Betonhuis

Beton pocket

2020

BETONPOCKET
Woerden, juni 2021

Deze Betonpocket is een uitgave van Betonhuis, Zaagmolenlaan 20,
3447 GS Woerden

8e ongewijzigde herdruk 2021

©2021, Betonhuis, Woerden
Verkoopprijs: € 15,00

Vanaf 2019 is Betonhuis de uitgever van de Betonpocket. Voorheen werd de Betonpocket uitgegeven door ENCI, Mebin en Sagrex.

Grafische vormgeving: Twin Media, Culemborg
Drukwerk: Bowprint

Hoewel bij de samenstelling de grootste zorgvuldigheid is betracht, kunnen toch fouten en onvolkomenheden in deze uitgave voorkomen. Elk gebruik van deze uitgave is daarom geheel voor eigen risico van de gebruiker en Betonhuis sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens.

Woord Vooraf

Wie bouwwerken van beton bekijkt, ziet bij oppervlakkige beschouwing één soort materiaal, een mengsel van cement, zand en grind. Maar de betonvakman ziet veel meer, kent de vele typen beton, weet van de verschillende cementsoorten, kent vele toeslagmaterialen en is zich bewust van welk betontype voor welke toepassing het meest geschikt is.
De ontwikkelingen op het gebied van beton staan niet stil, nieuwe materialen, slim gebruik van hulpstoffen, specifieke regelgeving en vooral het steeds scherper inzetten van de duurzaamheid van het materiaal.
Om de weg te blijven vinden in al die ontwikkelingen is er deze vernieuwde editie van de Betonpocket. Alle benodigde informatie handzaam gerangschikt en toegelicht. Geactualiseerd naar regelgeving en, zoals altijd, geschreven door specialisten.

Goed bouwen met goed materiaal

In de zoektocht naar verduurzaming van bouwmaterialen speelt research naar een verdere vermindering van onder meer CO_2-uitstoot door efficiënter produceren en de inzet van andere grondstoffen. Een ding staat echter voorop, de vernieuwde bouwmaterialen moeten een performance hebben die ten minste gelijkwaardig is aan de huidige en de grondstoffen dienen ruim en tegen acceptabele prijzen voorhanden te zijn. De betrouwbaarheid van beton als universeel bouwmateriaal moet gewaarborgd worden. Knowhow en regelgeving zullen daarvoor moeten worden ontwikkeld. Op die manier kan beton zijn rol als flexibel bouwmateriaal handhaven en zal het vorm aan ideeën blijven geven.

Betonhuis verwacht dat deze vernieuwde Betonpocket niet alleen een handzame bron van kennis zal zijn voor de dagelijkse praktijk, maar ook bijdraagt aan de productie van hoogwaardige betonmortel en betonproducten.

Deze uitgave is gebaseerd op de huidige regelgeving maar vervangt die geenszins. Voor de volledige normteksten adviseren wij u de normen en voorschriften te raadplegen. In het hoofdstuk Geraadpleegde Literatuur vindt u de betreffende normen per onderwerp geschikt.

Woerden, juni 2021
Betonhuis

Inhoud

1 Betonhuis 9

1.1 Kernactiviteiten en speerpunten 9
1.2 Krachtige lobby 9
1.3 Imago van beton 10
1.4 Relevante informatievoorziening 10
1.5 Website 10
1.6 Lidmaatschap 11

2 Beton als bouwmateriaal 13

2.1 Inleiding 13
2.2 Mechanische eigenschappen 14
2.3 Vervormingsgedrag 18
2.4 Technische levensduur 23

3 Beton met specifieke eigenschappen 31

3.1 Aluminiumcementbeton 31
3.2 Colloïdaalbeton 32
3.3 Lichtbeton 34
3.4 Schoonbeton 36
3.5 Schuimbeton 48
3.6 Spuitbeton 51
3.7 Slijtvast beton 55
3.8 Ultra hogesterktebeton (UHSB) 56
3.9 Vezelbeton 58
3.10 Vloeistofdicht beton 60
3.11 Zelfverdichtend beton 62
3.12 Zwaar beton 67

4 Betonspecie en verhardend Beton 69

4.1 Definities 69
4.2 NEN-EN 206 en NEN 8005 69
4.3 Betonsoorten volgens NEN-EN 206 70
4.4 Mengselsamenstelling 70
4.5 Levensduur en mengselsamenstelling 73
4.6 Besluit Bodemkwaliteit (Bbk) en mengselsamenstelling 89
4.7 Grondstoffenkeuze en mengselsamenstelling 90
4.8 Druksterkte en mengselsamenstelling 98
4.9 Verwerkbaarheid en mengselsamenstelling 101
4.10 Transport en mengselsamenstelling 106
4.11 Uitleveringsberekening 109
4.12 Betonspecie maken 110
4.13 Verharding 114
4.14 Gewogen rijpheid 119
4.15 Nabehandelen 130
4.16 Bepalen ontkistingstijdstip 135
4.17 Bepalen betonsterkte in het werk 137
4.18 Werken in de winter 137
4.19 Werken in de zomer 139

5 Controle en keuring 141

5.1 Definities 141
5.2 Beoordelingsrichtlijnen en kwaliteitsverklaringen 142
5.3 Keuring grondstoffen 146
5.4 Keuring procesapparatuur 148
5.5 Keuring betonspecie volgens NEN-EN 206 en NEN 8005 151
5.6 Keuring beton volgens NEN-EN 206 en NEN 8005 158
5.7 Verwerken van meetgegevens 162
5.8 Geschiktheidsonderzoek 163

6 Cement 165

6.1 Definitie 165
6.2 Terminologie 165
6.3 NEN-EN 197-1 165
6.4 Cement volgens NEN-EN 197-1 168
6.5 Andere cementnormen 174
6.6 Cementen op basis van aluminiumcementklinker/ aluminiumcement 179
6.7 In Nederland toegestane cementsoorten 180
6.8 Mengen van cementen 181
6.9 CO_2 armere cementen 184
6.10 Veilig werken met cement 185

7 Toeslagstoffen 187

7.1 Functie 187
7.2 Indeling 187
7.3 Eigenschappen van toeslagstoffen voor beton 191
7.4 Aanduiding en identificatie van toeslagstoffen 192
7.5 Lichte toeslagmaterialen volgens NEN-EN 13055-1 en NEN 3543 200
7.6 Eigenschappen gangbare grove toeslagmaterialen 203

8 Hulpstoffen en toevoegingen 205

8.1 Definitie 205
8.2 Algemene eisen en productinformatie 205
8.3 Indeling 206
8.4 Toepassingen 208
8.5 Toevoegingen 212

9 Vulstoffen 217

9.1 Definitie 217
9.2 Indeling 217
9.3 Inerte vulstoffen (type I) 217
9.4 Vulstoffen met bindmiddelfunctie 218
9.5 Invloed van poederkoolvliegas en silica fume op eigenschappen van betonspecie en beton 225
9.6 Bindmiddelfactor *k* voor poederkoolvliegas 227
9.7 Bindmiddelfactor *k* voor silica fume (Class 1) 229

10 Aanmaakwater 231

10.1 Indeling volgens NEN-EN 1008 231
10.2 Eerste beoordeling aanmaakwater 232
10.3 Nader onderzoek 232
10.4 Water voor nabehandeling 234
10.5 Spoelwater 234

Overzicht normen en literatuur 237

Normen 237
Beoordelingsrichtlijnen 242
CUR-Aanbevelingen 243
Overige (buitenlandse) normen en richtlijnen 244
Betoniek 245
Overige literatuur 246
Informatiebladen Betonhuis 247
Diversen 247

Trefwoordenregister 249

1 Betonhuis

Betonhuis is de branchevereniging van de cement- en betonindustrie en is de aanjager van een beter verbonden Nederlandse cement- en betonindustrie. Het is onze missie om het bouwkundige, financiële en maatschappelijke potentieel van beton als bouwmateriaal optimaal te benutten. Dat doen we in de eerste plaats door het faciliteren van stevige en effectieve verbindingen. Tussen onze leden onderling, tussen lidbedrijven en hun opdrachtgevers, vandaag en morgen. Ruim 200 aangesloten beton(mortel)fabrieken zijn aangesloten bij Betonhuis. Ruim 6.000 personen zijn werkzaam in deze branche.

1.1 Kernactiviteiten en speerpunten

Betonhuis onderscheidt acht kernactiviteiten die sterk verbonden zijn met de speerpunten van Betonhuis. Vier daarvan betreffen activiteiten namens de leden, vanuit Betonhuis, naar de markt en de maatschappij. De overige vier kernactiviteiten zijn gerichte dienstverlenende activiteiten voor de leden.
De acht kernactiviteiten van Betonhuis richten zich allemaal op een of meer van de drie speerpunten:

1. Krachtige lobby
2. Imago van beton
3. Relevante informatievoorziening

1.2 Krachtige lobby

Aan de basis van een systematische aanpak van een krachtige lobby staat een Betonmonitor waarmee een generiek beeld van de toekomst wordt geschetst bij ongewijzigd beleid. Hieruit worden zo nodig acties afgeleid om het beleid om te buigen. De krachtige lobby van Betonhuis namens de sector op relevante technische onderwerpen gebeurt systematisch. Dat wil zeggen op basis van een goed issue-management met behulp van goede contacten op alle niveaus en op basis van een concreet per issue uitgewerkt actieplan.
Binnen dit speerpunt vallen de kernactiviteiten:

- Belangenbehartiging, Betonhuis geeft de betonbranche een stem naar politiek in Nederland en Europa;
- (Beton)techniek; met vragen kunt u bij ons terecht;

- Arbeidsvoorwaarden, Sociale aangelegenheden;
- Kwaliteit, Arbo, Milieu & Veiligheid.

1.3 Imago van beton

Betonhuis heeft samen met de sectoren veel communicatiekanalen waarbij zowel generiek als sectorspecifiek informatie wordt uitgedragen. Dat beton perfect past binnen en bijdraagt aan veilig bouwen aan een duurzame samenleving. Individuele bedrijven kunnen besluiten aan te haken bij deze imago campagne om daarmee de boodschap te versterken en hun eigen bedrijfsimago te verbeteren. Binnen dit speerpunt valt de kernactiviteit:

- Promotie en communicatie

1.4 Relevante informatievoorziening

Onze informatiemaatschappij biedt iedereen toegang tot een overvloed aan mogelijk relevante, belangrijke of essentiële informatie. Betonhuis ontwikkelt een informatiesysteem waarmee per sector die feitelijke informatie wordt gefilterd die op dat moment van belang is (dus minder, maar wel meer relevante, betrouwbare informatie). De informatie wordt via een (besloten) extranet actief aan de sectoren en bedrijven aangeboden. De informatie die voor lid-bedrijven toegankelijk is bestaat uit:

- Opleidingen & Leermiddelen; branchespecifieke opleidingen voor fabrieksmedewerkers.
- Arbeidsvoorwaarden, Sociale aangelegenheden;
- Kwaliteit, Arbo, Milieu & Veiligheid; informeren, technische belangenbehartiging, vertegenwoordiging;
- Ondersteuning Bedrijfsvoering;
- Statistiek.

1.5 Website

De website Betonhuis.nl brengt alle informatie over de markt, verduurzamingsopgaves, trends en ontwikkelingen op het gebied van bouwen met cement en beton samen. Betonhuis.nl communiceert 24/7 via diverse kanalen actueel nieuws, duurzame innovaties en projecten van lidbedrijven.

1.6 Lidmaatschap

Betonhuis is actief op het gebied van arbeidsvoorwaarden, arbeidsomstandighedenbeleid, promotie, grondstoffen- en milieubeleid, lobby, verkoopvoorwaarden en opleidingen. Bent u betonproducent in Nederland en is het betonhuis lidmaatschap iets voor u? Neem dan nu contact met ons op via telefoonnummer 0348-484400 of stuur een e-mail: info@betonhuis.nl

2 Beton als bouwmateriaal

2.1 Inleiding

Beton is een product dat grotendeels vervaardigd wordt uit natuurlijke grondstoffen: cement, zand, grind en water. Als bouwmateriaal kent het een historie van meer dan 2000 jaar. Het zijn in eerste instantie de Grieken en later de Romeinen die aan het begin van onze jaartelling de techniek van het branden van kalk en het 'gieten en stampen' van wanden en gewelven hebben ontwikkeld en op ruime schaal hebben toegepast. De ontwikkeling van het huidige materiaal beton heeft de laatste twee eeuwen een flinke stap voorwaarts kunnen maken dankzij de uitvinding van het portlandcement en de uitvinding van het gewapend beton. Met deze vindingen draagt beton bij aan het bouwen van duurzame gebouwen met een lange levensduur.

Maar er is een ander soort duurzaamheid. De laatste decennia focust bijvoorbeeld de betontechnologie in hoge mate op betonsamenstellingen voor 'duurzame toepassingen'. Het begrip 'duurzaamheid' reikt daarbij verder dan de technische levensduur van het product. Waar eerder vooral op druksterkte werd ontworpen, gaat de aandacht nu naar mengseloptimalisatie en bijvoorbeeld inzet van CO_2-arme cementen of het gebruik van betongranulaat. Door de inzet van de 'nieuwe' betonmengsels zijn grote efficiëntievoordelen te halen zoals bouwtijdverkorting. Duurzaamheid speelt dan een dubbelrol. Duurzaamheid van zowel het betonmengsel alsmede van de constructie maar ook tijdens de gebruiksfase door het beperken van energiebehoefte door bijvoorbeeld thermisch actief beton.

Ontwerpers en constructeurs dienen bij het duurzaam ontwerpen van hun betonconstructies te rekenen met de volgende materiaaleigenschappen van (gewapend) beton:

- mechanische eigenschappen;
- vervormingsgedrag;
- technische duurzaamheid;
- milieu-impact van de grondstofkeuze.

2.2 Mechanische eigenschappen

Druksterkte

Met 'de druksterkte van beton' wordt in Nederland meestal de kubusdruksterkte bedoeld. Dat wil zeggen de druksterkte zoals die in NEN-EN 206 artikel 4.3.1 is omschreven. Dit is in feite een kwaliteitsparameter. Op grond van de sterkteklasse van de verwerkte betonspecie is weliswaar de potentiële druksterkte van het beton bekend, maar de werkelijk gerealiseerde druksterkte van het beton is mede afhankelijk van de uitvoeringstechniek, de verhardingsomstandigheden en de mate van nabehandeling van het beton.
Er bestaan diverse betrouwbare methoden om de werkelijk gerealiseerde druksterkte van het beton in het werk te bepalen. In paragraaf 4.17 wordt een aantal van deze methoden behandeld.

Sterkteklassen

Betonspecie zal in de loop der tijd sterkte ontwikkelen. De snelheid waarmee de sterkte toeneemt is in het begin groot, maar neemt in de tijd gezien af, tot een zekere eindwaarde is bereikt. De snelheid, de duur en de eindwaarde van de sterkteontwikkeling zijn afhankelijk van de speciesamenstelling en de verhardingscondities.
Omdat zowel de speciesamenstelling als de verhardingscondities nagenoeg oneindig kunnen variëren, is omwille van de beheersing van het ontwerp- en bouwproces de **sterkteklasse** ingevoerd.

De sterkteklasse van een partij betonspecie is gebaseerd op druksterktemetingen aan monsters uit die partij. Tijdens de productie worden speciemonsters getrokken en op een genormaliseerde wijze in kubus- of cilindermallen gestort en verdicht (zie ook 5, Controle en keuring). Omdat in Nederland traditioneel kubussen worden toegepast, wordt verder alleen van kubussen gesproken, er mag echter ook cilinders worden gelezen. De kubussen verharden gedurende 28 dagen onder genormaliseerde condities. Op dag 28 wordt van elke kubus de druksterkte bepaald.
Omdat zelfs dan nog enige spreiding optreedt, wordt uit de gevonden serie druksterkten de karakteristieke kubusdruksterkte berekend.
Deze karakteristieke kubusdruksterkte bepaalt tot welke sterkteklasse de betreffende partij betonspecie mag worden gerekend. Dit is een maat voor de ondergrens van de druksterkte van beton.
De constructeur hanteert de sterkteklasse als uitgangspunt voor de mechanische eigenschappen van het beton.

NEN-EN 206 kent voor normaal- en zwaarbeton 16 sterkteklassen.
De sterkteklasse wordt aangeduid met de letter C (van 'concrete') gevolgd door 2 getallen. Het eerste getal staat voor de karakteristieke cilinderdruksterkte, het tweede getal staat voor de karakteristieke kubusdruksterkte.
Het verschil tussen beide getallen wordt veroorzaakt door het verschil in bezwijkmechanisme van een cilinder en van een kubus.
Voor lichtbeton kent NEN-EN 206 een indeling in 14 sterkteklassen.
Deze sterkteklasse wordt aangeduid met de letters LC (van 'lightweight concrete'), ook gevolgd door 2 getallen.

Sterkteklassen

Normaal beton en zwaar beton	Lichtbeton
C8/10*	LC8/9
C12/15	LC12/13
C16/20	LC16/18
C20/25	LC20/22
C25/30	LC25/28
C30/37	LC30/33
C35/45	LC35/38
C40/50	LC40/44
C45/55	LC45/50
C50/60	LC50/55
C55/67	LC55/60
C60/75	LC60/66
C70/85	LC70/77
C80/95	LC80/88
C90/105	
C100/115*	

** Deze sterkteklassen komen niet in NEN-EN 1992-1-1 voor en mogen dus niet zondermeer in constructief beton worden toegepast.*

De rekenwaarde van de betondruksterkte f_{cd} wordt door NEN-EN 1992-1-1 gedefinieerd als:

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$

waarin:

f_{ck} is de karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen;

γ_c is de partiële veiligheidsfactor voor beton (= 1,5 volgens de Nederlandse Nationale Bijlage);

α_{cc} is een coëfficiënt die rekening houdt met langeduureffecten op de druksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt:*
(α_{cc} = 1 volgens de Nederlandse Nationale Bijlage).

Treksterkte

De treksterkte van beton hangt weliswaar samen met de druksterkte, maar het verband tussen die twee grootheden is niet eenduidig. Dit komt mede doordat de treksterkte meestal indirect gemeten wordt met de splijtproef. De rekenwaarde van de betontreksterkte f_{ctd} wordt door NEN-EN 1992-1-1 gedefinieerd als:

$\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$

waarin:

$f_{ctk,0,05}$ is de karakteristieke waarde van de axiale treksterkte van beton; 5% ondergrenswaarde;

α_{ct} is een coëfficiënt die rekening houdt met langeduureffecten op de treksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt;*
(act = 1 volgens de Nederlandse Nationale Bijlage);

γ_c is de partiële veiligheidsfactor voor beton (= 1,5 volgens de Nederlandse Nationale Bijlage).

* Indien de sterkte is bepaald op een tijdstip groter dan 28 dagen (bijvoorbeeld 56 dagen) dan dient deze factor volgens NEN-EN 1992-1-1, 3.1.7 met kt = 0,85 te worden vermenigvuldigd. CUR-Aanbeveling 122 geeft aanvullende richtlijnen voor het gebruik van de doorgaande sterkte-ontwikkeling.

Materiaaleigenschappen normaal- en zwaarbeton volgens NEN-EN 1992-1-1

Sterkte-klasse	f_{ck} in N/mm²	$f_{ck,cube}$ in N/mm²	f_{cm} in N/mm²	f_{cd} in N/mm²	f_{ctm} in N/mm²	$f_{ctk,0,05}$ in N/mm²	f_{ctd} in N/mm²	E_{cm} in G P_a
C12/15	12	15	20	8,0	1,57	1,10	0,73	27
C16/20	16	20	24	10,7	1,90	1,33	0,89	28
C20/25	20	25	28	13,3	2,21	1,55	1,03	30
C25/30	25	30	33	16,7	2,56	1,80	1,20	31
C30/37	30	37	38	20,0	2,90	2,03	1,35	32
C35/45	35	45	43	23,3	3,21	2,25	1,50	34
C40/50	40	50	48	26,7	3,51	2,46	1,64	35
C45/55	45	55	53	30,0	3,80	2,66	1,77	36
C50/60	50	60	58	33,3	4,07	2,85	1,90	37
C55/67	55	67	63	36,7	4,21	2,95	1,97	38
C60/75	60	75	68	40,0	4,35	3,05	2,03	39
C70/85	70	85	78	46,7	4,61	3,23	2,15	40
C80/95	80	95	88	53,3	4,84	3,39	2,26	42
C90/105	90	105	98	60,0	5,05	3,54	2,36	43

Let op!

De hier weergegeven getalswaarden zijn conform NEN-EN 1992-1-1 afgeleid van de cilinderdruksterkte f_{ck}

Verklaring:

f_{ck} karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen

$f_{ck,cube}$ karakteristieke kubusdruksterkte van beton op 28 dagen

f_{cm} gemiddelde cilinderdruksterkte van beton = f_{ck} + 8 N/mm²

f_{cd} rekenwaarde van de druksterkte van beton op 28 dagen

f_{ctm} gemiddelde axiale treksterkte van beton:
≤ C50/60 : $f_{ctm} = 0{,}30 \times f_{ck}^{(2/3)}$
> C50/60 : $f_{ctm} = 2{,}12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$

$f_{ctk,0,05}$ is de karakteristieke waarde van de axiale treksterkte van beton; 5% ondergrenswaarde = 0,7 × f_{ctm}

f_{ctd} rekenwaarde van de treksterkte van beton op 28 dagen

E_{cm} elasticiteitsmodulus van beton = $22[(f_{cm})/10]^{0,3}$

2.3 Vervormingsgedrag

Elasticiteitsmodulus
De elasticiteitsmodulus (E-modulus) van een materiaal is het getal dat de verhouding weergeeft tussen de grootte van de spanning, veroorzaakt door de belasting, én de door deze spanning veroorzaakte (elastische) vervorming. Deze relatie staat bekend als de Wet van Hooke:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

waarbij:
E = elasticiteitsmodulus [N/mm^2]
σ = spanning [N/mm^2]
ε = specifieke vervorming [-]

De specifieke vervorming (rek) is de verlenging of verkorting van een materiaal per eenheid van lengte en is daardoor dimensieloos.
Beton is een heterogeen materiaal, bestaande uit toeslagmateriaal ingebed in een matrix van cementsteen. De E-modulus van beton wordt in sterke mate bepaald door het soort én het gehalte toeslagmaterialen, mits het gebruikte toeslagmateriaal een hogere E-modulus heeft dan de cementsteen.
Volgens NEN-EN 1992-1-1 wordt de elasticiteitsmodulus afgeleid van de gemiddelde cilinderdruksterkte:

$$E = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$$

E_{cm} geldt voor kwarts (= zand, grind) als toeslagmateriaal. Voor andere toeslagmaterialen geldt een hogere of lagere elasticiteitsmodulus. Bijvoorbeeld voor basalt een 20% hogere elasticiteitsmodulus, voor kalksteen een 10% lagere en voor zandsteen een 30% lagere.

Kruip
Elk materiaal vervormt als er een kracht op uitgeoefend wordt. Naarmate de kracht groter wordt, neemt de vervorming toe. Als bij beproeving de kracht niet verder wordt verhoogd, blijkt de vervorming toch nog enige tijd toe te nemen. Die extra vervorming noemen we kruip.
Kruip is van belang voor de betonpraktijk, omdat het tot grotere vervormingen leidt, dan die waarop op grond van de E-modulus gerekend is.
Kruip van beton is de vervorming van de gelstructuur, veroorzaakt door capillaire spanning van het chemisch niet-gebonden water. De grootte van de

kruipvervorming is recht evenredig met de elastische vervorming van het beton. Het verband tussen de kruipvervorming (ε_ϕ) en de elastische vervorming (ε_{be}) wordt aangegeven met de kruipcoëfficiënt ϕ. Hier geldt:

$\varepsilon_\phi = \phi\, \varepsilon_{be}$

De grootte van de kruip van beton is afhankelijk van:
- de relatieve vochtigheid;
- de ouderdom t_c op het tijdstip van belasten;
- de sterkteklasse van het beton;
- de geometrie van de betondoorsnede;
- de duur van de belasting.

De grootte van de kruipcoëfficiënt ϕ kan variëren van ca. 0,8 (RV = 100%, $f_{ck,\,cube}$ = 67 N/mm²) tot ca. 4,2 (RV < 60%, $f_{ck,\,cube}$ = 15 N/mm²).
NEN-EN 1992-1-1 geeft richtlijnen voor de berekening van de kruipcoëfficiënt.

Algemeen gesproken is de kruip van invloed op:
- de vervorming van de betonconstructie (bijvoorbeeld doorbuiging van vrijdragende vloeren en balken);
- de herverdeling van de krachtsverdeling in de constructie (bijvoorbeeld ten gevolge van de bouwwijze, zetting, etc.).

Relaxatie

In een materiaal dat belast wordt, ontstaan spanningen. Deze nemen toe naarmate de belasting toeneemt.
Indien het materiaal echter enige tijd onder constante belasting wordt gehouden, neemt de spanning geleidelijk wat af door de kruip in het materiaal. Deze afname van de spanning bij gelijkblijvende belasting noemen we relaxatie.
Relaxatie is van belang voor de betonpraktijk omdat het tot geringere spanningen leidt, dan die waarop op grond van de *E*-modulus gerekend zou moeten worden.
Deze reductie wordt in rekening gebracht door de normaalkracht en/of buigend moment te vermenigvuldigen met de relaxatiecoëfficiënt k_ϕ. Voor geleidelijk optredende permanent aanwezige belastingen geldt volgens de Nationale bijlage van NEN-EN 1992-1-1:

$k_\phi = (1 - e^{-\Phi})/\phi$

waarbij: ϕ = kruipcoëfficiënt

Naast beton is ook (voorspan)staal onderhevig aan relaxatie van spanningen.

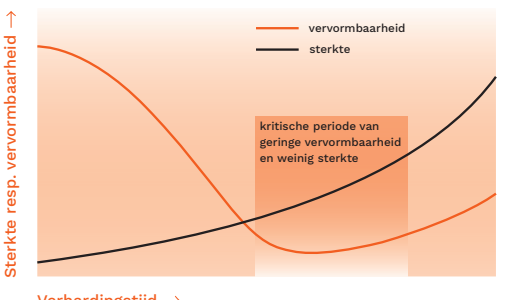
Voorbeeld:
Betonweg C35/45, h = 300 mm, RV > 80% (buiten)
Berekende kruipcoëfficiënt $\phi = 1{,}5$
Hieruit volgt de relaxatiecoëfficiënt $k_{\phi} = 0{,}50$
Dus van alle langdurig aanwezige krachten (moment, normaalkracht) blijft op de lange duur maar 50% over!

De door kruip veroorzaakte relaxatie van krachten is een hele belangrijke, gunstige eigenschap van beton!

Breukrek

Zeer jong beton is de eerste 5 uur na aanmaak gemakkelijk vervormbaar. Daarna neemt de stijfheid snel toe, terwijl het beton nog nagenoeg geen sterkte heeft. In de praktijk betekent dit dat beton tussen 5 en 20 uur na aanmaken gemakkelijk scheurt. Hogere specietemperaturen verkorten deze periode. Onderstaande figuur geeft een beeld van de sterkteontwikkeling en het verloop van de vervormbaarheid van zeer jong beton.

