

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 und 11 (siehe Tafel 1).

■ 1 Zementarten

Die DIN EN 197-1, DIN EN 197-5 und DIN EN 197-6 unterteilen den Zement in sechs Hauptzementarten:

Portlandzement	CEM I
Portlandkompositzemente	CEM II
Hochofenzement	CEM III
Puzzolanzement	CEM IV
Kompositzemente	CEM V und CEM VI

Die Hauptzementarten nach DIN EN 197-1 werden entsprechend der Zugabemenge ihrer Hauptbestandteile in weitere 27 Zementarten unterteilt (Tafel 2). Die Zusammensetzung der Portlandkompositzemente CEM II/C-M und Kompositzemente CEM VI nach DIN EN 197-5 erfolgt gemäß Tafel 3, die der Zemente mit Betonrecyclingmehl nach DIN EN 197-6 gemäß Tafel 4 dieses Merkblattes.

Mit den in der DIN EN 197-5 genormten Zementen stehen nunmehr weitere CO₂-effiziente Zemente zur Verfügung, die mit ihren Klinkergehalten zwischen 50 und 64 % (CEM II/C-M) bzw. 35 bis 49 % (CEM VI) deutlich zur CO₂-Minderung in der Zementherstellung beitragen können. Durch ihren Einsatz kann eine weitere Reduzierung des durchschnittlichen Klinker-Zement-Faktors erreicht werden und damit ein Beitrag zu einem weiteren signifikanten Abbau der CO₂-Emission in der Betonbauweise geleistet werden.

Mit den neuen in der DIN EN 197-6 genormten Zementen mit Betonrecyclingmehl stehen mit dem CEM VI ein ebenso deutlich klinkerreduzierter Zement zur Verfügung (35 bis 49 % Klinkergehalt). Darüber hinaus tragen der CEM VI- und weitere CEM II-Zemente – mit bis zu 35 % Betonrecyclingmehl als zusätzlicher Hauptbestandteil – zur Ressourcenschonung bei.

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	10/2020	Zement – Konformitätsbewertung
DIN EN 197-5	07/2021	Portlandkompositzement II/C-M und Kompositzement CEM VI
DIN EN 197-6	12/2023	Zement mit rezyklierten Baustoffen
DIN EN 14216	09/2015	Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme
Nationale Normung		
DIN 1164-2	02/2023	Zement mit besonderen Eigenschaften – Übereinstimmungsnachweis
DIN 1164-10	02/2023	Zement mit besonderen Eigenschaften – Zement mit niedrigerem wirksamen Alkaligehalt – Zusammensetzung und Anforderungen
DIN 1164-11	04/2024	Zement mit besonderen Eigenschaften – Zement mit verkürztem Erstarren – Zusammensetzung und Anforderungen

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 5 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 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. 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 entspre-

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	Hüttensand (S)	6 ... 20
		CEM II/B-S		21 ... 35
	Portland-Silicastaubzement	CEM II/A-D	Silicastaub (D)	6 ... 10
	Portlandpuzzolan- zement	CEM II/A-P	natürliches Puzzolan (P)	6 ... 20
				21 ... 35
		CEM II/B-Q	natürlich getempertes Puzzolan (Q)	6 ... 20
				21 ... 35
	Portlandflugasche- zement	CEM II/A-V	kieselsäurereiche Flugasche (V)	6 ... 20
				21 ... 35
		CEM II/B-W	kalkreiche Flugasche (W)	6 ... 20
				21 ... 35
	Portlandschiefer- zement	CEM II/A-T	gebrannter Schiefer (T)	6 ... 20
				21 ... 35
	Portlandkalkstein- zement	CEM II/A-L	Kalkstein (L)	6 ... 20
21 ... 35				
CEM II/B-LL		Kalkstein (LL)	6 ... 20	
			21 ... 35	
Portlandkomposit- zement ¹⁾	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	Hüttensand (S)	36 ... 65
		CEM III/B		66 ... 80
		CEM III/C		81 ... 95
CEM IV	Puzzolan- zement ¹⁾	CEM IV/A	Silicastaub, Puzzolane und Flugasche (D, P, Q, V, W)	11 ... 35
		CEM IV/B		36 ... 55
CEM V	Komposit- zement	CEM V/A	Hüttensand (S)	18 ... 30
			Puzzolane (P, Q), Flugasche (V)	18 ... 30
		CEM V/B ²⁾	Hüttensand (S)	31 ... 49
			Puzzolane (P, Q), Flugasche (V)	31 ... 49

¹⁾ Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 M.-% begrenzt.

