Spritzbetonmischung durch Mikrozeement auf den Rückprall sollte untersucht werden. Hierfür wurden an der Wand des Spritzstandes Holzrahmen der Größe 50 x 50 x 10 cm fixiert und jeweils vollständig zugespritzt. Der Rückprall wurde mittels untergelegter Plastikplane aufgefangen und gewogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefaßt.

Zement	Mikrozeement	Rückprall - kg
PZ 375(F)	-	42,2
PZ 375(F)	2 %	39,9
PZ 375(F)	5 %	35,3
PZ 375(F)	10 %	25,7
PZ 375(F)	15 %	32,5

Tab. 3: Rückprall bei anteiligem Ersatz des Bindemittels (PZ 375(F)) durch Mikrozeement (Blaine: 15.000 cm<sup>2</sup>/g)

Diese ersten Versuche zeigen, daß es durch Zusatz relativ geringer Mengen an Mikrozeement gelingt den Rückprall um über 30 % zu verrin-

gern. Kusterle /2/ berichtet beim Einsatz von Microsilica - Slurry von Rückprallsenkungen bis 50 %.

#### 3.2 Frühfestigkeit

Im Gegensatz zu Microsilica ist Mikrozeement ein durch seine Feinheit besonders reaktives Bindemittel. Er sollte daher auch auf relativ geringe Mengen Betonzusatzmittel sehr stark reagieren, d.h. durch Zumischung von Mikrozeement zu einem Normalzement sollte es möglich werden, Betonzusatzmittel, konkret den Abbindebeschleuniger, mit viel geringerer Dosierung als sonst üblich verwenden zu können.

Getestet wurde eine normale Spritzbetonmischung im Vergleich zu einer Mischung mit 30 % anteiligem Bindemittlersatz durch Mikrozeement am Spritzstand. Der normale Spritzbeton wurde mit 5 % Beschleuniger verarbeitet, bei den Chargen mit Mikrozeementbeimischung wurde auf 0,5 und 1 % Beschleunigerdosierung zurückgegangen. Selbst mit der geringen Beschleunigerdosierung 0,5 % wurden die Anforderungen J2 der Richtlinie Spritzbeton erreicht (Tab. 4). Beachtenswert sind vor allem auch die hohen Festigkeiten nach 6 h und speziell die 2-Tage und 7-Tage-Werte im Vergleich zum normal beschleunigten Spritzbeton (Bild 2). Bereits die 7-Tage-Festigkeiten liegen gut doppelt so hoch wie die mit derzeit üblichem, beschleunigtem Spritzbeton erreichte 28-Tage-Druckfestigkeit (23 N/mm<sup>2</sup> /5, 6/).

Zement	Mikro- zement	Beschleu- niger	Festigkeiten - [N/mm <sup>2</sup> ]												
			6 min.	15 min.	30 min.	1 h	2h	3h	6 h	9 h	12 h	24 h	D2	D7	
PZ 375(F)	-	5 %	0,92	1,08	1,1	> 1,2	-	-	2,5	4,2	5,8	5,7	-	20,4	
PZ 375(F)	30 %	1 %	0,54	0,77	0,78	1,15	-	-	5,7	13,2	-	-	27,7	51,0	
PZ 375(F)	30 %	0,5 %	0,25	0,57	0,57	0,98	1,05	-	5,0	11,6	-	-	24,5	46,7	
Anforderung J2			0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0	1,7	2,0	2,5	5,0	-	-	

Tab. 4: Spritzversuche mit Reduzierung des Beschleunigerzusatzes nach anteiligem Bindemittlersatz durch 30 % Mikrozement. Messung der Frühfestigkeiten mit Penetrometer (0 - 1,2 N/mm<sup>2</sup>) und Hilti-Bolzensetzgerät (2 - 15 N/mm<sup>2</sup>) [7].

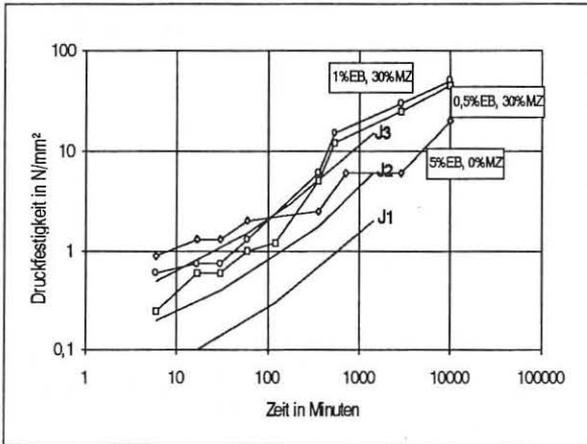


Bild 2: Festigkeitsentwicklung eines normalen Trockenspritzbetons mit 5 % Erstarungsbeschleuniger (EB) im Vergleich zu zwei Mischungen mit 30 % igem Ersatz des Bindemittels durch Mikrozement (MZ) und auf 1 % bzw. 0,5 % reduziertem Beschleunigereinsatz.

### 3.3 Spritzversuche mit Zement-/Mikrozementmischungen ohne Beschleunigereinsatz

Bei geringen Anforderungen an die Frühfestigkeiten z.B. beim Spritzen der Innenschicht oder guter Gebirgsstandfestigkeit wäre es aus Qualitätsgründen interessant, Spritzbeton ohne Erstarungsbeschleuniger zu verwenden.

Kusterle /3/ und Strasser/Kusterle /4/ berichten vom erfolgreichen Einsatz von Microsilica-Slurry Beimischungen zum Spritzbeton beim Spritzen einer Innenschale ohne EB. Schon bei den ersten Versuchen mit Zement/Mikrozementmischungen im Labor war deren große Klebrigkeit aufgefallen. Aufgrund dieser Eigenschaft sollte es möglich sein, auch größere Schichtdicken eines Spritzbetons mit einem Zement/Mikrozementgemisch als Bindemittel ohne EB spritzen zu können.

