

2 Zementarten

2.1 Normung

Die europäische Norm für Normalzemente EN 197-1 wurde im Jahr 2000 veröffentlicht und ist seit 2002 in allen EU-Ländern verbindlich eingeführt. Die Norm umfasst alle in Europa hergestellten Zemente, die sich in den EU-Mitgliedsstaaten unter den unterschiedlichen Klima- und Anwendungsbedingungen unter dem Gesichtspunkt der Dauerhaftigkeit bewährt haben. In den Jahren 2004 und 2007 wurde die Norm u. a. um die Anforderungen an Zemente mit niedriger Hydratationswärme (LH) ergänzt.

Während in DIN EN 197-1 Zemente mit normalen Eigenschaften genormt sind, sind die Arbeiten an europäischen Normen für Zemente mit besonderen Eigenschaften noch nicht abgeschlossen. In der Konsequenz wurden in Deutschland die Anforderungen an Zemente mit besonderen Eigenschaften in den Teilen 10 bis 12 der DIN 1164 festgelegt. Zemente nach DIN 1164-10 erfüllen z. B. alle Anforderungen nach DIN EN 197-1 und unterscheiden sich nur in zusätzlichen Anforderungen an 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 M.-% 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 Portlandzement**k**linker
- S für Hüttensand (granulated blast furnace slag)
- P für natürliches **P**uzzolan (z. B. Trass)
- Q für natürliches getempertes **P**uzzolan

- 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 europäischen Zementnorm ist, dass abhängig von den verwendeten Hauptbestandteilen und deren Zusammensetzung 27 Zementarten unterschieden werden.

Bereits die frühere nationale Norm DIN 1164-1 (1994) 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 M.-% und 80 M.-% *Hüttensand* als Hauptbestandteil enthalten sowie
- verschiedene Portlandkompositzemente CEM II/A und CEM II/B, die außer Portlandzementklinker noch zwischen 6 M.-% und 35 M.-% 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.

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.

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 bis 100	–	–
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80 bis 94	6 bis 20	–
		CEM II/B-S	65 bis 79	21 bis 35	–
	Portlandsilicastaubzement	CEM II/A-D	90 bis 94	–	6 bis 10
	Portlandpuzzolan- zement	CEM II/A-P	80 bis 94	–	–
		CEM II/B-P	65 bis 79	–	–
		CEM II/A-Q	80 bis 94	–	–
	Portlandflugasche- zement	CEM II/B-Q	65 bis 79	–	–
		CEM II/A-V	80 bis 94	–	–
		CEM II/B-V	65 bis 79	–	–
		CEM II/A-W	80 bis 94	–	–
	Portlandschiefer- zement	CEM II/B-W	65 bis 79	–	–
		CEM II/A-T	80 bis 94	–	–
	Portlandkalkstein- zement	CEM II/B-T	65 bis 79	–	–
		CEM II/A-L	80 bis 94	–	–
		CEM II/B-L	65 bis 79	–	–
		CEM II/A-LL	80 bis 94	–	–
Portlandkomposit- zement ³⁾	CEM II/B-LL	65 bis 79	–	–	
	CEM II/A-M	80 bis 94	←		
	CEM II/B-M	65 bis 79	←		
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	35 bis 64	36 bis 65	–
		CEM III/B	20 bis 34	66 bis 80	–
		CEM III/C	5 bis 19	81 bis 95	–
CEM IV	Puzzolanzement ³⁾	CEM IV/A	65 bis 89	–	←
		CEM IV/B	45 bis 64	–	←
CEM V	Kompositzement ³⁾	CEM V/A	40 bis 64	18 bis 30	–
		CEM V/B	20 bis 38	31 bis 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		Ge-brannter Schiefer T	Kalkstein L LL		
natürl. getempert Q	kalk-reich W						
–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
6 bis 20	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
21 bis 35	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
–	6 bis 20	–	–	–	–	–	0 bis 5
–	21 bis 35	–	–	–	–	–	0 bis 5
–	–	6 bis 20	–	–	–	–	0 bis 5
–	–	21 bis 35	–	–	–	–	0 bis 5
–	–	–	6 bis 20	–	–	–	0 bis 5
–	–	–	21 bis 35	–	–	–	0 bis 5
–	–	–	–	6 bis 20	–	–	0 bis 5
–	–	–	–	21 bis 35	–	–	0 bis 5
–	–	–	–	–	6 bis 20	–	0 bis 5
–	–	–	–	–	21 bis 35	–	0 bis 5
–	–	–	–	–	–	6 bis 20	0 bis 5
–	–	–	–	–	–	21 bis 35	0 bis 5
–	–	–	–	–	–	–	6 bis 20
–	–	–	–	–	–	–	21 bis 35
–		6 bis 20		→			0 bis 5
–		21 bis 35		→			0 bis 5
–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
← 11 bis 35 →		→			–	–	0 bis 5
← 36 bis 55 →		→			–	–	0 bis 5
← 18 bis 30 →		→	–	–	–	–	0 bis 5
← 31 bis 50 →		→	–	–	–	–	0 bis 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 Zements angegeben werden.