²⁾ Der Klinkeranteil muss zwischen 20 und 38 M.-% liegen.

chender Anregung (z. B. durch das Calciumhydroxid aus dem Zementklinker) hydraulische Eigenschaften.

- **Puzzolane (P, Q):** sind kieselsäurehaltige oder kieselsäure- und tonerhaltige 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 behan-

deltes) 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. 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 steinkohlebefeuernden 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 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.
- **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.

Tafel 3: Portlandkompositzemente CEM II/C-M und Kompositzemente CEM VI und ihre Zusammensetzung nach DIN EN 197-5

Zementart			Hauptbestandteile	
Hauptart	Benennung	Kurzzeichen	Art	Anteil [M.-%]
CEM II	Portlandkomposit- zement ¹⁾	CEM II/C-M	Klinker (K)	50 ... 64
			Hüttensand (S), Silicastaub ²⁾ (D), Puzzolan (P, Q), Flugasche (V, W), Gebrannter Schiefer (T), Kalkstein ³⁾ (L, LL)	36 ... 50
CEM VI	Komposit- zement	CEM VI (S-P)	Klinker (K)	35 ... 49
			Hüttensand (S)	31 ... 59
			natürliches Puzzolan (P)	6 ... 20
			Klinker (K)	35 ... 49
			Hüttensand (S)	31 ... 59
			kieselsäurereiche Flugasche (V)	6 ... 20
		CEM VI (S-L)	Klinker (K)	35 ... 49
			Hüttensand (S)	31 ... 59
			Kalkstein (L)	6 ... 20
		CEM VI (S-LL)	Klinker (K)	35 ... 49
			Hüttensand (S)	31 ... 59
			Kalkstein (LL)	6 ... 20

¹⁾ Anzahl der Hauptbestandteile neben Klinker ist auf zwei begrenzt. Hauptbestandteile müssen durch die Bezeichnung des Zements angegeben werden (z.B. CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N - LH).

²⁾ Im Fall einer Verwendung von Silicastaub ist sein Anteil auf 6 % bis 10 M.-% begrenzt.

³⁾ Im Fall einer Verwendung von Kalkstein ist sein Anteil (Summe von L und LL) auf 6 % bis 20 M.-% begrenzt.

Tafel 4: Zemente mit Betonrecyclingmehl und ihre Zusammensetzung nach DIN EN 197-6

Zementart			Hauptbestandteile	
Hauptart	Benennung	Kurzzeichen	Art	Anteil [M.-%]
CEM II	Portland-Recyclingmehlzement	CEM II/A-F	Klinker (K)	80 ... 94
			Betonrecyclingmehl (F)	6 ... 20
		CEM II/B-F	Klinker (K)	65 ... 79
			Betonrecyclingmehl (F)	21 ... 35
	Portlandkompositzement ¹⁾	CEM II/A-M	Klinker (K)	80 ... 88
			Betonrecyclingmehl (F)	6 ... 14
			Hüttensand (S), Silicastaub ²⁾ (D), Puzzolan (P, Q), Flugasche (V, W), Gebrannter Schiefer (T), Kalkstein ³⁾ (L, LL)	6 ... 14
		CEM II/B-M	Klinker (K)	65 ... 79
			Betonrecyclingmehl (F)	6 ... 29
			(S), (D) 2), (P, Q), (V, W), (T), (L, LL) ³⁾	6 ... 29
CEM II/C-M	Klinker (K)	50 ... 64		
	Betonrecyclingmehl (F)	6 ... 20		
	(S), (D) 2), (P, Q), (V, W), (T), (L, LL) ³⁾	16 ... 44		
CEM VI	Kompositzement	CEM VI	Klinker (K)	35 ... 49
			Betonrecyclingmehl (F)	6 ... 20
			Hüttensand (S)	31 ... 59

