

Zement ist ein anorganisches, fein gemahlenes, hydraulisch wirkendes Bindemittel für Mörtel und Beton. Bei Zugabe von Wasser erhärtet der sich bildende Zementleim durch Hydratation zu wasser- und raumbeständigem Zementstein. Dies geschieht sowohl an der Luft als auch unter Wasser.

Im Hinblick auf die große Anzahl der Zementarten werden in den europäischen und nationalen Zementnormen „Normalzemente“ und „Sonderzemente“ (Zemente mit zusätzlichen oder besonderen Eigenschaften) getrennt behandelt. Zusammensetzung, Anforderungen und Eigenschaften der Normalzemente sind in der Norm DIN EN 197 oder in darauf bezogenen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. Für Sonderzemente gelten die Normen DIN EN 14216 sowie die nationalen Zementnormen DIN 1164, Teile 10, 11 und 12.

**■ 1 Zementarten**

Die DIN EN 197-1 unterteilt den Zement in fünf Hauptzementarten:

Portlandzement	CEM I
Portlandkompositzemente	CEM II
Hochofenzement	CEM III
Puzzolanzement	CEM IV
Kompositzement	CEM V

Diese Hauptzementarten werden entsprechend der Zugabemenge ihrer Hauptbestandteile in weitere 27 Zementarten unterteilt (Tafel 2).

**Zusammensetzung der Zemente**

Die Zemente sind zusammengesetzt aus Hauptbestandteilen, aus Calciumsulfat und ggf. aus Nebenbestandteilen bzw. Zementzusätzen.

**Hauptbestandteile der Zemente**

- **Portlandzementklinker (K):** ist ein hydraulischer Stoff, der im Wesentlichen aus Calciumsilicaten besteht. Portlandzementklinker wird durch Mahlen und Brennen der Rohstoffe Kalkstein oder Kreide und Ton hergestellt. Der Name Portland stammt von der südenglischen Halbinsel Portland, auf der Kalkstein abgebaut wird, der farblich den mit „Portland-Cement“ gefertigten Kunststeinprodukten ähnelte.
- **Hüttensand (S):** Beim Schmelzen von Eisenerz im Hochofen fällt Hochofenschlacke an. Die aus dem Hochofen abgezogene Schlackenschmelze wird mit Wasser abgeschreckt. Es entsteht ein überwiegend glasig erstarrter, latent hydraulischer Stoff. Fein vermahlen entwickelt Hüttensand bei entsprechender Anregung (z.B. durch das Calciumhydroxid aus dem Zementklinker) hydraulische Eigenschaften.

**Tafel 1: Normung der Zemente**

Norm	Ausgabe	Inhalt
Europäische Normung		
DIN EN 196		Prüfverfahren für Zement
DIN EN 197-1	08/2004	Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement
DIN EN 197-2	11/2000	Zement – Konformitätsbewertung
DIN EN 197-4	08/2004	Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Hochofenzementen mit niedriger Anfangsfestigkeit
DIN EN 14216	08/2004	Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme
Nationale Normung		
DIN 1164-10	08/2004	Zement mit besonderen Eigenschaften – Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften (Ersatz für DIN 1164, Ausgabe 11/2000)
DIN 1164-11	11/2003	Zement mit besonderen Eigenschaften – Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit verkürztem Erstarren
DIN 1164-12	06/2005	Zement mit besonderen Eigenschaften – Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen

- **Puzzolane (P, Q):** sind kieselsäurehaltige oder kieselsäure- und tonerdehaltige Stoffe aus natürlichen Vorkommen. Sie sind vulkanischen Ursprungs (z.B. Trass, Lava) oder werden aus Tonen, Schiefer oder Sedimentgesteinen gewonnen (Phonolith). Puzzolane haben kein eigenes Erhärtungsvermögen. Sie reagieren erst dann zu festigkeitsbildenden und wasserunlöslichen Verbindungen, wenn sie nach dem Anmachen mit Wasser mit Calciumhydroxid (aus dem Portlandzementklinker) in Berührung kommen. Der Name „Puzzolan“ ist von der süditalienischen, dem Vesuv nahen Stadt Pozzuoli abgeleitet. Puzzolane werden als natürliches Puzzolan (P) oder als natürliches getempertes (thermisch behandeltes) Puzzolan (Q) (z.B. Phonolith) für die Zementherstellung eingesetzt.
- **Flugaschen (V, W):** sind kieselsäure- oder kalkreiche, staubartige Partikel, die aus Abscheideanlagen für Rauchgase von Feuerungen mit feingemahlener Kohle (z.B. Kohlekraftwerken) stammen. Flugaschen aus anderen Feuerungsverfahren dürfen zur Herstellung von Zementen nach DIN EN 197-1 nicht verwendet werden. Kieselsäurereiche Flugaschen (V) bestehen hauptsächlich aus kugelförmigen, glasigen Partikeln mit puzzolanischen Eigenschaften und stammen in der Regel aus steinkohle-

befeuerten Kraftwerken. Kalkreiche Flugaschen (W) sind feinkörnige Stäube mit hydraulischen und/oder puzzolanischen Eigenschaften. Sie stammen vorwiegend aus Braunkohle-Feuerungsanlagen.

- **Gebrannter Schiefer (T):** Gebrannter Schiefer, insbesondere gebrannter Ölschiefer, wird bei etwa 800° C aus natürlichen Schiefervorkommen hergestellt. Fein gemahlen hat gebrannter Schiefer ausgeprägt hydraulische, daneben aber auch puzzolanische Eigenschaften.
- **Kalkstein (L, LL):** Gemahlener Kalkstein kann die Korngrößenverteilung des Zements im feinen Bereich verbessern. Er ist als inerter Hauptbestandteil geeignet, wenn er entsprechend DIN EN 197-1 einen ausreichend hohen Gehalt an Calciumcarbonat sowie niedrige Gehalte an organischem Kohlenstoff (L : ≤ 0,50 M.-%; LL : ≤ 0,20 M.-%) und Ton aufweist.
- **Silicastaub (D):** besteht aus sehr feinen, kugeligen Partikeln mit einem hohen Gehalt (≥ 85 M.-%) an amorphem (glasartig,

ohne kristalline Struktur) Siliciumdioxid. Silicastaub entsteht als Filterstaub bei der Herstellung von Silicium oder Siliciumlegierungen. Ausgangsstoff hierfür ist Quarz, der zusammen mit Kohle in Elektroöfen bei Temperaturen ab 2500 °C aufgeschmolzen wird.