Ontwikkeling van de breukrek in jong beton



Krimp veroorzaakt door vochtverlies

Naast vervorming door externe krachten (druk, trek, wringing en afschuiving) vervormt beton ook onder invloed van interne krachten zoals krimpen en zwellen ten gevolge van capillaire krachten.

Krimp ten gevolge van vochtverlies is een van de belangrijkste oorzaken van scheurvorming en dus schade aan betonconstructies.
Betontechnologisch onderscheiden we diverse vormen van krimp veroorzaakt door vochtverlies, afhankelijk van het stadium van de verharding van beton. Volgend overzicht geeft enig inzicht.

Type/Mechanisme	Invloedsfactoren	Opmerkingen
Plastische krimp Ontstaat door het verdampen van aanmaakwater vanuit de nog plastische betonspecie. Als er meer water aan het oppervlak verdampt dan uit het binnenste van het beton aangevoerd wordt (bleedingcapaciteit), kunnen er scheurtjes loodrecht op het oppervlak ontstaan	Met name klimatologische factoren als relatieve vochtigheid, windsnelheid en temperatuur zijn van invloed op de verdampingssnelheid. De kans op scheurvorming is kleiner naarmate de betonspecie meer water en minder fijn materiaal bevat. Goed nabehandelen van betonspecie is de enige juiste remedie ter voorkoming van plastische krimpscheuren	Plastische krimpscheuren zijn meestal slechts enkele centimeters diep. 'Droge' betonspecie en betonspecie met veel fijn materiaal zijn gevoeliger voor scheurvorming. Daarbij kunnen plastische krimpscheuren ook 'door en door' zijn. Plastische krimpscheuren vormen zelden een gevaar voor de duurzaamheid van een constructie. Plastische krimpscheuren zijn hoofdzakelijk een visueel probleem
Verhardings- of chemische krimp De som van het volume aan cement en water is groter dan het volume van de daaruit gevormde hydratatieproducten	De soort en hoeveelheid cement	Deze vorm van krimp veroorzaakt microscheurvorming in de cementsteen. De microscheuren worden gezien als de inleiders bij het bezwijken van beton onder een (te hoge) belasting. Bij een normale betonsamenstelling is de verhardingskrimp niet merkbaar als een uitwendige vervorming

Type/Mechanisme	Invloedsfactoren	Opmerkingen
Autogene krimp Een bijzondere vorm van verhardingskrimp: bij een zeer lage wcf wordt door de toenemende hydratatie al het aanvankelijk beschikbare water langzaam opgebruikt. Dit inwendige 'uitdrogingsproces' kan zelfs leiden tot een volume vermindering van de cementsteen en een meetbare krimp van het beton	Vooral van belang bij een wcf < 0,40. Gebruik van silica fume of andere (zeer) fijne vulstoffen versterkt het effect in belangrijke mate	Een hoog pastagehalte, in combinatie met een lage wcf, vergroot de autogene krimp. Bij bouwdelen in hogesterktebeton, waarbij vervormingen worden verhinderd, kan autogene krimp de oorzaak zijn van scheurvorming Betoniek 15/27, Autogene krimp
Uitdrogingskrimp Is het gevolg van het verdampen van het niet-gebonden water in het beton via de capillaire poriën. Door dit waterverlies trekken de poriën samen. Hiertegenover staat echter dat door wateropname de poriën zwellen en het beton kan uitzetten	Uitdrogingskrimp hangt voornamelijk af van de relatieve vochtigheid van de omgeving, afmetingen van het betreffende bouwdeel en de betonsamenstelling. Een lage wcf leidt tot kleine capillaire poriën waaruit het water minder gemakkelijk verdampt. Naarmate de hydratiegraad hoger is, zijn de capillaire poriën kleiner. Dit wordt bereikt door goed en voldoende lang nabehandelen	De grootte van de uitdrogingskrimp is voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheid water en cementsteen in beton. In de praktijk is uitdrogingskrimp bij beton met 'normale' sterkte ($f_{ck,cube}$ < 65 N/mm²) op langere termijn de oorzaak van ongewenste scheurvorming in constructies die niet vrij kunnen vervormen. Voldoende dilatatie kan ongewenste scheurvorming voorkomen

Thermische vervorming

Net als de meeste andere materialen zet beton uit als het warm wordt en krimpt het als het afkoelt. De mate waarin een materiaal uitzet of krimpt wordt aangegeven met de thermische uitzettingscoëfficiënt van dat materiaal. Deze wordt uitgedrukt per °C.

Voor de thermische uitzettingscoëfficiënt van beton is de thermische uitzettingscoëfficiënt van het toeslagmateriaal van groot belang; voor grindbeton ligt de thermische uitzettingscoëfficiënt rond 12 × 10^{-6}/°C en voor beton met kalksteen rond 8 × 10^{-6}/°C. Voor lichtbeton varieert de uitzettingscoëfficiënt tussen 7 en 11 × 10^{-6}/°C.

Rekenvoorbeeld
De zon verwarmt een grindbetonplaat (lengte 10 m) van 15 °C naar 40 °C.

Temperatuurverhoging:	25 °C
Thermische uitzettingscoëfficiënt:	12 × 10^{-6}/°C
→ Per meter zet de plaat uit:	25 × (12 x 10^{-6}) meter
dat is:	300 × 10^{-6} meter = 0,3 mm/m
De plaat is 10 meter lang, dus de hele plaat zet uit:	10 × 0,3 = 3 mm

Let op!
Bij afkoeling tot 15 °C zal de plaat ook weer 3 mm krimpen.

2.4 Technische levensduur

Duurzaamheid is, in de context van levensduur, het vermogen van een constructie (-deel), om gedurende een voldoende lange periode, zijn functies te vervullen. In de ontwerpfase houdt de ontwerper/constructeur rekening met de omgeving (het milieu) waarin de betonconstructie moet functioneren. De ontwerper/constructeur benoemt de milieuklasse voor de diverse constructiedelen en de betontechnoloog houdt vervolgens bij het mengselontwerp rekening met de randvoorwaarden die voor de betreffende milieuklasse gelden. Zie hiervoor 4.5.
In de gebruiksfase kan een betonconstructie door diverse oorzaken in kwaliteit achteruitgaan. Kwaliteitsverlies kan vroeg of laat leiden tot een afnemende functionaliteit in de vorm van verminderde esthetische waarde, zoals bijvoorbeeld vlekken ten gevolge van kalkuitbloei of vervuiling, een afnemende bruikbaarheid, een mindere beschikbaarheid en/of een onvoldoende veiligheid van de constructie.
Kwaliteitsverlies of schade aan beton uit zich meestal door scheuren of door het afdrukken van het betonoppervlak.

Deze schade kan optreden zowel door inwendige als uitwendige oorzaken. De schade die hierbij optreedt, is het gevolg van vervormingen (temperatuur en vocht), corrosie van de wapening, expansie en /of chemische aantasting van de cementsteen (oplossen van hydratatieproducten).

In de navolgende tabel zijn de volgende schades opgenomen:
- scheuren in de plastische fase;
- opgelegde verhinderde vervormingen;
- wapeningscorrosie;
- vorst en vorst-dooizout aantasting;
- chemische aantasting;
- cosmetische schade;
- brandschade.

Schade ten gevolge van overbelasting door te weinig wapening of ondoelmatig wapenen zijn niet in dit overzicht meegenomen.

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Scheuren in de plastische fase		
Sedimentatie of zettings-scheuren	Een scheurenpatroon in het horizontale en/of het verticale vlak waarbij de ligging van de horizontale wapening (staven, beugels) of de aanwezigheid van sparingen is te herkennen. Scheuren ter plaatse van een verandering van doorsnede	Betoniek 8/25, Scheurkalender Betoniek 10/22, Krimp Betonhuis Informatieblad: Scheurvorming in jong beton
Plastische krimpscheuren	Onregelmatig scheurenpatroon of soms meerdere parallel lopende scheuren in het bovenvlak van vers gestort beton. Randen van de scheuren zijn rafelig. Lengte van de scheuren is variabel; van enkele decimeters tot wel enkele meters. De diepte vaak niet meer dan enige centimeters. Scheuren worden niet ingeleid door de vorm van de constructie	Betoniek 8/25, Scheurkalender Betoniek 10/22, Krimp Betonhuis Informatieblad: Scheurvorming in jong beton Betoniek 15/14, Watersnood

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Slipform-trekscheuren	Eén of meerdere scheuren na elkaar veroorzaakt door de voortgaande, glijdende beweging van de bekisting. Scheuren staan vrijwel haaks op de voortgangsrichting. Randen van de scheuren zijn rafelig. Scheuren staan wijd open en zijn bij dunwandige constructies vaak door en door	Betonhuis Informatieblad: Scheurvorming in jong beton
Opgelegde verhinderde vervormingen		
Thermische krimpscheuren	Onregelmatig scheurenpatroon in beton veroorzaakt door temperatuurverschillen tussen kern en oppervlak en/of een regelmatig scheurenpatroon veroorzaakt door uitwendig verhinderde vervormingen	Betonhuis Informatieblad: Scheurvorming in jong beton Betoniek 8/25, Scheurkalender Betoniek 15/17, Meten is hot
Scheuren ten gevolge van thermische vervormingen	Vaak één enkele scheur in een constructieonderdeel ten gevolge van verhinderde vervorming. Bijvoorbeeld een betonlatei versus metselwerk of een dakplaat versus buitengevel	2.3 Thermische vervorming Betoniek 8/25, Scheurkalender Betoniek 10/22, Krimp
Uitdrogingskrimp	Regelmatig scheurenpatroon op onderling grote afstand en met name in grote horizontale constructieonderdelen of wanden. Moment van verschijnen: gedurende de eerste maanden tot jaren; afhankelijk van de afmetingen en klimatologische omstandigheden. Scheuren hebben scherpe randen en worden vaak ingeleid door de vorm van de constructie of ter plaatse van een verzwakking van de doorsnede	Betoniek 8/25, Scheurkalender Betoniek 10/22, Krimp Betoniek 15/4, Watersnood

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Wapeningscorrosie		
Carbonatatie geïnitieerde corrosie	Roesten van de wapening veroorzaakt ter plaatse scheuren en/of afdrukken van het betonoppervlak	CUR-Rapport 90-3, Carbonatatie, corrosie en vocht. Betoniek 8/22, Carbonatatie en corrosie Betonhuis Informatieblad: Duurzaamheid en milieuklassen Betoniek 15/26, Corrosie uitvergroot
Chloriden geïnitieerde corrosie	Roesten van de wapening veroorzaakt ter plaatse scheuren en/of afdrukken van het betonoppervlak. Uitbloei van bruin/zwarte vlekken. Op de wapening kan putcorrosie optreden, waarbij de wapening plaatselijk wordt opgelost	CUR-Rapport 92-7, Kritisch chloridegehalte in gewapend beton. Betoniek 9/15, Kritisch chloridegehalte Betonhuis Informatieblad: Duurzaamheid en milieuklassen Betoniek 15/26, Corrosie uitvergroot
Vorst en vorst-dooizout aantasting		
Vorstschade	Destructie van het beton door expansie van bevriezend water in het (nog jonge) beton. Beton heeft weinig tot geen samenhang. In de cementsteen zijn vaak ijskristallen herkenbaar	Betoniek 11/11, Vorst en dooi Betonhuis Informatieblad: Vorst en dooizouten Betoniek 14/5, De stukken eraf
Vorstschade in combinatie met dooizout	Afschilferen van het met water- en dooizouten verzadigde betonoppervlak door expansie van bevriezend water in het daaronder liggend beton	Betoniek 11/11, Vorst en dooi Betonhuis Informatieblad: Vorst en dooizouten Betoniek 14/5, De stukken eraf

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Chemische aantasting		
Sulfaat-aantasting	Onregelmatig scheurenpatroon in het betonoppervlak, vaak met witte uitbloei, veroorzaakt door expansieve ettringietvorming in het beton	Betoniek 3/9, Sulfaat-aantasting Betonhuis Informatieblad: Aantasting door sulfaten NEN-EN-197-1 Betoniek 15/13, DEF ? Betoniek 15/23, SR en VLH
Alkali-silica-reactie (ASR)	Door inwendige zwelling veroorzaakte inwendige scheurvorming met als gevolg sterkteverlies. Aan het betonoppervlak zichtbaar als een craquelévormig scheurenpatroon, vaak in combinatie met witte uitbloei	CUR-Aanbeveling 89, Maatregelen ter voorkoming van betonschade door alkali-silicareactie (ASR) Betoniek 12/19, Voorkomen van ASR Betoniek 13/4, ASR in beeld Betonhuis Informatieblad: Alkali-silicareactie Betoniek 15/02, ASR verzekering
Zuuraantasting	Aantasting van het betonoppervlak, verlies van samenhang door het oplossen van de cementsteen	Betoniek 11/1, 't Is zuur Betonhuis Informatieblad: Aantasting door zuren Betoniek 15/16, Beton in XA
Biogene zwavelzuur-aantasting	Specifieke vorm van zuuraantasting van het betonoppervlak door zwavelzuur dat is ontstaan door bacteriële omzetting van sulfiden in zwavelzuur	Betoniek 5/1, Zwavelzuuraantasting Betonhuis Informatieblad: Aantasting door zuren

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Micro-biologische salpeterzuur-aantasting	Specifieke vorm van zuuraantasting, afzanden en losse schollen van het betonoppervlak door salpeterzuur vormende bacteriën. Geldt met name voor binnenwanden van koeltorens	Betonhuis Informatieblad: Aantasting door zuren
Aantasting door zouten, zwakke base en sterk zuur	Oplossen van cementsteen vergelijkbaar met zuuraantasting. Specifiek voor opslag van kunstmest (ammoniumzout) en aantasting door zeewater (magnesiumzout)	CUR Rapport 172, Duurzaamheid en onderhoud van betonconstructies Betonhuis Informatieblad: Chemische aantasting
Koolteer-destillaten	Kreosoot (olie) en kresol zijn licht agressief. Door uitwisselingsreacties gaat de samenhang van de cementsteen verloren en ontstaat sterkteverlies	Betonhuis Informatieblad: Chemische aantasting
Plantaardige oliën	Plantaardige oliën zijn matig agressief. Door uitwisselingsreacties gaat de samenhang van de cementsteen verloren en treedt sterkteverlies op	Betonhuis Informatieblad: Chemische aantasting
Dierlijk vet en vetzuren	Dierlijk vet en vetzuren zijn licht tot matig agressief. Door oplosreacties gaat de samenhang van de cementsteen verloren en ontstaat sterkteverlies	Betonhuis Informatieblad: Chemische aantasting
Diversen kuilvoer (silage), mest, cider, appelwijn, vruchtensap	Sterke tot zeer sterke agressieve aantasting. Door oplosreacties, of een combinatie van oplos- en uitwisselingsreacties, gaat de samenhang van de cementsteen verloren en ontstaat sterkteverlies	Betonhuis Informatieblad: Chemische aantasting Betoniek 15/16, Beton in XA

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Cosmetische schade		
Kalkuitslag	Witte vlekken op het betonoppervlak, veroorzaakt door het uittreden van calciumhydroxide $Ca(OH)_2$ uit het poriewater. Bij reactie met kooldioxide uit de lucht slaat de (witte) calciumcarbonaat $CaCO_3$ neer	Betoniek 10/10, Kalkuitslag Betonhuis Informatieblad: Kalkuitslag
Pyrietvlekken	Bruin/zwarte vlekken op het betonoppervlak door uitbloei van roestwater afkomstig van reactieproducten van ijzersulfides	NEN 5905 Betoniek 11/25, Verroest
Pop-Outs	Afdrukken van schilfers van de betonhuid door bijvoorbeeld: • pyriet; expansie van reactieproducten • α-kwarts; expansie van in toeslagmateriaal geabsorbeerd water tijdens een vorstperiode	NEN 5905 Betoniek 11/25, Verroest NEN-EN 12620
Groen beton	Op schaduwrijke en vochtige plekken bestaat de kans op groene afzettingen op beton door algen, mossen en korstmossen. Laten zitten of verwijderen?	Betoniek 16/05, Groen beton?
Brandschade		
Spatten van randen van balken en kolommen, spatten van het betonoppervlak	Spatten van toeslagmateriaal ('aggregate spalling') en afdrukken van betonschilfers/schollen. Ter plaatse van hoeken van bouwdelen springen stroken beton af. Bij een zeer dichte beton kan explosief spatten optreden door expansie van waterdamp in het verhitte beton	CUR-Aanbeveling 95, Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van bouwdelen in hogesterktebeton CUR-rapport 98, Spatten van grind- en lichtbeton bij brand Betoniek 12/9, Brandbestand Betoniek 14/16, Brand

Uitleg over vele begrippen is tevens te vinden in het Betonlexicon:
www.betonlexicon.nl

3 Beton met specifieke eigenschappen

Beton is een bouwmateriaal dat zeer breed kan worden ingezet, variërend van vierkante meters in het platte vlak, zoals vloeren, verhardingen en wegen, tot constructies die zich in de hoogte verheffen, zoals kolommen en pijlers voor utiliteitsbouw en kunstwerken.
Verreweg het meeste van dergelijke betonconstructies kan worden gerealiseerd met wat NEN-EN 206 het 'normale' beton noemt.
In een aantal gevallen wordt van het beton echter een specifieke eigenschap gevraagd. Soms past deze specifieke eigenschap nog wel binnen het kader van NEN-EN 206, maar voor sommige toepassingen zijn aanvullende eisen gewenst. Ook kan het zijn dat de samenstelling van het beton totaal niet meer binnen de grenzen van NEN-EN 206 past. Meestal is daar andere of aanvullende regelgeving voor ontwikkeld in de vorm van CUR-Aanbevelingen. En soms kan worden volstaan met de productinformatie van de betreffende producent.

3.1 Aluminiumcementbeton

Betonspecie en beton gemaakt met aluminiumcement hebben een aantal bijzondere eigenschappen:

Eigenschap	Opmerking
Sterkteontwikkeling Bij normale temperaturen zeer snel. Door een chemische omzetting van aluminiumcementhydraat naar een meer poreuze vorm (conversie) zal de bereikte sterkte echter na enkele dagen teruglopen. Dit sterkteverlies geeft onzekerheid over de veiligheid van de constructie in de gebruiksfase.	• De eerste 24 uur verharden bij temperaturen boven 60 °C levert minder sterkte, maar verlaagt het conversierisico. • Autoclaafbehandeling wordt afgeraden. • Betonsamenstellingen met een cementgehalte > 400 kg/m³ en een wcf ≤ 0,4 worden geacht conversie te kunnen ondergaan met sterkteverlies, maar zonder kwaliteitsverlies; dit wordt echter niet door alle deskundigen onderschreven.

Eigenschap	Opmerking
Duurzaamheid Vuurvast, tot temperaturen boven 1900 °C.	Afhankelijk van het Al_2O_3-gehalte van het cement en het gebruikte toeslagmateriaal.
Sulfaatbestandheid Bestand tegen zwakke zuren. Niet bestand tegen alkaliloog.	Mits niet geconverteerd; na conversie is zowel de bestendigheid tegen sulfaten, als tegen zwakke zuren verdwenen.

Let op!

- *Laat aluminiumcementbeton altijd voldoende uitharden voordat er 'gewoon' beton tegenaan gestort wordt.*
- *Zorg dat mengers, transportmiddelen en gereedschap goed schoon zijn alvorens over te schakelen van de ene op de andere cementsoort.*

3.2 Colloïdaalbeton

Colloïdaalbeton onderscheidt zich van normaal beton door de enorme samenhang in de betonspeciefase. Het is dan ook bij uitstek geschikt voor toepassing in de waterbouw. De cohesie van de betonspecie is zodanig groot dat bij vrije val door water nauwelijks uitspoeling optreedt van cement en andere fijne materialen. Ontmenging van de betonspecie is niet aan de orde.

Colloïdale hulpstoffen zijn gemodificeerde, natuurlijke polymeren, veelal afgeleid van cellulose. Ze verdikken als het ware het water en bevorderen de onderlinge aantrekkingskracht van de fijne delen in de specie waardoor de samenhang verbetert.
In de waterbouw worden twee typen colloïdaalbeton toegepast:

- colloïdaalbeton met een dichte structuur (ρ_a is ca. 2300 kg/m^3);
- colloïdaalbeton met een open structuur (ρ_a is ca. 1650 – 1850 kg/m^3).

Eigenschappen colloïdaalbeton in vergelijking met normaal beton met een nagenoeg vergelijkbare samenstelling:

Eigenschap	Normaal beton	Colloïdaalbeton met dichte structuur
Waterbehoefte	referentie	hoger t.o.v. referentie
Water-cementfactor	referentie	hoger t.o.v. referentie
Gewichtsverlies bij uitspoelproef	> 25%	< 5%
Druksterkte	referentie	lager
Elasticiteitsmodulus	32600 N/mm²	26800 N/mm²
Treksterkte	referentie	geen verschil t.o.v. referentie
Vorstbestandheid	referentie	geen verschil t.o.v. referentie
Permeablititeit	referentie	lager t.o.v. referentie
Krimp	referentie	hoger t.o.v. referentie
Scheurgevoeligheid	referentie	geen verschil t.o.v. referentie

Colloïdaalbeton met een open structuur wordt in de waterbouw toegepast om overdruk onder de dijkbekleding tegen te gaan. De waterdoorlatendheid van colloïdaalbeton met een open structuur komt overeen met die van het toegepaste grove toeslagmateriaal.

Materiaal	Waterdoorlatendheid
Zand	10^{-2} – 10^{-4} m/s
Grind	> 10^{-2} m/s
Open colloïdaalbeton (D_{max} 31,5)	5 · 10^{-3} m/s
Open collloïdaalbeton (grind 15-50)	3 · 10^{-3} m/s

Toepassingen van colloïdaalbeton:

Functie	Type constructie
Oeverbescherming	• monoliet constructie in gesloten of open colloïdaalbeton • breuksteen bestortingen vastgelegd met gesloten of open colloïdaalbeton
Bodembescherming	Open of gesloten colloïdaalbeton op die plaatsen waar door snelstromend water gevaar van sterke erosie aanwezig is: • bodem van beken en rivieren • stortebedden bij sluizen en stuwen
Bodemafsluiting bij bouwputten	Onderwater (gewapende) betonvloeren. Aanbrengen van beton met kubel of betonpomp zonder gebruik van speciale stortmethoden
Afdichten van funderingen	• vullen van lange holle buispalen in grondwater • toepassing in diepwanden bij hoge hydrostatische druk

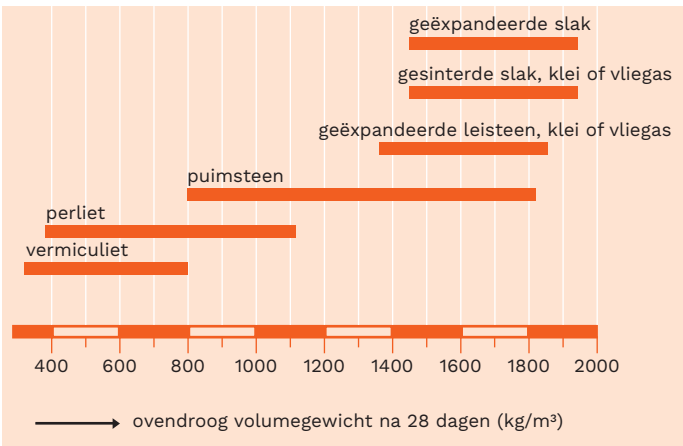
Let op!
(Super)plastificeerders met dispergerende werking (naftalenen) kunnen de cohesie van colloïdaal beton negatief beïnvloeden.

3.3 Lichtbeton

Constructief lichtbeton is een betonsoort waarin het grove harde toeslagmateriaal (grind e.a.) is vervangen door toeslagmateriaal met een lagere volumieke massa.
Lichtbeton heeft een ovendroge volumieke massa van niet meer dan 2000 kg/m^3.
NEN-EN 206 onderscheidt voor lichtbeton zes zogenaamde dichtheidsklassen ingedeeld op basis van de volumieke massa:

Dichtheidsklasse	Dichtheid in kg/m³
D1,0	≥ 800 en ≤ 1000
D1,2	> 1000 en ≤ 1200
D1,4	> 1200 en ≤ 1400
D1,6	> 1400 en ≤ 1600
D1,8	> 1600 en ≤ 1800
D2,0	> 1800 en ≤ 2000

Volumieke massa (ovendroog) van lichtbeton met verschillende soorten licht toeslagmateriaal. Zie paragraaf 7.5.1



Lichtbeton wordt hoofdzakelijk toegepast vanwege de gewichtsbesparing van de constructie. Een bekende toepassing is het geprefabriceerde zelfdragende gevelelement. Lichtere elementen geven een besparing in transportkosten. Mechanische eigenschappen als sterkte, elasticiteitsmodulus, krimp en kruip worden sterk beïnvloed door het lichte toeslagmateriaal. De sterkte van het lichtbeton neemt toe met de volumieke massa van het lichtbeton. De elas-

ticiteitsmodulus van lichtbeton ligt een factor 0,7 – 0,75 lager dan die van normaal beton voor een vergelijkbare sterkteklasse.

3.4 Schoonbeton

Schoonbeton is in het werk gestort beton of prefab beton, waarbij vooraf bewust eisen zijn gesteld aan de esthetische kwaliteit van het zichtbaar blijvende betonoppervlak. De esthetische kwaliteit wordt in hoofdzaak bepaald door de structuur en de kleur van het oppervlak, de betonsamenstelling en de eventuele bewerking die na verharding op het beton wordt toegepast. Schoonbeton is geen speciale betonsoort maar een product dat speciale aandacht vergt. CUR-Aanbeveling 100 geeft definities, classificaties, eisen en aanbevelingen voor de uitvoering.
Deze aanbeveling werd in 2004 geïntroduceerd en was revolutionair omdat het de mogelijkheid bood om beton op 'grijstint' toe te passen. Opgedane ervaringen na de introductie leerden evenwel dat CUR-Aanbeveling 100 hier en daar knelpunten had zoals met betrekking tot maakbaarheid en het voldoen aan de vooraf gestelde eisen. Bij de herziening van CUR-Aanbeveling 100 heeft men gebruik gemaakt van de opgedane ervaringen sinds 2004. Dit heeft er toe geleidt dat de te stellen eisen aan het eindproduct een meer realistisch karakter hebben gekregen. Belangrijkste verschillen zijn aanpassing van de beoordelingsklassen en de grijstinten.

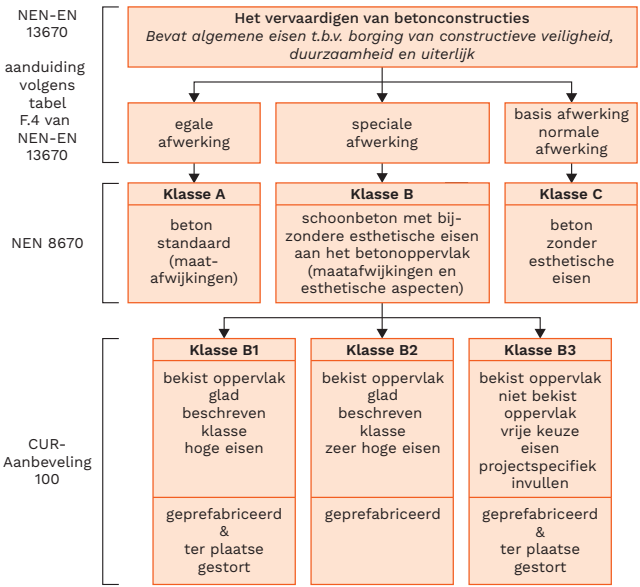
Schoon beton wordt in CUR-Aanbeveling 100 onderscheiden in de volgende beoordelingsklassen.