¹⁾ Anzahl der Hauptbestandteile neben Klinker ist auf zwei begrenzt. Bei Verwendung von F und LL (bzw. L) ist ein dritter Hauptbestandteil neben Klinker möglich. Hauptbestandteile müssen durch die Bezeichnung des Zements angegeben werden (z. B. CEM II/C-M (S-F) 32,5 L - LH).

²⁾ Im Fall einer Verwendung von Silicastaub ist sein Anteil auf 6 % bis 10 M.-% begrenzt.

³⁾ Im Fall einer Verwendung von Kalkstein ist der Anteil an Kalkstein und Recyclingmehl (Summe von L, LL und F) auf 35 M.-% begrenzt.

■ **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.

■ **Betonrecyclingmehl (F):** ist ein speziell ausgewähltes und fein aufbereitetes mineralisches Material, das beim Festbetonrecycling anfällt. Es ist überwiegend nicht-reaktiv. Eine hydraulische oder puzzolansiche Restreaktivität ist möglich, trägt jedoch nicht wesentlich zur Zementreaktivität bei.

Nebenbestandteile der Zemente

Als Nebenbestandteil können die Zemente bis zu 5 M.-% fein 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. gebrannter Ölschiefer), latent hydraulische (z. B. Hüttensand) oder puzzolansiche (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 (nur für Sonderzemente nach DIN EN 14216) werden sie nochmals nach ihrer Anfangsfestigkeit unterteilt in:

Tafel 5: 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	Hüttensand (S)	66 ... 80
		VLH III/C		81 ... 95
VLH IV	Puzzolan-zement ¹⁾	VLH IV/A	Silicastaub (D), Puzzolane (P, Q), Flugasche (V, W)	11 ... 35
		VLH IV/B		36 ... 55
VLH V	Kompositzement	VLH V/A	Hüttensand (S)	18 ... 30
			Puzzolane (P, Q), Flugaschen (V)	18 ... 30
		VLH V/B ²⁾	Hüttensand (S)	31 ... 50
			Puzzolane (P, Q), Flugaschen (V)	31 ... 50

¹⁾ Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 M.-% begrenzt.

²⁾ Der Klinkeranteil muss zwischen 20 und 38 M.-% liegen.

Tafel 6: Festigkeitsklassen und Kennfarben von Zement

Festigkeitsklasse	Norm	Druckfestigkeit [N/mm ²]			Sackfarbe ¹⁾	Farbe des Aufdrucks ¹⁾	
		Anfangsfestigkeit		Normfestigkeit			
		2 Tage	7 Tage				
22,5	DIN EN 14216	–	–	$\geq 22,5$	$\leq 42,5$	–	–
32,5 L ²⁾	DIN EN 197-1	–	≥ 12	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	hellbraun	–
32,5 N		–	≥ 16				schwarz
32,5 R		≥ 10	–				rot
42,5 L ²⁾	DIN EN 197-1	–	≥ 16	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	grün	–
42,5 N		≥ 10	–				schwarz
42,5 R		≥ 20	–				rot
52,5 L ²⁾	DIN EN 197-1	≥ 10	–	$\geq 52,5$	–	rot	–
52,5 N		≥ 20	–				schwarz
52,5 R		≥ 30	–				weiß

¹⁾ Nur für Zemente mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164, Teil 11, verbindlich.

²⁾ Nur für CEM III-Zemente und für solche nach DIN EN 197-5 und DIN EN 197-6.

