

2 Zementarten

2.1 Normung

Die europäische Norm für Normalzemente EN 197-1 ist zum 1.4.2001 in Kraft getreten und musste mit einer einjährigen Übergangsfrist in allen EU-Ländern verbindlich eingeführt werden. Damit konnte die bereits in den 70er Jahren begonnene Arbeit an einer europäischen Norm abgeschlossen werden. Die Norm umfasst nunmehr alle in Europa hergestellten Zemente, die sich in den EU-Mitgliedsstaaten unter den unterschiedlichen Klima- und Anwendungsbedingungen unter dem Gesichtspunkt der Dauerhaftigkeit bewährt haben. Nach der Umsetzung der Norm in Deutschland und nach der erfolgten bauaufsichtlichen Einführung musste die bisherige deutsche Zementnorm DIN 1164 in ihrer bis dahin gültigen Fassung geändert werden. Während in DIN EN 197-1 Zemente mit normalen Eigenschaften genormt sind, sind die Arbeiten an einer europäischen Norm für Zemente mit besonderen Eigenschaften noch nicht abgeschlossen. In der Konsequenz wurden in Deutschland die Anforderungen an Zemente mit besonderen Eigenschaften in der geänderten DIN 1164:2000 festgelegt. Diese Zemente nach DIN 1164 erfüllen alle Anforderungen nach DIN EN 197-1 und unterscheiden sich nur in zusätzlichen Anforderungen an Hydratationswärme bzw. Sulfatwiderstand oder wirksamen Alkaligehalt von Normalzementen.

2.2 Zementarten

Die 27 Normalzemente nach DIN EN 197-1, ihre Bezeichnung und die Anforderungen an ihre Zusammensetzung sind in der **Tafel I.2.2-1** angegeben. Sie werden in die folgenden fünf *Hauptzementarten* unterteilt:

- CEM I: Portlandzemente
- CEM II: Portlandkompositzemente
- CEM III: Hochofenzemente
- CEM IV: Puzzolanzemente
- CEM V: Kompositzemente

Portlandzement (CEM I), unter der gleichen Bezeichnung seit 1878 in Deutschland genormt, enthält als *Hauptbestandteil* ausschließlich Portlandzementklinker. Darüber hinaus darf dieser Zement, wie auch die anderen Normzemente, höchstens 5 M.-% *Nebenbestandteile* enthalten. Dabei handelt es sich um besonders ausgewählte anorganische mineralische Stoffe, die bei der Klinkerherstellung entstehen oder hierfür als Ausgangsstoff eingesetzt werden. Stoffe, die bereits als Hauptbestandteil verwendet werden, dürfen nicht als Nebenbestandteil eingesetzt werden. Die Auswahl beschränkt sich zudem auf Stoffe natürlichen Ursprungs. Nebenbestandteile dienen der Verbesserung der Kornverteilung, insbesondere von konventionell gemahlene Zementen geringerer Mahlfineinheit, und damit der Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften und des Wasserrückhaltevermögens.

Die genormten *Portlandkompositzemente* (CEM II) bestehen aus mehreren Hauptbestandteilen. Der Anteil der Bestandteile außer Klinker darf generell 6 bis 35 M.-% betragen – beim *Portlandsilicastaubzement* ist der Anteil des Silicastaubs jedoch auf max. 10 M.-% begrenzt. Die Kurzbezeichnung der Zementarten wurden nach folgender Festlegung gewählt:

- K für Portlandzementklinker
- S für Hüttensand (granulated blast furnace slag)
- P für natürliches Puzzolan (z. B. Trass)
- Q für natürliches getempertes Puzzolan
- T für gebrannten (Öl)-Schiefer (burnt shale)
- V für kieselsäurereiche Flugasche (cendre volante)
- W für kalkreiche Flugasche
- L für Kalkstein (Limestone)
- D für Silicastaub
- M für Portlandkompositzemente mit mehr als zwei Hauptbestandteilen

