

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 (siehe Tafel 1).

### ■ 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).

DIN EN 14216 unterteilt weitere Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme in die Hauptzementarten:

Hochofenzement VLH III
Puzzolanzement VLH IV
Kompositzement VLH V

Die weitere Unterteilung entsprechend ihrer Hauptbestandteile ist der Tafel 3 zu entnehmen.

### 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 Calciumsilikaten besteht. Portlandzementklinker wird durch Mahlen und Brennen der Rohstoffe Kalkstein oder Kreide und Ton hergestellt. Der Name Portland stammt von der südenlischen Halbinsel Portland, auf der Kalkstein abgebaut wird, der farb-

Tafel 1: Normung der Zemente

Norm	Ausgabe	Inhalt
Europäische Normung		
DIN EN 196		Prüfverfahren für Zement
DIN EN 197-1	11/2011	Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement
DIN EN 197-2	05/2014	Zement – Konformitätsbewertung
DIN EN 14216	09/2015	Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme
Nationale Normung		
DIN 1164-10	03/2013	Zement mit besonderen Eigenschaften – Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt
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

lich den mit „Portland-Cement“ gefertigten Kunststeinprodukten ähnelte.

- **Hüttensand (S):** Beim Schmelzen von Eisenerz im Hochofen fällt Hochofenschlacke an. Durch Granulation, d. h. durch schnelle Abkühlung der bis zu 1500 °C heißen, flüssigen Schlacke mit Wasser entsteht Hüttensand, ein überwiegend glasig erstarrter, latent hydraulischer Stoff. Fein vermahlen entwickelt Hüttensand bei entsprechender Anregung (z. B. durch das Calciumhydroxid aus dem Zementklinker) hydraulische Eigenschaften.
- **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 in Elektrofiltern zur Abgasreinigung von Kohlekraftwerken abgeschieden werden. Flug-

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

- **Gebannter Schiefer (T):** Gebannter Schiefer, insbesondere gebrannter Ölschiefer, wird in einem speziellen Ofen bei Temperaturen von etwa 800 °C aus natürlichen Schiefervorkommen hergestellt. Fein gemahlen hat gebrannter Schiefer ausgeprägt hydraulische, daneben aber auch puzzolanische Eigenschaften.

**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	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	Hützensand (S)	6 ... 20
		CEM II/B-S		21 ... 35
	Portlandsilikastaubzement	CEM II/A-D	Silikastaub (D)	6 ... 10
	Portlandpuzzolanzement	CEM II/A-P	natürliches Puzzolan (P)	6 ... 20
				21 ... 35
		CEM II/B-P	natürlich getempertes Puzzolan (Q)	6 ... 20
				21 ... 35
	Portlandflugaschezement	CEM II/A-V	kieselsäurereiche Flugasche (V)	6 ... 20
				21 ... 35
		CEM II/B-V	kalkreiche Flugasche (W)	6 ... 20
				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
21 ... 35				
CEM II/A-LL		Kalkstein (LL)	6 ... 20	
			21 ... 35	
Portlandkompositzement <sup>1)</sup>	CEM II/A-M	Alle Hauptbestandteile sind möglich (S, D, P, Q, V, W, T, L, LL)	12 ... 20	
	CEM II/B-M		21 ... 35	
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	Hützensand (S)	36 ... 65
		CEM III/B		66 ... 80
		CEM III/C		81 ... 95
CEM IV	Puzzolanzement <sup>1)</sup>	CEM IV/A	Silikastaub, Puzzolane und Flugasche (D, P, Q, V, W)	11 ... 35
		CEM IV/B		36 ... 55
CEM V	Kompositzement	CEM V/A	Hützensand (S)	18 ... 30
			Puzzolane (P, Q), Flugasche (V)	18 ... 30
		CEM V/B <sup>2)</sup>	Hützensand (S)	31 ... 49
			Puzzolane (P, Q), Flugasche (V)	31 ... 49

<sup>1)</sup> Der Anteil von Silikastaub ist auf 10 M.-% begrenzt.  
<sup>2)</sup> Der Klinkeranteil muss zwischen 20 und 38 M.-% liegen.