- niedrige Anfangsfestigkeit (Kennbuchstabe L = Low), (nur für Hochofenzemente nach DIN EN 197-1 und Zemente nach DIN EN 197-5 und DIN EN 197-6)
- normale, übliche Anfangsfestigkeit (Kennbuchstabe N = Normal) und
- hohe Anfangsfestigkeit (Kennbuchstabe R = Rapid)

Die Festigkeiten werden durch Prüfung von Mörtelprismen entsprechend den in DIN EN 196-1 festgelegten Regelungen ermittelt. Wie aus Tafel 6 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 $\leq 0,20$ 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

Beispiel: Kompositzement CEM VI der Festigkeitsklasse 32,5 mit hoher Anfangsfestigkeit und 31 % bis 59 % Hüttensand sowie 6 % bis 20 % Kalkstein (Gesamtanteil an organischem Kohlenstoff $\leq 0,20$ M.-%)

Kompositzement EN 197 5 – CEM VI (S-LL) 32,5 R

Beispiel: Portland-Recyclingmehlzement CEM II/A-F der Festigkeitsklasse 52,5 mit üblicher Anfangsfestigkeit und 6 % bis 20 % Betonrecyclingmehl

Portland-Recyclingmehlzement EN 197-6 – CEM II/A-F 52,5 N

Kennzeichnung

Nur DIN 1164-11 enthält Regelungen zum Sackgewicht sowie zu den Kennfarben von Zementsäcken (Festigkeitsklasse) und zu der Farbe des Sack-Aufdruckes (Entwicklung der Anfangsfestigkeit).

Gefahrenhinweise und Unique

Formular Identifier (UFI)

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

Seit Jahresbeginn 2021 wird mit dem Unique Formula Identifier (UFI) Zementen ein 16-stelliger alphanumerischer Code zuge-

Tafel 7: Zusätzliche Anforderungen an Sonderzemente

Zementart	Norm	Anforderung	
LH-Zement (LH = Low Heat of Hydratation)			
CEM I bis CEM VI	DIN EN 197, Teile 1, 5 und 6	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 ¹⁾ (SR = sulfate resisting, hoher Sulfatwiderstand)			
		C ₃ A-Gehalt im Klinker	SO ₃ -Gehalt im Zement für Festigkeitsklassen...
			32,5 N 42,5 R 32,5 R 52,5 N 42,5 N 52,5 R
CEM I-SR 0	DIN EN 197-1	0 M.-%	$\leq 3,0$ M.-% $\leq 3,5$ M.-%
CEM I-SR 3		$\leq 3,0$ M.-%	$\leq 3,0$ M.-% $\leq 3,5$ M.-%
CEM III/B-SR		keine weiteren Anforderungen	
CEM III/C-SR		keine weiteren Anforderungen	
Zement (na) (na = niedriger wirksamer Alkaligehalt)			
		Hüttensandgehalt [M.-%]	Na ₂ O-Äquivalent [%] ²⁾
CEM I bis CEM V	DIN 1164-10		$\leq 0,60$
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)			
		Festigkeitsklasse	Erstarrungsbeginn [min]
CEM I bis CEM VI	DIN 1164-11	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 VI	DIN 1164-11	Festigkeitsklasse 32,5 N ... 52,5 R	Erstarrungsbeginn [min] < 45

¹⁾ 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.

²⁾ Für hüttensand- und kalksteinhaltige Zemente CEM II und CEM VI alternatives Prüfverfahren und weitere Zuordnung als Zement (na) möglich.

ordnet. Diese Informationen werden in den Giftnotrufzentralen hinterlegt, um bei Notfällen über diesen Code sowie über das hinterlegte Sicherheitsdatenblatt eine notwendige Unfallversorgung sicherzustellen bzw. eine angemessene medizinische Beratung zu gewährleisten.

UFI-Codes müssen auf Sicherheitsdatenblättern, Lieferscheinen und Sackware – dort in der Nähe der Gefahrenpiktogramme (Kennzeichnungselemente) – aufgebracht werden. Für Zemente wurden 20 Standardrezepturen eingeführt, auf die sich europaweit Unternehmen in ihren Meldungen beziehen können. So z.B. wird für die „Standardrezeptur 2“ auf Basis der beiden Hauptbestandteile Portlandzementklinker und Hüttensand (CEM II-S, CEM III) der UFI-Code 4V10-F0V7-K00U-M0JS verwendet.