### Nebenbestandteile der Zemente

Als Nebenbestandteil können die Zemente bis zu 5 M.-% feiner zerkleinerte anorganische, mineralische Stoffe enthalten, die aus der Klinkerproduktion (z.B. Rohmehl) stammen oder den anderen Hauptbestandteilen entsprechen. Sie verbessern aufgrund ihrer Korngrößenverteilung die physikalischen Eigenschaften von Zement (z.B. Verarbeitbarkeit oder Wasserrückhaltevermögen). Sie können inert sein (z.B. gemahlener Kalkstein) oder schwach ausgeprägt hydraulische (z.B. Ölschieferabbrand), latent hydraulische (z.B. Hüttensand) oder puzzolanische (z.B. Trass oder kieselsäurereiche Flugasche) Eigenschaften aufweisen. Stoffe, die als Nebenbestandteile dem Zement zugegeben werden, dürfen im Zement nicht als Hauptbestandteil enthalten sein.

**Tafel 2: Normalzemente und ihre Zusammensetzung nach DIN EN 197-1**

Zementart			Hauptbestandteile neben Portlandzementklinker	
Hauptart	Benennung	Kurzzeichen	Art	Anteil [M.-%]
CEM I	Portlandzement	CEM I	–	0
CEM II	Portlandhüttensandzement	CEM II/A-S	Hüttensand (S)	6 ... 20
		CEM II/B-S		21 ... 35
	Portlandsilicastaubzement	CEM II/A-D	Silicastaub (D)	6 ... 10
	Portlandpuzzolanzement	CEM II/A-P	natürliches Puzzolan (P)	6 ... 20
		CEM II/B-P		21 ... 35
		CEM II/A-Q	künstliches Puzzolan (Q)	6 ... 20
		CEM II/B-Q		21 ... 35
	Portlandflugaschezement	CEM II/A-V	kieselsäurereiche Flugasche (V)	6 ... 20
		CEM II/B-V		21 ... 35
		CEM II/A-W	kalkreiche Flugasche (W)	6 ... 20
		CEM II/B-W		21 ... 35
	Portlandschieferzement	CEM II/A-T	gebrannter Schiefer (T)	6 ... 20
		CEM II/B-T		21 ... 35
	Portlandkalksteinzement	CEM II/A-L	Kalkstein (L)	6 ... 20
CEM II/B-L		21 ... 35		
CEM II/A-LL		Kalkstein (LL)	6 ... 20	
CEM II/B-LL			21 ... 35	
Portlandkompositzement	CEM II/A-M	alle Hauptbestandteile sind möglich (S, D, P, Q, V, W, T, L, LL)	6 ... 20	
	CEM II/B-M		21 ... 35	
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	Hüttensand (S)	36 ... 65
		CEM III/B		66 ... 80
		CEM III/C		81 ... 95
CEM IV	Puzzolanzement <sup>1)</sup>	CEM IV/A	Puzzolane (D, P, Q, V)	11 ... 35
		CEM IV/B		36 ... 55
CEM V	Kompositzement	CEM V/A	Hüttensand (S) und Puzzolane (P, Q, V)	18 ... 30
		CEM V/B		31 ... 50

<sup>1)</sup> Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 M.-% begrenzt.

### Calciumsulfat und Zementzusätze

Zur Regelung des Erstarrens wird dem Zement in geringen Mengen Calciumsulfat (Gips und/oder Anhydrit) zugegeben. Zur weiteren Verbesserung der Zementherstellung oder der Zementeigenschaften können Zusätze (z.B. Mahlhilfsmittel) verwendet werden.

### 2 Festigkeitsklassen, Normbezeichnungen und Kennzeichnung

Die Zemente werden in den Festigkeitsklassen 22,5; 32,5; 42,5 und 52,5 hergestellt. Mit Ausnahme der Festigkeitsklasse 22,5 (nur für Sonderzemente nach DIN EN 14216) werden sie nochmals nach ihrer Anfangsfestigkeit unterteilt in:

- niedrige Anfangsfestigkeit (Kennbuchstabe L = Low), (nur für Hochofenzemente nach DIN EN 197-4)
- normale, übliche Anfangsfestigkeit (Kennbuchstabe N = Normal) und
- hohe Anfangsfestigkeit (Kennbuchstabe R = Rapid)

Die Festigkeiten werden durch Prüfung von Mörtelprismen entsprechend den in DIN EN 196 festgelegten Regelungen ermittelt. Wie aus Tafel 3 ersichtlich, ist für die Festigkeitsklassen 22,5; 32,5 und 42,5 die Normfestigkeit auch nach oben begrenzt.

Der Einfluss der Zementfestigkeit auf die Betonfestigkeit lässt sich nur abschätzen, da diese wesentlich auch vom Wasserzementwert, der Verdichtung und der Nachbehandlung des Betons abhängt.

### Normbezeichnungen

Für eine eindeutige Zuordnung eines Normzements sind die Angabe der Zementart, der Normbezug, die Kurzzeichen der Zementart und weiterer neben Portlandzementklinker im Zement vorhandener Hauptbestandteile sowie die Festigkeitsklasse mit dem Hinweis auf die Anfangsfestigkeit vorgeschrieben.