- **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 Gesamtgehalte an organischem Kohlenstoff (TOC) (L : ≤ 0,50 M.-%; LL : ≤ 0,20 M.-%) und niedrige Gehalte an Ton aufweist.
- **Silikastaub (D):** besteht aus sehr feinen, kugeligen Partikeln mit einem hohen Gehalt (≥ 85 M.-%) an amorphem (glasartig, ohne kristalline Struktur) Siliciumdioxid. Silikastaub 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.-% fein zerleinerte 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. gebrannter Ölschiefer), latent hydraulische (z. B. Hützensand) 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.

**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

**Tafel 3: Sonderzemente mit sehr niedriger Hydratationswärme nach DIN EN 14216**

Zementart			Hauptbestandteile neben Portlandzementklinker	
Hauptart	Benennung	Kurzzeichen	Art	Anteil [M.-%]
VLH III	Hochofenzement	VLH III/B	Hützensand (S)	66 ... 80
		VLH III/C		81 ... 95
VLH IV	Puzzolanzement <sup>1)</sup>	VLH IV/A	Silikastaub (D), Puzzolane (P, Q), Flugasche (V, W)	11 ... 35
		VLH IV/B		36 ... 55
VLH V	Kompositzement	VLH V/A	Hützensand (S)	18 ... 30
			Puzzolane (P, Q), Flugaschen (V)	18 ... 30
		VLH V/B <sup>2)</sup>	Hützensand (S)	31 ... 50
			Puzzolane (P, Q), Flugaschen (V)	31 ... 50

<sup>1)</sup> Der Anteil von Silikastaub ist auf 10 M.-% begrenzt.  
<sup>2)</sup> Der Klinkeranteil muss zwischen 20 und 38 M.-% liegen.

**Tafel 4: 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	28 Tage		
22,5	DIN EN 14216	–	–	≥ 22,5	≤ 42,5	–	–
32,5 L <sup>2)</sup>	DIN EN 197-1	–	≥ 12	≥ 32,5	≤ 52,5	hellbraun	–
32,5 N		–	≥ 16				schwarz
32,5 R		≥ 10	–				rot
42,5 L <sup>2)</sup>	DIN EN 197-1	–	≥ 16	≥ 42,5	≤ 62,5	grün	–
42,5 N		≥ 10	–				schwarz
42,5 R		≥ 20	–				rot
52,5 L <sup>2)</sup>	DIN EN 197-1	≥ 10	–	≥ 52,5	–	rot	–
52,5 N		≥ 20	–				schwarz
52,5 R		≥ 30	–				weiß

<sup>1)</sup> Nur für Zemente mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164, Teile 11 und 12, verbindlich.

<sup>2)</sup> Nur für CEM III-Zemente.

(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 197-1)
- 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 4 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

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

Hochofenzement EN 197-1 – CEM III/B 32,5 L

### Kennzeichnung

Die DIN EN 197-1 und DIN 1164-10 enthalten 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.

Entsprechend dem europäischen Chemikalienrecht ist Zement als Gefahrstoff eingestuft. Lieferscheine und Verpackungen sind dementsprechend zu kennzeichnen. Seit Juni 2015 hat die Kennzeichnung gemäß europäischer Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zu erfolgen. Die für die Kennzeichnung erforderlichen Gefahrenklassen, Piktogramme, Signalworte, Gefahren- und Sicherheitshinweise (H- und P-Sätze) sind den Zement-Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen.

### ■ 3 Sonderzemente

Sonderzemente (Zemente mit zusätzlichen oder mit besonderen Eigenschaften) sind für bestimmte Bauaufgaben erforderlich. Zusammensetzung und Anforderung an Sonderzemente werden in den jeweiligen Zementnormen geregelt. Sonderzemente entsprechen weitgehend den Festlegungen der DIN EN 197-1 für Normalzemente, weisen aber entweder zusätzliche Eigenschaften auf oder weichen in einer Eigenschaft von der DIN EN 197-1 ab.

In der europäischen Normung (DIN EN 197 und DIN EN 14216) werden Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (SR), niedriger Hydratationswärme (LH) und Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH) definiert.

Die nationalen Normen DIN 1164 Teile 11 und 12 unterscheiden Zemente mit frühem Erstarren (FE), mit schnellem Erstarren (SE) und mit erhöhtem Anteil organischer Bestandteile (HO). Diese Zemente weichen in einer Eigenschaft von Normalzementen ab und werden deshalb als Zemente nach deutscher Norm DIN 1164 in Verkehr gebracht. Die Kurzzeichen FE, SE oder HO werden zur Normbezeichnung des Zements hinzugefügt.

Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (na) entsprechen vollständig der EN 197-1 und erfüllen darüber hinaus die zusätzlichen Anforderungen der DIN 1164 Teil 10 zum Alkaligehalt bzw. zur Zusammensetzung. Sie werden wie auch andere Zemente mit besonderen Eigenschaften, z. B. Fahrbahn-deckenzemente, Weißzemente und wasserabstoßende Zemente, als Zemente nach DIN EN 197-1 auf den Markt gebracht. Für solche Zemente existiert keine besondere Normbezeichnung, sie werden aber i. d. R. mit zwei kleinen Buchstaben in Klammern hinter der Normbezeichnung gekennzeichnet, beispielsweise mit (na).

Zusätzliche Anforderungen an Sonderzemente sind in Tafel 5 zusammengefasst.

### Zemente mit niedriger Hydratationswärme (LH-Zemente, LH = low heat)

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

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

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

**Tafel 5: Zusätzliche Anforderungen an Sonderzemente**

Zementart	Norm	Anforderung																				
LH-Zement (LH = Low Heat of Hydratation)																						
CEM I bis CEM V	DIN EN 197-1	Hydratationswärme nach 7 Tagen ≤ 270 J/g																				
VLH-Zement (VLH = Very Low Heat of Hydratation)																						
VLH III VLH IV VLH V	DIN EN 14216	Hydratationswärme nach 7 Tagen ≤ 220 J/g																				
SR-Zement <sup>1)</sup> (SR = sulfate resisting, hoher Sulfatwiderstand)																						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>C<sub>3</sub>A-Gehalt im Klinker</th> <th colspan="2">SO<sub>3</sub>-Gehalt im Klinker für Festigkeitsklassen...</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>32,5 N 32,5 R 42,5 N</td> <td>42,5 R 52,5 N 52,5 R</td> </tr> </tbody> </table>	C <sub>3</sub> A-Gehalt im Klinker	SO <sub>3</sub> -Gehalt im Klinker für Festigkeitsklassen...			32,5 N 32,5 R 42,5 N	42,5 R 52,5 N 52,5 R														
C <sub>3</sub> A-Gehalt im Klinker	SO <sub>3</sub> -Gehalt im Klinker für Festigkeitsklassen...																					
	32,5 N 32,5 R 42,5 N	42,5 R 52,5 N 52,5 R																				
CEM I-SR 0	DIN EN 197-1	0 M.-% ≤ 3,0 M.-% ≤ 3,5 M.-%																				
CEM I-SR 3		≤ 3,0 M.-% ≤ 3,0 M.-% ≤ 3,5 M.-%																				
CEM III/B-SR		keine weiteren Anforderungen																				
CEM III/C-SR		keine weiteren Anforderungen																				
Zement (na) (na = niedriger wirksamer Alkaligehalt)																						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Hüttensandgehalt [M.-%]</th> <th>Na<sub>2</sub>O-Äquivalent [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>≤ 0,60</td> </tr> <tr> <td>CEM I bis CEM V</td> <td rowspan="5">DIN 1164-10</td> <td>21 bis 35</td> <td>≤ 0,70</td> </tr> <tr> <td>CEM II/B-S</td> <td>36 bis 49</td> <td>≤ 0,95</td> </tr> <tr> <td>CEM III/A</td> <td>50 bis 65</td> <td>≤ 1,10</td> </tr> <tr> <td>CEM III/B</td> <td>66 bis 80</td> <td>≤ 2,00</td> </tr> <tr> <td>CEM III/C</td> <td>81 bis 95</td> <td>≤ 2,00</td> </tr> </tbody> </table>	Hüttensandgehalt [M.-%]	Na <sub>2</sub> O-Äquivalent [%]		≤ 0,60	CEM I bis CEM V	DIN 1164-10	21 bis 35	≤ 0,70	CEM II/B-S	36 bis 49	≤ 0,95	CEM III/A	50 bis 65	≤ 1,10	CEM III/B	66 bis 80	≤ 2,00	CEM III/C	81 bis 95	≤ 2,00
Hüttensandgehalt [M.-%]	Na <sub>2</sub> O-Äquivalent [%]																					
	≤ 0,60																					
CEM I bis CEM V	DIN 1164-10	21 bis 35	≤ 0,70																			
CEM II/B-S		36 bis 49	≤ 0,95																			
CEM III/A		50 bis 65	≤ 1,10																			
CEM III/B		66 bis 80	≤ 2,00																			
CEM III/C		81 bis 95	≤ 2,00																			
FE-Zement (FE = Frühes Erstarren)																						
CEM I bis CEM V	DIN 1164-11	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Festigkeitsklasse</th> <th>Erstarrungsbeginn [min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>32,5 N / 32,5 R</td> <td>≥ 15 ... &lt; 75</td> </tr> <tr> <td>42,5 N / 42,5 R</td> <td>≥ 15 ... &lt; 60</td> </tr> <tr> <td>52,5 N / 52,5 R</td> <td>≥ 15 ... &lt; 45</td> </tr> </tbody> </table>	Festigkeitsklasse	Erstarrungsbeginn [min]	32,5 N / 32,5 R	≥ 15 ... < 75	42,5 N / 42,5 R	≥ 15 ... < 60	52,5 N / 52,5 R	≥ 15 ... < 45												
Festigkeitsklasse	Erstarrungsbeginn [min]																					
32,5 N / 32,5 R	≥ 15 ... < 75																					
42,5 N / 42,5 R	≥ 15 ... < 60																					
52,5 N / 52,5 R	≥ 15 ... < 45																					
SE-Zement (SE = Schnelles Erstarren)																						
CEM I bis CEM V	DIN 1164-11	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Festigkeitsklasse</th> <th>Erstarrungsbeginn [min]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>32,5 N ... 52,5 R</td> <td>&lt; 45</td> </tr> </tbody> </table>	Festigkeitsklasse	Erstarrungsbeginn [min]	32,5 N ... 52,5 R	< 45																
Festigkeitsklasse	Erstarrungsbeginn [min]																					
32,5 N ... 52,5 R	< 45																					
HO-Zement (HO = Erhöhter Anteil organischer Bestandteile)																						
CEM I bis CEM V	DIN 1164-12	Menge an organischen Zusätzen ≤ 1 M.-%																				