■ 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 nationale Norm DIN 1164-11 unterscheidet Zemente mit frühem Erstarren (FE) und solche mit schnellem Erstarren (SE). 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 oder SE werden zur Normbezeichnung des Zements hinzugefügt.

Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (na) entsprechen vollständig der EN 197-1 oder DIN EN 197-5 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. Fahrbahndeckenzemente, Weißzemente und wasserabstoßende (hydrophobe) Zemente, als Zemente nach DIN EN 197-1 auf den Markt gebracht.

Zusätzliche Anforderungen an Sonderzemente sind in Tafel 7 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 Ausschallfrist 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.

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 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 1045-2 einige Randbedingungen. Beton, der Meerwasser widerstehen soll, erfordert trotz des hohen Sulfatgehalts dieses Wassers keinen SR-Zement.

Tafel 8: Geforderte charakteristische Werte für den wirksamen Alkaligehalt (Na₂O-Äquivalent) bei Zementen für Fahrbahndecken aus Beton nach TL Beton-StB

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

Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt – Zemente (na)

Zemente (na) haben einen niedrigen wirksamen Alkaligehalt (Na₂O und K₂O). 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)

Fahrbahndeckenzemente

Für das Herstellen von Betonfahrbahndecken aus Beton werden vorwiegend Zemente CEM I und CEM II/A-S der Festigkeitsklasse 42,5 N, aber auch weitere Portlandkompositzemente (CEM II) und Hochofenzement (CEM III/A, maximaler Hüttensandgehalt 50 %) verwendet, siehe ARS 04/2022. Die Fahrbahndeckenzemente dürfen bestimmte charakteristische Werte für den wirksamen Alkaligehalt (Na₂O-Äquivalent) nicht überschreiten (siehe Tafel 8). Weitere Angaben für Zemente im klassifizierten Straßenbau sind in den TL Beton-StB enthalten.

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 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.

Schnellzemente

Neben den in DIN 1164-11 genormten FE- und SE-Zementen gibt es auch bauaufsichtlich zugelassene Schnellzemente (auch Blitzzemente). Sie zeichnen sich auch durch kurze Erstarrungszeit und hohe Anfangsfestigkeit gegenüber den üblichen Normzementen aus. Schnellzement ist als Zement mit frühhochfesten

Eigenschaften allgemein bauaufsichtlich zugelassen und wird mit einem erhöhten Tonerdegehalt des Rohmehls hergestellt. Vorwiegende Anwendung, z.B. bei Verbindung von Fertigteilen oder beim Einsetzen von Dübeln.

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. Um den CO₂-Fußabdruck zu verringern, werden mittlerweile auch weiße, natürliche Puzzolane im Mahlprozess bei der Zementherstellung eingesetzt. So entsteht z.B. ein weißer Puzzolanzement (CEM IV).

■ 4 Technische Eigenschaften der Normalzemente

Dichte

Tafel 9: Richtwerte für Dichte und Schüttdichte

Zementart	Dichte [kg/dm ³]	Schüttdichte [kg/dm ³]	
		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 Güte Merkmal. 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.

Gemeinsame Verwendung von Zementen in Beton

Jeder Zement ist hinsichtlich des Anstehens und Erstarrens jeweils für sich optimiert. Ist für besondere Anwendungen ein gemeinsames Verwenden von Zementen technisch und wirtschaftlich sinnvoll, muss in jedem Fall die Unbedenklichkeit durch eine Erstprüfung am Beton nachgewiesen werden. Im Übrigen gilt, dass jeder Zement für die festgelegte Expositionsklasse geeignet sein muss.