Beispiel: Portlandzement der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit

Portlandzement EN 197-1 – CEM I 42,5 R

**Tafel 3: Festigkeitsklassen und Kennfarben von Zement**

Festigkeitsklasse	Norm	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]				Kennfarbe <sup>1)</sup>	Farbe des Aufdrucks <sup>1)</sup>
		Anfangsfestigkeit		Normfestigkeit			
		2 Tage	7 Tage	28 Tage			
22,5	DIN EN 14216	–	–	≥ 22,5	≤ 42,5	–	–
32,5 L	DIN EN 197-4	–	≥ 12	≥ 32,5	≤ 52,5	hellbraun	–
32,5 N	DIN EN 197-1	–	≥ 16				schwarz
32,5 R	DIN EN 197-1	≥ 10	–				rot
42,5 L	DIN EN 197-4	–	≥ 16	≥ 42,5	≤ 62,5	grün	–
42,5 N	DIN EN 197-1	≥ 10	–				schwarz
42,5 R	DIN EN 197-1	≥ 20	–				rot
52,5 L	DIN EN 197-4	≥ 10	–	≥ 52,5	–	rot	–
52,5 N	DIN EN 197-1	≥ 20	–				schwarz
52,5 R	DIN EN 197-1	≥ 30	–				weiß

<sup>1)</sup> Nur für Zemente mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164 verbindlich

Beispiel: Portlandkalksteinzement der Festigkeitsklasse 32,5 mit hoher Anfangsfestigkeit und 6 bis 20 M.-% Kalkstein (Gesamtanteil an organischem Kohlenstoff ≤ 0,20 M.-%)

Portlandkalksteinzement EN 197-1 – CEM II/A-LL 32,5 R

Beispiel: Kompositzement der Festigkeitsklasse 32,5 mit normaler Anfangsfestigkeit mit einem Anteil an Hüttensand = 30 M.-% und Trass = 30 M.-%

Kompositzement EN 197-1 – CEM V/A (S–P) 32,5 N

Beispiel: Hochofenzement der Festigkeitsklasse 32,5 mit niedriger Anfangsfestigkeit und 66 bis 80 % Hüttensand

Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit EN 197-4 – CEM III/B 32,5 L

### Kennzeichnung

Die DIN EN 197 enthält keine Regelungen zum Sackgewicht sowie zu den Kennfarben von Zementsäcken (Festigkeitsklasse) und zu der Farbe des Sack-Aufdruckes (Entwicklung der Anfangsfestigkeit). Gleiches gilt auch für das bisher geforderte farbige witterungsfeste Blatt zum Anheften an den Silo.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass die deutschen Zementhersteller an den bewährten Regelungen zum Sackgewicht (25 kg) sowie an der farblichen Unterscheidung der Verpackung festhalten, zumal diese Regelungen weiterhin für „Zemente mit besonderen Eigenschaften“ nach DIN 1164 gelten.

Entsprechend der Gefahrstoff-Verordnung ist aus Gründen der Vorsorge Zement als „reizend“ eingestuft worden. Dementsprechend sind Lieferschein und Verpackung mit dem Gefahrenhinweis Xi zu kennzeichnen. Gefahrenhinweise und Sicherheitsratschläge sind entsprechend dieser Einstufung durch die zutreffenden R- und S-Sätze auf den Lieferdokumenten beschrieben.

### ■ 3 Sonderzemente

Zusammensetzung und Anforderung an Sonderzemente (Zement mit zusätzlichen oder mit besonderen Eigenschaften) sind in den entsprechenden Zementnormen geregelt. Grundlage für die zusätzlich zu stellenden Anforderungen sind jedoch die Fest-

legungen der DIN EN 197-1 für Normalzemente, die auch von den Sonderzementen erfüllt werden müssen.

Sonderzemente sind für bestimmte Bauaufgaben erforderlich. In der europäischen Normung (DIN EN 197 und DIN EN 14216) werden Zemente mit niedriger Hydratationswärme (LH) und Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH) definiert. Sie ersetzen die bisher in der DIN 1164 beschriebenen „NW-Zemente“.

Die nationale Normung (DIN 1164 Teile 10, 11, 12) unterscheidet in Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (HS), mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (NA), mit frühem Erstarren (FE), mit schnellem Erstarren (SE) und in Zemente mit erhöhtem Anteil organischer Bestandteile (HO). Die Kurzzeichen wie z.B. LH, HS oder NA werden zur Normbezeichnung des Zements hinzugefügt.

Andere Zemente mit besonderen Eigenschaften, wie Straßenzemente, Weißzement und wasserabstoßende Zemente sind Zemente nach DIN EN 197-1. Sie besitzen keine besondere Normbezeichnung, können aber zusätzlich gekennzeichnet werden.

Zemente mit zusätzlichen oder mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164 müssen durch die Farbe der Zementsäcke bzw. des Anheftblattes am Silo (Silozettel) sowie die Farbe des Aufdruckes auf dem Sack bzw. dem Silozettel unterschieden werden können.

### Zemente mit niedriger Hydratationswärme (LH-Zemente)

Derart gekennzeichnete Zemente sind besonders geeignet für massige Bauteile und zum Betonieren bei hohen Außentemperaturen. Sie erfordern eine längere Nachbehandlungszeit.

### Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH-Zemente)

Diese Sonderzemente nach DIN EN 14216 eignen sich insbesondere für massive Bauwerke mit großen Volumen aber kleinen Oberflächen (z.B. Staudämme). Für diese Sonderzemente wurde die Festigkeitsklasse 22,5 eingeführt.

### Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zemente)

Betone, die mit diesen Zementen hergestellt werden, weisen einen hohen Sulfatwiderstand auf. Sie sind nach DIN 1045-2 (Ausgabe 7/2001) ab Expositionsklasse XA2 (Sulfatgehalt des auf das Bauwerk einwirkenden Wassers mehr als 600 mg/l) anzuwenden. Bei einem Sulfatgehalt des angreifenden Wassers bis 1500 mg je Liter darf anstelle von HS-Zement eine Mischung von Zement und Flugasche verwendet werden. Entsprechend der A1-Änderung zur DIN 1045-2 dürfen künftig auch Portlandflugaschezemente CEM II/A-V, Portlandkompositzemente CEM II/A-M mit den Hauptbestandteilen S, V, T, LL oder CEM II/B-M (S-T) verwendet werden. Beton, der Meerwasser widerstehen soll, erfordert trotz des hohen Sulfatgehaltes dieses Wassers keinen HS-Zement.

### Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (NA-Zemente)

NA-Zemente haben einen niedrigen wirksamen Alkaligehalt. Sie werden verwendet bei Bauteilen, die mit alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen hergestellt werden. Solche Gesteinskörnungen führen unter bestimmten Bedingungen zur Rissbildung (Treiben) im Beton.

**Tafel 4: Zusätzliche Anforderungen an Sonderzemente**

Zementart	Norm	Anforderung	
LH-Zement (LH = Low Heat of Hydratation)			
CEM I bis CEM V	DIN EN 197-1 + A 1	Hydratationswärme nach 7 Tagen $\leq 270$ J/g	
CEM III	DIN EN 197-4	Niedrige Anfangsfestigkeit (32,5 L; 42,5 L; 52,5 L) Hydratationswärme nach 7 Tagen $\leq 270$ J/g	
VLH-Zement (VLH = Very Low Heat of Hydratation)			
VLH III/B + / C VLH IV/A + / B VLH V/A + / B	DIN EN 14216	Hydratationswärme nach 7 Tagen $\leq 220$ J/g	
HS-Zement (HS = Hoher Sulfatwiderstand)			
CEM I	DIN 1164-10	$C_3A$ -Gehalt $\leq 3,0$ M.-%, $Al_2O_3$ -Gehalt $\leq 5,0$ M.-%	
CEM III/B + / C			
NA-Zement (NA = Niedriger wirksamer Alkaligehalt)			
CEM I bis CEM V	DIN 1164-10	Hüttensandgehalt [M.-%]	$Na_2O$ -Äquivalent [%]
			$\leq 0,60$
CEM II/B – S		21 bis 35	$\leq 0,70$
CEM III/A		36 bis 49	$\leq 0,95$
		50 bis 65	$\leq 1,10$
CEM III/B		66 bis 80	$\leq 2,00$
CEM III/C	81 bis 95	$\leq 2,00$	
FE-Zement (FE = Frühes Erstarren)			
CEM I bis CEM V	DIN 1164-11	Festigkeitsklasse	Erstarrungsbeginn [min]
		32,5 N / 32,5 R	$\geq 15 \dots < 75$
		42,5 N / 42,5 R	$\geq 15 \dots < 60$
		52,5 N / 52,5 R	$\geq 15 \dots < 45$
SE-Zement (SE = Schnelles Erstarren)			
CEM I bis CEM V	DIN 1164-11	Festigkeitsklasse 32,5 N ... 52,5 R	Erstarrungsbeginn [min] $< 45$
HO-Zement (HO = Erhöhter Anteil organischer Bestandteile)			
CEM I bis CEM V	DIN 1164-12	Menge an organischen Zusätzen $\leq 1$ M.-%	

**Zemente mit frühem Erstarren (FE-Zemente)**

Diese Zemente sind durch einen frühen Erstarrungsbeginn gekennzeichnet. Sie ermöglichen bei entsprechend kurzen Misch-, Transport- und Verarbeitungszeiten die Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 z.B. für Betonfertigteile

**Zemente mit schnellem Erstarren (SE-Zemente)**

Diese Zemente, mit einem Erstarrungsbeginn nach weniger als 45 Minuten, sind für die normale Betonherstellung nicht geeignet. Ihre Anwendung beschränkt sich auf spezielle Herstellverfahren wie z.B. Trockenspritzbeton. Sie sind zurzeit nur als Portlandzement (CEM I) zugelassen.

**Zement mit erhöhtem Anteil organischer Bestandteile (HO-Zemente)**

Diese Zemente dürfen abweichend von der DIN EN 197-1 wieder, wie früher geregelt, bis zu 1 M.-% organische Bestandteile enthalten. Sie enthalten stark verflüssigend wirkende Zusätze, die die Konsistenz des dazu hergestellten Zementleims verändern.

**Tafel 5: Geforderte charakteristische Werte für den wirksamen Alkaligehalt ( $Na_2O$ -Äquivalent) bei Straßenbauzementen**

Zement	Hüttensandgehalt	Alkaligehalt des Zements	Alkaligehalt des Zements ohne Hüttensand bzw. Ölschiefer
	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]
CEM I + CEM II/A	–	$\leq 0,80$	–
CEM II/B-T	–	–	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	21 bis 29	–	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	30 bis 35	–	$\leq 1,0$
CEM III/A	36 bis 50	–	$\leq 1,05$

**Straßenbauzemente**

Für das Herstellen von Fahrbahndecken aus Beton werden vorwiegend Portlandzemente CEM I der Festigkeitsklasse 32,5 R, aber auch Portlandkompositzemente (CEM II) oder Hochofenzement (CEM III) verwendet. Straßenbauzement CEM I 32,5 R muss über die DIN EN 197-1 hinausgehende Anforderungen im Hinblick auf den Wasseranspruch, die 2-Tage-Druckfestigkeit und die Mahlfineinheit erfüllen. Unabhängig von der Festigkeitsklasse gilt für alle Zemente für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton ein Erstarrungsbeginn  $\geq 2$  Stunden nach dem Anmachen. Sie dürfen darüber hinaus bestimmte charakteristische Werte für den wirksamen Alkaligehalt ( $Na_2O$ -Äquivalent) nicht überschreiten. Weitere Angaben für Zemente im klassifiziertem Straßenbau sind in den ZTV Beton StB enthalten.

**Weißzement**

Weißzement ist ein eisenoxidarmer Portlandzement. Er wird aus besonderen Rohstoffen und mit speziellen Verfahren hergestellt und in weißen Säcken mit schwarzem Aufdruck geliefert. Weißzement ergibt einen hellen Beton, der auch gut eingefärbt werden kann.

**Wasserabstoßende Zemente**

Wasserabstoßende (hydrophobierte) Zemente werden in der Festigkeitsklasse 32,5 N geliefert. Sie sind gegen Feuchtigkeit (Regen) unempfindlich. Diese Zemente reagieren mit Wasser erst beim Mischen nach Aufschluss des Zementkorns durch Reibung mit den Gesteinskörnungen oder dem Boden. Sie werden hauptsächlich bei der Bodenverfestigung und Verfestigung frostsicherer Böden angewendet.