Klasse	Omschrijving
Klasse B1*	niet-geprofileerd bekist oppervlak, zonder verdere bewerking, van een in het werk gestort beton of van een geprefabriceerd betonelement
Klasse B2	niet-geprofileerd bekist oppervlak, zonder verdere bewerking, van een geprefabriceerd betonelement
Klasse B9	betonoppervlak, niet behorende tot B1 of B2

** Voor klasse B1 is voor maatafwijkingen en scheuren onderscheid gemaakt in civiele werken en niet-civiele werken zoals woningbouw of utiliteitsgebouwen.*

Toelichting
De klasse indeling uit CUR-Aanbeveling 100 kan gezien worden als een nadere invulling van klasse B volgens NEN 8670.

De relatie tussen de normatieve documenten met criteria voor het betonoppervlak.



3.4.1 Aanbevelingen voor schoonbeton

Coördinator schoonbetonwerk
Een belangrijk middel om het proces te sturen en de kwaliteit te beheersen is het benoemen van een coördinator schoonbetonwerk. Deze functionaris coördineert de ontwerp- én uitvoeringsaspecten van het schoonbetonwerk en speelt een belangrijke rol bij het tot stand komen van (detail)werkplannen,

het beoordelen van proefstukken en gerealiseerd werk. Het verenigen van belangen van verschillende partijen om tot het gewenste resultaat te komen vergt communicatieve vaardigheden en een transparante benadering.

Projectspecificatie voor B1 en B2

De specificatie dient door de of namens de opdrachtgever te worden opgesteld en beschrijft een aantal uiterlijke kenmerken van het schoonbeton. Er wordt onderscheid gemaakt tussen 'verplichte aspecten', voor de oppervlakteklasse B1 en B2 en 'optionele aspecten' . Indien in de projectspecificatie geen keuze wordt gemaakt voor een of meerdere aspecten is de opdrachtnemer vrij in zijn keuze. Zie de volgende tabellen, de verwijzingen hierin hebben betrekking op CUR-Aanbeveling 100.

Altijd op te nemen aspecten in projectspecificatie schoonbetonwerk

Afspraken, aspecten	Opmerking, toelichting
1 Coördinator schoonbetonwerk	Aanstellen en bevoegdheid afstemmen op contractbepalingen.
2 Onderdelen in schoonbeton	Er wordt op gewezen dat ook over de hoogte van een gevel of per bouwdeel verschillend eisen kunnen gelden aan het betonoppervlak. Daarom moeten de onderdelen in schoonbeton en de oppervlakteklasse expliciet worden vermeld in de projectspecificatie en/of op tekeningen. Bij gebruik van tekeningen moet bij voorkeur gebruik worden gemaakt van de tekenafspraken zoals opgenomen in de bijlage G
3 Uitvoeringswijze	Aangeven of bovengenoemde onderdelen gerealiseerd moet worden in ter plaatse gestort of geprefabriceerd beton, een combinatie of dat er geen voorkeur is (vrije keuze).
4 Oppervlakteklasse	Opgeven B1 of B2 Indien afgeweken wordt van de standaardeisen die behoren bij deze klassen, geldt automatisch B9. Voor aanvullende eisen behorende bij B1 of B2 wordt verwezen naar 3.4.2.

Afspraken, aspecten	Opmerking, toelichting
5 Vorm van hoeken	Baseren op de indeling volgens 4.4. Daarbij moet de straal en/of schuinte c.q. maat van de vellingkant worden vermeld.
6 Bekisting, patroon plaatnaden en centerpensparingen	Wel of geen voorgeschreven patroon. Indien voorgeschreven patroon dit patroon nader omschrijven en vastleggen, bijvoorbeeld op tekeningen. (zie opmerking).
7 Afwerken centerpensparingen	Keuze opgeven op basis van classificatie volgens 4.5
8 Afwerken hijsogen en sparingen	Nader omschrijven, bijvoorbeeld verdiept, in het vlak. Aangeven met welk materiaal.
9 Schroef- en spijkergaten	Wel of niet toestaan dat deze in het zicht blijven

Overzicht optioneel op te nemen aspecten in projectspecificatie

Afspraken, aspecten	Opmerking, toelichting
1 Schoonbeton, uiterlijk	
1.1 Grijstint	Bijvoorbeeld gebaseerd op CUR-grijsschaal-beton (zie opmerking) of op basis van foto's, eerder uitgevoerd werk (referenties) of een monster.
1.2 Niet-bekiste zijde	Gewenste afwerking vastleggen indien afwijkend van standaard (zie 4.9). voor opties zie ook bijlage G.
1.3 Op te nemen onderdelen	Te denken is aan tegels of andere in te storten onderdelen die in het zicht blijven.
1.4 Proefstorten	Het aantal uit te voeren proefstorten (mock-ups), inclusief afmetingen van te storten elementen. Tevens moet zijn vastgelegd het moment van ontkisten en de conditionering.

Afspraken, aspecten	Opmerking, toelichting
2 Bekisting	
2.1 Het te gebruiken bekistingmateriaal	Hout, staal, kunststof.
2.2 Type bekisting	Wel of niet toepassen van een systeemkist. (indien patroon is voorgeschreven moet het type bekisting hierop worden afgestemd, zie ook bijlage D)
2.3 Profiel-/ vellinglatten	Wel of niet toepassen en zo ja waar, welke vorm, afmeting en afwerking daarvan (zie hoofdstuk 4.4).
2.4 Afstandhouders	Toe te passen materiaal/vorm afstandhouders
3 Beton, betonspecie, uitvoering	
3.1 Beton, betonspecie	Eventuele bijzonderheden ten aanzien van de betonsamenstelling. (zie 4.8)
3.2 Storten / stortplan	Stortnaden (stortonderbrekingen): de locatie en afwerking daarvan. Plaats van schijn-, dilatatie- en krimpvoegen. Moment van ontkisten. Wijze van afwerken van stortzijden.
3.3 Nabehandelen	Wijze van nabehandelen, indien voorkeur voor een bepaalde techniek (zie 6.6).
4 Overig	
4.1 Patroon elementnaden	Bij geprefabriceerde elementen patroon van de naden tussen de elementen en de toegestane variatie in wijdte van deze naden.

Projectspecificatie voor B9

Omdat B9 een klasse is waarvoor in deze CUR-Aanbeveling geen eisen of grenswaarden zijn vastgelegd moet alles worden vastgelegd in de projectspecificatie. Het behoeft geen betoog dat dit met de grootst mogelijke zorgvuldigheid moet gebeuren om misverstanden en teleurstellingen te voorkomen. Er moet een referentie aan de projectspecificatie worden toegevoegd in de vorm van een foto of een verwijzing naar een reeds gerealiseerd en toegankelijk werk.

Werkplan

Voordat de uitvoering start moet de opdrachtnemer een werkplan schoonbeton opstellen en ter beoordeling voorleggen aan de coördinator schoonbetonwerk.

Classificatie Schoonbeton

De vaste beoordelingsaspecten voor de oppervlakteklassen B1 en B2 zijn opgenomen in onderstaande tabel. Belangrijk hierin is het onderscheid dat gemaakt wordt voor klasse B1 tussen civiel en niet civiel werk, voor de aspecten 'maatafwijking' en 'scheuren'. Civiel werk wordt vaak op grotere (zicht) afstand en/of met hoge snelheid gepasseerd in vergelijking met woningbouw/ utiliteitsbouw.

Vaste beoordelingsaspecten voor oppervlakteklasse B1 en B2

Boordelingsaspect	Klasse B1		Klasse B2
Maatafwijking bekist oppervlak			
	civiel	**niet-civiel**	
1 Plaatnaden	≤ 2 mm	≤ 2 mm	≤ 1 mm
2 Elementnaden	≤ 3 mm	≤ 2 mm	≤ 1 mm
3 Bramen bij naden	≤ 3 mm	≤ 2 mm	≤ 1mm
4 Vlakheid klein oppervlak gemeten met rei 400 mm	≤ 2 mm	≤ 2 mm	≤ 2 mm
5 lakheid groot oppervlak gemeten met rei 2 m	≤ 7 mm	≤ 5 mm	≤ 2 mm
Betonoppervlak			
6 Variatie in grijstint	Vallen binnen drie opeenvolgende schalen van de CUR-grijsschaal-beton		Vallen binnen twee opeenvolgende schalen van de CUR-grijsschaal-beton.

Boordelingsaspect	Klasse B1	Klasse B2
7 Luchtbellen (beide eisen gelden)	Niet zichtbaar op 5 meter en ≤ 50 mm²/dm² en ≤ 1000 mm²/m²	Niet zichtbaar op 5 meter en ≤ 20 mm²/dm² en ≤ 300 mm²/m²
8 Grindnesten	≤ 50 mm²/dm²	Niet toegestaan
9 Zandstrepen	Ten hoogste 1 per 10 m²	Niet toegestaan
10 Kalkstrepen	Niet zichtbaar op 5 meter	Zie B1
Betonverwerking		
11 Vulling aansluitingen, naden en hoeken	Ten minste 98 %	100 %
12 Aftekening stortonderbrekingen, stortfront	Niet zichtbaar op 5 meter	Zie B1
Onvolkomenheden		
13 Vlekken	Niet zichtbaar op 5 meter	Zie B1
14 Roeststrepen, roestvlekken door oer (pyriet) of andere verontreinigingen	Niet toegestaan	Zie B1
15 Aftekening roeststrepen ten gevolge van wapening	Niet toegestaan	Zie B1
16 Aftekening wapening	Niet zichtbaar op 5 meter	Zie B1
17 Aftekening oplegmateriaal (afdrukken noppen)	Niet zichtbaar op 5 meter	Niet toegestaan
18 Aftekening afstandhouders	Niet zichtbaar op 5 meter	Niet toegestaan

Boordelingsaspect	Klasse B1		Klasse B2
19 Reparaties, dichtpoetsen luchtbellen	Toegestaan		Zie B1
Aftekening reparaties	Grijstint niet meer dan 1 schaaldeel afwijkend van het omringende beton. Geen hoogteverschil tussen reparatie en direct omringd beton. Oppervlaktetextuur gelijk aan omringend niet gerepareerde beton.		Zie B1
20 Scheuren (niet gepland)	**civiel** Geen eis	**niet-civiel** ≤ 0,2 mm	≤ 0,1 mm
Voegen bij geprefabriceerd beton (geldig voor voegen tot 25 mm)			
21 Voegwijdtevariatie tussen elementen loodrecht op vlak	Geen eisen, niet van toepassing		Vlakwisseling ten hoogste 6 mm. Bij maximaal 10% van het oppervlak 8 mm toegestaan
22 Voegwijdtevariatie tussen elementen Evenwijdig aan vlak	Geen eisen, niet van toepassing		Voegbreedtewisseling ten hoogste +5 of -5 mm ten opzichte van theoretische maat. Voegverloop maximaal 5 mm.

Voor oppervlakteklasse B9 gelden zoals eerder aangegeven geen vaste beoordelingsaspecten met bijbehorende eisen. Omdat het in de klasse B9 echter vaak geprofileerd en/of beton met een textuur betreft is het van belang deze goed en helder vast te leggen in de projectspecificatie.

Bekisting

Het plaatmateriaal van bekistingen voor schoonbeton is meestal van hout, maar kan ook van staal zijn. Bij gebruik van een absorberende beplating (houten delen, spaanplaat, niet gecoat triplex) zal het betonoppervlak weliswaar minder luchtbellen vertonen maar ook minder glad zijn dan bij gebruik van niet absorberende beplating. Afhankelijk van de gevraagde structuur kunnen flexibele rubbermatten, structuurplaten of papier met daarop een afbeelding geprint met vertragingsmiddel in de bekisting worden opgenomen.

Beton

Een betonmengsel moet ontworpen zijn op de wijze van verwerking en kan wel of niet zelfverdichtend zijn. De grijstinten II t/m VI zijn met (een combinatie van) gebruikelijke bindmiddelen en vulstoffen te realiseren. De tinten I en VII vergen een aangepast betonmengsel. Om het ontstaan van ongerechtigheden aan het (wand)oppervlak te voorkomen dient het betonmengsel voldoende stabiel te zijn en te blijven tijdens verdichting. Het betonmengsel mag geen discontinuïteit hebben in korrelopbouw en moet beschikken over een hoeveelheid fijn materiaal ≤ 0,25 mm van ten minste 160 l/m^3. De vlekkenindex van het toe te passen toeslagmateriaal mag ten hoogste 20 bedragen. Het gebruik van secundair toeslagmateriaal wordt in CUR-Aanbeveling 100 afgeraden maar niet uitgesloten.

Verwerken, verdichten en nabehandelen

Hierbij is onderscheid nodig tussen het gebruik van zelfverdichtend beton en traditioneel beton. Zelfverdichtend beton wordt gekenmerkt door een hoge vloeibaarheid in combinatie met een hoge mate van stabiliteit van het mengsel. Trilnaalden zijn bij zelfverdichtend beton niet nodig. Door de hoge mate van speciestabiliteit heeft het mengsel een grote weerstand tegen ontmengen. Zelfverdichtend beton kan worden overwogen als aan profilering en textuur hoge eisen worden gesteld in combinatie met complexe vormgeving. Bij toepassing van traditioneel beton is een zorgvuldige verwerking en verdichting absolute voorwaarde.

Aandachtspunten traditioneel beton	Opmerking
Maximale stortlaag hoogte	0,50 m
Maximale valhoogte	1,00 m

Aandachtspunten traditioneel beton	Opmerking
Laagsgewijs storten	Doortrillen tot in de onderliggende laag
Trilnaalden	Hoog-frequent (14.000 trillingen /min.). Type afstemmen op ruimte en bereikbaarheid die de bekisting en wapening bieden
Te weinig trillen	Kans op grindnesten
Te veel trillen	Kans op ontmenging en lekkage van cementlijm bij naden en centerpennen. Bezwijken bekisting
Hoge wanden / kolommen	Naverdichten om scheurvorming door zetting/ zakking van de betonmortel te voorkomen

De verhardingstijd moet voor de verschillende uit te voeren bouwelementen zoveel mogelijk gelijk zijn Houd hierbij ook rekening met langere perioden als er gestort wordt vlak voor weekenden of andere vrije dagen.

Let op!

Een verschillende verblijfstijd in de bekisting of gelijke verblijfstijd onder verschillende verhardingscondities kan storende kleurverschillen veroorzaken. Het verdient aanbeveling om bij repeterend werk te ontkisten op (gelijke) gewogen rijpheid!

Hydrofoberen

Het verdient aanbeveling, zeker voor donker gekleurd beton, het oppervlak direct na ontkisten te hydrofoberen om het risico op ontsierende kalkuitbloeiing te minimaliseren.

Keuring en controle

Schoonbeton kan als volgt worden beoordeeld:

- Visueel waarnemen en toetsen aan de gestelde eisen;
- Meetkundige waarnemingen toetsen aan de gestelde eisen;
- Een combinatie van visueel en meetkundig waarnemen en vervolgens toetsen aan de gestelde eisen.

Visuele controle moet plaatsvinden bij diffuus licht, loodrecht op het te beoordelen oppervlak en van een afstand van 5 meter. Het te beoordelen oppervlak moet winddroog zijn.

Herstel van onvolkomenheden
Er wordt onderscheid gemaakt tussen esthetisch repareren (herstel van beschadigingen) of esthetisch afwerken (schuren van het oppervlak). Afwerking mag pas plaatsvinden indien een eventuele noodzakelijke reparatie is uitgevoerd.

3.4.2 Beton in kleur

Het samenstellen, mengen en verwerken van betonspecie met kleur vergt extra aandacht, omdat bij gebruik van kleurstoffen niet alleen de gewone technologische overwegingen gelden, maar ook overwegingen aangaande de kleur van beton.

Invloed op kleur	Opmerkingen
Cementsoort	Hoogovencement en vooral wit cement geven het betonoppervlak een lichte homogene kleur. Wit cement in combinatie met pigmenten leidt tot meer heldere kleuren dan de combinatie grijs cement en pigment. Zie hiervoor ook 3.4.3
Pigment	Anorganische pigmenten (metaaloxiden) geven het beste resultaat voor wat betreft kleurintensiteit en kleurvastheid. Het kleureffect van pigmenten is sterk afhankelijk van de andere grondstoffen en van de betonsamenstelling Een gebruikelijke dosering is 3 tot 6% ten opzichte van de cementmassa Pigmenten moeten voldoen aan NEN-EN 12878
Zwart of bijna zwart beton	Werkelijk zwart beton is niet te maken Het donkerste beton is eerder antraciet dan zwart. Zeer donker beton laat zich het beste vervaardigen op basis van wit (!) cement met antraciet metaaloxide in combinatie met roet (roet is echter niet duurzaam) Na het ontkisten direct hydrofoberen om vochttransport in de betonhuid te blokkeren
Vulstoffen	Effect van vulstoffen op kleur vooraf testen

Invloed op kleur	Opmerkingen
Waterreducerende hulpstoffen	Verlaging van de wcf geeft het beton een donker der kleur
Stralen of uitwassen van het betonoppervlak	Kies de kleur van het toeslagmateriaal overeenkomstig de gewenste betonkleur
Menger en transportmiddel vooraf schoonmaken	De eerste lading betonspecie uit een menger of transportmiddel die niet brandschoon is, is vaak niet helemaal op kleur
Menger en transportmiddel naderhand schoonmaken	Na overgang terug op grijs beton kan de eerste lading een kleurafwijking te zien geven

3.4.3 Gekleurd beton met wit cement

Gebruik van wit cement vergroot het scala aan mogelijkheden voor gekleurd beton enorm; naast wit beton zijn een groot aantal extra betonkleuren mogelijk, die met grijs cement niet te verwezenlijken zijn.
Beton met wit cement is een bijzonder geval van gekleurd beton, omdat in dat geval het bindmiddel tevens kleurstof is. Bij gebruik van wit cement gelden daarom niet alleen technologische overwegingen aangaande het bindmiddel, maar ook overwegingen aangaande de kleur van het beton. Die twee zaken lopen niet overal parallel, zodat het soms nodig is te kiezen voor kleur en daarbij te accepteren dat het gehalte aan wit cement hoger moet zijn dan voor sterkte of duurzaamheid noodzakelijk is. Dit geldt niet alleen voor wit beton, maar ook voor gekleurd beton met wit cement als bindmiddel.

Aandachtspunten	Opmerkingen
Kies een betrouwbare cementproducent	Maken van wit cement vergt niet alleen zeer zuivere grondstoffen, maar bovendien een zeer strenge kwaliteitscontrole. Variaties in kleur en helderheid van het cement leiden tot onvoorspelbare veranderingen in het aanzien van beton
Gebruik ten minste 350 kg cement per m^3	Bij lagere doseringen werkt wit cement uitstekend als bindmiddel, maar verliest effect als kleurstof

Aandachtspunten	Opmerkingen
Gebruik geen vulstoffen	Vulstoffen verdunnen het cementgehalte en daarmee het kleureffect van het cement
Test het effect van pigmenten in wit beton altijd vooraf	Pigmenten geven bij gelijke dosering in wit beton andere kleuren dan in grijs beton
Maak menger en transportmiddelen vooraf grondig schoon en 'vertin' de menger met wit cement	De eerste lading betonspecie met wit cement is zonder vertinnen niet helemaal op kleur

3.4.4 Betonspecie in kleur van de centrale

Gezien het grote belang van bekisting en uitvoering, is overleg vooraf en zorgvuldige onderlinge afstemming tussen centrale en aannemer onontbeerlijk. Zo zullen bij het geschiktheidsonderzoek de omstandigheden in het werk zo veel mogelijk moeten worden nagebootst. Bovendien is het verstandig de kleur op grond van een betonnen monsterplaat overeen te komen.

3.5 Schuimbeton

Schuimbeton is een al dan niet verhard mengsel van cement, water, vulstoffen en/of hulpstoffen en eventueel fijn toeslagmateriaal, waaraan afzonderlijk geproduceerd schuim is toegevoegd. Voor de plastische fase van het mengsel verdient de term schuimbetonspecie de voorkeur.
De uiteindelijke samenstelling is afhankelijk van de toepassing en de volumieke massa. Naast het geringe gewicht en de geringe wateropname zijn producteigenschappen als sterkte, thermische isolatie en duurzaamheid minstens even belangrijk. Schuimbeton is niet-corrosief en niet giftig.

3.5.1 Classificaties

CUR-Aanbeveling 59 geeft naast definities, eisen en regels voor de vervaardiging en beproeving van schuimbeton een klasse-indeling op basis van volumieke massa en/of sterkteklasse.

Voorkeurreeks voor volumieke massa in kg/m³:

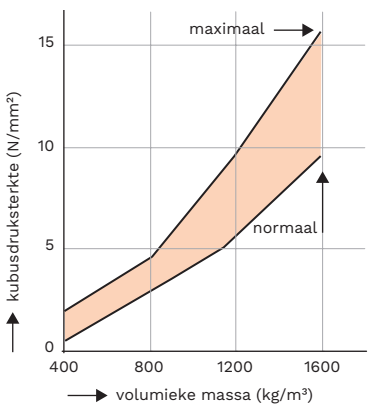
400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600

Op grond van de karakteristieke kubusdruksterkte van schuimbeton bij 28 dagen ouderdom worden de volgende sterkteklassen onderscheiden:

SB 0,5	SB 0,75	SB 1,0	SB 1,5	SB 2,0	SB 3,0	SB 4,0	SB 5,0	SB 7,5	SB 10,0

De maximaal bereikbare kubusdruksterkte van schuimbeton wordt in belangrijke mate bepaald door de volumieke massa. In de onderstaande figuur is ter indicatie een bandbreedte gegeven voor de kubusdruksterkte als functie van de volumieke massa van de schuimbetonspecie. Daarnaast wordt de druksterkte van schuimbeton beïnvloed door het cementgehalte, de cementsoort en sterkteklasse van het cement, eventuele vulstoffen alsmede de vorm en korrelafmeting van het toeslagmateriaal.

Globaal verband tussen kubusdruksterkte en volumieke massa van schuimbeton



3.5.2 Fysische eigenschappen

Schuimbeton wordt veelal toegepast vanwege zijn isolerende eigenschappen. Het isolerende vermogen heeft een duidelijke relatie met de volumieke massa.

	Volumieke massa in kg/m³		
	450 - 500	**900**	**1100**
Warmtegeleidingscoëfficiënt in W/(m·K)	0,09	0,20	0,30
Waterdampdiffusieweerstandsgetal (bij 70 – 100% RV)	6,0	9,0	11,0

3.5.3 Toepassingen

Toepassing	Functie	Vol. massa in kg/m³	Sterkteklasse
Bodemafdichting: • Bestaande bouw • Nieuwbouw	Afscherming van vocht en stank Afscherming van vocht en stank en verlaging van RV in de kruipruimte	500 1100	SB 0,75 SB 2,5
Funderingsplaat voor woningen/ bedrijven	Werkvloer voor aanbrengen betonvloer	500	SB 1,0
Isolerende werkvloer	Alternatief voor EPS-isolatieplaten. Drukverdelende laag en werkvloer voor aanbrengen vloerwapening	400 - 500	SB 0,75
Ruimtevulling in bijv. kelder en kruipruimte	Tegengaan vochtoverlast en ondersteuning van bovenconstructie Bij gevaar voor opdrijven	Van 500 ... ... tot 1100	Van SB 0,75 ... ... tot SB 4,0

Toepassing	Functie	Vol. massa in kg/m³	Sterkteklasse
Vullaag op betonvloer	Omhullen van leidingen, bijv. voor vloerverwarming	Afhankelijk van laagdikte 1400 > 15 mm 1100 > 30 mm 900 > 50 mm 500 > 90 mm	 SB 6,0 SB 4,0 SB 2,5 SB 0,75
Dakafschotlaag	Creëren van dakafschot en onderlaag voor dakbedekkingssysteem • losliggende dak-bedekking • gekleefde dakbedekking	 900 1100	 SB 2,5 SB 4,0
Wegconstructie	Lichtgewicht plaatfunde-ring in zettingsgevoelige gebieden	Afhankelijk van dimensionering	Afhankelijk van dimensionering
Kadeconstructie	Lichtgewicht aanvul-ling voor reductie van horizontale belasting op damwand	Afhankelijk van dimensionering	Afhankelijk van dimensionering
Leidingsover-kluizing	Stijve lichte ontlastplaat ter bescherming van kritische leidingen	Afhankelijk van dimensionering	Afhankelijk van dimensionering
Rioolvulling	Ter voorkoming van uit-spoeling en/of verzakking van de bovengrond bij het niet verwijderen van een vervallen rioolleiding	Droog riool: 500 Niet droog riool: 1100	 SB 0,5 SB 0,5

3.6 Spuitbeton

Spuitbeton is beton dat met perslucht op een ondergrond wordt gespoten en daarbij gelijk wordt verdicht. Bij spuitbeton vindt het mengen, transporteren, aanbrengen én verdichten in één arbeidsgang plaats. De betonsamenstelling van spuitbeton voldoet aan NEN-EN 206.

Voor meer specifieke eigenschappen van spuitbeton zoals de 'jonge sterkte', de hechtsterkte aan de ondergrond, de toepassing van vezels, keuring van het gerede product, e.a. is een aparte norm ontwikkeld: NEN-EN 14487-1, Spuitbeton - Deel 1: Definities, eisen en conformiteit.

Een samenstelling van spuitbeton heeft de volgende globale kenmerken:
- maximale korrelgrootte van 8 mm;
- aardvochtig bij de droge methode;
- plastisch bij de natte methode;
- iedere gangbare cementsoort kan worden gebruikt;
- cementgehalte 350 – 400 kg/m^3;
- water-cementfactor 0,25 – 0,45;
- eventueel plastificeerders (natte methode);
- eventueel versnellers (natte methode);
- eventueel vezels.

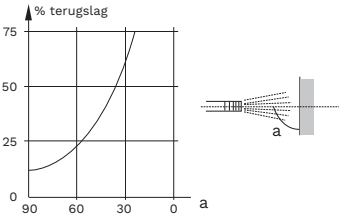
3.6.1 Aanbrengen

Het aanbrengen van spuitbeton kan met behulp van twee systemen: de droge en de natte methode. Bij het droge systeem wordt de droge mortel door middel van lucht door de slang getransporteerd en pas bij de spuitmond wordt water toegevoegd. De bevochtigde mortel wordt vervolgens verspoten. Bij de natte methode wordt het water al voor het transport bij de droge mortel gevoegd. Vervolgens wordt dit door de slang gepompt. Bij de spuitmond wordt alleen lucht toegevoegd om het beton te verspuiten op de ondergrond.