<sup>1)</sup> In DIN EN 197-1 sind weitere SR-Zemente aufgeführt, die jedoch nach DIN 1045-2 nicht als Zemente mit hohem Sulfatwiderstand eingesetzt werden dürfen.

**Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zemente, SR = sulfate resisting)**

Betone, die mit diesen Zementen hergestellt werden, weisen einen hohen Sulfatwiderstand auf. Sie sind nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ab Expositionsklasse XA2 (Sulfatgehalt des auf das Bauwerk einwirkenden Wassers mehr als 600 mg/l) anzuwenden. Bei einem Sulfatgehalt des angreifenden Wassers bis 1 500 mg je Liter darf anstelle von SR-Zement eine Mischung von Zement und Flugasche verwendet werden. Für die für diesen Fall einzusetzenden Zemente gelten gemäß DIN EN 206-1/DIN 1045-2 einige Randbedingungen. Beton, der Meerwasser widerstehen soll, erfordert trotz des hohen Sulfatgehalts dieses Wassers keinen SR-Zement.

**Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt – Zemente (na)**

Zemente (na) haben einen niedrigen wirksamen Alkaligehalt (Na<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>O). Sie werden bei Bauteilen verwendet, bei denen mit einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) gerechnet werden kann. Die Notwendigkeit des Einsatzes von Zementen (na) regelt die Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“ (Alkali-Richtlinie) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

Beispiel für die Normbezeichnung eines Sonderzements – LH/SR (na):

Hochofenzement der Festigkeitsklasse 32,5 mit normaler Anfangsfestigkeit und 66 bis 80 M.-% Hüttensand mit niedriger Hydratationswärme, hohem Sulfatwiderstand und niedrigem wirksamen Alkaligehalt

Hochofenzement EN 197-1 – CEM III/B 32,5 N - LH/SR (na)

**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.

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

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

**Fahrbahndeckenzemente**

Für das Herstellen von Fahrbahndecken aus Beton werden vorwiegend Portlandzemente CEM I der Festigkeitsklasse 42,5 N, aber auch Portlandkompositzemente (CEM II) oder Hochofenzement (CEM III) verwendet. Die über die DIN EN 197-1 hinausgehenden Anforderungen für Fahrbahndeckenzemente im Hinblick auf den Wasseranspruch, die 2-Tage-Druckfestigkeit und die Mahlfeinheit gelten nur bei der Verwendung von Portlandzement CEM I

**Tafel 6: Geforderte charakteristische Werte für den wirksamen Alkaligehalt (Na<sub>2</sub>O-Äquivalent) bei Zementen für Fahrbahndecken aus Beton**

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



der Festigkeitsklasse 32,5 R. 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 ( $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent) nicht überschreiten (siehe Tafel 6). Weitere Angaben für Zemente im klassifizierten Straßenbau sind in den TL Beton-StB enthalten.