Für erste Versuche wurde ein Spritzbeton mit Ersatz von 30 % des Bindemittels durch Mikrozement verwendet. Am Spritzstand ließen sich

problemlos Schichtdicken von über 50 cm frei hängend an die Wand spritzen. Auch über Kopf haftet die Mischung perfekt und konnte in Schichtdicken über 30 cm aufgetragen werden. Bei der Prüfung der Festigkeitsentwicklung ergab sich ein interessanter Effekt. Wird bereits ein von Natur aus "schneller" Basiszement (Erstarungsbeginn < 120 min.) verwendet, ist es möglich, nur durch Mikrozementbeimischung ohne jeden Beschleuniger die Festigkeitsklasse J1 zu erreichen. Ist der Basiszement "langsam" (Erstarungsbeginn 150 - 240 min.) dauert es 1 - 3 Stunden bis es zu einer rasanten Festigkeitsentwicklung kommt. Die erreichten Frühfestigkeiten (Bild 3) sind mit Zement/ Mikrozementmischungen selbst bei 10 °C deutlich besser als die von Kusterle /3/ und Huber /8/ genannten Werte für Zement/Microsilicamischungen bei erhöhter Starttemperatur von 35 °C.

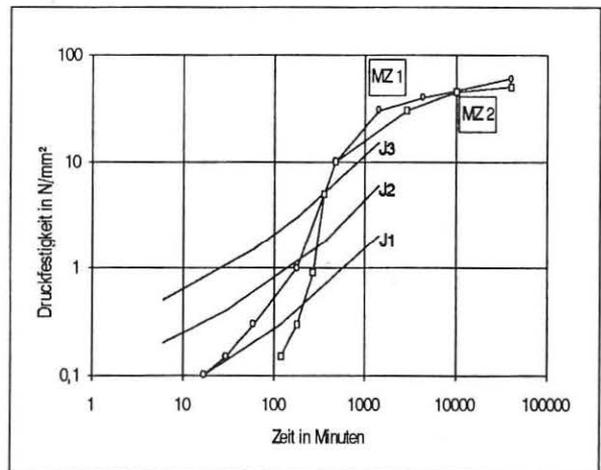


Bild 3: Festigkeitsentwicklung von zwei Spritzbetonmischungen mit 30 % igem Ersatz des Bindemittels durch Mikrozement ohne Erstarungsbeschleuniger.

MZ1: Erstarungsbeginn des Bindemittels (PZ 375(H)): 110 Minuten,

MZ2: Erstarungsbeginn des Bindemittels (PZ 375(F)): 220 Minuten.

Inwieweit es durch die schnelle Festigkeitsentwicklung von Zement/Mikrozementmischungen auch zu negativen Effekten (Rißbildung) kommen kann, muß noch geprüft werden.

Auch die Endfestigkeiten nach 28 Tagen sind natürlich beachtlich höher als mit herkömmlichem Spritzbeton erreichbar /5/.

#### 4. Zusammenfassung

Wegen der großen Umweltbelastung durch herkömmliche Erstarrungsbeschleuniger sowie ihrer negativen Auswirkungen auf die Betonqualität ist es interessant, ihren Einsatz bei der Spritzbetonverarbeitung zu minimieren. Versuche mit teilweisen Ersatz des Bindemittels durch Mikrozement zeigen, daß hierdurch wegen der hohen Reaktivität des Mikrozementes die Dosierung des Erstarrungsbeschleunigers um bis zu 90 % zurückgenommen werden kann.

Wegen der hohen Klebrigkeit von Zement/Mikrozementmischungen wird gleichzeitig der Rückprall verringert. Bei geringen Anforderungen an die Frühfestigkeiten kann wegen dieser hohen Klebrigkeit auch in großen Schichtdicken ohne jeden Erstarrungsbeschleuniger gespritzt werden.

#### 5. Literatur

- /1/ **Kühling, G.:**  
Feinstzemente - mikrofeine hydraulische Bindemittel. - Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau, Heft 11/1990.
- /2/ **Kusterle, W.:**  
Rückprallminderung beim Trockenspritzverfahren durch technologische Maßnahmen. - Beton- und Stahlbetonbau 84, Heft 1, Seite 6 - 10, (1989).
- /3/ **Kusterle, W.:**  
Der Einsatz von Microsilica im Trockenspritzverfahren. - Tunnel 4/90, Seite 230 - 238.
- /4/ **Strasser, P.; Kusterle, W.:**  
Microsilicavergüteter Trockenspritzbeton - Praktische Erfahrungen. - Felsbau 9, Nr.4, Seite 174 bis 177, (1991).
- /5/ **Österreichischer Betonverein:**  
Richtlinie Spritzbeton, Teil 1 - Anwendung, 34 S; Teil 2 - Prüfverfahren (Ausgabe Juni 1991), 47 S. (1989).
- /6/ **Kusterle, W.:**  
Einflüsse auf Frühfestigkeit und Endfestigkeit des Spritzbetons. - Zement und Beton, 34. Jg., Heft 3, Seite 117 - 120, (1989).
- /7/ **Kusterle, W.:**  
Ein kombiniertes Verfahren zur Beurteilung der Frühfestigkeit von Spritzbeton. - Beton- und Stahlbetonbau 9/1984, Seite 251 - 253.
- /8/ **Huber, H.:**  
Entwicklungen und Perspektiven der Beton-technik beim Bau großer Tunnels in Österreich. - Zement und Beton 2/92; Seite 22 - 25.