Festigkeitsentwicklung

Tafel 10: 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 11: 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

■ 5 Anwendungsbereich der Zemente

Grundsätzlich sind zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2 alle Zemente nach DIN EN 197, 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 12 zeigt die in DIN 1045-2 definierten Anwendungsbereiche in Abhängigkeit von den Expositionsklassen für die Zementarten der DIN EN 197-1, DIN EN 197-5, DIN 1164 sowie der DIN EN 14216. In der Verwendbarkeit der Zemente gibt es einige Einschränkungen. Diese betreffen insbesondere die Verwendung für frostbeanspruchte sowie chloridbeaufschlagte Bauteile. Für CEM II-M-Zemente sowie für CEM IV-, CEM V- und CEM VI-Zemente enthält die DIN 1045-2 für bestimmte Kombinationen von Hauptbestandteilen erweiterte Anwendungstabellen.

Ist die Anwendung von Zementen in bestimmten Expositionsklassen nach Norm nicht zulässig oder sehr eingeschränkt, kann in diesen Fällen der Nachweis der Eignung für die Anwendung in bestimmten Expositionsklassen durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Anwendungszulassung AZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erbracht werden. Unter www.dibt.de können im „Zulassungsdownload“ Zulassungen



kostenlos heruntergeladen werden (Zulassungsgruppe Z-3, <https://www.dibt.de/de/service/zulassungsdownload/zulassungs-und-genehmigungsverzeichnisse>)

Für die in DIN EN 197-6 veröffentlichten Zemente gibt es keine Anwendungsregeln in der DIN 1045-2. Für die Verwendung dieser klinkereffizienten Zementarten in Beton nach DIN 1045-2 ist folglich eine Anwendungszulassung des DIBt oder eine Aufnahme der Anwendungsbereiche in der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) erforderlich.

■ 6 Herstellung der Zemente und Umweltschutz

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.

Tafel 12: Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 197-1 und -5, DIN 1164 und DIN EN 14216 gemäß 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							Spannstahtverträglichkeit					
		durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride verursachte Korrosion							Frostangriff				aggressive chemische Umgebung	Verschleiß							
		XC1	XC2	XC3, XC4	XD1	andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser				XF1	XF2	XF3	XF4									
						XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4													
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 ²⁾	A																								
	B/C																								
CEM III	A																								
	B																								
	C (auch VLH III/B, VLH III/C)																								
CEM IV ²⁾	A (auch VLH IV/A)																								
	B (auch VLH IV/B)																								
CEM V ²⁾	A (auch VLH V/A)																								
	B (auch VLH V/B)																								

¹⁾ 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.

²⁾ Bei bestimmten Kombinationen der Hauptbestandteile erweiterte Anwendungsmöglichkeiten.

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

⁴⁾ 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) Räumertaufbahnen: $w/z \leq 0,35$; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und $z \geq 360 \text{ kg/m}^3$; Beachtung von DIN 19569-1 Kläranlagen.