**4 Technische Eigenschaften der Normalzemente**

**Dichte**

**Tafel 6: Richtwerte für Dichte und Schüttdichte**

Zementart	Dichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Schüttdichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	
		lose eingefüllt	eingerrüttelt
Portlandpuzzolanzement, Portlandflugaschezement	~ 2,9	} 0,9 bis 1,2	} 1,6 bis 1,9
Hochofen-, Portlandhütten-, Portlandschiefer-, Portlandkalksteinzement	~ 3,0		
Portlandzement	~ 3,1		
Portlandzement-HS	~ 3,2		

**Erstarren**

Der Erstarrungsbeginn von Zementen der Festigkeitsklasse 32,5 darf bei der Prüfung mit dem Nadelgerät nach Vicat frühestens 75 Minuten nach dem Anmachen mit dem Wasser eintreten. Bei Zementen der Festigkeitsklasse 42,5 darf der Erstarrungsbeginn nicht früher als nach 60 und bei Zementen der Festigkeitsklasse 52,5 nicht früher als nach 45 Minuten erfolgen.

**Farbe**

Die Farbe eines Zements ist kein Gütemerkmal. Sie hängt z.B. von den verwendeten Rohstoffen, der Zementart, der Mahlfeinheit und dem Herstellverfahren ab. Schwankungen im Grauton der Zemente sind unvermeidlich. Sie sind jedoch bei Zementen desselben Lieferwerks und der gleichen Festigkeitsklasse so klein, dass sie in ihrer Auswirkung auf die Farbe des Betons von anderen Einflüssen der Betonrezeptur und -verarbeitung, wie örtlich begrenzten Schwankungen des Wasserzementwertes, unterschiedlicher Kornzusammensetzung, verschieden saugfähiger Schalung und unterschiedlich intensivem Rütteln weit überdeckt werden.

**Vermischbarkeit**

Zemente sollten nicht miteinander vermischt werden. Jeder Zement ist hinsichtlich des Ansteifens und Erstarrens jeweils für sich optimiert. Ist für besondere Anwendungen ein Mischen von Zementen technisch und wirtschaftlich sinnvoll, muss in jedem Fall die Unbedenklichkeit der Mischung durch eine Erstprüfung am Beton nachgewiesen werden. Im Übrigen gilt, dass jeder zugemischte Zement für die festgelegte Expositionsklasse zugelassen sein muss.

Beim Transport und bei der Lagerung losen Zements muss besonders darauf geachtet werden, dass in Silowagen oder Baustellensilos keine Reste früherer Füllungen wie Gips, Kalk, Kunstdünger usw. zurückgeblieben sind. Silowagen und Silos sind bei Frachtwechsel deshalb gründlich zu reinigen, um Veränderungen der Zementeigenschaften zu vermeiden.

**■ 5 Anwendungsbereich der Zemente**

Allgemein sind zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 alle Zemente nach DIN EN 197 und DIN 1164 geeignet. Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der mit diesen Zementen hergestellten Betone sind jedoch je nach Anwendungsbereich Einschränkungen zu beachten. Regelungen hierzu sind in DIN 1045-2 in Abhängigkeit von den Einwirkungen aus den

**Festigkeitsentwicklung**

**Tafel 7: Richtwerte für die Festigkeitsentwicklung von Beton mit verschiedenen Zementfestigkeitsklassen bei einer ständigen Lagerung bei +20 °C**

Zementfestigkeitsklasse	Betonfestigkeit in % der 28-Tage-Druckfestigkeit nach				
	3 Tagen	7 Tagen	28 Tagen	90 Tagen	180 Tagen
32,5 N	30...40	50...65	100	110...125	115...130
32,5 R 42,5 N	50...60	65...80	100	105...115	110...120
42,5 R 52,5 N 52,5 R	70...80	80...90	100	100...105	105...110

Umgebungsbedingungen auf ein Bauteil (Expositionsklassen) getroffen worden.

Tafel 9 zeigt die in DIN 1045-2 definierten Anwendungsbereiche in Abhängigkeit von den Expositionsklassen für die gesamte Bandbreite der 27 Zementarten der DIN EN 197-1. Dabei wurden die bislang gültigen Regelungen für die bereits in der Vorgängernorm DIN 1164-1 (Ausgabe 10/1994) genormten Zemente fortgeschrieben. Die Tafel zeigt, dass Einschränkungen in der Verwendbarkeit der Zemente besonders für Kompositzemente CEM V, Puzzolanzemente CEM IV und Hochofenzemente CEM III/C bestehen. Das gilt auch für fast alle bislang nicht genormten CEM II-M-Zemente. Die Einschränkungen betreffen insbesondere die Verwendung für frostbeanspruchte sowie chloridbeaufschlagte Bauteile.

**■ 6 Herstellung der Zemente**

**Gewinnen und Aufbereiten der Rohstoffe**

Rohstoffe für die Herstellung von Portlandzementklinker sind Kalkstein/Kreide und Ton oder ihr natürliches Gemisch, der Kalksteinmergel. Die natürlichen Vorkommen enthalten Eisenoxid, das dem Zement und Beton die graue Farbe gibt. Kalk (CaCO<sub>3</sub>) ist Hauptkomponente des Rohstoffgemischs. Der Ton als Aluminat-, Silikat- und Eisenoxidträger kann auch durch ähnlich zusammengesetzte Stoffe, wie z.B. Flugasche und Sand ersetzt werden.

Das Rohmaterial wird in Steinbrüchen vorwiegend durch Sprengen gewonnen und in Brecheranlagen zu Schotter zerkleinert. Weist das Gestein ein lockeres Gefüge auf, kann es auch ohne Sprengen durch den Einsatz von schweren Reißraupen abgetragen werden. Kreide wird durch Eimerketten- und Schürfkübelbagger unmittelbar von der Wand abgetragen.