Wesentliches Merkmal der neuen Zementnorm ist, dass sich abhängig von der Zusammensetzung die Anzahl der Zementarten mehr als verdoppelt hat. Die bisherige nationale Norm DIN 1164 umfasste folgende Zementarten:

- Portlandzement CEM I, der außer Portlandzementklinker keine weiteren Hauptbestandteile enthält,
- *Hochofenzemente* CEM III/A und CEM III/B, die neben Portlandzementklinker zwischen 36 und 80 % *Hüttensand* als Hauptbestandteil enthalten sowie
- verschiedene Portlandkompositzemente CEM II/A und CEM II/B, die außer Portlandzementklinker noch zwischen 6 und 35 % andere Hauptbestandteile enthalten. Als Hauptbestandteile von CEM II-Zementen konnten entsprechend der bisherigen Norm DIN 1164 *Hüttensand* (gekennzeichnet durch den Buchstaben S), *natürliches Puzzolan* (P), hierbei handelt es sich im Wesentlichen um *Trass*, *kieselsäurereiche Flugasche* (V), *gebrannter Schiefer* (T) und *Kalkstein* (L) eingesetzt werden.

Tafel I.2.2-1: Zementarten und deren Zusammensetzung nach DIN EN 197-1; alle Angaben in M.-%

Hauptzementarten	Bezeichnung 27 Produkte (Normalzementarten)				
			Portlandzementklinker K	Hütten- sand S	Silica- staub D ²⁾
CEM I	Portlandzement	CEM I	95–100	–	–
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80–94	6–20	–
		CEM II/B-S	65–79	21–35	–
	Portlandsilicastaubzement	CEM II/A-D	90–94	–	6–10
	Portlandpuzzolan- zement	CEM II/A-P	80–94	–	–
		CEM II/B-P	65–79	–	–
		CEM II/A-Q	80–94	–	–
	Portlandflugasche- zement	CEM II/B-Q	65–79	–	–
		CEM II/A-V	80–94	–	–
		CEM II/B-V	65–79	–	–
		CEM II/A-W	80–94	–	–
	Portlandschiefer- zement	CEM II/B-W	65–79	–	–
		CEM II/A-T	80–94	–	–
	Portlandkalkstein- zement	CEM II/B-T	65–79	–	–
		CEM II/A-L	80–94	–	–
		CEM II/B-L	65–79	–	–
		CEM II/A-LL	80–94	–	–
Portlandkomposit- zement ³⁾	CEM II/B-LL	65–79	–	–	
	CEM II/A-M	80–94	←		
CEM III	Hochofenzement	CEM II/B-M	65–79	←	
		CEM III/A	35–64	36–65	–
		CEM III/B	20–34	66–80	–
CEM IV	Puzzolanzement ³⁾	CEM III/C	5–19	81–95	–
		CEM IV/A	65–89	–	←
CEM V	Kompositzement ³⁾	CEM IV/B	45–64	–	←
		CEM V/A	40–64	18–30	–
		CEM V/B	20–38	31–50	–

¹⁾ Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Summe der Haupt- und Nebenbestandteile.

²⁾ Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 % begrenzt.

Zusammensetzung: (Massenanteile in Prozent) ¹⁾							Nebenbestandteile	
Hauptbestandteile								
Puzzolane natürlich P		Flugasche kiesel-säurereich V		Gebrannter Schiefer T	Kalkstein L LL			
natürl. getempert Q	W							
-	-	-	-	-	-	-	0-5	
-	-	-	-	-	-	-	0-5	
-	-	-	-	-	-	-	0-5	
-	-	-	-	-	-	-	0-5	
6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
		6-20					▶	0-5
		21-35					▶	0-5
-	-	-	-	-	-	-	0-5	
-	-	-	-	-	-	-	0-5	
-	-	-	-	-	-	-	0-5	
11-35		▶			-	-	0-5	
36-55		▶			-	-	0-5	
◀	18-30	▶	-	-	-	-	0-5	
◀	31-50	▶	-	-	-	-	0-5	

³⁾ In den Portlandkompositzementen CEM II/A-M und CEM II/B-M, in den Puzzolanzementen CEM IV/A und CEM IV/B und in den Kompositzementen CEM V/A und CEM V/B müssen die Hauptbestandteile außer Portlandzementklinker durch die Bezeichnung des Zementes angegeben werden.