3.6.2 Terugslag

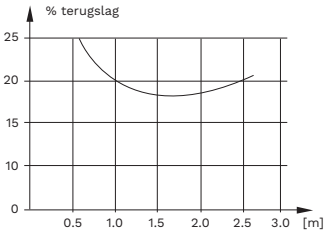
Bij het aanbrengen onder luchtdruk zal een deel van met name het toeslagmateriaal afketsen en zullen de fijne delen zoals cement en water vernevelen. De terugslag kan oplopen tot 15% bij de natte methode tot wel 40% bij de droge methode. De mate van terugslag is verder afhankelijk van de mengselsamenstelling, het type ondergrond en de werkwijze. Zo is de terugslag onder andere afhankelijk van de hoek waaronder de spuitmond staat ten opzichte van de ondergrond en van de afstand van de spuitmond tot de ondergrond.

Terugslag door het scheefhouden van de spuitmond



a = de hoek tussen de spuitmond en de ondergrond in graden

Terugslag door het te dichtbij of te ver weg houden van de spuitmond



Afstand tot ondergrond

3.6.3 Karakteristieken droog en nat systeem

	Natte systemen		Droog systeem
	Traditioneel	**Hoge capaciteit (robot)**	
Toepassings-gebied	Renovatie en betonherstel	Renovatie, betonherstel en nieuwbouw	Renovatie, betonherstel en nieuwbouw
Type materiaal	Gemodificeerde reparatiemortel	Betonmortel met spuitversnellers	Betonmortel
Algemeen toege-paste laagdikte	Tot 50 mm	50 - 500 mm	50 - 250 mm
Homogeniteit aangebrachte materiaal	Groot	Groot	Afhankelijk van de betonspuiter
Capaciteit per machine incl. afwerking onder normale arbeids-omstandigheden	1 - 4 m^3 per dag	10 - 25 m^3 per dag	2 - 8 m^3 per dag

	Natte systemen		Droog systeem
	Traditioneel	**Hoge capaciteit (robot)**	
Arbeidsomstandigheden (gewicht van de spuitmond/slang)	Aanvaardbaar	Licht door gebruik van een robot	Aanvaardbaar
Terugslag	5 - 15%	5 - 15%	25 - 40%
Stofvorming	Gering	Gering	Groot

3.6.4 Toepassingen

De toepassingsmogelijkheden van spuitbeton zijn talrijk; traditioneel wordt spuitbeton in Nederland toegepast bij betonreparaties. Inmiddels zijn daar, mede door ervaringen in het buitenland, de nodige toepassingen en ervaringen bij nieuw te bouwen constructies bijgekomen.

Toepassing	Constructie
Ondergrondse constructies	• Tunnel linings • Opslagreservoirs
Waterkerende constructies	• Zee- en riviermuren • Reservoirs en dammen • Aquaducten • Zwembaden • Watertorens • Kanalen • Irrigatie- en drainageleidingen
Bekledingen	• Brandwerende bekleding • Akoestische bekleding • Vuurvaste isolatie
Vrije vormen voor	• Zwembaden • Landschappen • Klimmuren • Pretparken • Beeldende kunst • Aquaria
Diverse constructies	• Schaalconstructies voor daken • Grondkerende wanden • Silo's

3.7 Slijtvast beton

De slijtvastheid van beton geeft aan in welke mate het oppervlak bestand is tegen erosie door vaste deeltjes die langs het oppervlak schuren, stoten of glijden. De slijtvastheid van beton is vooral van belang voor betonwegen en voor zwaarbelaste industrievloeren. Een slijtvaste betonvloer wordt gevraagd bij intensief heftruckverkeer of palletwagens, geschuif met zware onderdelen en/of intensieve schoonmaakactiviteiten.
Bij een monolitisch afgewerkte betonvloer wordt door een mechanische bewerking van het oppervlak (schuren en vlinderen) een kwaliteitsverbetering verkregen.
Om het oppervlak de nodige slijtvastheid te geven wordt tijdens het schuren het oppervlak ingestrooid met een mengsel van cement en minimaal 4 kg/m² slijtvast toeslagmateriaal.
Toeslagmaterialen die hiervoor in aanmerking komen, zijn kwarts en porfier en de hele harde mineralen als korund en carborundum.
Toepassing van slijtvaste materialen alleen is echter niet voldoende. Na het instrooien en vlinderen behoort het betonoppervlak te worden nabehandeld tot in het betonoppervlak minimaal 50% van de voorgeschreven sterkteklasse aanwezig is.

NEN 2743, 'Oppervlak monolithisch afgewerkte betonvloeren – Uitvoering en kwaliteitsbeoordeling (2003)' kent een klasse-indeling op basis van slijtvastheid. De slijtvastheid wordt bepaald door middel van de Amsler-afslijtproef (NEN 2874) en wordt uitgedrukt in de gemiddelde afslijting in mm.

Indeling vloeren naar slijtvastheid (NEN 2743)

Klasse	Maximaal toelaatbaar gemiddelde afslijting in mm
I	1,0
II	1,5
III	2,0
IV	Geen eis

3.8 Ultra hogesterktebeton (UHSB)

Hoewel UHSB als bouwmateriaal veelbelovend lijkt, vindt de toepassing in Nederland aarzelend zijn weg. In bouwkundige constructies nauwelijks of niet maar in civiele constructies zijn er al wel (positieve) ervaringen. De terughoudendheid vindt zijn oorsprong enerzijds in het ontbreken van betrouwbare rekenregels voor de constructeur en anderzijds door de hoge kosten per eenheid product. Door zijn veel hogere druksterkte leent UHSB zich uitstekend om toegepast te worden in combinatie met voorspanning, resulterend in slanke constructies die hoge belastingen kunnen opnemen.

3.8.1 Definitie

Op dit moment is er voor ultra hogesterktebeton (UHSB) nog geen regelgeving beschikbaar. NEN-EN 206 en NEN 8005 beperken zich tot beton met een karakteristieke kubusdruksterkte van maximaal 115 MPa en CUR-Aanbeveling 97 tot 105 MPa. UHSB wordt in (internationale) literatuur wel gedefinieerd als beton met een karakteristieke kubusdruksterkte van ten minste 150 MPa.

3.8.2 Principe UHSB

De unieke eigenschappen van UHSB worden gerealiseerd dankzij een vergaande optimalisatie van de betonsamenstelling. Zo is er geen sprake meer van toepassing van grof toeslagmateriaal D_{max} > 4 mm en wordt de ruimte tussen de toeslagmaterialen maximaal opgevuld met poeders van verschillende fijnheden om een optimale pakkingsdichtheid te verkrijgen. Omdat een verhoging van de (druk)sterkte van het beton tot een brosser gedrag leidt, bevat UHSB vrijwel altijd een cocktail van staal- en/of kunststofvezels. De maximale wbf bedraagt niet meer dan 0,25. Deze lage wbf in combinatie met het toepassen van vezels maakt de toepassing van hoogwaardige superplastificeerders noodzakelijk. UHSB is in principe zelfverdichtend.

3.8.3 *Eigenschappen UHSB*

Mechanische eigenschappen (indicatieve waarden)

Eigenschap	Gewoon beton	HSB	UHSB
Druksterkte (MPa)	20 - 55	65 - 115	150 -200
Treksterkte (MPa)	2,3 – 4,3	4,5 – 5,0	6 - 10
Elasticiteitsmodulus (GPa)	28 - 38	38 - 41	50 - 60
Volumieke massa (kg/m³)	2400	2450	2525

Duurzaamheidseigenschappen

Eigenschap	Gewoon beton	HSB	UHSB
Carbonatatie	+	++	+++
Vorstdooi	+	++	+++
Sulfaten	+	++	+++
Chloriden	+	++	+++
Brand	+++	++	+

3.8.4 *Toepassingen UHSB*

Functie	Type
Architectonische elementen	Straatmeubilair Gevelpanelen Balkons Trappen
Overspanningen	Fiets- en voetgangersbruggen Dunne daken/dakelementen Balken
Herstel / versteviging / Verduurzaming	Overlagingen (Extra) dekking

3.9 Vezelbeton

Vezels worden aan beton toegevoegd om de volgende specifieke eigenschappen van beton te beïnvloeden: het verhogen van de treksterkte, taaiheid en het beheersen van scheurvorming.
Vezelbeton kan worden vervaardigd op basis van staalvezels, kunststofvezels of een combinatie van beide.

3.9.1 Beton met staalvezels

Beton met staalvezels kan worden gespecificeerd op basis van de NEN-EN 206 / NEN 8005 onder vermelding van de gewenste hoeveelheid en type vezel maar ook op basis van de NEN-EN 206 / NEN 8005 en een verwijzing naar de BRL 5060. De BRL 5060 maakt het mogelijk om staalvezelbeton onder 'Attest-met-productcertificaat' voor te schrijven en te leveren. Hierbij worden geen hoeveelheid en type staalvezels gespecificeerd maar wordt een prestatie geformuleerd.
Voordelen van staalvezelbeton:

- vorming van een homogene driedimensionale wapening over de gehele doorsnede;
- verhoging van de scheurweerstand en de taaiheid;
- overbrugging van scheuren door middel van vezels die verdere scheurvorming voorkomen, waardoor de draagkracht toeneemt;
- hogere draagkracht, waardoor de betondoorsnede kan afnemen.
- Toepassingen staalvezelbeton

Toepassing	Specifieke kenmerken
Elastisch ondersteunde betonvloeren en verhardingen Voorbeelden: • opslagplaatsen; • magazijnen; • fabrieks- en overslagterreinen.	Ten opzichte van gewapend beton een verbetering van buigtreksterkte, scheurweerstand en schok- en vermoeiingsweerstand CUR-Aanbeveling 35. Bepaling van de buigtreksterkte, de buigtaaiheid en de equivalente buigtreksterkte van staalvezelbeton CUR-Aanbeveling 36. Ontwerpen van elastisch ondersteunde betonvloeren en -verhardingen

Toepassing	Specifieke kenmerken
Vloeren op palen	Ter vervanging van één of meerdere lagen wapeningsnetten Dilatatievoegen kunnen op grotere afstand van elkaar geplaatst worden CUR-Aanbeveling 111. Staalvezelbeton, bedrijfsvloeren op palen – Dimensionering en uitvoering
Staalplaatbetonvloeren	Een hybrideconstructie waarbij het staalvezelbeton gestort wordt op een geprofileerde staalplaat die als verloren bekisting dient. Vooral uitvoeringstechnisch is dit een zinvolle optie voor verdiepingsvloeren
Vloeistofdichte vloeren	Reductie van scheurvorming ten gevolge van temperatuurschommelingen en uitdrogingskrimp
Wanden Voorbeelden: • (mest)kelders; • silogebouwen en bunkers voor opslag van bulkgoederen; • bankkluizen; • militaire installaties.	Alternatief ter vervanging van de traditionele constructieve wapening
Onderwaterbeton	Ter voorkoming van krimpscheuren na het droogzetten van de bouwput Onderwaterbetonvloer kan soms dunner gedimensioneerd worden
Vibropalen	Ter vervanging van de traditionele korfwapening

3.9.2 Beton met kunststofvezels

Kunststofvezels verbeteren in belangrijke mate de samenhang of speciestabiliteit van de betonspecie. Daarnaast wordt scheurvorming als gevolg van plastische krimp sterkt verminderd of zelfs geheel voorkomen.

Toepassing	Specifieke kenmerken
In de grond gevormde palen	Vraagt een zeer stabiele betonmortel in combinatie met een hoge verwerkbaarheid. Snellere verwerking op de bouwplaats Door hoge stabiliteit geen 'lek-verliezen' in slappe grondlagen Homogene samenstelling over de totale hoogte van de fundatiepaal
Betonvloeren en -verhardingen	Sterke reductie van de kans op scheurvorming ten gevolge van plastische krimp Hoge betonspeciestabiliteit
Vloeistofdichte betonvloeren	Sterke reductie van de kans op scheurvorming ten gevolge van plastische krimp
Brandbestand beton	Bij brand smelten de vezels en vormen een stelsel van fijne kanaaltjes in de cementsteen waardoor de opbouw van een te grote dampspanning en daarmee het afspatten van de betondekking wordt voorkomen

3.9.3 Dosering

Staal- en kunststofvezels dienen bij voorkeur op de betoncentrale aan de betonspecie worden toegevoegd.
Het toevoegen op de betoncentrale heeft een aantal additionele voordelen:

- optimale afstemming tussen staal- of kunststofvezels en betonsamenstelling;
- gegarandeerde homogene menging van de staal- of kunststofvezels in de betonmortel;
- gegarandeerde buigtaaiheid;
- gewenste verwerkbaarheid op het werk.

3.10 Vloeistofdicht beton

3.10.1 Wettelijk kader

De Wet Milieubeheer en de Wet Bodembescherming geven aan dat we maatregelen moeten nemen als we activiteiten gaan ontplooien die kunnen leiden

tot bodemverontreiniging. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft hiervoor de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten (NRB) opgesteld.
De NRB is een hulpmiddel voor zowel het bevoegd gezag als het bedrijfsleven voor het bepalen van het risico van bodembedreigende activiteiten. De richtlijn geeft een beschrijving van de stand der wetenschap en techniek op het gebied van bodembeschermende voorzieningen en maatregelen. De stand der techniek wordt vastgelegd in kennisdocumenten en beoordelingsrichtlijnen ten behoeve van certificatieregelingen.
De realisatie van deze technische documenten gebeurt onder de paraplu van het Plan Bodembeschermende Voorzieningen (PBV).

3.10.2 Regelgeving

Binnen de regelgeving van het PBV wordt gesteld dat een constructie als vloeistofdicht mag worden beschouwd zolang de verontreinigende vloeistof gedurende de levensduur van de constructie de niet door die vloeistof belaste zijde van de constructie niet bereikt. Ofwel, de vloeistof mag wel de constructie indringen, maar mag er aan de andere kant niet als vloeistof uitkomen.

Voor de betontechnologische regelgeving zijn twee CUR/PBV-Aanbevelingen beschikbaar.

CUR/PBV-Aanbeveling 63
Deze aanbeveling beschrijft de bepaling van de vloeistofindringing op basis van de capillaire absorptieproef. Onder normale omstandigheden (en bij een uitwendige druk < 2 meter vloeistofkolom) wordt de indringing in beton van zowel waterige oplossingen als organische vloeistoffen nagenoeg volledig bepaald door capillaire absorptie.
De indringingsdiepte van een willekeurige vloeistof is daarbij afhankelijk van de poriënstructuur van het beton, de expositieduur en de belangrijkste eigenschappen van de vloeistof zoals oppervlaktespanning en viscositeit.

CUR/PBV-Aanbeveling 65

Deze aanbeveling bevat regels voor het ontwerp, de materialen en de aanleg van vloeistofdichte betonvloeren en –verhardingen. Daarnaast bevat zij regels voor beschermlagen die toegepast worden om constructies en verhardingen vloeistofdicht te maken.

Bij het ontwerp op vloeistofdichtheid zijn de volgende zaken essentieel:
- de detaillering van de constructie;
- de beheersing van de scheurwijdte;
- de vloeistofindringing.

3.10.3 Bepaling ontwerpdikte (d) van een vloeistofdichte voorziening

De ontwerper/constructeur krijgt van de opdrachtgever informatie over het type vloeistof, de oppervlaktespanning en viscositeit bij gebruikstemperaturen. De opdrachtgever moet een inschatting geven van de mate waarin de betonconstructie met de betreffende vloeistoffen daadwerkelijk in contact zal zijn gedurende de tijd dat de constructie geacht wordt vloeistofdicht te zijn. Deze tijd (continue, incidenteel, morsgedrag), de representatieve belastingsduur (t_{rep}) is een belangrijke factor in de berekening van de ontwerpdikte (d). Met behulp van de capillaire absorptieproef wordt vervolgens de indringdiepte van een vloeistof gemeten. Dit gebeurt aan de voorgenomen betonsamenstelling gedurende een bepaalde tijd, bijvoorbeeld na 144 uur (e_{144}).
De gemiddelde verwachte indringing (e) gedurende de beoogde functionele levensduur wordt berekend uit:

$$e = e_{144} \cdot \sqrt{\frac{t_{rep}}{144}}$$

Als eis voor niet gescheurd beton geldt de ontwerpdikte $d = 2 \times e$.

3.11 Zelfverdichtend beton

Onder zelfverdichtend beton (ZVB) verstaan we een betonspecie met een hoge verwerkbaarheid welke zichzelf onder invloed van zijn eigen gewicht verdicht. De bekisting wordt volledig gevuld en sparingen, wapening en andere instortingen worden volledig omhuld. De betonspecie behoudt hierbij haar homogeniteit. En dat zonder dat er enige aanvullende verdichtingsenergie nodig is.
Eenmaal verhard, voldoet zelfverdichtend beton aan de eisen ten aanzien van sterkte en levensduur volgens de NEN-EN 206 en NEN 8005.

3.11.1 Meetmethoden voor zelfverdichtend beton

Begrip	Symbool	Norm	Omschrijving
Vloeimaat	SF	NEN-EN 12350-8	Het gemiddelde van twee loodrecht op elkaar staande diagonalen van uitgevloeide betonspecie na lossen van de kegelmantel zoals gebruikt bij de bepaling van de zetmaat volgens NEN-EN 12350-2
Viscositeit/ Vloeitijd	VS t_{500}	NEN-EN 12350-8	De tijd die bij het bepalen van de vloeimaat verloopt tussen het lossen van de kegelmantel en het bereiken van een vloeimaat van 500 mm (t_{500})
Viscositeit/ Trechtertijd	VF	NEN-EN 12350-9	Een maat voor de viscositeit van betonspecie, gemeten als de tijd die betonspecie nodig heeft om uit een V-trechter te lopen
Blokkeringsmaat	PL	NEN-EN 12350-10	Een maat voor de gevoeligheid van betonspecie voor ontmenging door blokkering van het grove toeslagmateriaal door de wapening (L-Box test)
Blokkeringsmaat	PJ	NEN-EN 12350-12	Een maat voor het bepalen van de vloeibaarheid en de gevoeligheid voor ontmenging door blokkering van het grove toeslagmateriaal door de wapening (J-Ring test)
Stabiliteit	SR	NEN-EN 12350-11	Een maat voor de weerstand tegen ontmenging, beoordeeld op basis van de hoeveelheid materiaal die zich afscheidt wanneer een monster betonspecie wordt beproefd op bleeding en vervolgens op afzeving

3.11.2 Verwerkingsklassen voor zelfverdichtend beton

Zelfverdichtend beton wordt in NEN-EN 206 als volgt ingedeeld

Klasse	Slump-flow* in mm gemeten overeenkomstig NEN-EN 12350-8
SF 1	550 – 650
SF 2	660 – 750
SF 3	760 – 850

** Niet geschikt voor betonmengsels met D_{max} > 40 mm*

Aanvullend op het vloeigedrag kunnen, indien van toepassing, andere eigenschappen zoals viscositeit, het vermogen om obstakels in de bekisting te passeren en de gevoeligheid voor ontmengen te benoemen.

Aanvullende eigenschappen
Viscositeit (stroperigheid). De klassen VS en VF definiëren dezelfde eigenschap maar komen niet exact met elkaar overeen.

Klasse	t_{500}* in sec. gemeten overeenkomstig NEN-EN 12350-8
VS 1	< 2
VS 2	660 – 750

** Niet geschikt voor betonmengsels met D_{max} > 40 mm*

of

Klasse	t_v* in sec. gemeten overeenkomstig NEN-EN 12350-9
VF 1	< 9,0
VF 2	9,0 – 25,0

** Niet geschikt voor betonmengsels met D_{max} > 40 mm*

Vermogen om obstakels in bekisting te passeren. De klassen PL en PJ definieren dezelfde eigenschap maar komen niet exact met elkaar overeen.

Klasse	L-box verhouding gemeten overeenkomstig NEN-EN 12350-10
PL 1	≥ 0,80 met 2 staven
PL 2	≥ 0,80 met 3 staven

** Niet geschikt voor betonmengsels met D_{max} > 40 mm*

of

Klasse	Hoogteverschil in mm binnen/buiten ring. gemeten overeenkomstig NEN-EN 12350-12
PJ 1	≤ 10 met 12 staven
PJ 2	≤ 10 met 16 staven

** Niet geschikt voor betonmengsels met D_{max} > 40 mm*

Gevoeligheid voor ontmengen.

Klasse	Afgescheiden hoeveelheid a in % (m/m) gemeten overeenkomstig NEN-EN 12350-11
SR 1	≤ 20
SR 2	≤ 15

** Niet geschikt voor betonmengsels met D_{max} > 40 mm*

3.11.3 Eigenschappen in relatie tot toepassing

Om een indruk te krijgen welke consistentieklasse gekozen moet worden om een bepaalde constructie te kunnen maken, zijn in de volgende tabel een aantal voorbeelden gegeven waarbij de meetmethode en de bijbehorende consistentieklasse zijn gekoppeld aan de toepassing:

Consistentie	Waarde	Beoordeeld	Toepassing
SF1	550–650 mm	Vloeimaat	Ongewapende en licht gewapende constructies, gestort zonder belangrijke obstakels (bijvoorbeeld vloeren van woningen)
SF2	660–750 mm		Geschikt voor de meest gebruikelijke toepassingen (bijvoorbeeld wanden en kolommen)
SF3	760–850 mm	Vloeimaat	Geschikt voor complexe vormen en moeilijk toegankelijke bekistingen met hoge concentratie aan wapening of andere ingestorte onderdelen. D_{max} is meestal kleiner dan 16 mm
VS1	$T_{500} \leq 2$ sec	Vloeitijd en trechtertijd	Heeft zeer goede vuleigenschappen, ook bij hoge concentratie wapening. Geeft een mooi oppervlak. Is gevoeliger voor bleeding en ontmenging
VF1	VF ≤ 9 sec		
VS2	$T_{500} > 2$ sec		Bij toenemende vloeitijd wordt de betonspecie meer thixotroop. Grote weerstand tegen ontmenging. Beperkt de bekistingsdruk
VF2	VF 9–25 sec		
PL1 of PJ1	≥ 0,80 bij 2 staven	Blokkeringsmaat	Passeert gemakkelijk openingen van 80 × 100 mm (woningbouw en verticale constructies)
PL2 of PJ2	≥ 0,80 bij 3 staven		Passeert openingen van 60 × 80 mm (civiele constructies)
SR1	≤ 20%	Ontmenging/ Stabiliteit	Algemeen toepasbaar in dunne vloeren, openingen groter dan 80 × 80 mm en een vloeiafstand, minder dan 5 meter
SR2	≤ 15%		Bij voorkeur in verticale constructies en vloeiafstanden, meer dan 5 meter

3.12 Zwaar beton

Wanneer de volumieke massa van beton hoger is dan 2600 kg/m³ dan noemt NEN-EN 206 een dergelijk beton zwaar beton. Voor zwaar beton gelden dezelfde eisen ten aanzien van sterkteklasse, milieuklasse en consistentieklassen als voor normaal beton.
Het enige afwijkende ten opzichte van normaal beton is de keuze van het zware toeslagmateriaal. Zwaar beton kan alleen vervaardigd worden met een toeslagmateriaal met een veel hogere volumieke massa in vergelijking tot de normale toeslagmaterialen als zand en grind. Zie 7.5.4.
Afhankelijk van de toepassing en de keuze van het zware toeslagmateriaal wordt zwaar beton geproduceerd met een volumieke massa die globaal ligt tussen de 3000 en 5000 kg/m³. Het voordeel van een hogere volumieke massa komt met name tot zijn recht bij constructie in en onder water omdat dan niet de 'droge' massa maar het 'schijnbare gewicht onder water' bepalend is voor de prestatie.
Bedenk dat een kubieke meter 'normaal' beton met een volumieke massa van 2350 kg/m³ onder water nog slechts 1350 kg weegt. Een kubieke meter zwaar beton met een volumieke massa van 3700 kg/m³ weegt onder water nog 2700 kg. Dat is maar liefst twee keer zoveel.

Aandachtspunten bij de vervaardiging en verwerking van zwaar beton

Aandachtspunt	Kenmerken
Korrelopbouw zwaar toeslagmateriaal	Afwijkende korrelvorm, soms veel fijnmateriaal, heeft negatief effect op de waterbehoefte van het mengsel
Afwegen en mengen	Pas chargegrootte aan aan de capaciteit van de weegschalen en om overbelasting van de menger te voorkomen
Transport naar het werk	Truckmixers kunnen niet de maximale hoeveelheid m³ meenemen in verband met de mogelijke overbelading
Transport op het werk	Kraan en kubel worden zwaarder belast. Bij het pompen 'over de giek' wordt de giek veel zwaarder belast
Storten en verdichten	De zware toeslagmaterialen hebben de neiging tot uitzakken en ontmenging van de betonspecie

Aandachtspunt	Kenmerken
Temperatuur-ontwikkeling	Door de veel hogere warmtecapaciteit zal de temperatuurstijging tijdens het verharden een stuk lager zijn in vergelijking tot normaal beton

Toepassing	Kenmerken
Onderwaterbeton	Ballastvloeren onder water, door het hoge eigen gewicht hogere weerstand tegen opdrijven
Bekleding van pijpleidingen	Om het niet opdrijven, de veiligheid en duurzaamheid van pijpleidingen op de zeebodem te waarborgen, worden deze voorzien van een gewichtsbekleding van zwaarbeton
Golfbrekers en kust-bescherming	Door het hoge gewicht biedt zwaar beton beter weerstand tegen aanvallen door hoge golven
Stralingsafscherming	• opslag radioactief afval • afdeling radiologie in ziekenhuizen • afscherming in kerncentrales
Contragewicht	• contragewicht bij bascule bruggen • contragewicht bij vorkheftrucks

4 Betonspecie en verhardend Beton

4.1 Definities

Betonspecie: een plastisch vervormbare massa, bestaande uit een mengsel van grof en fijn toeslagmateriaal, cement, water en eventueel hulp- en/of vulstoffen.

Beton: verharde betonspecie.

4.2 NEN-EN 206 en NEN 8005

4.2.1 Normalisatie

Vanaf 1 september 2005 gelden NEN-EN 206 en NEN 8005 als dé officiële normen in het kader van het Bouwbesluit.

NEN-EN 206 maakt deel uit van een groot pakket Europese normen (zie voor de onderlinge samenhang het kader op de volgende pagina). Daarnaast is er een nationale invulling van NEN-EN 206 beschikbaar, NEN 8005. Deze is complementair aan de Europese norm. In de dagelijkse praktijk moeten beide normen worden gerespecteerd.

Een aantal paragrafen van NEN-EN 206 bevat de tekst ‘when required’ of ‘provisions valid in the place of use’. Daarmee wordt aangegeven dat nationale normen mogen of moeten worden toegepast als invulling van de desbetreffende paragrafen. Op welke wijze die nationale normen worden toegepast is vermeld in NEN 8005. Tegelijkertijd bevat deze norm aanbevelingen en toelichtingen op NEN-EN 206.

4.2.2 Uitvoering

NEN-EN 13670 is de Europese norm voor het vervaardigen van betonconstructies. Na publicatie van deze norm is NEN 6722, Voorschriften Beton-Uitvoering ingetrokken. Een aantal uitvoeringsaspecten dat wel in de NEN 6722

geregeld was, wordt niet door de nieuwe Europese norm gedekt. De zogenoemde 'rest norm' NEN 8670 is sinds 1-1-2018 een Ontwerpnorm. Deze norm bevat veel uit NEN 6722 dat niet is opgenomen in NEN-EN 13670. NEN 8670 dient als Nederlandse aanvulling op NEN-EN 13670.

Let op!