Entscheidend für die Güte und Gleichmäßigkeit des Zements ist eine gleichbleibende Zusammensetzung des Rohmaterials. Da alle Rohstoffe natürlichen Ursprungs sind, können in den Lagervorkommen Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung auftreten. Deshalb wird vielfach der Rohschotter vorhomogenisiert, das heißt innig und gleichmäßig vermischt. Dazu können rechteckige oder kreisförmige Halden (so genannte „Mischbetten“) Schicht für Schicht aufgeschüttet werden. Diese Halden fassen ungefähr den Schottervorrat für eine Woche (bis 80000 t). Anschließend werden sie quer zu den Schichten wieder abgetragen. Auf diese Weise lässt sich eine

**Wärmeentwicklung**

**Tafel 8: Richtwerte für die Hydratationswärme der Zemente**

Zementfestigkeitsklasse	Hydratationswärme in J/g bestimmt mit dem Lösungskalorimeter (DIN EN 196) nach			
	1 Tag	3 Tagen	7 Tagen	28 Tagen
32,5 N	60...175	125...250	150...300	200...375
32,5 R 42,5 N	125...200	200...335	275...375	300...425
42,5 R 52,5 N 52,5 R	200...275	300...350	325...375	375...425

gute Durchmischung des Rohmaterials erreichen. Durch ständige Laboranalysen während des Herstellungsprozesses wird die chemische Zusammensetzung geprüft und falls erforderlich gezielt der Mischbettauflauf geändert, bis der Calciumcarbonat-Gehalt des Gemischs mindestens 76 -78 % beträgt. Auch das Verhältnis von Kieselsäure (SiO<sub>2</sub>), Tonerde (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) und Eisenoxid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), muss genau eingehalten werden.

### Mahlen des Rohmaterials

Vom „Mischbett“ gelangt das Rohmaterial in die Mahltrocknungsanlage. Dort wird der Schotter durch die Abwärme des Brennofens getrocknet und anschließend gemahlen. Im Gebrauch sind entweder mit Stahlkugeln befüllte Rohrmühlen, die um ihre Längsachse rotieren oder Walzenmühlen mit umlaufenden Stahlwalzen oder auch feststehende Walzen, die das in der rotierenden Walzschüssel befindliche Gut zermahlen. Von dort wandert das fertige Rohmehl durch Luftförderung in die Homo-

genisierungsanlage. Solche Anlagen bestehen meistens aus hintereinander geschalteten Silos. Durch systematisches Befüllen und Abziehen der Silos untereinander ist es möglich, bestehende Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung des Rohmehls weitgehend auszugleichen. Nur noch wenig verbreitet ist die Nassaufbereitung (Aufschlammung). Sie kommt nur dort zur Anwendung, wo das Rohmaterial einen hohen Wassergehalt aufweist, wie z.B. bei der Kreide.

### Brennen des Rohmehls

Während früher das Rohmehl unter Zugabe von Wasser zu Ziegeln geformt und in Ringöfen „klingend hart“ – daher der Name Klinker – gebrannt wurde, finden heute hauptsächlich Drehöfen zur Herstellung von Zementklinker Verwendung; Drehöfen sind unter 3 bis 4 % geneigt liegende, feuerfest ausgemauerte Stahlröhren, die sich langsam mit 1,3 bis 2 Umdrehungen in der Minute drehen. Bevor das Rohmehl in den Ofen

Tafel 9: Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN 1164 gemäß DIN EN 206 / DIN 1045-2

Expositionsklassen nach DIN EN 206 □ = gültiger Anwendungsbereich □ = Anwendung ausgeschlossen bzw. nur durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung möglich	kein Korrosions- oder Angriffsrisiko	Bewehrungskorrosion											Betonangriff						Spannstahlverträglichkeit		
		durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride verursachte Korrosion							Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß	
						andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser												
		X0	XC1	XC2	XC3, XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1, XA2 <sup>1)</sup> , XA3 <sup>1)</sup>	XM1, XM2, XM3				
CEM I																					
CEM II	S	A/B																			
	D	A															2)				
	P/Q	A/B																			
	V	A																			
		B																			
	W	A																			
		B																			
	T	A/B																			
	LL	A																			
		B																			
L	A																				
	B																				
M <sup>3)</sup>	A																				
	B																				
CEM III	A													4)							
	B													5)							
	C																				
CEM IV <sup>3)</sup>	A																				
	B																				
CEM V <sup>3)</sup>	A																				
	B																				

<sup>1)</sup> Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) muss bei den Expositionsklassen XA2 und XA3 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) verwendet werden. Bei einem Sulfatgehalt des angreifenden Wassers von SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ≤ 1500 mg/l darf anstelle von HS-Zement eine Mischung von Zement und Flugasche verwendet werden  
<sup>2)</sup> Silicastaub nach Zulassungsrichtlinien DIBt bzgl. Gehalt an elementarem Silicium (Si)  
<sup>3)</sup> Bei bestimmten Kombinationen der Hauptbestandteile erweiterte Anwendungsmöglichkeiten  
<sup>4)</sup> Festigkeitsklasse ≥ 42,5 N oder Festigkeitsklasse ≥ 32,5 R mit einem Hüttensand-Massenanteil von ≤ 50 %  
<sup>5)</sup> CEM III/B darf nur für die folgenden Anwendungsfälle verwendet werden (auf Luftporen kann in beiden Fällen verzichtet werden):  
a) Meerwasserbauteile: w/z ≤ 0,45; Mindestfestigkeitsklasse C35/45 und z ≥ 340 kg/m<sup>3</sup>  
b) Räumlerlaufbahnen: w/z ≤ 0,35; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und z ≥ 360 kg/m<sup>3</sup>; Beachtung von DIN 19 569-1, „Kläranlagen – Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen. Allgemeine Grundsätze“.

gelangt, durchläuft es Vorwärmanlagen und wird durch die Abgase des Ofens auf 800 °C am Ofeneingang aufgeheizt. Dabei wird dem Kalk die Kohlensäure entzogen. Durch die Drehung des geneigt liegenden Rohrs bewegt sich das Mehl von der Aufgabestelle zur Flamme am unteren Ofenende. In diesem Bereich mit Brenngastemperaturen von etwa 2000 °C beginnt das Brenngut bei Temperaturen um 1450 °C zu sintern, d. h. teilweise zu schmelzen. Danach verlässt der Klinker – rundliche Partikel unterschiedlicher Größe bis zu 3 cm Durchmesser – den Ofen. Ein nachgeschalteter Kühler kühlt ihn auf 100 bis 300 °C ab. Der Klinker wird vorwiegend in Silos oder in Hallen gelagert und noch einmal homogenisiert. Beim Brennen des Rohmehls zu Klinker entstehen neue chemische Verbindungen, die die hydraulische Erhärtung des Zements ermöglichen.