### Weißzement

Weißzement ist ein eisenoxidarmer Portlandzement. Er erfordert besonders eisenoxidarme Rohstoffe und bei der Herstellung ein sehr schnelles Abkühlen der heißen Weißzementklinker. Weißzement in Säcken wird in weißen Säcken mit schwarzem Aufdruck geliefert. Betone mit Weißzement lassen sich besser mit Farbpigmenten einfärben als Betone mit grauem Zement. Für die Farbgebung ist allerdings auch der Farbton des eingesetzten Sandes wichtig.

### Hydrophobierte Zemente

Hydrophobierte (wasserabweisende) Zemente werden in der Festigkeitsklasse 32,5 geliefert. Sie werden hauptsächlich bei der Bodenverfestigung angewendet. 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. Damit können hydrophobierte Zemente besser und somit auch wirtschaftlicher im Boden verteilt werden.

## ■ 4 Technische Eigenschaften der Normalzemente

### Dichte

Tafel 7: Richtwerte für Dichte und Schüttdichte

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

### 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 Mahlfineinheit und dem Herstellverfahren ab. Schwankungen im Grauton der Zemente sind unvermeidlich. Sie sind jedoch bei Zementen desselben Lieferwerks und der gleichen Zementart und -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 Wasserzementwerts, 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.

### Festigkeitsentwicklung

Tafel 8: 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

### Wärmeentwicklung

Tafel 9: Richtwerte für die Hydrationswärme der Zemente

Zementfestigkeitsklasse	Hydrationswärme 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

## ■ 5 Anwendungsbereich der Zemente

Grundsätzlich sind zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 alle Zemente nach DIN EN 197-1, DIN 1164 sowie DIN EN 14216 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 Umgebungsbedingungen auf ein Bauteil (Expositionsklassen) getroffen worden.

Tafel 10 zeigt die in DIN 1045-2 definierten Anwendungsbereiche in Abhängigkeit von den Expositionsklassen für die gesamte Bandbreite der Zementarten der DIN EN 197-1, DIN 1164 sowie der DIN EN 14216. 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 die VLH-Zemente nach DIN EN 14216 sowie für einige CEM II-M-Zemente. Die Einschränkungen betreffen insbesondere die Verwendung für frostbeanspruchte sowie chloridbeaufschlagte Bauteile. Für CEM II-M-Zemente enthält die DIN 1045-2 eine für bestimmte Kombinationen von Hauptbestandteilen erweiterte Anwendungstabelle.

Ist die Anwendung von Zementen in bestimmten Expositionsklassen nach Norm nicht zulässig, so war bislang ein Nachweis durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) für die Anwendung erforderlich. Die Zusammensetzung der Zemente wurde dabei gegenüber der Europäischen Zementnorm DIN EN 197-1 z. T. eingeschränkt. Seit 2003 wurde eine Reihe solcher Zulassungen erteilt und die Zemente wurden in einer Vielzahl von Bauwerken in den unterschiedlichen Bereichen des Betonbaus eingesetzt. Zemente mit der Zusatzbezeichnung „AZ“ (für Zulassung) – z. B. bei einem Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL)-AZ – sind im Hinblick auf ihre Anwendung in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 gegenüber den Zementarten, deren Anwendung nach Norm in allen Expositionsklassen möglich ist, als gleichwertig anzusehen. Zukünftig werden Europäische Technische Zulassungen ETA (European Technical Approval) anstelle von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) verwendet werden.

## ■ 6 Herstellung der Zemente

### Geschichte

Bereits im Altertum benutzten die Phönizier, Griechen und Römer einen hydraulisch erhärtenden Mörtel. Sie brannten Kalk und versetzten ihn häufig mit Puzzolanerde bzw. Ziegelmehl. Zusammen mit geeigneter Gesteinskörnung entstand daraus „Opus Caementitium“, der Römische Beton. Er gilt als Vorläufer unseres heutigen Betons und gab dem Zement seinen Namen.