In deze Betonpocket worden NEN-EN 13670 en de inhoud van de ingetrokken NEN 6722 nog naast elkaar gebruikt. Aan artikelen uit de NEN 6722 wordt gerefereerd wanneer het uitvoeringsaspecten betreft die niet door NEN-EN 13670 worden afgedekt. Artikelen uit de NEN 6722 (veelal privaatrechtelijk van aard) kunnen nog steeds worden voorgeschreven mits zij expliciet van toepassing zijn verklaard in een contract.

4.3 Betonsoorten volgens NEN-EN 206

NEN-EN 206 onderscheidt de volgende betonsoorten:

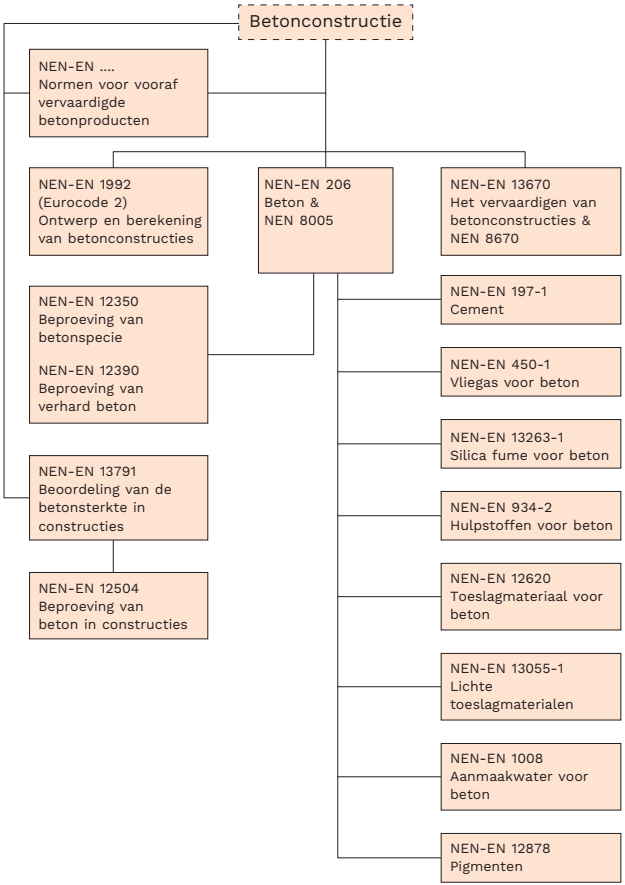
- **normaal beton**
  beton met een ovendroge volumieke massa groter dan 2000 kg/m^3, maar niet meer dan 2600 kg/m^3;
- **lichtbeton**
  beton met een ovendroge volumieke massa van niet minder dan 800 kg/m^3 en niet meer dan 2000 kg/m^3. Het wordt vervaardigd door het gebruik van licht toeslagmateriaal ter vervanging van een deel of van al het toeslagmateriaal;
- **zwaar beton**
  beton met een ovendroge volumieke massa groter dan 2600 kg/m^3. Het wordt vervaardigd door het gebruik van zwaar toeslagmateriaal ter vervanging van een deel of van al het toeslagmateriaal;

Meer informatie over lichtbeton, zwaar beton en een aantal betonsoorten met specifieke eigenschappen zijn beschreven in hoofdstuk 3.

4.4 Mengselsamenstelling

De randvoorwaarden waaraan de mengselsamenstelling moet voldoen zijn vastgelegd in NEN-EN 206 en NEN 8005.
In tabel E van NEN 8005 zijn de eisen die bij de verschillende milieuklassen behoren, weergegeven. Het gaat daarbij om de maximaal toelaatbare

Relaties tussen NEN-EN 206 en de normen voor ontwerp en berekening, uitvoering, normen voor grondstoffen en beproevingsnormen



water-cementfactor/water-bindmiddelfactor, het minimaal vereiste cementgehalte/bindmiddelgehalte en indien van toepassing het luchtgehalte (zie paragraaf 4.5.2).
Andere randvoorwaarden betreffen de minimaal vereiste hoeveelheid fijn materiaal (zie paragraaf 4.7.4) en de waardering van luchtgehalte als gehalte aan fijn materiaal.
Verder geven de normen grenswaarden met betrekking tot de toegelaten vervanging van grof toeslagmateriaal door betongranulaat, metselwerkgranulaat en grof licht toeslagmateriaal of een combinatie daarvan.

4.4.1 Betonspecie samenstellen

Werkwijze	
Fase I Kiezen van de grondstoffen	Formuleer technische eisen beton: • duurzaamheid • sterkte • volumieke massa • bijzondere eigenschappen
Fase II Berekenen samenstelling cementlijm	1. Kies streefwaarde druksterkte 2. Zoek benodigde normsterkte(n) van het cement op 3. Bepaal de wcf/wbf op grond van: • streefwaarde druksterkte • milieuklasse beton • ontkistings- of voorspaneisen Kies de laagste wcf/wbf. Houdt indien de milieuklasse maatgevend is een voldoende grote veiligheidsmarge aan 4. Kies streefwaarde luchtgehalte; > 2% telt mee voor de hoeveelheid fijn materiaal 5. Kies gradering toeslagmateriaal: • continu; ontwerpgebied I of II, zie 4.7.3 • discontinu 6. Schat de waterbehoefte voor de gewenste verwerkbaarheid Denk aan mogelijke correctie voor gebruik hulpstoffen 7. Bereken het cementgehalte Denk aan mogelijke correctie voor poederkoolvliegas 8. Bereken de hoeveelheid toeslagmateriaal

Werkwijze	
Fase III Berekenen toeslagmaterialen mengsel	Stel het volumeaandeel van de verschillende fracties vast op grond van gekozen gradering en grootste korrelafmeting
Fase IV Uitleveringsberekening	Bereken van elke grondstof hoeveel er nodig is voor 1 m^3 verdichte betonspecie
Fase V Controleberekeningen	1. Controleer de gradering van het toeslagmateriaal grafisch op basis van fase II punt 5 2. Controleer op minimum bindmiddelgehalte 3. Controleer het gehalte fijn 4. Bereken het chloridegehalte van het mengsel

Let op!
Controleer uw verwachtingen via geschiktheidsonderzoek.

4.5 Levensduur en mengselsamenstelling

Let op!
Schade aan een betonconstructie (scheuren, afgebroken stukken) doet ernstig afbreuk aan de beoogde levensduur.

4.5.1 Indeling in milieuklassen

De omgeving waarin beton wordt toegepast is in NEN-EN 206 ingedeeld in milieuklassen zoals weergegeven in onderstaande tabel. De bij de klassen tussen ( ) gegeven voorbeelden zijn slechts informatief.

Let op!
De te selecteren milieuklassen hangen af van de bepalingen die van kracht zijn op de plaats van gebruik van het beton. Deze indeling in milieuklassen sluit niet uit dat speciale omstandigheden, die bestaan op de plaats van gebruik van het beton, dan wel het toepassen van beschermende maatregelen, zoals het gebruik van corrosievast staal of ander corrosiebestendig metaal of het gebruik van beschermlagen op het beton of de wapening, kunnen leiden tot de keuze van een andere milieuklasse.

Het beton kan worden blootgesteld aan meer dan één aantastingsmechanisme. In dat geval kan het milieu waaraan het beton wordt blootgesteld worden weergegeven als een combinatie van milieuklassen.
Binnen elk schademechanisme zien we een andere verdeling naar de vochttoestand van de constructie. De aan- of afwezigheid van vocht speelt een cruciale rol bij de meeste schademechanismen.

Klasse-aanduiding	Beschrijving van het milieu (informatieve voorbeelden waar de betreffende milieuklasse zich kan voordoen)
1 Geen risico op corrosie of aantasting	
X0	Beton zonder wapening of ingesloten metalen: alle milieus, behalve bij vorst/dooi, afslijting of chemische aantasting Beton met wapening of ingesloten metalen: zeer droog (binnen gebouwen met zeer lage luchtvochtigheid)
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie	
Indien beton dat wapening of andere ingesloten metalen bevat, is blootgesteld aan lucht en vocht, moet het milieu als volgt worden ingedeeld:	
XC1	Droog of blijvend nat (binnen gebouwen met lage luchtvochtigheid, permanent onder water)
XC2	Nat, zelden droog (oppervlakken langdurig in contact met water, veel funderingen)
XC3	Matige vochtigheid (binnen gebouwen met matige of hoge luchtvochtigheid, buiten beschut tegen regen)
XC4	Wisselend nat en droog (oppervlakken in contact met water, niet in milieuklasse XC2)

Opmerking
De vochtconditie heeft betrekking op de betondekking op de wapening of op andere ingesloten metalen. Vaak kan de vochtconditie in de betondekking echter worden afgeleid van die in het omringende milieu. In die gevallen kan worden volstaan met de indeling van het omringende milieu.
Dit zal echter niet het geval zijn indien het beton van zijn omgeving is afgesloten

Klasse-aanduiding	Beschrijving van het milieu (informatieve voorbeelden waar de betreffende milieuklasse zich kan voordoen)
3 Corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater	
Indien beton dat wapening of andere ingesloten metalen bevat in contact staat met chloridehoudend water, inclusief dooizouten afkomstig uit bronnen anders dan zeewater, moet het milieu als volgt worden ingedeeld:	
XD1	Matige vochtigheid (oppervlakken blootgesteld aan chloriden uit de lucht)
XD2	Nat, zelden droog (zwembaden, beton blootgesteld aan chloridehoudend industriewater)
XD3	Wisselend nat en droog (brugdelen blootgesteld aan spatten met chloridehoudend water, verhardingen, parkeerdekken)
Opmerking *Voor vochtcondities, zie klasse XC*	
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater	
Indien beton dat wapening of andere ingesloten metalen bevat wordt blootgesteld aan chloriden uit zeewater of zich in de spatzone bevindt, moet het milieu als volgt worden ingedeeld:	
XS1	Blootgesteld aan zouten in de lucht maar niet in direct contact met zeewater (constructies bij of aan de kust)
XS2	Blijvend onder water (delen van constructies in zee)
XS3	Getijde- en spat- en stuifzones (delen van constructies in zee)

Klasse-aanduiding	Beschrijving van het milieu (informatieve voorbeelden waar de betreffende milieuklasse zich kan voordoen)
5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen met of zonder dooizouten	
Indien beton is blootgesteld aan flinke vorst/dooi-wisselingen en nat is, moet het milieu als volgt worden ingedeeld:	
XF1	Niet-volledig verzadigd met water, zonder dooizouten (verticale oppervlakken blootgesteld aan regen en vorst)
XF2	Niet-volledig verzadigd met water, met dooizouten (verticale oppervlakken van wegconstructies blootgesteld aan vorst en verstoven dooizouten)
XF3	Verzadigd met water, zonder dooizouten (horizontale oppervlakken blootgesteld aan regen en vorst)
XF4	Verzadigd met water, met dooizouten of zeewater (wegen en brugdekken blootgesteld aan dooizouten, betonoppervlakken blootgesteld aan direct gesproeide dooizouten en vorst, spatzones van constructies in zee blootgesteld aan vorst)
6 Chemische aantasting	
Indien beton is blootgesteld aan chemische aantasting vanuit natuurlijke grond en grondwater, zoals aangegeven in paragraaf 4.5.3, moet het milieu worden ingedeeld zoals hieronder is aangegeven. De indeling van zeewater hangt af van de geografische ligging, zodat de indeling van toepassing is die geldt op de plaats van gebruik van het beton.	
XA1	Zwak agressief chemisch milieu
XA2	Matig agressief chemisch milieu
XA3	Sterk agressief chemisch milieu
Opmerking *Het kan nodig zijn een speciale studie te verrichten om de van toepassing zijnde milieuklasse vast te stellen in geval van* • *ligging buiten de grenzen van de tabel in paragraaf 4.5.3;* • *andere agressieve chemicaliën;* • *chemisch verontreinigde grond of water;* • *hoge watersnelheid in combinatie met de chemische stoffen in de tabel van paragraaf 4.5.3*	

4.5.2 *Randvoorwaarden betonsamenstelling (NEN 8005)*

In NEN 8005 zijn in tabel E de randvoorwaarden aan de mengselsamenstellingen beschreven, gekoppeld aan de verschillende milieuklassen.

Milieuklasse	Maximaal toelaatbare watercementfactor/ water-bindmiddelfactor	Minimaal vereist cementgehalte/ bindmiddelgehalte (kg/m³)	Minimum luchtgehalte[a]	
			Grootste korrelafmeting D (mm)	Luchtgehalte % (v/v)
1 Geen risico op corrosie of aantasting				
X0	0,70[b]	200[b]	–	–
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie				
XC1	0,65	260	–	–
XC2	0,60	280	–	–
XC3	0,55	280	–	–
XC4	0,50	300	–	–
3 Corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater				
XD1	0,55	300	–	–
XD2	0,50	300	–	–
XD3	0,45	300	–	–
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater				
XS1	0,50	300	–	–
XS2	0,45	300	–	–
XS3	0,45	320[d]	–	–

Milieu-klasse	Maximaal toe-laatbare water-cementfactor/ water-bindmiddel-factor	Minimaal vereist cementgehalte/ bindmiddel-gehalte (kg/m³)	Minimum luchtgehalte[a]	
			Grootste korrel-afmeting D (mm)	Lucht-gehalte % (v/v)
5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen met of zonder dooizouten				
XF1	0,55	300	–	–
XF2	0,55	300	63 31,5 16 8	3,0 3,5 4,0 5,0
XF2	0,45	300	–	–
XF3	0,50	300	–	–
XF4	0,50	300	63 31,5 16 8	3,0 3,5 4,0 5,0
XF4	0,45	320[d]	–	–
6 Chemische aantasting				
XA1	0,55	300	–	–
XA2[c]	0,50	320	–	–
XA3[c]	0,45	340	–	–

a) Het minimum luchtgehalte heeft betrekking op het gemeten luchtgehalte
b) De genoemde water-cementfactor/water-bindmiddelfactor en het genoemde cement-gehalte/bindmiddelgehalte zijn alleen van toepassing bij onderwaterbeton
c) Voor beton in deze milieuklassen dat aan oplossingen met meer dan 600 mg SO_4^{2-}/liter of aan grond met een gehalte aan sulfaten > 3000 mg/kg wordt blootgesteld, moet cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten worden gebruikt dat voldoet aan NEN-EN 197-1
d) Bij bouwdelen met een dikte groter dan 1 meter mag het cementgehalte worden gereduceerd tot minimaal 300 kg/m³, onder voorwaarde dat uitsluitend cement met een lage hydratatiewarmte wordt gebruikt dat voldoet aan NEN-EN 197-1

Voor bouwdelen die voldoen aan de definitie massabeton mag het cementgehalte/bindmiddelgehalte en/of de water-cementfactor/water-bindmiddelfactor worden aangepast overeenkomstig tabel F onder voorwaarde dat:

- Uitsluitend cement met een lage hydratatiewarmte wordt gebruikt (NEN-EN 197-1). Of dat een combinatie van cementen en vulstoffen voor toepassing in beton wordt gebruikt waarbij de bindmiddelcombinatie voldoet aan de eisen van een lage hydratatiewarmte (NEN-EN 197-1)
- Een sterkteklasse wordt gerealiseerd van tenminste C30/37

Classificatie massabeton

	Poer	Vloer	Kolom	Wand	Balk	Dek
Kleinste afmeting (m)	> 1,25	> 0,8	> 1,0	> 0,7	> 0.8	> 0,8
Hoeveelheid (m^3)	> 10	> 80	> 8	> 40	> 50	> 80

Aangepaste eisen aan de betonsamenstelling afhankelijk van de milieuklasse in geval van massabeton

Milieuklasse	Maximaal toelaatbare water-cementfactor/ water-bindmiddelfactor	Minimaal vereist cement-/ bindmiddelgehalte in kg/m^3
XD3	0,50	300
XS2	0,50	300
XS3	0,50	300

4.5.3. Beoordeling aggresiviteit milieu (NEN-EN 206)

Deze tabel kan niet alleen gebruikt worden voor beton dat in aanraking komt met grond en grondwater. Zij kan ook worden toegepast om het gevaar voor aantasting door chemisch agressieve stoffen voor industriële toepassingen of in de agrarische sector te beoordelen en/of te classificeren.

Chemische bestanddelen	Referentie beproevingsmethode	XA1	XA2	XA3
Grondwater				
SO_4^{2-} mg/l	EN 196-2	≥ 200 en ≤ 600	> 600 en ≤ 3000	> 3000 en ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 en ≥ 5,5	< 5,5 en ≥ 4,5	< 4,5 en ≥ 4,0
CO_2 mg/l agressief	prEN 13577:1999	≥ 15 en ≤ 40	> 40 en ≤ 100	> 100 tot verzadiging
NH_4^+ mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 en ≤ 30	> 30 en ≤ 60	> 60 en ≤ 100
Mg^{2+} mg/l	ISO 7980	≥ 300 en ≤ 1000	> 1000 en ≤ 3000	> 3000 tot verzadiging
Grond				
SO_4^{2-} mg/kg[a] totaal	EN 196-2[b]	≥ 2000 en ≤ 3000[c]	> 3000[c] en ≤ 12000	> 12000 en ≤ 24000
Zuurgehalte ml/kg Baumann Gully	prEN 16502	> 200	niet aangetroffen in praktijk	

a) Kleigrond met een doorlaatbaarheid kleiner dan 10^{-5} m/s mag in een lagere klasse worden geplaatst;

b) De beproevingsmethode schrijft de extractie voor van SO_4^{2-} door middel van zoutzuur; als alternatief mag de extractie met behulp van water worden toegepast, indien op de plaats van het gebruik van het beton ervaring beschikbaar is;

c) Indien gevaar bestaat voor opeenhoping van sulfaationen in het beton, ten gevolge van nat/droog-wisselingen of capillaire opzuiging, moet de grenswaarde van 3000 mg/kg worden verlaagd tot 2000 mg/kg.

Let op!

Het agressieve chemische milieu, zoals hier ingedeeld, is gebaseerd op natuurlijke grond en grondwater met een water-/grondtemperatuur tussen 5 °C en 25 °C en een zo lage watersnelheid dat een statische situatie wordt benaderd.

De hoogste waarde voor elke chemische aantasting afzonderlijk is bepalend voor de milieuklasse.

Indien twee of meer waarden dezelfde klasse opleveren, moet het mileu worden ingedeeld in de naastliggende hogere klasse, tenzij een speciale studie heeft uitgewezen dat dit niet nodig is.

4.5.4 Keuze van de milieuklasse

De ontwerper/betonconstructeur zal bij het ontwerp en de berekening van elk constructieonderdeel moeten bepalen welke milieuklassen van toepassing zijn. Hieruit kan dan voor het betreffende bouwdeel de minimale dekking én de toelaatbare scheurwijdte worden bepaald volgens NEN-EN 1992-1-1. Ook volgen uit deze milieuklassen de randvoorwaarden voor de betonsamenstelling voor dat bouwdeel.

NEN 8005 geeft in de tabel met milieuklassen informatieve voorbeelden waar de betreffende milieuklasse zich kan voordoen.

In bijgaande tabellen zijn de voorwaarden uit het voorschrift gebundeld om eenvoudig vanuit de vochthuishouding en additionele invloeden als vorst al dan niet in combinatie met chloriden de milieuklassen te bepalen.

In voorkomende gevallen dient additioneel de aggresiviteit van grond en grondwater te worden vastgesteld met de tabel uit 4.5.3 voor de bepaling van de milieuklasse in relatie tot chemische aantasting: XA1, XA2 of XA3.

Ook is een tabel opgenomen waarin eenvoudig de koppeling tussen milieuklasse(n), de randvoorwaarden aan de betonsamenstelling en de eisen t.a.v de betondekking zijn opgenomen.

Let op!

Bij de indeling in milieus (met uitzondering van 'zeer droog' en 'droog') is onderscheid gemaakt tussen 'binnenland' en 'maritiem'. In combinatie hiermee kunnen de volgende additionele invloeden optreden:

- *geen andere invloed*
- *alleen vorst*
- *alleen chloriden niet afkomstig uit zeewater*
- *vorst in combinatie met chloriden niet afkomstig uit zeewater*

Bij alle bovengenoemde invloeden kan ook milieuklasse XA1, XA2 of XA3 van toepassing zijn.

Milieus		Aantastingmechanismen						
Vochthuishouding	**Additionele**	**XO**	**XC**	**XD**	**XS**	**XF**	**XF+ dooi-zout**	**XA**
Zeer droog		X0						
Droog			XC1					
Vochtig – binnenland	—		XC3					
	vorst		XC3			XF1		
	chloriden*		XC3	XD1				
	vorst, chloriden*		XC3	XD1			XF2	
Vochtig – maritiem	vorst		XC3		XS1	XF1		XA2
	vorst, chloriden*		XC3	XD1	XS1		XF2	XA2
Nat/droog – binnenland	—		XC4					
	vorst		XC4			XF3		
	chloriden*		XC4	XD3				
	vorst, chloriden*		XC4	XD3			XF4	
Nat/droog – maritiem	vorst		XC4		XS3	XF3		XA2
	vorst, chloriden*		XC4	XD3	XS3		XF4	XA2
Nat – binnenland	—		XC2					
	vorst		XC2			XF3		
	chloriden*		XC2	XD2				
	vorst, chloriden*		XC2	XD2			XF4	
Nat – maritiem	vorst		XC2		XS2	XF3		XA2
	vorst, chloriden*		XC2	XD2	XS2		XF4	XA2
Permanent onder water – binnenland		XC1						
Permanent onder water – maritiem		XC1		XS2			XA2	

** chloriden niet afkomstig uit zeewater (bv. dooizout, zwembadwater of industrieel water met chloriden).*

Toelichting bij de tabel

De tabel is van toepassing op ongewapend-, gewapend- en voorgespannen beton met altijd minimaal één milieuklasse (XC) tot maximaal 5 milieuklassen. Bij ongewapend beton en staalvezelbeton komen de milieuklassen XC en XD niet voor.

Onder ‘binnenland’ wordt verstaan: condities waarbij beton niet in contact komt met chloriden afkomstig uit zeewater.
Onder ‘maritiem’ wordt verstaan: conditities waarbij beton in contact komt met chloriden afkomstig uit zeewater.
Het beton kan altijd onderhevig zijn aan vorst.

Hieronder zijn de vochtregimes in de milieuklassen XC gedefinieerd. Daarbij is een relatie gelegd met de relatieve vochtigheid, zoals die in NEN-EN 1992-1-1 is vastgelegd in paragraaf 3.1.4 figuur 3.1 (voor kruip) en tabel 3.2 (voor krimp).

Vochthuishouding	Omschrijving	Relatieve vochtigheid
Zeer droog (X0)	zeer droog binnenmilieu	<40%
Droog (XC1)	droog binnenmilieu	<60%
Vochtig (XC3)	buitenlucht, beschut	60-85%
Nat/droog (XC4)	buitenlucht, afwisselend nat/droog, onbeschut, getijde- en spatzone	60-100%
Nat (XC2)	buitenlucht, vrijwel altijd nat	85-100%
Permanent onder water (XC1)	onder LLW of laagste grondwaterstand	100%

In de volgende tabel zijn de milieuklassen volgens NEN-EN 206 en de daarbij behorende eisen volgens NEN 8005 en NEN-EN 1992-1-1, Ontwerp en berekeningen van betonconstructies Deel 1-1 gecombineerd.

Eisen aan betonsamenstelling vlgs NEN 8005		Milieuklasse volgens NEN-EN 206 tabel 1 (= NEN-EN 1992-1-1 tabel 4.1)										Indicatieve sterkteklasse (NEN-EN 1992-1-1 tabel E.1)
		Geen risico	Aantasting wapening (corrosie ingeleid door)						Aantasting beton			
									Vorst/dooi-wisselingen		Chemische aantasting	
Max. wcf/wbf	Min. cem. geh. (kg/m³)		Carbonatatie			Chloriden			Zonder Chloriden	Met Chloriden		
0,70	200	X0										C12/15
0,65	260		XC1									C20/25
0,60	280			XC2								C25/30
0,55	280			XC3								C30/37
0,55	300					XD1			XF1	XF2-lucht	XA1	C30/37
0,50	300				XC4	XS1	XD2		XF3	XF4-lucht		C30/37
0,50	320										XA2	C30/37
0,45	300						XS2	XD3		XF2		C35/45
0,45	320							XS3		XF4		C35/45
0,45	340										XA3	C35/45
NEN-EN 1992-1-1 tabel 4.3N, 4.4N, 4,5N												
minimum dekking $c_{min;dur}$ (50 jaar levensduur)[a,b] (mm)												
Plaat, wand		10	10	20	25	30	35	35	–	zie bijbeh. XD	–	
Balk/Poer/ConsoleKolom		10	15	25	30	35	40	40	–	en/of XS klasse	–	
[a] Op de minimale dekking $c_{min;dur}$ is een reductie van 5 mm van toepassing in geval van:												
- Sterkteklasse ≥		C30/37	C30/37	C35/45	C40/50	C40/50	C40/50	C45/55				
[b] Op de minimale dekking $c_{min;dur}$ is een toeslag van toepassing in geval van:												
- Ontwerplevensduur 100 jaar (i.p.v. 50 jaar) +10 mm												
- Ontwerplevensduur 75 jaar (i.p.v. 50 jaar) +5 mm												
- Voorspanstaal +5 mm												
De minimum dekking (c_{min}) bedraagt de grootste waarde van $c_{min;dur}$, de (equivalante) staafdiameter[c] (ϕ_n) en 10 mm.												
[c] Bij voorgerekt voorspanstaal met strengen of gladde draden 1,5 x ϕ												
Voor de op de tekeningen aan te geven dekking (c_{nom}) dient c_{min} verhoogd te worden met de uitvoeringstolerantie Δc_{dev} = 5 mm												
Maximale scheurwijdte w_{max} (mm)												
Zonder voorspanstaal		0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2				
Met voorspanstaal		0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1				

Bronnen
NEN-EN 1992-1-1 2005 + NB 2011
NEN-EN 206 2014
NEN 8005 2014

Let op!
De indicatieve sterkteklassen volgens NEN-EN 1992-1- Tabel E.1 worden in Nederland niet gebruikt.