### Zementmahlung

Damit aus dem Klinker ein reaktionsfähiges Produkt entsteht, wird er allein (ggf. mit bis zu 5 % Nebenbestandteilen) oder mit weiteren Hauptbestandteilen gemeinsam feingemahlen. Zur Regelung des Erstarrens wird dem Mahlgut Gipsstein oder ein Gips-Anhydrit-Gemisch zugesetzt. Bei der gemeinsamen Feinmahlung lassen sich die Korngrößenverteilungen der einzelnen Komponenten nicht getrennt beeinflussen. Für eine optimale Zementherstellung kann aufgrund der unterschiedlichen Mahlbarkeiten der Zementrohstoffe auch ein getrenntes Mahlen und anschließendes Mischen sinnvoll sein.

Für das Mahlen des Zements dienen Kugelmühlen (Zertrümmerung der Zementrohstoffe durch Mahlkugeln), Gutbett-Walzmühlen (Brechen des Mahlgutes durch zwei gegenseitig drehende Mahlwalzen) oder Vertikal-Walzmühlen (Zerkleinerung des Mahlgutes durch Walzen auf einem drehenden Mahlteller).

### Lagern und Versenden des Zements

Zement ist hygroskopisch, d.h. er nimmt schnell Feuchtigkeit auf, auch aus der Luft. Um eine Erhärtung durch Feuchtigkeitsaufnahme zu verhindern, muss Zement in Silos trocken gelagert

werden. Vom Silo gelangt er zu den Packmaschinen (Sackzement) oder zur losen Verladung.

### Umweltschutz und Gesundheit

Bei der Zementherstellung können Sprengerschütterungen im Steinbruch, Luftverunreinigungen und Maschinenlärm auftreten. Zum Schutz der Umwelt treffen die Zementhersteller umfangreiche und kostenintensive Vorsorge. Erschütterungen durch Sprengungen lassen sich durch geeignete Sprengverfahren stark reduzieren. Lärmintensive Anlagenteile sind entweder in schallgedämmten Gebäuden untergebracht oder mit Schallschutzkapseln oder -wänden abgeschirmt. Staubhaltige Abluft, wie die Abgase aus Öfen und Trocknern, wird in Elektro- oder Stofffiltern gereinigt. Brennstoffbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Zementherstellung werden entsprechend einer Selbstverpflichtung der Zementindustrie künftig weiter reduziert.

Eingriffe in die Natur an Abbaufächen und Steinbrüchen werden durch intensive Rekultivierung in land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen oder in Freizeit- oder Naherholungsgebiete umgewandelt. Andere Flächen werden bewusst einer selbständigen Renaturierung überlassen, damit Lebensräume für Pflanzen und Tiere als naturschutzwürdige Biotope entstehen.

Die Rohstoffe zur Herstellung von Zement enthalten in sehr geringen Mengen Chrom, das bei den aus Qualitätsgründen unumgänglich oxidierenden Brennbedingungen zu Chromat im Portlandzementklinker umgewandelt wird. Chromat kann bei unsachgemäßer Verarbeitung des Zements zu chronischen Erkrankungen (Maurerekzem) führen. Entsprechend der europäischen „Chromatrichtlinie“ 2003/53/EG ist seit 1/2005 bei Zement der Anteil löslicher Chrom(VI)-Verbindungen auf 2 ppm beschränkt. Um diesen Grenzwert einzuhalten ist ggf. der Einsatz von Reduktionsmitteln, z.B. Eisen(II)sulfat oder Zinnsulfat, erforderlich. Diese Zemente erhalten auf ihren Verpackungen den Aufdruck „Chromatarm gemäß TRGS 613“ sowie eine Angabe über ihre Lagerstabilität, da die Wirksamkeit der Reduktionsmittel im Laufe der Zeit nachlässt.