In Deutschland enthalten derzeit mehr als 90 % der CEM II-Zemente entweder Hüttensand oder Kalkstein als Hauptbestandteil. Der Anteil der CEM II-Zemente mit Hüttensand hat dabei in den letzten Jahren stark zugenommen.

Die neue Norm DIN EN 197-1 ermöglicht nun die Herstellung von Zementen mit höheren Gehalten an latent-hydraulischen, puzzolanischen und inerten Hauptbestandteilen. Darüber hinaus sind auch Zemente mit bis zu 35 % Kalkstein, bis zu 95 % Hüttensand, bis zu 55 % Puzzolanen und bis zu 80 % einer Kombination von Hüttensand und Puzzolanen durch die Norm abgedeckt. Für einzelne dieser Zemente existierten in Deutschland bisher bauaufsichtliche Zulassungen, die für bestimmte Anwendungen galten.

Weiterhin wurde in der neuen Norm für CEM II-Zemente die Bandbreite der möglichen Hauptbestandteile erweitert. Zemente, die *Silicastaub* (gekennzeichnet durch den Buchstaben D), *natürliche, getemperte Puzzolane* (Q) oder *kalkreiche Flugasche* (W) enthalten, sind nunmehr durch die Norm abgedeckt. Mehrere Hauptbestandteile können auch bei Portlandkompositzementen CEM II kombiniert werden, was durch den Buchstaben (M) gekennzeichnet wird.

Darüber hinaus wird nunmehr zwischen zwei Arten von Kalkstein (L) und (LL) unterschieden. Der Unterschied liegt im Gehalt an organischen Bestandteilen (TOC). Während Kalkstein (L) nunmehr bis zu 0,50 M.-% TOC enthalten darf, ist dieser bei Kalkstein (LL) nach wie vor auf 0,20 M.-% begrenzt. Das bedeutet, dass die bisher gemäß DIN 1164 als CEM II/A-L bezeichneten *Portlandkalksteinzemente* zukünftig als CEM II/A-LL bezeichnet werden müssen.

Im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern übersteigt in Deutschland der Anteil des Portlandzements am Inlandversand

den der anderen Zementarten deutlich. Der heutige Anteil der Zementarten und Festigkeitsklassen geht aus Bild II.2.1-2 hervor. Der Inlandversand betrug 2001 rd. 28,0 Mio. t.

Die nach DIN EN 197-1 geltenden Anforderungen an die Hauptbestandteile des Zements gehen aus Abschnitt I.3.1.2, die zu beachtenden Anforderungen an die Arbeitssicherheit bei der Zementherstellung und an den gebräuchlichen Umgang mit Zement aus Abschnitt I.3.4 hervor.

Zemente benötigen den Zusatz bzw. die Zumahlung von *Calciumsulfaten* zur Regelung des Erstarrens und der Festigkeitsentwicklung (siehe auch Abschnitt I.4.1.2). Die Zusatzmenge ist für die unterschiedlichen Zementarten durch die Festlegungen der Norm begrenzt. In der Gesamtsumme ist der Sulfatgehalt des Klinkers zu berücksichtigen. Je nach hydraulischer Reaktivität des Tricalciumaluminatanteils im Klinker hat es sich als zweckmäßig erwiesen, unterschiedliche Arten von *Sulfatträgern* wie Gipsstein ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), beim Mahlen durch Entwässerung entstandenes Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) oder löslichen Anhydrit (CaSO_4 III) sowie natürlichen Anhydrit (CaSO_4 II) zu verwenden und deren Zusatz nach Art und Mengenanteil so einzustellen, dass der Wasseranspruch ein Minimum und die Zeit bis zum Erstarrungsbeginn ein Maximum aufweisen („Optimierung“). Bei Hochofenzementen ist die sulfatische Anregung des Hüttensands zu berücksichtigen. Außerdem gestattet die Norm auch die Verwendung von Sulfatträgern aus anderen industriellen Prozessen, wie z. B. der Rauchgasentschwefelung (REA) [Spr1].