Mit der Einführung der DIN EN 197-1 ist darüber hinaus die Herstellung von Zementen mit höheren Gehalten an latent-hydraulischen, puzzolanischen und inerten Hauptbestandteilen möglich. Außerdem sind auch Zemente mit bis zu 35 M.-% Kalkstein, bis zu 95 M.-% Hüttensand, bis zu 55 M.-% Puzzolanen und bis zu 80 M.-% einer Kombination von Hüttensand und Puzzolanen durch die Norm abgedeckt.

Weiterhin erlaubt die Norm für CEM II-Zemente eine große Bandbreite der möglichen Hauptbestandteile. Zemente, die *Silicastaub* (gekennzeichnet durch den Buchstaben D), *natürliche, getemperte Puzzolane* (Q) oder *kalkreiche Flugasche* (W) enthalten, sind durch die Norm abgedeckt. Mehrere Hauptbestandteile können auch bei Portlandkompositzementen CEM II kombiniert werden, was durch den Buchstaben (M) gekennzeichnet wird. Für einzelne dieser Zemente existieren in Deutschland weiterhin bauaufsichtliche Zulassungen, die die Anwendung dieser Zemente für bestimmte Expositionsklassen betrifft (s. Abschnitt II-2).

Darüber hinaus wird zwischen zwei Arten von Kalkstein (L) und (LL) unterschieden. Der Unterschied liegt im Gehalt an organischen Bestandteilen (TOC). Während Kalkstein (L) bis zu 0,50 M.-% TOC enthalten darf, ist dieser bei Kalkstein (LL) nach wie vor auf 0,20 M.-% begrenzt.

Inzwischen werden in Deutschland fast genauso viel Portlandkompositzemente wie Portlandzemente hergestellt. Der heutige Anteil der Zementarten und Festigkeitsklassen geht aus Bild II.2.1-2 hervor. Der Inlandversand betrug 2007 rd. 25,4 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 (s. 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 1,0 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 DIN EN 934 muss die Art des eingesetzten Stoffs 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.18.2).

Tafel I.2.2-2 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 (s. 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 der werkseigenen Produktionskontrolle und der Qualitätssicherung im Betonbau wird in Abschnitt II.18 näher eingegangen.