Erst um 1200 wurde in Holland die günstige Wirkung hydraulisch wirkender Zusätze (z. B. von Trassmehl) für den Wasserbau wieder entdeckt. 1756 beobachtete der Engländer J. Smeaton an Bindemitteln, die aus mergeligem Kalkstein gebrannt waren, hydraulische Eigenschaften, d. h. Erhärtung und Beständigkeit auch unter Wasser.

**Tafel 10: Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 197-1, DIN 1164 und DIN EN 14216 gemäß DIN EN 206-1/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							
		XC1	XC2	XC3, XC4	XD1	XD2	XD3	andere Chloride als Meerwasser		Chloride aus Meerwasser			XF1	XF2	XF3	XF4			XA1, XA2 <sup>1)</sup> , XA3 <sup>1)</sup>		XM1, XM2, XM3				
X0							XS1	XS2	XS3																
CEM I																									
CEM II	S	A/B																							
	D	A																							
	P/Q	A/B																							
	V	A/B																							
	W	A																							
		B																							
	T	A/B																							
	LL	A																							
		B																							
L	A																								
	B																								
M <sup>2)</sup>	A																								
	B																								
CEM III	A																								
	B																								
	C (auch VLH III/B, VLH III/C)																								
CEM IV <sup>2)</sup>	A (auch VLH IV/A)																								
	B (auch VLH IV/B)																								
CEM V <sup>2)</sup>	A (auch VLH V/A)																								
	B (auch VLH V/B)																								

<sup>1)</sup> Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) muss bei den Expositionsklassen XA2 und XA3 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (CEM I-SR 3 oder niedriger, CEM III/B-SR, CEM III/C-SR) verwendet werden. Bei einem Sulfatangriff des angreifenden Wassers von  $SO_4^{2-} \leq 1500 \text{ mg/l}$  darf anstelle der genannten SR-Zemente eine Mischung von Zement und Flugasche verwendet werden.

<sup>2)</sup> Bei bestimmten Kombinationen der Hauptbestandteile erweiterte Anwendungsmöglichkeiten.

<sup>3)</sup> Festigkeitsklasse  $\geq 42,5 \text{ N}$  oder Festigkeitsklasse  $\geq 32,5 \text{ R}$  mit einem Hüttensand-Massenanteil von  $\leq 50 \%$ .

<sup>4)</sup> CEM III/B darf nur für die folgenden Anwendungsfälle verwendet werden (auf Luftporen kann in beiden Fällen verzichtet werden):

a) Meerwasserbauteile:  $w/z \leq 0,45$ ; Mindestfestigkeitsklasse C35/45 und  $z \geq 340 \text{ kg/m}^3$ .

b) Räumlerlaufbahnen:  $w/z \leq 0,35$ ; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und  $z \geq 360 \text{ kg/m}^3$ ; Beachtung von DIN EN 12255-1/DIN 19569-2 Kläranlagen.

Der Engländer J. Aspdin führte um 1824 eine Feinaufbereitung der Rohstoffe Kalkstein und Ton ein und erzeugte durch Brennen bei Temperaturen unterhalb der Sinterung (beginnende Schmelze bei ca. 1 450 °C) ein dem heutigen Zement vergleichbares Produkt. Wegen der Ähnlichkeit des daraus hergestellten Betons zum Portlandgestein (dauerhafter Kalkstein von der Halbinsel Portland) wurde das Bindemittel als „Portlandzement“ bezeichnet. Erst sein Sohn W. Aspdin brannte 1843 bei höheren Temperaturen und erzeugte durch Sinterung einen Portlandzement im heutigen Sinn.

Die Herstellung von Portlandzement in Deutschland begann um 1850. Um die Jahrhundertwende folgte dann die Verwendung von Hüttensand und damit die Herstellung von Portlandhütten- (Eisenportland-) und Hochofenzement.