Außer den Haupt- und Nebenbestandteilen können Normzemente Zusatzstoffe enthalten. Ihr Anteil ist außer bei Zusatz von Pigmenten auf 1 M.-% begrenzt. Zusätze dienen der Energieeinsparung beim Mahlprozess, wie z. B. Mahlhilfsmittel,

aber auch der Verbesserung der Fließ- und Lagerfähigkeit von Zement im Silo. Die Zusatzmenge beträgt im Allgemeinen weniger als 0,05 M.-%. Nach der Zementnorm darf der Zusatz von organischen Stoffen einen Wert von 0,5 M.-% nicht überschreiten. Generell wird zudem gefordert, dass Zusätze weder den Korrosionsschutz der Bewehrung noch die Gebrauchseigenschaften von Zement und Beton beeinträchtigen. Bei Verwendung von *Zusatzmitteln* nach EN 934 muss die Art des eingesetzten Stoffes angegeben werden.

2.3 Qualitätssicherung

Qualitätssicherung und -überwachung haben eine Tradition, die ähnlich wie der Normungsgedanke auf die Jahre 1877/78 zurückgeht. Das heute geltende System der Qualitätssicherung ist im Teil 2 der DIN EN 197 festgelegt und in „Leitlinien für die Anwendung von EN 197-2“ erläutert. Die Beurteilung der Übereinstimmung mit den Normanforderungen beruht auf einer werkseigenen Produktionskontrolle bestehend aus Prüfungen des versandbereiten Zements und aus einer Qualitätslenkung während der Herstellung des Zements (vgl. Abschnitt II.17.2).

Tafel I.2.2-3 zeigt die nach DIN EN 197-1 vom Hersteller durchzuführenden Prüfungen des versandbereiten Zements. Durch eine anerkannte Stelle wird eine Fremdüberwachung durchgeführt und auf der Grundlage der bauaufsichtlichen Vorgaben (siehe Abschnitt II.2.1.1. und Tafel IV.3-21) die Konformität mit den technischen Regeln zertifiziert. Das von Bauaufsicht und Zementverwendern gleichermaßen anerkannte System hat insgesamt zu einem hohen Qualitätsniveau sowie insbesondere zu einer hohen Gleichmäßigkeit der Produktion beigetragen. Wesentlich unterstützt wird diese Entwicklung neuerdings durch unternehmensbezogene Qualitätsmanagementsysteme (s. Abschnitt I.3.2.4), die privatrechtlich zertifiziert sind. Auf Fragen

Tafel I.2.2-3: Vom Hersteller am versandbereiten Zement durchzuführende Zementprüfungen gemäß DIN EN 197-1

Eigenschaft	Zemente	Prüfverfahren	Prüfhäufigkeit
Anfangs-, Normfestigkeit	alle	DIN EN 196-1	2/Woche
Erstarrungsbeginn	alle	DIN EN 196-3	2/Woche
Sulfatgehalt	alle	DIN EN 196-2	2/Woche
Dehnungsmaß (Raumbeständigkeit)	alle	DIN EN 196-3	1/Woche
Chloridgehalt	alle	DIN EN 196-21	2/Monat ¹⁾
Glühverlust	CEM I, CEM III	DIN EN 196-2	2/Monat ¹⁾
unlöslicher Rückstand	CEM I, CEM III	DIN EN 196-2: Abs. 9	2/Monat ¹⁾
Puzzolanität	CEM IV	EN 196-5	2/Monat

¹⁾ Wenn keines der Prüfergebnisse 50 % des charakteristischen Werts übersteigt, darf die Prüfhäufigkeit auf 1/Monat verringert werden.

der werkseigenen Produktionskontrolle und der Qualitätssicherung im Betonbau wird in Abschnitt II.17 näher eingegangen.