In de tabel geldt:
- *constructieklasse S2 voor Plaat, Wand*
- *constructieklasse S3 voor Balk/Poer/Console/Kolom*

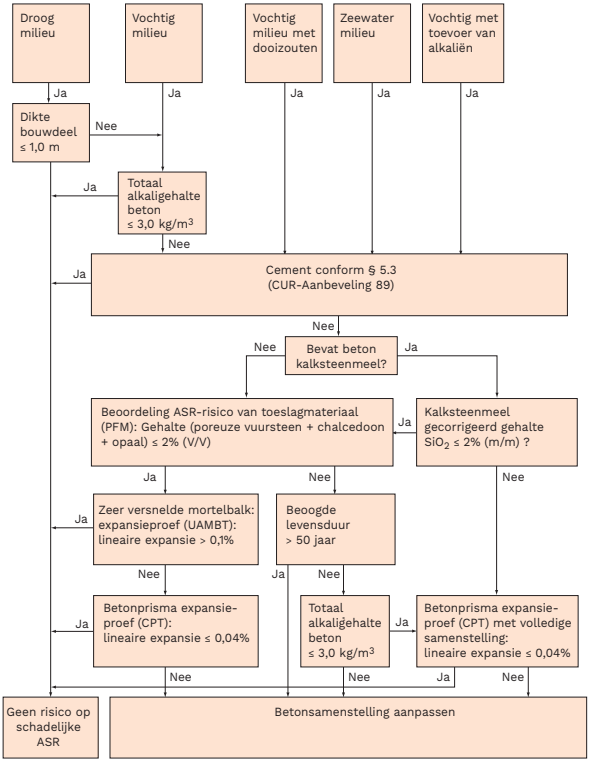
Bij reductie in verband met de sterkteklasse geldt: 'voor deze gereduceerde waarde dient ten minste 10 mm te worden aangehouden'

4.5.5 Risico schadelijke alkali-silicareactie (ASR)

Het voorschrijven van de juiste milieuklasse(n) is geen garantie op voldoende duurzaamheid. Schade kan ook ontstaan door ongewenste (expansieve) chemische reacties in het beton zelf. Dit kan betekenen dat de beoogde duurzaamheid niet wordt gehaald. Een voorbeeld hiervan is de alkali-silica reactie. De kans op het optreden van een schadelijke alkali-silicareactie in beton is in Nederland niet groot, mits de gebruikelijke toeslagmaterialen en cementen zijn gebruikt.
Als schadelijke ASR optreedt is de schade echter meestal wel groot; vandaar dat CUR Aanbeveling 89 heeft opgesteld.
In deze aanbeveling staat hoe ASR te voorkomen en hoe 'verdacht' 'toeslagmateriaal kan worden onderzocht.
De betontechnoloog moet uiteraard wel beoordelen hoe groot het risico van het optreden van schadelijke ASR is en zo nodig adequate technologische maatregelen nemen. Hiervoor bevat de aanbeveling een stroomschema.

NEN 8005, art. 5.2.3.4 bevat dan ook de opmerking dat bij gebruik van CUR-Aanbeveling 89 aan de eisen van NEN-EN 206 is voldaan.

Beoordeling van het risico op schadelijke ASR (CUR-Aanbeveling 89)



Uit het stroomschema is af te lezen dat gebruik van geschikt cement de eenvoudigste manier is om risico van schadelijk ASR te vermijden. Veel van de in Nederland gebruikte cementen (zoals CEM III/B 42,5 N) behoren tot de geschikte cementen. Door zo'n cement toe te passen is moeizame selectie van toeslagmateriaal of andere ingrepen in de betonsamenstelling overbodig.

In het schema wordt verwezen naar cement conform § 5.3 van de CUR-Aanbeveling, daarom is de betreffende paragraaf, inclusief de tabel, hier integraal opgenomen: Van de volgende cementen die voldoen aan en aantoonbaar geproduceerd zijn volgens NEN-EN 197-1 en 197-2 mag worden aangenomen dat schadelijke ASR in beton niet zal optreden als het cement voldoet aan de in de tabel gestelde eisen.

Type Cement	CEM II/B-V			CEM III/A	CEM III/B
Cement met gehalte poederkool-vliegas of slak % (m/m)	≥ 25		≥ 30	≥ 50	≥ 66
Na_2O-eq. poederkoolvliegas in cement % (m/m)	x ≤ 2,0	2,0 < x ≤ 3,0	3,0 < x ≤ 4,5	n.v.t.	n.v.t.
Maximum alkaligehalte cement [% (m/m)]					
indien alkalibijdrage overige bestanddelen[c] ≤ 0,6 kg/m³	1,1	1,3	1,6	1,1	1,5
indien alkalibijdrage overige bestanddelen 0,6 < y ≤ 1,2 kg/m³ [a,c]	0,9	1,1	1,5	0,9	1,3
indien alkalibijdrage overige bestanddelen 1,2 < y ≤ 1,6 kg/m³ [b,c]	0,8	1,0	1,4	0,8	1,2

a) Indien wordt aangetoond dat de alkalibijdrage van de hulp- en vulstoffen, anders dan poederkoolvliegas, < 0,1 kg/m³ is, mag voor de alkalibijdrage van de overige bestanddelen worden uitgegaan van maximaal 1,2 kg/m³

b) Indien niet wordt voldaan aan de eis 'alkaligehalte overige bestanddelen ≤ 1,6 kg/m³', dan moet het alkaligehalte worden berekend volgens bijlage G van CUR-Aanbeveling 89

c) Onder 'overige bestanddelen' wordt verstaan alle grondstoffen in het beton behalve cement en poederkoolvliegas

Het Na_2O-equivalent (Na_2O-eq) is een maat voor het alkaligehalte uitgedrukt als het gehalte aan natriumoxide (Na_2O) + 0,658 maal het gehalte kaliumoxide (K_2O) in % (m/m) of kg/m³.
Daarnaast zijn er eisen aan cementcombinaties, al dan niet met vliegas als vulstof, met preventieve werking ten aanzien van ASR.

Type Cement	CEM I met poederkoolvliegas		CEM III/B en CEM I zonder poederkool-vliegas	CEM III/B en CEM I met poederkool-vliegas
Bindmiddel met gehalte slak % (m/m)	n.v.t.	n.v.t.	≥ 50	Zie 'Opmerking A'
Poederkoolvliegas				
– gehalte vliegas % (m/m) – Na_2O-eq. vliegas % (m/m)	≥ 25 ≤ 3,0	≥ 30 3,0 < x ≤ 4,5	n.v.t. n.v.t.	
Maximum alkaligehalte cement % (m/m)				
indien alkalibijdrage overige bestanddelen[c] ≤ 0,6 kg/m³	0,9		1,1	Zie 'Opmerking A'
indien alkalibijdrage overige bestanddelen[c]: 0,6 < y ≤ 1,2 kg/m³ [a]	0,7		0,9	
indien alkalibijdrage overige bestanddelen: 1,2 < y ≤ 1,6 kg/m³ [b]	0,6		0,8	

a) Indien wordt aangetoond dat de alkalibijdrage van de hulp- en vulstoffen, anders dan poederkoolvliegas,< 0,1 kg/m³ is, mag voor de alkalibijdrage van de overige bestanddelen worden uitgegaan van maximaal 1,2 kg/m³

b) Indien niet aan deze eis wordt voldaan, dan moet het alkaligehalte worden berekend volgens bijlage G van CUR-Aanbeveling 89

c) Onder 'overige bestanddelen' wordt verstaan alle grondstoffen in het beton behalve cement en poederkoolvliegas

Opmerking A

Van mengsels van CEM I met poederkoolvliegas en CEM III/A of B mag worden aangenomen dat schadelijke ASR in beton niet zal optreden als voldaan is aan de volgende eisen:

- cementen volgens NEN-EN 197-1;
- CEM III/A of CEM III/B dat geschikt is om ASR te voorkomen (zie 4.4.1);
- poederkoolvliegas voldoet aan de eisen voor 'CEM I met poederkoolvliegas' en CEM III/A of CEM III/B dat geschikt is om ASR te voorkomen (zie 4.5.5).

Let op!

In de aanbeveling vindt u waardevolle aanvullende informatie; onder meer over randvoorwaarden, mengsels van cementen, gebruik van poederkoolvliegas e.d.

4.6 Besluit Bodemkwaliteit (Bbk) en mengselsamenstelling

De Wet Bodembescherming (Wbb) beoogt de bodem en het oppervlaktewater te beschermen tegen verontreinigingen ten gevolge van bouwactiviteiten. Het Besluit Bodemkwaliteit is het onderdeel van deze wet waarin bodemverontreiniging als gevolg van bouwactiviteiten met vervuilde grond en steenachtige bouwmaterialen wordt behandeld. Omdat beton een steenachtig bouwmateriaal is, valt het onder het bereik van deze wet.
Het Besluit Bodemkwaliteit onderscheidt de volgende categorieën bouwstoffen:

Categorie 1
Bouwstoffen die nagenoeg niet uitlogen en daarom slechts een geringe bedreiging vormen voor de bodem of het (grond)water

Categorie 2
Bouwstoffen die behoorlijk verontreinigd zijn en bovendien sterk uitlogen. Voor materialen in deze categorie worden vergaande beschermings- en beheersmaatregelen geëist

De betekenis van het Besluit Bodemkwaliteit voor beton
Het Besluit Bodemkwaliteit bevat regels voor alle bouwmaterialen die in of op de bodem of in het oppervlaktewater worden gebruikt. Primair doel is om bodem en (grond-)water te beschermen tegen verontreinigingen vanuit bouwmaterialen. Daartoe zijn stringente grenswaarden vastgelegd voor de aanvaardbare toename van de concentratie van een reeks stoffen in de bodem. Dit wordt de immissie-waarde genoemd.
Ook van betonspecie, bestemd voor betonconstructies die in contact kunnen komen met hemelwater, grondwater en/of oppervlaktewater, moet door de producent worden aangetoond dat het grondwater niet meer vervuild dan het Bbk toestaat.
Voor alle beton binnen onze voorschriften is inmiddels aangetoond dat het ruimschoots aan die eisen voldoet. Niettemin dient dit periodiek te worden getoetst en middels productcertificaten te worden aangetoond.

4.7 Grondstoffenkeuze en mengselsamenstelling

Let op!
Stem de grondstoffenkeuze ook af op het uiterlijk en de gewenste kleur van de constructie.

4.7.1 Bindmiddelen

Cement
Niet alle cementsoorten uit NEN-EN 197-1 zijn zonder meer toegestaan; zie hiervoor 6.7.

Poederkoolvliegas
Gebruik van poederkoolvliegas als deel van het bindmiddel is onder voorwaarden toegestaan; zie hiervoor 9.6.
In beton is uitsluitend poederkoolvliegas toegestaan volgens NEN-EN 450-1 catg. A met een gloeiverlies < 5% (mm).

Gemalen hoogovenslak
Gebruik van gemalen hoogovenslak als deel van het bindmiddel is onder voorwaarden toegestaan; zie hiervoor 9.4 .
Gemalen hoogovenslak voor toepassing in beton moet voldoen aan NEN-EN 15167-1.

4.7.2 Vulstoffen

Naast poederkoolvliegas zijn diverse andere vulstoffen beschikbaar; zie hiervoor 9.

4.7.3 Toeslagmaterialen

Normeisen toeslagmaterialen
Toegestaan zijn normale en zware toeslagmaterialen die voldoen aan NEN-EN 12620 en NEN 5905 (hieronder vallen ook beton- en menggranulaat) en grove lichte toeslagmaterialen die voldoen aan NEN-EN 13055-1. Metselwerkgranulaat moet voldoen aan CUR-Aanbeveling 5. Van alle andere toeslagmaterialen moet de geschiktheid worden aangetoond en het gebruik overeengekomen.

NEN 8005 en CUR-Aanbeveling 112 stellen beiden grenzen aan de maximale vervangingspercentages van harde dichte toeslagmaterialen door granulaten. Deze grenzen komen echter niet met elkaar overeen.

Soort recyclinggranulaat	Volumieke massa ρ_{rd} (kg/m³)	Milieuklasse		Volgens CUR-Aanbeveling 112
		X0	Overige milieu-klassen	
Type A1 (betongranulaat)	≥ 2200	50%	30%	50% en 50-100%
Type A2 (betongranulaat)	≥ 2000	50%	20%	
Type B (menggranulaat)	≥ 2000	50%	20%	20%
Type C (metselwerkgranulaat)	≥ 1500	25%	10%	10%

Let op!

NEN 8005 gaat boven CUR-Aanbeveling 112

- *Het toepassen van hogere vervangingspercentages dan genoemd in NEN 8005, kan alleen in overleg met de opdrachtgever.*
- *Bij vervangingspercentages tussen 50-100% (v/v) zijn aangepaste regels van kracht, zoals aangegeven in CUR-Aanbeveling 112.*

Let op!

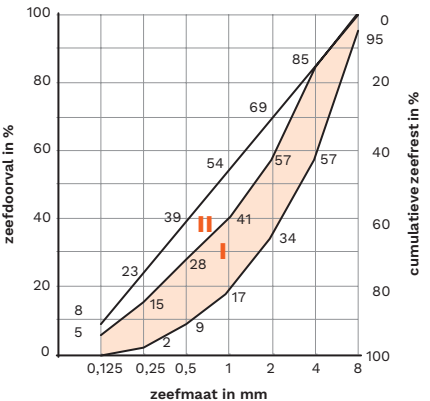
Uit proefprojecten en praktijkervaring is gebleken dat:

- *de mengselsamenstelling moet worden aangepast om dezelfde verwerkbaarheid te realiseren;*
- *bij verwachte vorst-dooizoutbelasting beter geen menggranulaat kan worden toegepast;*
- *menggranulaat van invloed kan zijn op de kleur van het beton;*
- *bij monoliet afgewerkte vloeren afwerkproblemen kunnen ontstaan door bovendrijvende verontreinigingen uit het beton-menggranulaat.*

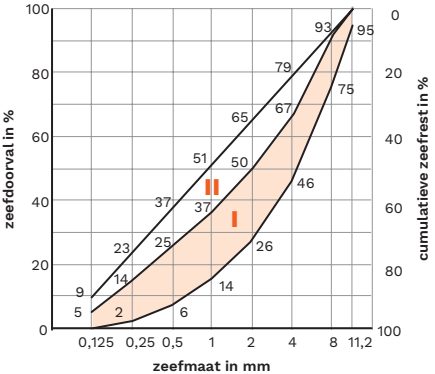
Korrelverdeling

In NEN-EN 206 en NEN 8005 zijn géén eisen opgenomen met betrekking tot de korrelopbouw van het toeslagmaterialenmengsel. Gezien de grote invloed van de korrelopbouw op de verwerkingseigenschappen en waterbehoefte van betonspecie verdient het aanbeveling het mengselontwerp af te stemmen op de hierna opgenomen ontwerpgebieden.

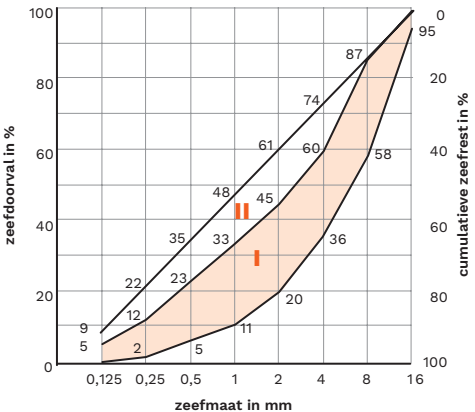
Ontwerpgebieden voor korrelgroep 0/8



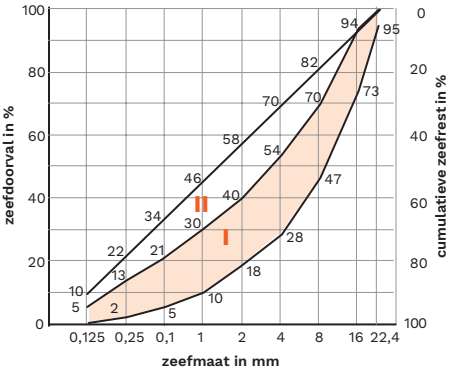
Ontwerpgebieden voor korrelgroep 0/11



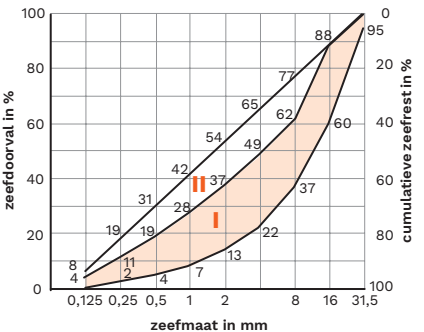
Ontwerpgebieden voor korrelgroep 0/16



Ontwerpgebieden voor korrelgroep 0/22



Ontwerpgebieden voor korrelgroep 0/32



Grootste korrelafmeting

De grootste korrelafmeting van het toeslagmateriaal mag niet groter zijn dan:

- de gehele vrije ruimte tussen evenwijdige spankanalen of VZA kabels;
- de gehele vrije ruimte tussen evenwijdige (groepen) spanelementen in het verankeringsgebied;
- 3/2 van de vrije ruimte tussen evenwijdige (groepen) spanelementen buiten het verankeringsgebied;
- 1/5 van de kleinste afstand tussen bekistingswanden;
- 2/5 van de vloer- of druklaagdikte voor in het werk gestorte vloeren;
- 3/4 van de kleinste tussenruimte tussen wapeningsstaven. (Ter plaatse van overlappingslassen mag dat 3/2 zijn);
- 1/4 van de vrije ruimte tussen langsstaven en in de grond gevormde palen.

4.7.4 *Fijngehalte*

Het fijngehalte van betonspecie is de hoeveelheid materiaal < 250 µm.
De hoeveelheden en de gradering van het toeslagmateriaal zijn van invloed op het fijngehalte van de betonspecie. In NEN 8005 zijn eisen opgenomen met betrekking tot de minimale hoeveelheid fijn in beton.

Grootste zeefmaat D (mm)	Minimum hoeveelheid fijn materiaal (< 250 µm) in m^3 per m^3 beton
8	0,140
11,2	0,130
16	0,125
22,4	0,120
31,5	0,115

Let op!

Voor bepaalde productieprocessen kan het nodig zijn van de waarden in de tabel af te wijken. NEN 8005 staat dit toe.

Luchtgehalte als fijn materiaal

De door het gebruik van luchtbelvormers ingebrachte fijn verdeelde luchtbelletjes mogen ook als fijn materiaal worden aangemerkt volgens de tabel op de volgende pagina.

Gemeten luchtgehalte van de betonspecie % (v/v)	Effectieve hoeveelheid fijn materiaal in m^3 per m^3 beton
2	–
3	0,010
4	0,020
5	0,030
6	0,040

Voorbeeld:
Voor een mengsel met 130 l fijn per m^3 en een gemeten luchtgehalte van 4% geldt als rekenwaarde voor het fijngehalte: 130 + (40 - 20) = 150 l/m^3.

Optimaal fijngehalte
Het fijngehalte is optimaal wanneer voor de gegeven verwerkingswijze de waterbehoefte minimaal is, terwijl net geen ontmenging optreedt. Dit optimum wordt in belangrijke mate bepaald door de wijze waarop het fijngehalte wordt gerealiseerd. Vaak kan het met poederkoolvliegas worden opgevoerd zonder dat de waterbehoefte toeneemt. Met een luchtbelvormer kan het fijngehalte worden verhoogd terwijl de waterbehoefte afneemt.
Het is daarom verstandig het optimaal fijngehalte via geschiktheidsonderzoek vast te stellen.

4.7.5 Aanmaakwater

De eisen waaraan aanmaakwater moet voldoen, staan in hoofdstuk 10. Spoelwater uit recyclinginstallaties in betoncentrales of -fabrieken mag geheel of gedeeltelijk als aanmaakwater worden gebruikt, afhankelijk van het restant fijn dat in dit water aanwezig is. Zie hiervoor hoofdstuk 10.5.

4.7.6 Chloridegehalte van beton

Het chloridegehalte van beton is aan een maximum gebonden. Houd hiermee rekening bij de grondstoffenkeuze.
In de praktijk kan de betontechnoloog alleen het chloridegehalte van de betonspecie begrenzen. We kunnen het chloridegehalte in betonspecie moeilijk meten. Het is beter het chloridegehalte te berekenen uit de chloridegehalten

van de grondstoffen waarmee de betonspecie is samengesteld. Zie hiervoor hoofdstuk 5.5.6.
Het gehalte aan chloriden van beton, weergegeven als het percentage chloriden per massa cement, mag niet hoger zijn dan de waarden voor de gekozen klasse zoals vermeld in de tabel.

Beoogd gebruik van het beton	Klasse voor chloride gehalte	Maximumgehalte aan Cl^- t.o.v. de massa cement[a]
Beton zonder wapening of ingesloten metalen, met uit zondering van corrosievaste hijsvoorzieningen	Cl 1,0	1,0%
Beton met wapening of ingestorte metalen en nagerekt staal	Cl 0,40	0,40%
Beton met voorgerekt staal	Cl 0,20	0,20%

Indien type II vulstoffen worden gebruikt en in rekening worden gebracht als bindmiddel, geldt dat het chloridegehalte wordt uitgedrukt als het percentage chloride-ionen t.o.v. de massa cement plus de massa vulstof die als bindmiddel in rekening wordt gebracht

Calciumchloride en chloridehoudende hulpstoffen mogen niet worden toegevoegd aan beton dat wapening, voorspanstaal of andere ingesloten metalen bevat.

Let op!

Voor de bepaling van het chloridegehalte van beton moet de som van de bijdragen vanuit de grondstoffen worden berekend, met gebruikmaking van een, of een combinatie, van de volgende methoden:

- *berekening gebaseerd op het maximumchloridegehalte van de grondstoffen zoals toegelaten in de norm voor de grondstof of volgens de opgave van de producent van iedere grondstof;*
- *berekening gebaseerd op het chloridegehalte van de grondstoffen zoals dat maandelijks wordt berekend uit de som van de gemiddelden van de laatste 25 bepalingen van het chloridegehalte plus 1,64 × de berekende standaardafwijking voor iedere grondstof.*

De laatste methode is in het bijzonder van toepassing voor toeslagmateriaal uit zee en voor die gevallen waarin een opgegeven of een genormaliseerde waarde ontbreekt.

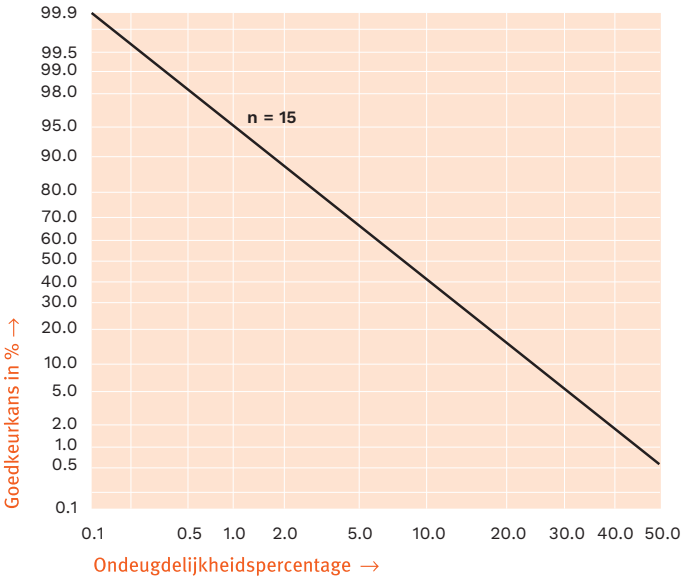
4.8 Druksterkte en mengselsamenstelling

4.8.1 Streefwaarde druksterkte

De uit steekproeven voor een bepaalde partij beton berekende standaardafwijking kan worden gebruikt om te schatten wat de streefwaarde voor de druksterkte moet zijn om met vertrouwen beton in een bepaalde sterkteklasse te leveren. Daarbij kan de volgende werkwijze worden gevolgd.

Stap	Handeling	Opmerkingen
1	Stel vast welke sterkteklasse gevraagd wordt	Dit is onderdeel van fase I 'Betonspecie samenstellen' (hoofdstuk 4.4.1)
2	Kies de standaardafwijking die past bij de grondstoffenkeuze, de gewenste verwerkbaarheid en de overige specie- en betoneigenschappen	Deze gegevens zijn bekend aan het eind van fase I (hoofdstuk 4.4.1). Onderzoek of u ervaring en kwaliteitscontrolegegevens hebtmet/van soortgelijke mengsels; gebruik die informatie om de standaardafwijking voor dit geval te schatten Heeft u geen ervaring met soortgelijke mengsels, gebruik dan de standaardafwijking die geldt voor uw hele productieproces; die is uiteraard groter, maar die extra veiligheid is in dat geval nuttig
3	Kies de goedkeurkans die u acceptabel vindt	Deze keuze hangt af van het technisch en het commerciële risico dat u wenst te accepteren
4	Lees op de grafiek van de keurings karakteristiek af welke excentriciteit behoort bij de door u gekozen goedkeurkans	Deze grafiek voor de keuringskarakteristiek geeft het verband tussen ondeugdelijkheid, excentriciteit en goedkeurkans, zoals dat voor NEN-EN 206 is vastgesteld
5	Bereken de streefwaarde voor de gemiddelde kubusdruksterkte uit: $f_{cm,cube} = C + u \times \sigma$	Hierin is: $f_{cm,cube}$ de kubusdruksterkte in N/mm² C de sterkteklasse in N/mm² u de excentriciteit σ de standaardafwijking

Keuringskarakteristiek voor de keuringseis van NEN-EN 206 voor series van 15 kubussen (keuringskarakteristiek: $\bar{x}_{15} - 1{,}48 \cdot \sigma \geq f_{ck,cube}$)



4.8.2 Sterkteontwikkeling en water-cementfactor

Voor gangbare betonsamenstellingen is de betonsterkte aan de hand van de wcf redelijk te voorspellen.

Formule:

$$f_{cm,cube(n)} = aN_n + \frac{b}{wcf} - c$$

Hierin is:

$f_{cm,cube(n)}$ de gemiddelde kubusdruksterkte na *n* dagen verharding;
N_n de normsterkte van het gebruikte cement na *n* dagen.

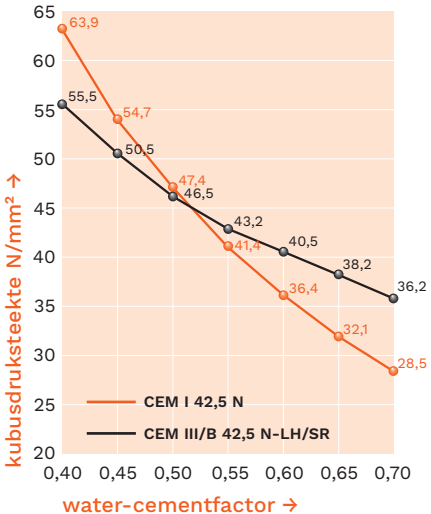
a, *b* en *c* zijn coëfficiënten waarvan de grootte bepaald wordt door de gebruikte grondstoffen in het beton. Door over een langere periode de gerealiseerde betonsterkten voor een gegeven speciesamenstelling te verzamelen, zijn deze coëfficiënten te bepalen. Voor beton gemaakt met gangbare EN-CI-cementen en zand en grind zijn deze coëfficiënten in onderstaande tabel weergegeven. Toepassing van deze coëfficiënten geeft een schatting van de te verwachten betondruksterkten.

Cement	*a*	*b*	*c*
CEM I en CEM II/B-V	0,85	33	62
CEM III/A	0,8	25	45
CEM III/B	0,75	18	30

Voorbeeld

Voor een CEM I 42,5 N met een normsterkte van 54 MPa en een CEM III/B 42,5 N LH/SR met een normsterkte van 56 MPa is de relatie tussen wcf en 28-daagse sterkte berekend en in de grafiek op de pagina hierna weergegeven.

Relatie wcf en 28-daagse sterkte voor 2 cementsoorten



Let op!

Het luchtgehalte is van invloed op de betonsterkte. Reken op 5% sterkteverlies per ingebrachte % lucht t.o.v. het referentie luchtgehalte.

4.9 Verwerkbaarheid en mengselsamenstelling

4.9.1 Definitie

De verwerkbaarheid omvat alle eigenschappen die het gedrag van de specie tijdens het mengen, transporteren, storten, verdichten en afwerken bepalen. In NEN 8005 is de omschrijving van de verwerkbaarheid vastgelegd in een beperkt aantal consistentieklassen. De consistentie kan worden benoemd tussen ‘droog’ en ‘zeer vloeibaar’.