### 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 ( $\text{CaCO}_3$ ) 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 80 000 t). Anschließend werden sie quer zu den Schichten wieder abgetragen. Auf diese Weise lässt sich eine gute Durchmischung des Rohmaterials erreichen. Durch ständige Laboranalysen während des Herstellungsprozesses wird die chemische Zusammensetzung geprüft und falls erforderlich gezielt der Mischbettaufrbau geändert, bis der Calciumcarbonat-Gehalt des Gemischs mindestens 76 -78 M.-% beträgt. Auch das Verhältnis von Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ), Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Eisenoxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 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 Rohrmöhlen, die um ihre Längsachse rotieren oder Walzenmöhlen 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 Homogenisierungsanlage. 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 (Aufschlämmung). 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

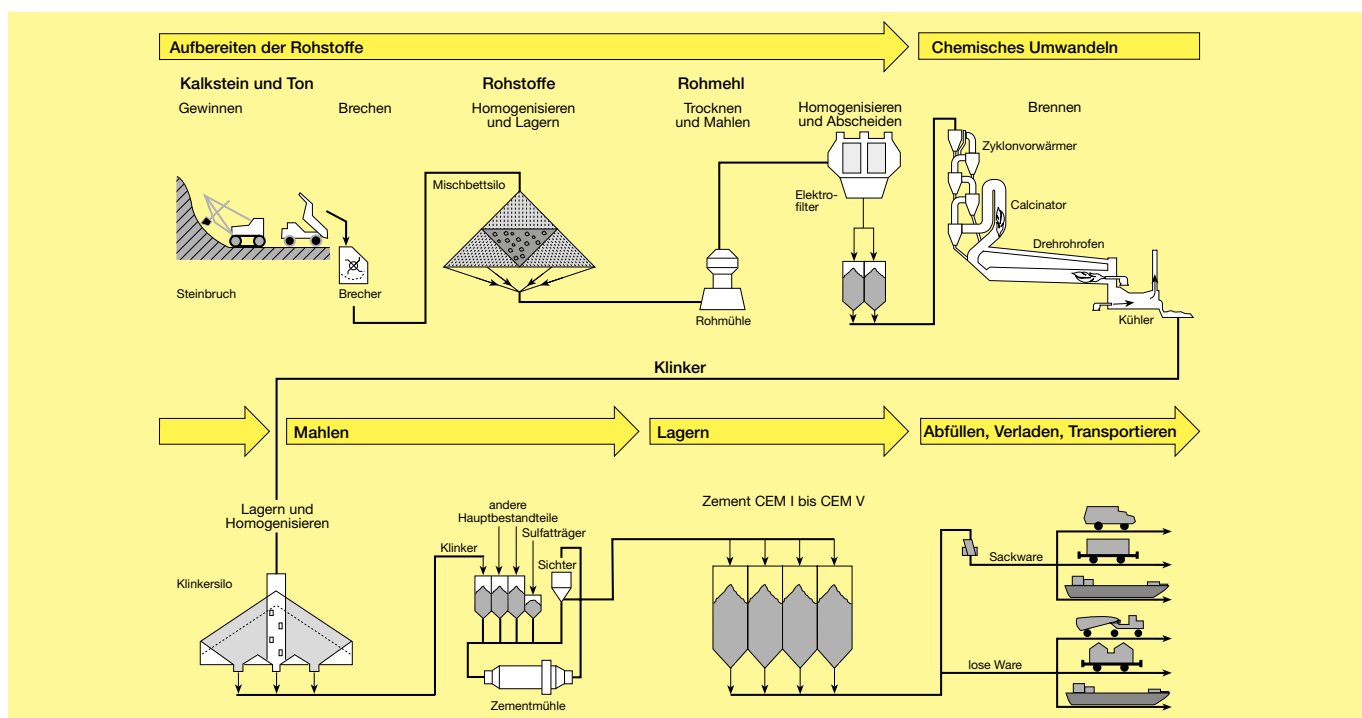


Bild 1: Zementherstellung (Trockenverfahren)

**Tafel 11: Klinkerphasen**

Formel	Bezeichnung	Abkürzung	Eigenschaften
3 CaO·SiO <sub>2</sub>	Tricalciumsilikat	C <sub>3</sub> S	schnelle Erhärtung, hohe Hydratationswärme
2 CaO·SiO <sub>2</sub>	Dicalciumsilikat	C <sub>2</sub> S	langsame, stetige Erhärtung, niedrige Hydratationswärme
3 CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tricalciumaluminat	C <sub>3</sub> A	in größeren Mengen schnelles Erstarren, höhere Hydratationswärme, Empfindlichkeit gegen Sulfatwässer
2 CaO·(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Calciumaluminatferrit	C <sub>2</sub> (A, F)	langsame Erhärtung, widerstandsfähig gegen Sulfatwässer

Stahlröhren, die sich langsam mit 1,3 bis 2 Umdrehungen in der Minute drehen. Bevor das Rohmehl in den Ofen 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 – runde 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 Klinkerphasen (Tafel 11), 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.