2.4 Zemente mit besonderen Eigenschaften

Für Zemente mit *Sondereigenschaften* gibt es noch keine europäischen Normen. Aus diesem Grund enthält die deutsche Zementnorm DIN 1164:2000 entsprechende Regelungen für *hohen Sulfatwiderstand (HS)*, *niedrige Hydratationswärme (NW)* und *niedrigen wirksamen Alkaligehalt (NA)*. Die Anforderungen gehen aus **Tafel I.2.2-4** hervor. DIN 1164 hat den Status einer „Ergänzungsnorm“, da die Anforderungen an

Tafel I.2.2-4: Anforderungen an Zemente mit Sondereigenschaften nach DIN 1164-1

Zement	Eigenschaft	Zementart	Anforderung
NW	Hydratationswärme	alle	≤ 270 J/g
HS	C ₃ A-Gehalt	CEM I	$\leq 3,00$ M.-%
	Al ₂ O ₃ -Gehalt		$\leq 5,00$ M.-%
	Hüttensandgehalt	CEM III/B	$\leq 66,0$ M.-%
CEM III/C			
NA	Na ₂ O-Äquivalent	alle	$\leq 0,60$ M.-%
		CEM II/B-S	$\leq 0,70$ M.-%
		CEM III/A ¹⁾	$\leq 1,10$ M.-%
		CEM III/A ²⁾	$\leq 0,95$ M.-%
		CEM III/B	$\leq 2,00$ M.-%
		CEM III/C	

¹⁾ Nur wenn der Zement mindestens 50 M.-% Hüttensand enthält.

²⁾ Nur wenn der Zement ≤ 49 M.-% Hüttensand enthält.

Zemente mit normalen Eigenschaften (Common Cements) in DIN EN 197-1 festgelegt sind.

Die in DIN 1164 bereits getroffenen Festlegungen für NA-Zemente wurden auf weitere Zementarten erweitert. Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, dass die Zahl der ursprünglich genormten NA-Zemente erweitert werden konnte. Die Zahl der Zemente mit NA-Eigenschaft wurde um die Normzemente CEM II/B-S (> 21 M.-% Hüttensand, $\leq 0,70$ M.-% Na₂O-Äquivalent) und CEM III/A (≤ 49 M.-% Hüttensand, $\leq 0,95$ M.-% Na₂O-Äquivalent) sowie um CEM III/B und CEM III/C ($\leq 2,00$ M.-% Na₂O-Äquivalent) ergänzt.

Außer den Zementen mit normalen und besonderen Eigenschaften wird für besondere Zwecke noch eine Reihe weiterer Zemente hergestellt und angewendet:

- Weißzement:* Genormt als Portlandzement CEM I in DIN EN 197-1
- Hydrophobierter Zement:* Genormt als Portlandzement CEM I in DIN EN 197-1
- Tonerdezement:* In Deutschland nicht genormt und nicht zugelassen für tragende Bauteile aus Beton. Ein europäischer Normentwurf wird derzeit bearbeitet
- Tiefbohrzement:* Nicht genormter Zement unterschiedlicher Zusammensetzung für die Auskleidung von Bohrlöchern, z. B. bei der Erdöl- und Ergasgewinnung, Herstellung und Prüfung nach API-Standards (American Petroleum Institute)
- Schnellzement:* Zemente auf der Basis von Portlandzement mit erhöhten Gehalten an Calciumaluminaten und durch Zusätze gesteuertem Erstarrungsverhalten, mit bauaufsichtlicher Zulassung
- Spritzbetonzement:* Zemente auf der Basis von Portlandzement mit unterschiedlichen Zusätzen zur Steuerung des Erhärtens, mit bauaufsichtlicher Zulassung
- Quellzement:* In Deutschland nicht genormte Zemente mit erhöhtem Aluminat- und Sulfatgehalt zur Steuerung des Quellverhaltens, teilweise mit bauaufsichtlicher Zulassung