4.9.2 Consistentieklassen (NEN 8005)

	NEN-EN 206				NEN 8005				BRL 1801			
Consistentie-klasse	**C**	**S**	**F**	**SF**	**C**	**S**	**F**	**SF**	**C**	**S**	**F**	**SF**
Droog	C0	-	-	-	C0	-	-	-	C0	-	-	-
Aardvochtig	C1	S1	F1	-	C1	-	-	-	C1	-	-	-
Halfplastisch	C2	S2	F2	-	-	S2	-	-	-	S2	-	-
Plastisch	C3	S3	F3	-	-	S3	-	-	-	S3	-	-
Zeerplastisch	C4	S4	F4	-	-	-	F4	-	-	-	F4	-
Vloeibaar	-	S5	F5	-	-	-	F5	-	-	-	F5	-
Zeer vloeibaar	-	-	F6	SF1	-	-	-	SF1	-	-	-	SF1
Zelfverdichtend	-	-	-	SF1	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	SF2	-	-	-	SF2	-	-	-	SF2
	-	-	-	SF3	-	-	-	-	-	-	-	SF3

Bij zelfverdichtend beton kunnen, indien gewenst, ook nog aanvullende eigenschappen worden overeengekomen:

- Viscositeit-t_{500} VS1 of VS2
- Viscositeit-t_v VF1 of VF2
- Blokkeringsmaat PJ1 of PJ2
- Stabiliteit SR1 of SR2

4.9.3 Grenswaarden consistentieklassen

Klasse	Verdichtingsmaat volgens NEN-EN 12350-4
C0	≥ 1,46
C1	1,45 t/m 1,26
C2	1,25 t/m 1,11
C3	1,10 t/m 1,04
C4	< 1,04

Klasse	Zetmaat volgens NEN-EN 12350-2
S1	10 t/m 40 mm
S2	50 t/m 90 mm
S3	100 t/m 150 mm
S4	160 t/m 210 mm
S5	≥ 220 mm

Klasse	Schudmaat volgens NEN-EN 12350-5
F1	< 340 mm
F2	350 t/m 410 mm
F3	420 t/m 480 mm
F4	490 t/m 550 mm
F5	560 t/m 620 mm
F6	≥ 630 mm

Klasse	Vloeimaat volgens NEN-EN 12350-8
SF1	550 t/m 650 mm
SF2	660 t/m 750 mm
SF3	760 t/m 850 mm

Klasse	Viscositeitsklasse t_{500} volgens NEN-EN 12350-8
VS1	< 2,0 s
VS2	≥ 2,0 s

Klasse	Viscositeitsklasse t_v volgens NEN-EN 12350-9
VF1	< 9,0 s
VF2	9,0 t/m 25,0 s

Klasse	Blokkeringsmaat volgens NEN-EN 12350-10
PL1	≥ 0,8 met 2 spijlen
PL2	≥ 0,8 met 3 spijlen

Klasse	Blokkeringsmaat volgens NEN-EN 12350-12
PJ1	≤ 10 mm met 12 spijlen
PJ2	≤ 10 mm met 16 spijlen

Klasse	Segregatietest volgens NEN-EN 12350-11
SR1	≤ 20%
SR2	≤ 15%

4.9.4 Waterbehoefte

Richtwaarden voor de effectieve waterbehoefte van betonspecie (l/m³)

Grootste zeefmaat (mm)	8		11,2		16		22,4		31,5	
Ontwerpgebied Consistentie	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Aardvochtig (zetmaat ≤ 40 mm, verdichtingsmaat 1,26)	165	185	160	180	155	175	150	170	145	165
Half plastisch (zetmaat 50 t/m 90 mm)	180	200	175	195	170	190	165	185	160	180
Plastisch (zetmaat 100 t/m 150 mm)	195	215	190	210	185	205	180	200	175	195

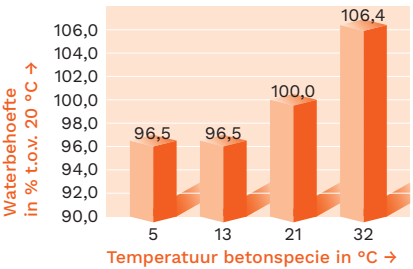
Voor hogere consistenties zijn geen richtwaarden gegeven. Een hogere consistentie dient bij voorkeur met behulp van een (super-)plastificeerder worden verkregen, dus niet door meer water toe te voegen.
De richtwaarden op zijn gebaseerd op betonspecie gemaakt met zand en grind en met een normaal fijngehalte. Een hoog fijngehalte of gebroken toeslagmateriaal vergt wat meer water. Gebruik van een luchtbelvormer verlaagt de waterbehoefte.

Invloed specietemperatuur op waterbehoefte

De specietemperatuur heeft veel invloed op de waterbehoefte, zodat in de zomer vaak aanvullende maatregelen nodig zijn om deze op peil te houden en een onvoorziene teruggang in de druksterkte kan ontstaan. Hieronder resultaten van experimenteel onderzoek aan betonspecie met CEM I 42,5 N en CEM III/B 42,5 N LH/SR met zand en grind als toeslagmateriaal.

Opvallend is de sterke toename van de waterbehoefte bij een temperatuur boven 13 °C en de geringe afname in de waterbehoefte onder deze temperatuur. De invloed van de gebruikte cementsoort op de toename in de waterbehoefte bleek verwaarloosbaar.

Relatie waterbehoefte en specietemperatuur voor zetmaat 100 mm



Sedimentatie en waterafscheiding

Na het storten en verdichten, treedt waterafscheiding op. In plaats van waterafscheiding wordt ook wel de term **bleeding** gebruikt. Een te hoog watergehalte in relatie tot de korrelopbouw van het mengsel zal tot overmatige sedimentatie en daarmee tot ontmenging leiden.
Met de volgende betontechnologische maatregelen is overmatige waterafscheiding te voorkomen.

1. Zorg voor een goede korrelopbouw.
2. Gebruik voldoende fijn materiaal; overweeg toepassing van een vulstof of luchtbelvormer.
3. Verlaag het watergehalte met behulp van een hulpstof.
4. Versnel het opstijven door cementkeuze, hulpstof of anderszins.

Let op!
Door een te sterke rem op de waterafscheiding – bijvoorbeeld door gebruik van silica fume – kunnen ernstige plastische krimpscheuren ontstaan. De wateraanvoer naar het betonoppervlak is in dat geval te gering om de verdamping te compenseren, zelfs bij goede nabehandeling.

Verwerkbaarheid in de praktijk
Stem de verwerkbaarheid af op de wijze waarop de betonspecie zal worden verwerkt en op de vorm en de afmetingen van de constructie.
Verwerkbaarheid is geen absoluut begrip. Voor verschillende verwerkingsprocessen zijn verschillende verwerkbaarheden optimaal. Tijdens het maken van de speciesamenstelling zal de betontechnoloog al moeten sturen op de verschillende eigenschappen, die gezamenlijk de verwerkbaarheid van de specie bepalen.

4.10 Transport en mengselsamenstelling

Stem de speciesamenstelling af op de benodigde transporttijd en de te verwachten transportmethode naar en op de bouwplaats of in de fabriek.

4.10.1 Transporttijd

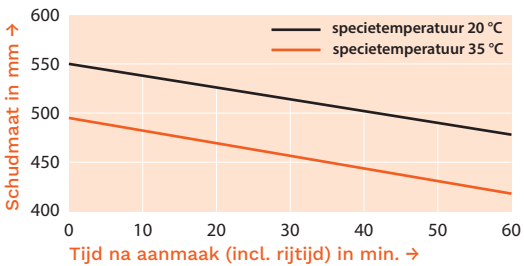
Voor de beschikbare tijd tussen laden en het moment dat het beton is verwerkt moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:
- de maximum laad- en transporttijd bedraagt 1,5 uur voor betonspecie die tijdens het transport in beweging wordt gehouden en 45 minuten als de betonspecie niet in beweging wordt gehouden of als betonspecie wordt geleverd in consistentieklasse droog of aardvochtig;
- bij aankomst op het bouwwerk dient de betonspecie de overeengekomen consistentie te bezitten en nog 30 minuten te behouden.

Is een versnelde aanvang van de binding te verwachten, bijvoorbeeld door hoge specietemperaturen, dan dient de maximum laad- en transporttijd zodanig te worden verkort dat wordt voldaan aan de hierboven genoemde voorwaarden. Bij toevoeging van een vertragende hulpstof aan de betonspecie mag worden afgeweken van de maximum laad- en transporttijden indien vooraf is aangetoond dat wordt voldaan aan de hierboven genoemde voorwaarden.

4.10.2 *Terugloop verwerkbaarheid*

Tijdens transport loopt de verwerkbaarheid van betonspecie terug. Uit Duits onderzoek is gebleken dat voor gangbare mengsels (300 kg CEM I 42,5 N per m³, grind 31,5, wcf 0,5) de terugloop in de schudmaat 1,0 tot 1,5 mm per minuut bedraagt. Deze terugloop is nagenoeg onafhankelijk van de specietemperatuur.
Maar de waterbehoefte is boven 13 °C sterk afhankelijk van de specietemperatuur, zie 4.9.3.
In de grafiek is het effect weergegeven van de specietemperaturen op de waterbehoefte, zoals gevonden bij het Duitse onderzoek. Bij hetzelfde watergehalte heeft betonspecie bij een specietemperatuur van 35 °C een veel lagere schudmaat dan betonspecie met een zelfde samenstelling bij een specietemperatuur van 20 °C. Omdat de terugloop in schudmaat in beide gevallen hetzelfde is, komt de betonspecie gemaakt met een specietemperatuur van 35 °C op het werk met een schudmaat van 450 mm (F3), terwijl de betonspecie gemaakt met een specietemperatuur van 20 °C aankomt met een schudmaat van 515 mm (F4).

Terugloop verwerkbaarheid



Let op!
Agitatie versnelt de terugloop in verwerkbaarheid.

4.10.3 Transportmethoden

Methode	Aandachtspunten
Transportmiddelen die trillen of schokken, zoals monorail, laadschop, vorkheftruck	Vraagt een stabiel mengsel. Door trillen en schokken kan droge specie uiteenvallen en natte specie ontmengen
Open kiepwagen	Geschikt voor droog en aardvochtig beton (consistentieklassen C0 en C1) Bescherm bij langere rijafstanden de specie tegen vorst, natregenen en uitdrogen
Truckmixer	Geschikt voor alle consistentieklassen hoger dan halfplastisch Kans op ontmengen is klein. De ketel moet gedurende de hele rijtijd in beweging worden gehouden
Kubel en kraan	Geschikt voor alle consistenties vanaf halfplastisch. Kans op ontmengen is klein
Betonpomp	Mits specie voldoende stabiel, geschikt voor alle consistentieklassen vanaf halfplasisch Vraagt een stabiel en voldoende gevuld mengsel. Discontinue gradering van toeslagmateriaal is af te raden Betonspecie met een (zeer) hoog luchtgehalte en/of poreus toeslagmateriaal is slecht te verpompen
Slipformpaver voor wegenbouw of betonproductenfabriek	Voor droog en aardvochtig beton. Vraagt betonspecie met zeer grote samenhang (groene sterkte) en stelt meestal ook bijzondere eisen aan korrelgradering en grootste korrelafmeting
Transportband	Alleen geschikt voor betonspecie tot met consistentie half plastisch (C2) met zeer goede samenhang. Kans op ontmengen is groot
Goot	Alleen geschikt voor plastisch beton in consistentieklasse C3 en hoger

4.11 Uitleveringsberekening

Door middel van de uitleveringsberekening kunt u vaststellen hoeveel van de verschillende grondstoffen nodig zullen zijn om 1 m^3 verdichte betonspecie te maken.

4.11.1 Werkwijze

Stap 1 Voer fase I, II en III 'Betonspecie samenstellen' (4.4.1) uit
Stap 2 Stel vast hoeveel cement en hoeveel fijne vulstof u per m^3 moet doseren
Stap 3 Bereken het volume aan cement en fijne vulstof, op basis van de volumieke massa's van deze componenten
Stap 4 Bereken het watergehalte aan de hand van de wcf/wbf, of lees deze af bij fase II punt 6
Stap 5 Schat het luchtgehalte, rekening houdend met het effect van hulpstoffen
Stap 6 Bereken het pastavolume in m^3, als ∑ volumes (cement, vulstoffen, hulpstoffen, water en lucht)
Stap 7 Bereken het volume aan toeslagmateriaal als (1 - pastavolume) m^3
Stap 8 Bereken de volumes van de verschillende fracties van het toeslagmateriaal op grond van de in fase III vastgestelde korrelverdeling
Stap 9 Als één of meerdere fracties van het toeslagmateriaal tijdens de specieproductie aanhangend vocht bevat, tel dan het gewicht van dat vocht op bij de te doseren hoeveelheid van dat toeslagmateriaal
Stap 10 Bereken de te doseren hoeveelheid aanmaakwater
Stap 11 Controleer of de som van de volumes van alle gedoseerde componenten 1 m^3 is

Het is verstandig een uitleveringsberekening systematisch te maken, dat verkleint het risico dat u iets over het hoofd ziet.

4.11.2 Uitleveringscontrole

- Bepaal volumieke massa specie (m1)
- Bepaal door weging het uitgeleverde gewicht (m2)
- Bereken het uitgeleverde volume $\frac{m2}{m1}$

4.12 Betonspecie maken

4.12.1 Doseren grondstoffen

Grondstof	Doseernauw-keurigheid	Opmerkingen
Cement	± 1,5% (m/m)	Doseren alleen door weging
Toeslagmateriaal	± 2% (m/m)	Volumetrisch doseren mag ook, maar binnen dezelfde nauwkeurigheid
Water	± 2% (m/m)	
Hulpstoffen	± 3% (m/m)	
Vulstoffen	± 2% (m/m)	

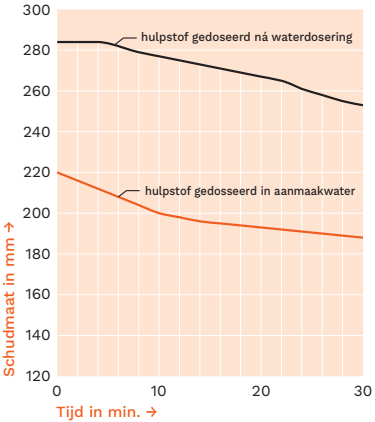
Let op!
Deze tabel wijkt af van NEN-EN 206 maar stemt overeen met NEN 8005 en BRL 1801.

4.12.2 Doseervolgorde

De volgorde waarin de grondstoffen in de menger gedoseerd moeten worden, hangt af van het type menger. De gebruikelijke volgorde: toeslagmaterialen, bindmiddelen, water, hulpstoffen werkt meestal bevredigend.

Let op!
Het is verstandig (super)plastificeerders te doseren nadat het cement bevochtigd is. In de praktijk is gebleken dat daarmee de verwerkbaarheid beter beheersbaar wordt en veel hulpstof te besparen is.
Het onderzoeksresultaat op de volgende pagina is in dit opzicht illustratief.

Invloed doseringstijdstip hulpstof



NB: Hulpstof in het laatste aanmaakwater werkt meestal ook goed.

4.12.3 Mengen

Goed en voldoende lang mengen is essentieel voor:
- een homogeen mengsel;
- geringe spreiding in specie- en betoneigenschappen;
- een optimale verwerkbaarheid;
- een optimale betondruksterkte;
- effectief hulpstofgebruik;
- effectief vulstofgebruik.

Mengtijd

Voor gangbare betonmengers, mits niet overbelast, geldt de volgende richtwaarde voor de mengtijd (ASTM C 94-94):
- Na het doseren van alle droge grondstoffen is de benodigde mengtijd nog: 80 seconden voor de eerste m^3 en 20 seconden voor elke extra m^3.

Het water moet in zijn geheel zijn toegevoegd binnen de eerste 25% van de totale mengtijd.

Voorbeeld volbelaste menger (2 m³)
Stel het doseren van toeslagmaterialen en cement vergt 15 seconden en water toevoegen vergt 5 seconden.

Totale mengtijd: 100 + 15 = 115 seconden.
Droge mengtijd: 15 + (100/4) - 5 = 35 seconden.
Natte mengtijd: 115 - 35 = 80 seconden.

4.12.4 Specietemperatuur

De temperatuur van de betonspecie hangt vooral af van de temperatuur van het toeslagmateriaal en die van het aanmaakwater, tenzij stoominjectie wordt toegepast. De cementtemperatuur heeft een geringe invloed vanwege de relatief geringe hoeveelheid en de kleine warmtecapaciteit. Stoominjectie in de menger is zeer effectief, vanwege de grote condensatiewarmte van stoom; 2260 kJ/kg.

Rekenwaarden warmtecapaciteit

Grondstof	Warmtecapaciteit (J/kg per °C)
Cement	0,84
Toeslagmateriaal	0,84
Water	4,19

Formule
De specietemperatuur kan met de volgende formule worden berekend:

$$\text{specietemperatuur} = \frac{G_w \times H_w \times t_w + G_c \times H_c \times t_c + G_t \times H_t \times t_t}{G_w \times H_w + G_c \times H_c - G_t \times H_t}$$

Hierin is:
G_w gewicht aanmaakwater;
G_c gewicht cement;
G_t gewicht toeslagmateriaal.

H_w warmtecapaciteit van het aanmaakwater;
H_c warmtecapaciteit van het cement;
H_t warmtecapaciteit van het toeslagmateriaal.

t_w temperatuur van het aanmaakwater;
t_c temperatuur van het cement;
t_t temperatuur van het toeslagmateriaal.

Rekenvoorbeeld
Samenstelling betonspecie:
- 300 kg cement;
- 150 l water;
- 1947 kg toeslagmateriaal.

Temperatuur materialen:
- cement: 40 °C;
- toeslagmateriaal: 5 °C;
- aanmaakwater: 60 °C.

$$\frac{150 \times 4{,}19 \times 60 + 300 \times 0{,}84 \times 40 + 1947 \times 0{,}84 \times 5}{150 \times 4{,}19 + 300 \times 0{,}84 + 1947 \times 0{,}84} = \frac{55967}{2516}$$

Specietemperatuur: $\frac{55967}{2516} = 22$ °C

Dit rekenvoorbeeld heeft betrekking op een gangbare mengselsamenstelling. Deze samenstelling is ook gebruikt om onderstaande tabel te berekenen.

Schatten specietemperatuur
Onderstaande tabel is goed te gebruiken om de specietemperatuur voor gangbare mengsels te schatten.

		Temperatuur aanmaakwater (°C)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
		Specietemperatuur (°C)							
temperatuur toeslagmateriaal (°C)	5	10	12	15	17	20	22	25	27
	15	16	19	21	24	26	29	31	34
	30	26	29	31	33	36	38	41	43

Let op!

- *De invloed van de cementtemperatuur op de specietemperatuur is gering; reken per 10 °C hogere cementtemperatuur op circa 1 °C hogere specietemperatuur.*
- *Bevroren toeslagmateriaal vraagt veel extra warmte vanwege de smeltwarmte van het ijs. De specietemperaturen zullen in dat geval belangrijk lager uitkomen dan op de eerste regel van de tabel staat aangegeven.*
  Ook bij stoominjectie is hiervoor extra stoom nodig.

4.12.5 Stoominjectie in de menger

Praktische rekenwaarde voor het verhogen van de specietemperatuur: per m^3 is per °C 1 kg stoom nodig.

4.13 Verharding

4.13.1 Verband verhardingstemperatuur/sterkteontwikkeling

De temperatuur waarbij het beton verhardt, heeft grote invloed op de verhardingssnelheid van jong beton en op de eindsterkte van het verharde beton. In dit verband is het volgende van belang.

- Ten opzichte van een verhardingstemperatuur van 20 °C zal een hogere temperatuur de eerste dagen tot een grotere verhardingssnelheid leiden en tot een lagere eindsterkte van het beton. Bij lagere temperaturen ontstaat een omgekeerd effect.
- De sterkteontwikkeling van jong beton verloopt ongeveer lineair met de logaritme van de rijpheid van dat beton.
- Voor elk betonmengsel kan de sterkteontwikkeling in de beginfase bij een gegeven temperatuur redelijk nauwkeurig voorspeld worden, mits van dat mengsel de relatie tussen gewogen rijpheid en sterkte bekend is.
- Het effect van een hoge of een lage verhardingstemperatuur op de eindsterkte moet door geschiktheidsonderzoek worden vastgesteld. Dit effect moet zeker niet worden onderschat!

Deze kennis is te gebruiken om te bepalen welke verhardingstemperatuur nodig is om een gewenste betonsterkte na een bepaalde tijd te bereiken en ook, welke sterkte bereikt zal zijn na een bepaalde tijd bij een bepaalde temperatuur.

4.13.2 Beïnvloeden verhardingstemperatuur

Warmteontwikkeling

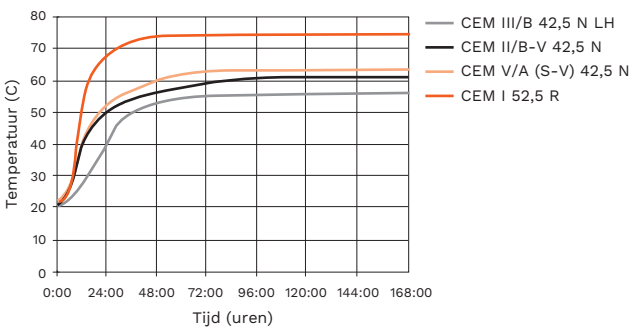
Door de hydratatiewarmte stijgt de temperatuur van verhardende betonspecie, mits de warmteproductie sneller gaat dan de warmteafvoer.

Zowel de snelheid van warmteproductie als de snelheid van de warmteafvoer is te beïnvloeden met betontechnologische en bouwtechnische maatregelen.

De hydratatiewarmte kan worden gebruikt om een vlotte verharding te bevorderen, maar het is zeker zo belangrijk te voorkomen dat door grote temperatuurverschillen de spanningen in het verhardende betonlichaam zo hoog oplopen dat scheuren ontstaan.

Om de effecten van de hydratatiewarmte op een constructie te kunnen berekenen, wordt gebruikgemaakt van de karakteristieke temperatuurontwikkeling van het toegepaste betonmengsel, de zogeheten adiabaat.
Een adiabaat geeft de temperatuurontwikkeling in verhardend beton weer, indien daarbij geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaatsvindt. De methode voor het meten van de adiabatische warmteontwikkeling van betonspecie is vastgelegd in CUR-Aanbeveling 67. De meetmethode is beschreven in Betoniek 9/23.

Voorbeeld van een adiabaat



Snelheid warmteproductie

De mate waarin de temperatuur in een betonconstructie oploopt is afhankelijk van:

Invloedsfactor	Opmerkingen
Betonsamenstelling	Van invloed zijn de cementsoort, het cementgehalte en de water-cementfactor. Een reactiever cement en/of een hoger cementgehalte zullen tot een hogere betontemperatuur leiden. Verhoging van de water-cementfactor leidt tot snellere warmteproductie, maar extra water leidt tot verhoging van de warmtecapaciteit van het beton, waardoor de temperatuurstijging wordt beperkt Daarnaast speelt de warmtecapaciteit van het toeslagmateriaal een rol. Vooral bij lichte toeslagmaterialen of schuimbeton kan de temperatuurstijging aanzienlijk zijn
Specietemperatuur	Chemische reacties worden beïnvloed door de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur des te sneller verloopt de reactie. Bij een hogere betonspecietemperatuur zal ook een hogere maximum temperatuur in het beton worden bereikt

Snelheid warmteafvoer

De snelheid waarmee de hydratatiewarmte wordt afgevoerd, is afhankelijk van:

Invloedsfactor	Opmerkingen
Omgevingscondities	De omgevingscondities bepalen onder meer hoe snel de ontwikkelde warmte wordt afgevoerd. Lage omgevingstemperaturen, wind en regen zullen een constructie sneller afkoelen. Zonbestraling kan de afkoeling van de constructie afremmen, of zelfs verder opwarmen
Afmetingen constructie	Een constructie met een kleine inhoud ten opzichte van een groot oppervlak zal de ontwikkelde warmte snel afvoeren. Constructies met een grote inhoud en een relatief klein oppervlak (platen en wanden met d ≥ 0,80 m), zogenaamde massaconstructies, zullen maar heel langzaam afkoelen
Type bekisting	De warmte uit de betonconstructie wordt via de bekisting naar de omgeving afgevoerd. Een houten bekisting biedt meer weerstand tegen dit warmteverlies dan een stalen bekisting. Het al dan niet isoleren van een bekisting speelt hierin ook een rol
Thermisch geleidingsvermogen van het beton	De eigenschappen van het toeslagmateriaal zijn van doorslaggevend belang. Betonspecie met licht toeslagmateriaal heeft een lager thermisch geleidingsvermogen dan betonspecie met grind of graniet

4.13.3 Verhardingsbeheersing van beton

Soms leidt de hydratatiewarmte tot grote temperatuurverschillen tussen kern en oppervlak van een betonconstructie, waardoor scheuren dreigen te ontstaan. Gevaarlijke temperatuurverschillen ontstaan als de snelheid waarmee de hydratatiewarmte ontstaat groter is dan de snelheid waarmee deze warmte aan het betonoppervlak wordt afgevoerd. Dit risico is het grootst bij betonconstructies met een kleine verhouding tussen oppervlak en volume, zoals bij dikke muren en massabeton. De spanningen in de constructie kunnen

worden verkleind door de snelheid waarmee de hydratatiewarmte vrijkomt, te beperken. Dit kan worden bereikt door een combinatie van maatregelen.

Maatregelen bij ontwerp

Maatregel	Opmerkingen
Beperk de afmeting van betonnen bouwdelen	Hoe groter de afmetingen, des te groter de verlenging/verkorting onder invloed van temperatuur
Voorkom verhinderde vervormingen	Nieuw beton, gestort aan reeds verhard beton, kan spanningen opleveren
Construeer 'slank'	Hoe minder massa, hoe beperkter de temperatuurontwikkeling
Zorg voor voldoende wapening met een beperkte staafdiameter op de juiste plaats	Doel van de wapening is niet het voorkomen van scheuren maar scheurbeheersing: een gelijkmatig verdeeld scheurenpatroon met beperkte scheurwijdte

Maatregelen bij betonsamenstelling

Maatregel	Opmerkingen
Pas cement toe met een lage hydratatiewarmte (LH) en beperk zo mogelijk het cementgehalte	Hierdoor wordt de totale hoeveelheid hydratatiewarmte beperkt
Verlaag de specietemperatuur	Een effectieve manier is om het toeslagmateriaal te koelen, zie 4.12.4
Pas grof toeslagmateriaal toe dat een remmende werking heeft op scheurvorming	Vervanging van riviergrind door gebroken kalksteen, porfier, zandsteen of basalt verkleint het risico op scheurvorming

Maatregelen bij uitvoering

Maatregel	Opmerkingen
Faseer de betonstorten	Daardoor kan (een gedeelte) van de opgelegde verkorting bij afkoeling van de beton onbelemmerd optreden
Kies geschikte contactbekisting en/of isolatie	Afvoer van de hydratatiewarmte is afhankelijk van de mate van isolatie van de bekisting
Beperk snelle afkoeling	Snelle afkoeling (wind, regen) is een bron van scheuren in jong beton
Voorkom ongelijkmatige verwarming	Zonbestraling en schaduw kunnen grote temperatuurgradiënten in het beton tot gevolg hebben
Beheers de temperatuur in het verhardende beton door de hydratatiewarmte af te voeren	Middels ingestorte koelbuizen wordt de hydratatiewarmte op een gecontroleerde manier afgevoerd

4.14 Gewogen rijpheid

4.14.1 *Formule en tabel*

Gewogen rijpheid (R_g) is de som van de producten van verhardingstijden en betontemperaturen over vastgestelde meetintervallen, rekening houdend met de temperatuurgevoeligheid van het bindmiddel.
Gewogen rijpheid is een effectieve methode om de sterkteontwikkeling van het beton in een constructie te volgen. Dat gebeurt door in een laboratorium de sterkteontwikkeling bij 20 °C te meten aan beton met dezelfde samenstelling. Deze methode berust op het principe dat de bereikte betonsterkte voor een betonspecie met een gegeven samenstelling op elk tijdstip een vaste relatie heeft met de gewogen rijpheid op dat tijdstip, ongeacht het temperatuurverloop waarlangs deze gewogen rijpheid werd bereikt.
In de praktijk blijkt deze methode voor jong beton betrouwbaar.