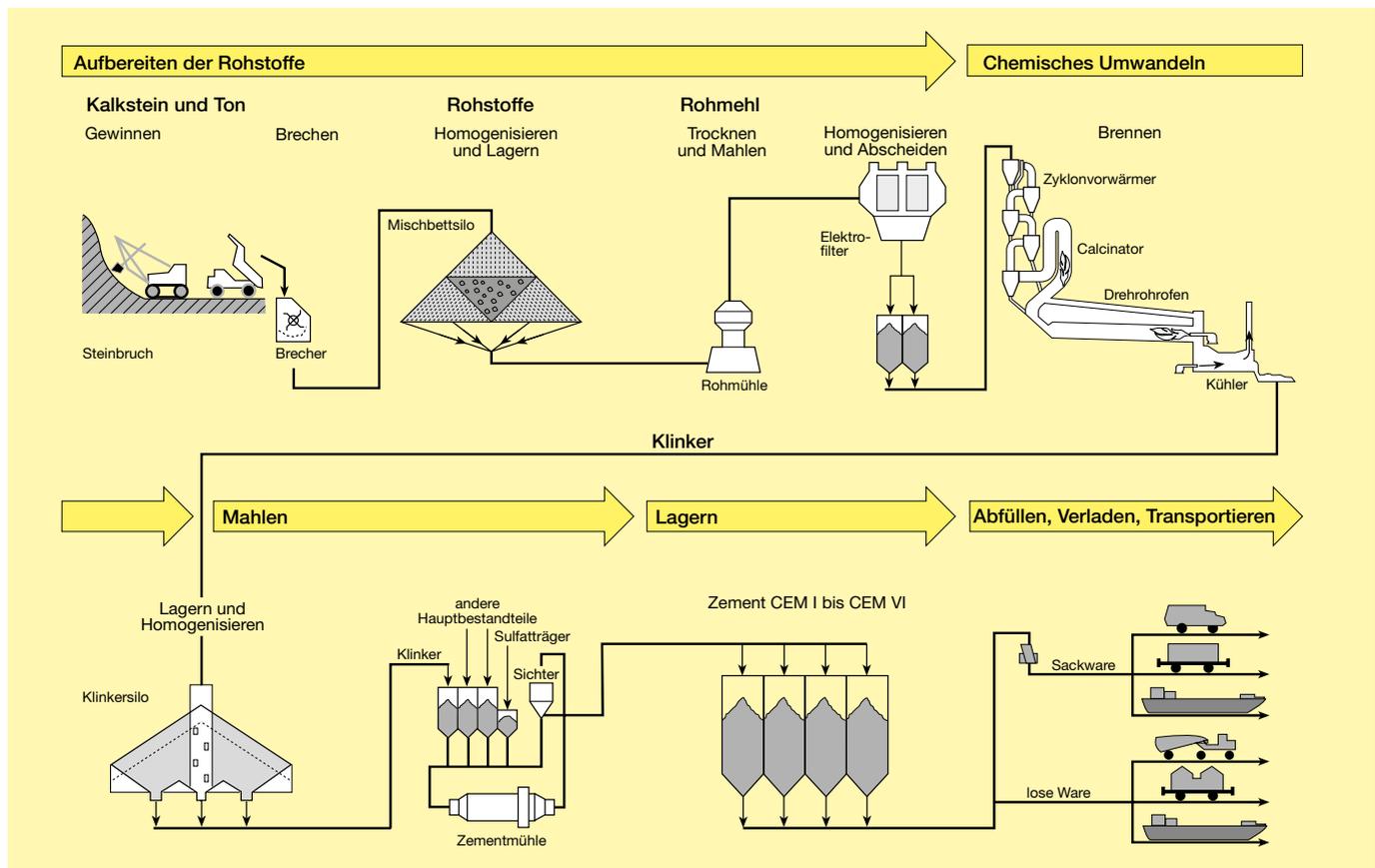


Bild 1: Zementherstellung (Trockenverfahren)

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.

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. 1450 °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 Hüttsand und damit die Herstellung von Portlandhütten- (Eisenportland-) und Hochofenzement und der Einstieg in die Produktion klinkerreduzierter 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_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 80000 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 Mischbettaufbau geändert, bis der Calciumcarbonat-Gehalt des Gemischs mindestens 76 -78 M.-% beträgt. Auch das Verhältnis von Kieselsäure (SiO_2), Tonerde (Al_2O_3) und Eisenoxid (Fe_2O_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 Rohmühlen, die um ihre Längsachse rotieren oder Walzenmühlen mit um-

laufenden 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 (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 gelangt, durchläuft es Vorwärmanlagen und wird durch die Abgase des Ofens auf 800 °C am Ofeneingang aufgeheizt. Dabei wird dem Kalk Kohlendioxid (CO₂) 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 2 000 °C beginnt das Brenngut bei Temperaturen um 1 450 °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

Tafel 13: Klinkerphasen

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

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 13), 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

Die Zementindustrie erbringt große Anstrengungen hin zu einer klimaneutralen Betonbauweise. Die Schritte hierzu sind in der Roadmap „Dekarbonisierung von Zement und Beton“ beschrieben.

Zum Schutz der Umwelt treffen die Zementhersteller umfangreiche Vorsorge. Erschütterungen durch Sprengungen lassen sich durch geeignete Sprengverfahren stark reduzieren. Lärminensitive 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.