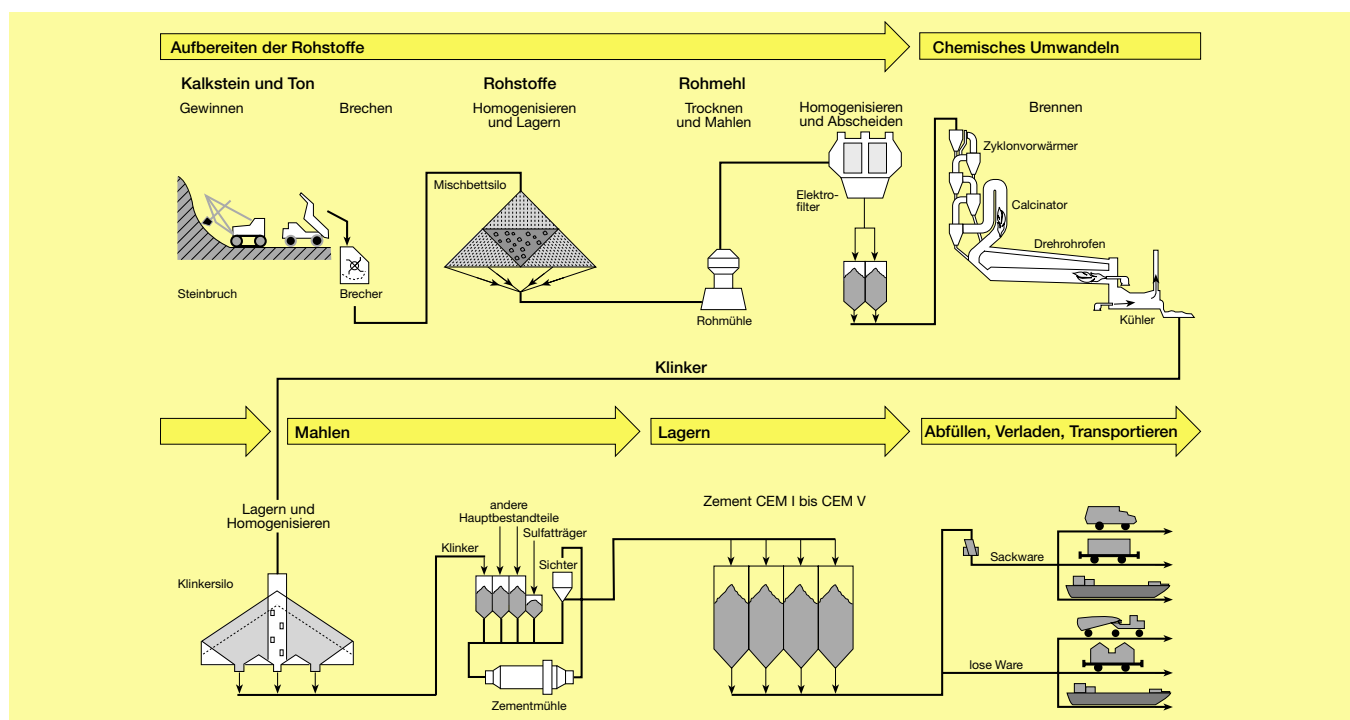


Bild 1: Zementherstellung (Trockenverfahren)



**Bild 2: EG-Konformitätszeichen (CE-Zeichen), Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) und Zeichen der Überwachungsgemeinschaft des Vereins der Deutschen Zementwerke e.V.**

### Konformität

Die Konformität (Übereinstimmung) eines Zements im Hinblick auf Zusammensetzung und Eigenschaften mit den Anforderungen nach DIN EN 197 bzw. DIN 1164 wird durch die europäische EG-Konformitätskennzeichnung (CE-Zeichen) bzw. das nationale Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) bescheinigt. Voraussetzung ist ein Konformitäts- bzw. Übereinstimmungszertifikat einer anerkannten Zertifizierungsstelle. Für Normalzemente nach DIN EN 197-1 wird dies durch ein CE-Zeichen auf den Lieferdokumenten oder dem Zementsack sowie der Kennnummer der Zertifizierungsstelle und Herstellerangaben wie z.B. Adresse, Werksname, Norm- und Zementbezeichnung dokumentiert.

Zemente mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164 erhalten weiterhin das Ü-Zeichen. Über die gesetzlich geforderte Zertifizierung hinaus werden weitere privatrechtliche Zeichen oder Bildzeichen vergeben (z.B. vdz).

### ■ 7 Lagerung auf der Baustelle

#### Lagerung

Zement nimmt bei längerer und ungeschützter Lagerung Feuchtigkeit auf, was zur Klumpenbildung und einer Minderung des Erhärtungsvermögens führt. Kann man die Klumpen noch zwischen den Fingern zerdrücken, so ist die Festigkeitsminderung vernachlässigbar.

Sackzement lagert man am besten im Trockenen. Vorübergehend im Freien gelagerter Sackzement muss eine belüftete Kantholzunterlage erhalten. Folien zum Abdecken dürfen die Zementsäcke nicht unmittelbar berühren, da sie bei einer Kondenswasserbildung feucht werden. Als Faustregel gilt, dass bei sachgemäß gelagertem Sackzement und bei Zement in Baustellensilos nach 3 Monaten eine Festigkeitsminderung von etwas über 10 % auftritt. Die Minderung der Anfangsfestigkeit sehr schnell erhärtender Zemente kann größer sein. Deshalb sollte besonders bei Sackzementen die Lagerungszeit von Zement der Festigkeitsklasse 52,5 einen Monat, diejenige anderer Zemente zwei Monate nicht wesentlich überschreiten.

### Überprüfung der Güte des Zements auf der Baustelle

Baustellenprüfungen zur Überprüfung der Normwerte brauchen nicht durchgeführt zu werden. Da die Beschaffenheit des verwendeten Zements durch Untersuchung des Festbetons nicht mehr genau feststellbar ist, sollte der Käufer bei der Übernahme des Zements eine Probe nehmen und luftdicht verschlossen aufbewahren. Einzelheiten für die Probenahme sind in den Verkaufs- und Lieferbedingungen der Zementwerke geregelt. Die Probe muss in jedem Fall wenigstens 5 kg betragen.

### ■ Weitere Normen

DIN EN 206-1	Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
DIN 1045	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
DIN 51043	Trass
TRGS 613	Technische Regeln für Gefahrstoffe – Ersatzstoffe, Ersatzverfahren und Verwendungsbeschränkungen für chromathaltige Zemente und chromathaltige zementhaltige Zubereitungen
DIN-Fachbericht „Leitlinien für die Anwendung von EN 197-2“	

### Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

<b>Regionale Ansprechpartner</b>	<a href="http://www.beton.org">www.beton.org</a>
<b>BetonMarketing Nord GmbH</b>	
Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde-Höver, Tel.: 05132 8796-0, Fax: 05132 8796-15, hannover@betonmarketing.de	
<b>BetonMarketing Ost GmbH</b>	
Teltower Damm 155, 14167 Berlin-Zehlendorf, Tel.: 030 3087778-0, Fax: 030 3087778-8, mailbox@bmo-berlin.de	
<b>BetonMarketing Süd GmbH</b>	
Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, Fax: 0711 32732-202, info@betonmarketing.de	
<b>BetonMarketing West GmbH</b>	
Annastraße 3, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, Fax: 02521 8730-29, bmwest@betonmarketing.de	
<b>Herausgeber: Verein Deutscher Zementwerke e.V., Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf</b>	<a href="http://www.vdz-online.de">www.vdz-online.de</a>
<b>Verfasser: Dipl.-Ing. Otmar Hersel</b>	