2.4 Zemente mit besonderen Eigenschaften

Sieht man von Zementen mit *niedriger Hydratationswärme* (LH) ab, gibt es für *Zemente mit besonderen Eigenschaften* noch

Tafel I.2.2-2: 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
Raumbeständigkeit (Dehnungsmaß)	alle	DIN EN 196-3	1/Woche
Sulfatgehalt	alle	DIN EN 196-2	2/Woche
Chloridgehalt	alle	DIN EN 196-2	2/Monat ²⁾
Glühverlust	CEM I, CEM III	DIN EN 196-2	2/Monat ²⁾
Unlöslicher Rückstand	CEM I, CEM III	DIN EN 196-2: Abs. 9	2/Monat ²⁾
Puzzolanität	CEM IV	EN 196-5	2/Monat
Zusammensetzung	alle	geeignete Verfahren ¹⁾	1/Monat
Hydratationswärme	LH	EN 196-8, -9	1/Monat

¹⁾ Geeignete Prüfverfahren vom Hersteller zu wählen

²⁾ Wenn keines der Prüfergebnisse 50 % des charakteristischen Werts übersteigt, darf die Prüfhäufigkeit auf 1/Monat verringert werden.

keine europäischen Normen. Aus diesem Grund enthält die deutsche Zementnorm DIN 1164-10 entsprechende Regelungen für Normalzemente mit *hohem Sulfatwiderstand* (HS) und *niedrigem wirksamem Alkaligehalt* (NA). Die Anforderungen gehen aus **Tafel I.2.2-3** hervor. DIN 1164-10 hat den Status einer

Tafel I.2.2-3: Anforderungen an Normalzemente mit Sondereigenschaften nach DIN EN 197-1 und DIN 1164-10

Zement	Eigenschaft	Zementart	Anforderung
LH	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.

„Ergänzungsnorm“, da die Grundanforderungen an Normalzemente in DIN EN 197-1 festgelegt sind. Für Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (HS) ist eine Ergänzung zur DIN EN 197-1 derzeit in Vorbereitung.

Die in DIN 1164-10 bereits getroffenen Festlegungen für NA-Zemente gelten grundsätzlich für alle Zementarten. Bei hüttensandhaltigen Zementen sind abgestufte Anforderungswerte in Abhängigkeit vom Hüttensandgehalt festgelegt.

Ergänzend zu den Normalzementen ohne oder mit besonderen Eigenschaften gemäß Tafel I.2.2-3 werden für besondere

Zwecke noch eine Reihe weiterer Zemente hergestellt und angewendet:

Zement mit frühem Erstarren (FE): Zement nach DIN 1164-11 für Bauteile mit kurzen Verarbeitungszeiten, z.B. Betonfertigteile

Schnellerstarrender Zement (SE): Zement nach DIN 1164-11 für Bauteile mit besonders kurzer Verarbeitungszeit. Anwendung bei speziellen Herstellverfahren, z. B. Trockenspritzbeton. Langjährige Erfahrungen aufgrund von bauaufsichtlichen Zulassungen [Man6]. Erstarren mit üblichen Normprüfverfahren nicht bestimmbar

Zement mit erhöhtem Anteil an organischen Zusätzen (HO): Zement nach DIN 1164-12, der z. B. stark verflüssigend wirkende Zusätze enthalten kann

VLH-Zement: Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme ≤ 220 J/g nach DIN EN 14216 insbesondere für massige Bauteile

Sulfathüttenzement: Hüttensandhaltiger Zement, dessen Reaktion auf der sulfatischen Anregung beruht. Solche Zemente waren in Deutschland früher genormt, dann aber seit den 70er Jahren für Konstruktionsbetone nicht mehr zugelassen. Eine europäische Norm prEN 15743 ist derzeit in Vorbereitung

Weißzement: Genormt als Normalzement in DIN EN 197-1

Hydrophobierter Zement: Genormt als Normalzement in DIN EN 197-1

Straßenbauzement: Zement für die Herstellung von Fahrbahndecken gemäß ZTV Beton StB. Erfüllt zusätzliche Anforderungen in Hinblick auf Feinheit, Wasseranspruch, Erstarren, Frühfestigkeit und Alkaligehalt

Tonerdezement: In Deutschland für tragende Bauteile aus Beton nicht zugelassen. Genormt in DIN EN 14647

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)

Quellzement: In Deutschland nicht genormter Zement mit erhöhtem Aluminat- und Sulfatgehalt zur Steuerung des Quellverhaltens, teilweise mit bauaufsichtlicher Zulassung