Eingriffe in die Natur an Abbaufeldern 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 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.

Umweltproduktdeklarationen (EPD)

EPD ist die Abkürzung für Environmental Product Declaration. Im Deutschen wird entsprechend der Name Umweltproduktdeklaration benutzt. Diese Deklarationen werden vom Institut Bauen und Umwelt (IBU) nach internationalen Standards überprüft. Inhalt der EPDs sind genau definierte Berechnung von Umweltauswirkungen wie z.B. der CO₂-Emissionen, des Energiebedarfs oder des Abfallaufkommens bei der Produktion, Verwendung und Entsorgung von Bauprodukten.

Generische EPDs von Zement (verallgemeinernd über die Zementproduktion in Deutschland) wurden vom Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) auf der Grundlage der Auswertung von Produktionsdaten der Zementhersteller erarbeitet und ex-



Bild 2: Umweltproduktdeklaration (EPD) eines CEM II/C-M mit Hüttensand und Kalkstein als weitere Hauptbestandteile

tern verifiziert (Bild 2). Die aktuellen Umweltproduktdeklarationen von Zement (Durchschnittlicher Zement, Portlandzement CEM I, Portlandkompositzement CEM II/C-M sowie Hochofenzemente CEM III/A und CEM III/B – und auch die von Beton (C8/10 bis C60/75) – stehen als PDF-Datei unter folgendem Link zur Verfügung: <https://www.beton.org/betonbau/planungshilfen/umweltproduktdeklarationen/>



Durch den Einsatz von klinkereffizienten Zementen, z.B. CEM II- oder CEM III-Zementen, kann so der CO₂-Fußabdruck der Betone deutlich vermindert werden.

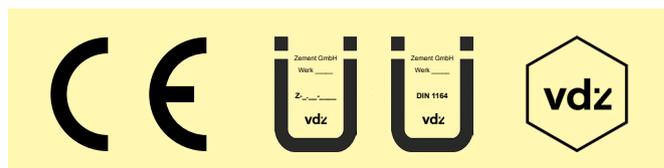


Bild 3: EG-Konformitätszeichen (CE-Zeichen), Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) und Zeichen der Überwachungsgemeinschaft des Vereins der Deutschen Zementwerke e.V.

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 solche nach DIN EN 197-5 und DIN EN 197-6 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 3) vergeben werden.

■ Weitere Literatur

DIN 1045-2 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton“, August 2023

Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 04/2022 (ARS 04/2022), Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Februar 2022

Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB 07), FGSV Verlag GmbH, Köln

Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Hrsg.: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), aktuelle Fassung 2023/1 vom 17.04.2023

Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien (CO₂-Roadmap für die deutsche Zementindustrie), Hrsg.: Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ), Düsseldorf, November 2022

Friedrich Wilhelm Locher: Zement – Grundlagen der Herstellung und Verwendung, 1. Auflage 2000, Verlag Bau + Technik

Heinz-Otto Lamprecht: Opus Caementitium – Bautechnik der Römer, 5. Auflage 1996, Beton-Verlag

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

Herausgeber

InformationsZentrum Beton GmbH, Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf

www.beton.org

Kontakt und Beratung vor Ort

Büro Berlin, Kochstraße 6–7, 10969 Berlin, Tel.: 030 3087778-0, berlin@beton.org

Büro Hannover, Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde, Tel.: 05132 502099-0, hannover@beton.org

Büro Beckum, Neustraße 1, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, beckum@beton.org

Büro Ostfildern, Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, ostfildern@beton.org

Verfasser

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

Unsere Beratung erfolgt unentgeltlich. Auskünfte, Ratschläge und Hinweise geben wir nach bestem Wissen. Wir haften hierfür – auch für eine pflichtwidrige Unterlassung – nur bei grobem Verschulden, es sei denn, eine Beratung wird im Einzelfall vom Empfänger unter Hinweis auf besondere Bedeutung schriftlich erbeten und erteilt.

Nr. B 1 10.24