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.

### Lagerung auf der Baustelle

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.

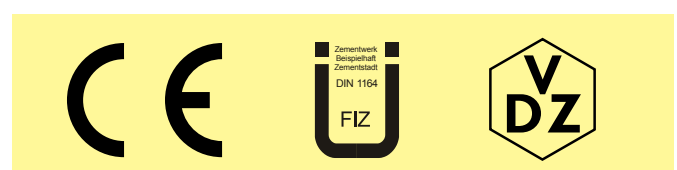
Sackzement lagert man am besten im Trockenen. Vorübergehend im Freien gelagerter Sackzement muss eine belüftete Kantholzunterlage erhalten. Folien zum Abdecken dürfen die Zementsäcke nicht unmittelbar berühren, da sie bei einer Kondenswasserbildung feucht werden. Als Faustregel gilt, dass bei sachgemäß 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.

### Umweltschutz und Gesundheit

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. Die spezifischen, energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen (aus Brennstoff und Strombedarf) wurden bezogen auf das Basisjahr 1990 bis zum Jahr 2015 um rund 52 % reduziert.

Eingriffe in die Natur an Abbauf Flächen 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 (Maurerexzem) führen. Entsprechend dem europäischen Chemikalienrecht (REACH-Verordnung) ist bei Zement der Anteil löslicher Chrom(VI)-Verbindungen auf 2 ppm beschränkt. Um dies zu gewährleisten, enthalten Zemente in der Regel ein



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



Reduktionsmittel, z. B. Eisen(II)sulfat oder Zinnsulfat. Auf der Verpackung ist anzugeben, wann das Erzeugnis abgepackt wurde sowie unter welchen Bedingungen und wie lange es gelagert werden kann, ohne dass die Wirkung des Reduktionsmittels nachlässt und der Grenzwert überschritten wird.

### **Konformität, Leistungserklärung und Zement-Kennzeichnung**

Die Hersteller von Zement nach DIN EN 197-1 müssen gemäß europäischer Bauproduktenverordnung Leistungserklärungen für ihre Produkte erstellen. Sie sind Voraussetzung für das Anbringen der CE-Kennzeichnung auf den Lieferdokumenten oder dem Zementsack und für das Inverkehrbringen des Zements. Hinter dem CE-Kennzeichen muss der Hersteller Informationen beispielsweise zur Zementsorte und zur erklärten Leistung auführen. Indem er die CE-Kennzeichnung anbringt, übernimmt der Hersteller die Verantwortung für die Konformität (Übereinstimmung) des Zements mit dessen erklärter Leistung sowie für die Einhaltung aller geltenden Anforderungen. Hierzu gehört auch, dass eine anerkannte Zertifizierungsstelle ein „Zertifikat der Leistungsbeständigkeit“ für den Zement ausgestellt haben muss.

Zemente mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164-11 oder DIN 1164-12 werden mit dem nationalen Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) anstelle des CE-Zeichens gekennzeichnet. Für diese Zemente ist keine Leistungserklärung, aber ein von einer anerkannten Zertifizierungsstelle ausgestelltes „Übereinstimmungszertifikat“ erforderlich.

Über die gesetzlich geforderte Kennzeichnung hinaus können weitere privatrechtliche Zeichen wie das VDZ-Zeichen (siehe Bild 2) vergeben werden.

### **■ Weitere Normen**

- DIN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

### **Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung**

#### **Herausgeber**

InformationsZentrum Beton GmbH, Steinhof 39, 40699 Erkrath

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

#### **Kontakt und Beratung vor Ort**

**Büro Berlin**, Teltower Damm 155, 14167 Berlin, Tel.: 030 3087778-0, [berlin@beton.org](mailto:berlin@beton.org)

**Büro Hannover**, Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde, Tel.: 05132 502099-0, [hannover@beton.org](mailto:hannover@beton.org)

**Büro Beckum**, Neustraße 1, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, [beckum@beton.org](mailto:beckum@beton.org)

**Büro Ostfildern**, Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, [ostfildern@beton.org](mailto:ostfildern@beton.org)

#### **Verfasser**

Dr.-Ing. Diethelm Bosold, Dipl.-Ing. Roland Pickhardt, InformationsZentrum Beton GmbH