Voor een betonsamenstelling waarvan de *C*-waarde van het bindmiddel bekend is, kan de gewogen rijpheid, die gedurende 1 uur wordt opgebouwd, worden berekend met onderstaande formule, of worden afgelezen in de tabel.

$$R_g = \frac{10(C^{0,17-1,245} - C^{-2,245})}{\ln C}$$

R_g = de gewogen rijpheid van het beton na 1 uur;
T = de gemiddelde temperatuur van het beton in dat uur;
C = de *C*-waarde van het gebruikte cement of het gebruikte bindmiddel.

4.14.2 C-waarde

Cement
De *C*-waarde is het getal dat in de berekening van de gewogen rijpheid de temperatuurgevoeligheid van het bindmiddel weergeeft. Deze waarde kunt u opvragen bij de cementleverancier, of desgewenst zelf bepalen. Zie voor het zelf bepalen NEN 5970.

Mengsels van cementen of van cement met poederkoolvliegas
Bij mengsels van cementen of van cement met poederkoolvliegas gelden voor de bepaling van de *C*-waarde navolgende regels.

Mengsel	Samenstelling	Maatregel
Twee bindmiddelen met gelijke *C*-waarde	Bij elke samenstelling	Geen maatregel; *C*-waarde blijft gelden
Twee bindmiddelen met verschillende *C*-waarden	Verschil in *C*-waarde ≤ 0,2	Geen maatregel; interpoleren tussen *C*-waarden
	Verschil in C-waarde > 0,2	*C*-waarde opnieuw bepalen
Een bindmiddel dat is versneden met een ander bindmiddel	Aandeel ander bindmiddel ≤ 5%	Geen maatregel; *C*-waarde blijft gelden
	Aandeel ander bindmiddel > 5%	*C*-waarde opnieuw bepalen
Cement en poederkoolvliegas	*k*-waarde vliegas ≤ 0,2 en bindmiddel samengesteld conform NEN-EN 206/ NEN 8005	Geen maatregel; *C*-waarde van het cement blijft gelden
	Bindmiddel samengesteld conform NEN-EN 206/ NEN 8005 en *k*-waarde vliegas > 0,2	*C*-waarde opnieuw bepalen
	Alle andere mengsels van cement en vliegas	*C*-waarde opnieuw bepalen

C-waarde →

↓ Temperatuur (°C)	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	10,1	9,4	8,7	8,1	7,6	7,1	6,6	6,3	5,9	5,6	5,3	5,0	4,8	4,5	4,3	4,1	4,0	3,8	3,6
2	11,1	10,3	9,5	8,9	8,3	7,8	7,4	6,9	6,6	6,2	5,9	5,6	5,3	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1
3	12,0	11,2	10,4	9,7	9,1	8,6	8,1	7,7	7,3	6,9	6,5	6,2	6,0	5,7	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6
4	13,0	12,1	11,3	10,6	10,0	9,4	8,9	8,4	8,0	7,6	7,2	6,9	6,6	6,3	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2
5	13,9	13,0	12,2	11,5	10,8	10,2	9,7	9,2	8,7	8,3	7,9	7,6	7,3	7,0	6,7	6,4	6,2	6,0	5,8
6	14,9	14,0	13,1	12,3	11,7	11,0	10,5	10,0	9,5	9,1	8,7	8,3	8,0	7,7	7,4	7,1	6,8	6,6	6,4
7	15,9	14,9	14,0	13,2	12,5	11,9	11,3	10,8	10,3	9,8	9,4	9,1	8,7	8,4	8,1	7,8	7,5	7,3	7,1
8	16,9	15,9	15,0	14,1	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,7	10,2	9,9	9,5	9,2	8,8	8,6	8,3	8,0	7,8
9	17,8	16,8	15,9	15,1	14,3	13,7	13,1	12,5	12,0	11,5	11,1	10,7	10,3	10,0	9,6	9,3	9,1	8,8	8,5
10	18,8	17,8	16,9	16,0	15,3	14,6	14,0	13,4	12,9	12,4	12,0	11,6	11,2	10,8	10,5	10,2	9,9	9,6	9,4
11	19,8	18,8	17,8	17,0	16,2	15,5	14,9	14,3	13,8	13,3	12,9	12,5	12,1	11,7	11,4	11,1	10,8	10,5	10,2
12	20,8	19,8	18,8	18,0	17,2	16,5	15,9	15,3	14,8	14,3	13,8	13,4	13,0	12,7	12,3	12,0	11,7	11,4	11,2
13	21,8	20,8	19,8	19,0	18,2	17,5	16,9	16,3	15,8	15,3	14,8	14,4	14,0	13,7	13,3	13,0	12,7	12,5	12,2
14	22,8	21,8	20,8	20,0	19,2	18,5	17,9	17,3	16,8	16,3	15,9	15,5	15,1	14,7	14,4	14,1	13,8	13,5	13,3
15	23,8	22,8	21,9	21,0	20,3	19,6	19,0	18,4	17,9	17,4	17,0	16,6	16,2	15,9	15,5	15,2	14,9	14,7	14,4
16	24,8	23,8	22,9	22,1	21,4	20,7	20,1	19,5	19,0	18,6	18,1	17,7	17,4	17,0	16,7	16,4	16,1	15,9	15,6
17	25,9	24,9	24,0	23,2	22,4	21,8	21,2	20,7	20,2	19,7	19,3	18,9	18,6	18,3	18,0	17,7	17,4	17,2	16,9
18	26,9	25,9	25,0	24,3	23,6	22,9	22,4	21,9	21,4	21,0	20,6	20,2	19,9	19,6	19,3	19,0	18,8	18,6	18,3
19	27,9	27,0	26,1	25,4	24,7	24,1	23,6	23,1	22,6	22,2	21,9	21,5	21,2	21,0	20,7	20,5	20,2	20,0	19,8
20	29,0	28,0	27,2	26,5	25,9	25,3	24,8	24,4	23,9	23,6	23,2	22,9	22,7	22,4	22,2	22,0	21,8	21,6	21,4
21	30,0	29,1	28,4	27,7	27,1	26,6	26,1	25,7	25,3	25,0	24,7	24,4	24,2	23,9	23,7	23,6	23,4	23,3	23,2
22	31,0	30,2	29,5	28,9	28,3	27,8	27,4	27,0	26,7	26,4	26,1	25,9	25,7	25,6	25,4	25,3	25,2	25,1	25,0
23	32,1	31,3	30,6	30,1	29,6	29,1	28,7	28,4	28,1	27,9	27,7	27,5	27,4	27,3	27,2	27,1	27,0	27,0	26,9
24	33,1	32,4	31,8	31,3	30,8	30,5	30,1	29,9	29,7	29,5	29,3	29,2	29,1	29,1	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0

C-waarde →

↓ Temperatuur (°C)	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
25	34,2	33,5	33,0	32,5	32,1	31,8	31,6	31,4	31,2	31,1	31,0	31,0	30,9	31,0	31,0	31,0	31,1	31,2	31,3
26	35,3	34,7	34,2	33,8	33,5	33,2	33,1	32,9	32,8	32,8	32,8	32,8	32,9	33,0	33,1	33,2	33,3	33,5	33,7
27	36,3	35,8	35,4	35,1	34,8	34,7	34,6	34,5	34,5	34,6	34,6	34,8	34,9	35,1	35,3	35,5	35,7	36,0	36,2
28	37,4	37,0	36,6	36,4	36,2	36,2	36,1	36,2	36,3	36,4	36,6	36,8	37,0	37,3	37,6	37,9	38,2	38,6	39,0
29	38,5	38,1	37,9	37,7	37,7	37,7	37,8	37,9	38,1	38,3	38,6	38,9	39,3	39,6	40,0	40,5	40,9	41,4	41,9
30	39,6	39,3	39,2	39,1	39,1	39,3	39,4	39,7	40,0	40,3	40,7	41,1	41,6	42,1	42,6	43,2	43,8	44,4	45,0
31	40,7	40,5	40,4	40,5	40,6	40,9	41,2	41,5	41,9	42,4	42,9	43,5	44,1	44,7	45,4	46,1	46,8	47,6	48,3
32	41,8	41,7	41,8	41,9	42,2	42,5	42,9	43,4	44,0	44,6	45,2	45,9	46,7	47,5	48,3	49,1	50,0	51,0	51,9
33	42,9	42,9	43,1	43,4	43,7	44,2	44,8	45,4	46,1	46,8	47,6	48,5	49,4	50,4	51,3	52,4	53,5	54,6	55,7
34	44,0	44,1	44,4	44,8	45,3	45,9	46,6	47,4	48,3	49,2	50,1	51,2	52,3	53,4	54,6	55,8	57,1	58,4	59,8
35	45,1	45,4	45,8	46,3	47,0	47,7	48,6	49,5	50,5	51,6	52,8	54,0	55,3	56,6	58,0	59,5	61,0	62,6	64,2
36	46,2	46,6	47,2	47,8	48,6	49,6	50,6	51,7	52,9	54,2	55,5	57,0	58,5	60,0	61,7	63,4	65,1	66,9	68,8
37	47,3	47,9	48,6	49,4	50,3	51,4	52,6	53,9	55,3	56,8	58,4	60,0	61,8	63,6	65,5	67,5	69,5	71,6	73,8
38	48,5	49,1	50,0	51,0	52,1	53,4	54,7	56,2	57,9	59,6	61,4	63,3	65,3	67,4	69,6	71,8	74,2	76,6	79,1
39	49,6	50,4	51,4	52,6	53,9	55,3	56,9	58,7	60,5	62,4	64,5	66,7	69,0	71,4	73,9	76,5	79,2	81,9	84,8
40	50,8	51,7	52,9	54,2	55,7	57,4	59,2	61,1	63,2	65,4	67,8	70,3	72,9	75,6	78,4	81,4	84,4	87,6	90,9
41	51,9	53,0	54,4	55,9	57,6	59,5	61,5	63,7	66,1	68,6	71,2	74,0	76,9	80,0	83,2	86,6	90,1	93,7	97,4
42	53,1	54,3	55,9	57,6	59,5	61,6	63,9	66,4	69,0	71,8	74,8	77,9	81,2	84,7	88,3	92,1	96,0	100,1	104,4
43	54,2	55,7	57,4	59,3	61,5	63,8	66,4	69,1	72,1	75,2	78,5	82,0	85,7	89,6	93,7	97,9	102,4	107,0	111,8
44	55,4	57,0	58,9	61,1	63,5	66,1	68,9	72,0	75,2	78,7	82,4	86,3	90,5	94,8	99,4	104,1	109,1	114,4	119,8
45	56,5	58,4	60,5	62,9	65,5	68,4	71,5	74,9	78,5	82,4	86,5	90,8	95,4	100,3	105,4	110,7	116,3	122,2	128,3
46	57,7	59,7	62,1	64,7	67,6	70,8	74,2	77,9	81,9	86,2	90,7	95,6	100,7	106,1	111,7	117,7	124,0	130,5	137,4
47	58,9	61,1	63,7	66,6	69,7	73,2	77,0	81,1	85,5	90,2	95,2	100,5	106,2	112,1	118,5	125,1	132,1	139,4	147,1
48	60,1	62,5	65,3	68,4	71,9	75,7	79,9	84,3	89,2	94,3	99,8	105,7	112,0	118,6	125,6	132,9	140,7	148,9	157,5
49	61,3	63,9	67,0	70,4	74,1	78,3	82,8	87,7	93,0	98,6	104,7	111,2	118,0	125,3	133,1	141,3	149,9	159,0	168,6

C-waarde →

↓ Temperatuur (°C)	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
50	62,5	65,4	68,6	72,3	76,4	80,9	85,8	91,2	96,9	103,1	109,8	116,9	124,4	132,5	141,0	150,1	159,7	169,8	180,5
51	63,7	66,8	70,4	74,3	78,8	83,6	89,0	94,8	101,0	107,8	115,1	122,8	131,2	140,0	149,4	159,5	170,1	181,3	193,2
52	64,9	68,2	72,1	76,4	81,2	86,4	92,2	98,5	105,3	112,7	120,6	129,1	138,2	148,0	158,3	169,4	181,1	193,6	206,8
53	66,1	69,7	73,8	78,5	83,6	89,3	95,5	102,3	109,7	117,7	126,4	135,7	145,7	156,3	167,7	179,9	192,9	206,6	221,3
54	67,3	71,2	75,6	80,6	86,1	92,2	99,0	106,3	114,3	123,0	132,4	142,6	153,5	165,2	177,7	191,1	205,4	220,6	236,8
55	68,6	72,7	77,4	82,7	88,7	95,2	102,5	110,4	119,1	128,5	138,7	149,8	161,7	174,5	188,2	202,9	218,7	235,5	253,4
56	69,8	742	79,2	84,9	91,3	98,3	106,1	114,7	124,1	134,3	145,3	157,3	170,3	184,3	199,3	215,5	232,8	251,3	271,1
57	71,0	75,7	81,1	87,1	93,9	101,5	109,9	119,1	129,2	140,2	152,2	165,3	179,4	194,7	211,1	228,8	247,8	268,2	290,0
58	72,3	77,2	83,0	89,4	96,7	104,8	113,7	123,7	134,5	146,4	159,4	173,6	188,9	205,6	223,6	242,9	263,8	286,2	310,3
59	73,5	78,8	84,9	91,7	99,5	108,1	117,7	128,4	140,1	152,9	167,0	182,3	199,0	217,1	236,7	257,9	280,8	305,5	332,0
60	74,8	80,4	86,8	94,1	102,3	111,6	121,8	133,2	145,8	159,6	174,8	191,4	209,5	229,2	250,6	273,8	298,9	326,0	355,1
61	76,0	81,9	88,7	96,5	105,3	115,1	126,1	138,3	151,8	166,7	183,0	201,0	220,6	242,0	265,3	290,7	318,1	347,8	379,9
62	77,3	83,5	90,7	98,9	108,2	118,7	130,4	143,5	158,0	174,0	191,6	211,0	232,3	255,5	280,9	308,5	338,5	371,1	406,3
63	78,6	85,2	92,7	101,4	111,3	122,4	134,9	148,9	164,4	181,6	200,6	221,5	244,5	269,8	297,4	327,5	360,3	395,9	434,6
64	79,9	86,8	94,8	104,0	114,4	126,2	139,5	154,4	171,0	189,5	210,0	232,6	257,4	284,8	314,8	347,6	383,4	422,4	464,9
65	81,2	88,4	96,9	106,5	117,6	130,2	144,3	160,2	178,0	197,8	219,7	244,1	271,0	300,6	333,2	368,9	408,0	450,7	497,2
66	82,5	90,1	99,0	109,2	120,9	134,2	149,2	166,2	185,1	206,4	230,0	256,2	285,2	317,3	352,7	391,5	434,1	480,8	531,8
67	83,8	91,8	101,1	111,9	124,2	138,3	154,3	172,3	192,6	215,3	240,7	268,9	300,2	334,9	373,3	415,5	461,9	512,9	568,8
68	85,1	93,4	103,2	114,6	127,6	142,6	159,5	178,7	200,3	224,6	251,8	282,2	316,0	353,5	395,0	440,9	491,5	547,2	608,3
69	86,4	95,2	105,4	117,4	131,1	146,9	164,9	185,3	208,4	234,3	263,5	296,1	332,5	373,1	418,1	467,9	523,0	583,7	650,5
70	87,7	96,9	107,6	120,2	134,7	151,4	170,4	192,1	216,7	244,4	275,7	310,7	349,9	393,7	442,4	496,5	556,4	622,6	695,7
71	89,0	98,6	109,9	123,1	138,4	156,0	176,1	199,2	225,3	255,0	288,4	326,0	368,2	415,5	468,2	526,8	592,0	664,1	743,9
72	90,4	100,4	112,2	126,0	142,1	160,7	182,0	206,5	234,3	265,9	301,7	342,1	387,5	438,4	495,4	559,0	629,8	708,4	795,6
73	91,7	102,1	114,5	129,0	145,9	165,5	188,1	214,0	243,6	277,3	315,6	358,9	407,7	462,6	524,2	593,1	670,0	755,6	850,7
74	93,1	103,9	116,8	132,0	149,8	170,5	194,3	221,8	253,3	289,2	330,1	376,5	429,0	488,2	554,7	629,3	712,8	806,0	909,7

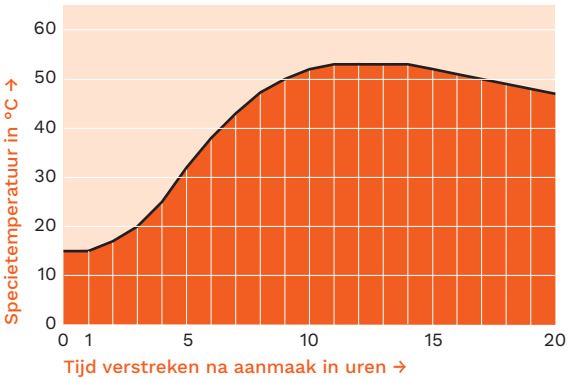
C-waarde →

↓ Temperatuur (°C)	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
75	94,4	105,7	119,2	135,1	153,8	175,6	200,8	229,9	263,3	301,6	345,3	395,0	451,4	515,1	586,9	667,7	758,3	859,6	972,8
76	95,8	107,6	121,6	138,3	157,9	180,8	207,4	238,2	273,7	314,5	361,2	414,4	474,9	543,5	621,0	708,4	806,6	916,9	1040,2
77	97,1	109,4	124,1	141,5	162,1	186,2	214,2	246,8	284,5	327,9	377,7	434,7	499,6	573,4	657,0	751,5	858,1	977,9	1112,3
78	98,5	111,3	126,6	144,8	166,3	191,7	221,3	255,8	295,7	341,9	395,0	455,9	525,6	604,9	695,1	797,3	912,8	1042,9	1189,3
79	99,9	113,1	129,1	148,1	170,7	197,3	228,5	265,0	307,4	356,5	413,1	478,2	552,9	638,2	735,4	845,8	971,0	1112,3	1271,7
80	101,3	115,0	131,6	151,5	175,2	203,1	236,0	274,5	319,5	371,6	432,0	501,6	581,6	673,3	778,0	897,3	1032,8	1186,3	1359,7
81	102,7	116,9	134,2	155,0	179,7	209,1	243,7	284,4	332,0	387,4	451,7	526,1	611,8	710,3	823,1	951,9	1098,6	1265,2	1453,9
82	104,1	118,9	136,9	158,5	184,4	215,2	251,7	294,6	345,0	403,8	472,3	551,8	643,6	749,3	870,8	1009,8	1168,6	1349,3	1554,5
83	105,5	120,8	139,5	162,1	189,2	221,5	259,9	305,2	358,5	421,0	493,9	578,7	677,0	790,5	921,2	1071,2	1243,0	1439,0	1662,1
84	106,9	122,8	142,2	165,7	194,1	227,9	268,3	316,1	372,5	438,8	516,4	606,9	712,1	833,9	974,5	1136,4	1322,1	1534,6	1777,1
85	108,3	124,8	144,9	169,5	199,0	234,6	277,0	327,4	387,1	457,4	539,9	636,4	749,0	879,6	1030,9	1205,4	1406,3	1636,6	1900,1
86	109,7	126,8	147,7	173,2	204,2	241,4	285,9	339,1	402,1	476,7	564,5	667,4	787,8	927,9	1090,5	1278,7	1495,7	1745,3	2031,5
87	111,2	128,8	150,5	177,1	209,4	248,3	295,2	351,2	417,8	496,8	590,2	699,9	828,5	978,8	1153,6	1356,4	1590,9	1861,3	2172,1
88	112,6	130,9	153,4	181,0	214,7	255,5	304,7	363,7	434,1	517,8	617,0	733,9	871,4	1032,4	1220,3	1438,8	1692,1	1984,9	2322,3
89	114,1	132,9	156,3	185,0	220,2	262,9	314,5	376,6	450,9	539,6	645,0	769,6	916,5	1089,0	1290,8	1526,2	1799,7	2116,7	2482,9
90	115,5	135,0	159,2	189,1	225,7	270,4	324,6	389,9	468,5	562,4	674,3	807,0	963,9	1148,6	1365,4	1618,8	1914,2	2257,3	2654,6
91	117,0	137,1	162,2	193,3	231,5	278,2	335,0	403,8	486,6	586,1	704,9	846,2	1013,7	1211,5	1444,3	1717,1	2035,9	2407,2	2838,2
92	118,5	139,2	165,2	197,5	237,3	286,1	345,7	418,1	505,5	610,7	736,8	887,3	1066,1	1277,9	1527,7	1821,3	2165,3	2567,0	3034,5
93	119,9	141,4	168,3	201,8	243,3	294,3	356,7	432,8	525,1	636,4	770,2	930,3	1121,2	1347,8	1615,9	1931,9	2303,0	2737,4	3244,3
94	121,4	143,5	171,4	206,2	249,4	302,7	368,1	448,1	545,4	663,2	805,1	975,5	1179,1	1421,6	1709,2	2049,1	2449,4	2919,1	3468,6
95	122,9	145,7	174,5	210,6	255,6	311,3	379,9	463,9	566,5	691,0	841,6	1022,8	1240,0	1499,4	1807,9	2173,4	2605,0	3112,9	3708,3

4.14.3 Voorbeeld berekening gewogen rijpheid

De temperatuur van het verhardend beton verloopt volgens onderstaande grafiek; de C-waarde van het gebruikte bindmiddel is 1,45.
Wat is de gewogen rijpheid na 14 uur?

Voorbeeld gewogen rijpheid



De temperatuur wordt continu gemeten en de temperatuurveranderingen zijn niet erg groot, dus gebruiken we het maximaal toegestane meetinterval van 1 uur. Bij een zeer steil temperatuurverloop kan dat te onnauwkeurig worden. In dat geval is het beter kortere meetintervallen te gebruiken.

Werkwijze
De in dit voorbeeld gevonden waarden zijn ingevuld in de hierna volgende tabel. Een dergelijke tabel is een goed hulpmiddel bij het berekenen van de gewogen rijpheid.

- Lees de specietemperatuur aan het eind van elk meetinterval af op de grafiek en noteer de waarde in kolom 2.
- Noteer de totaal verstreken tijd vanaf het begin van de meting in kolom 3.
- Schat of bereken de gemiddelde specietemperatuur van het meetinterval voorafgaand aan elk meetpunt en noteer die waarde in kolom 4.

- Bereken de gewogen rijpheid die hoort bij de temperatuur van kolom 4 en bij de C-waarde van het bindmiddel. In dit geval is deze C-waarde 1,45. Deze waarde kunt u ook aflezen in de C-waarden tabel in de kolom 1,45.
- Noteer de gevonden of berekende rijpheden in kolom 5 (zie 'Let op').
- Tel de waarden uit kolom 5 op en noteer ze in kolom 6.

In dit geval is de gewogen rijpheid na 14 uur 954 °Ch.

Let op!

Bij een kleiner meetinterval dan 1 uur moet u de gewogen rijpheid eerst omrekenen naar 1 uur, voordat u kolom 5 invult. Als het meetinterval bijvoorbeeld een half uur was en u vindt 19 °C als gemiddelde van het eerste halfuur en 23 °C als gemiddelde van het tweede halfuur, dan berekent u de gewogen rijpheid voor het voorafgaande uur als volgt: 22,6/2 + 28,1/2 = 25,6 °Ch.

Tijd (uur)	Specie-tempera-tuur (°C)	Ouder-dom (uur)	Gemiddelde specietemperatuur van dit uur (°C)	Gewogen rijpheid (°Ch)	
				Van dit uur	Gesom-meerd
1	2	3	4	5	6
0	15	0	–	0	0
1	15	1	15	17,9	17,9
2	17	2	16	19,0	36,9
3	20	3	19	22,6	59,5
4	25	4	23	28,1	87,6
5	32	5	29	38,1	125,7
6	38	6	35	50,5	176,2
7	43	7	41	66,1	242,3
8	47	8	45	78,5	320,8
9	50	9	49	93,0	411,8
10	52	10	51	100,9	514,7
11	53	11	53	109,7	624,4
12	53	12	53	109,7	734,1
13	53	13	53	109,7	843,8
14	53	14	53	109,7	**953,5**

4.14.4 *IJkgrafiek*

Samenstelling en gebruik

Stap	Activiteit	Toelichting
1	Vraag op bij welke betonsterkte men wil ontkisten of voorspannen	• De ijkgrafiek is alleen geldig in het gebied waarvoor hij gemaakt is; extrapoleren is onbetrouwbaar
2	Zorg dat de *C*-waarde van het bindmiddel bekend is	• Voor cement op te vragen bij de fabrikant, maar voor mengsels van cementen of van cement met poederkoolvliegas moet u zelf de *C*-waarde bepalen. Gebruik hiervoor NEN 5970 • De *C*-waarde moet minimaal 1 maal per jaar gecontroleerd worden. Het ligt voor de hand de *C*-waarde frequenter te controleren als daar aanleiding voor is; bijvoorbeeld bij gebruik van mengsels van cement en poederkoolvliegas
3	Bepaal het verband tussen de kubusdruksterkte en de logaritme van de gewogen rijpheid voor het te gebruiken mengsel	• Zorg ervoor dat de voor de ijking gebruikte druksterkten niet meer dan ± 8 N/mm² van de gevraagde beton sterkte (stap 1) afwijken • Schat hoeveel tijd kubussen in de waterbak bij 20 °C nodig zullen hebben om de gevraagde sterkte van stap 1 te bereiken • Maak vijf of meer kubussen, zet die in de waterbak en bepaal de druksterkte van de verschillende kubussen op tijdstippen die voor en na de geschatte tijd liggen. • Bereken voor elke kubus de gewogen rijpheid op het moment van drukken • Schrijf voor elke kubus in een tabel de druksterkte, de gewogen rijpheid en de logaritme van de gewogen rijpheid naast elkaar

Stap	Activiteit	Toelichting
4	Teken de regressielijn op grond van punt 3	• Zet de waarden voor de logaritme van de gewogen rijpheid uit de tabel van punt 3 uit op de x-as, en de bijbehorende druksterkten op lineaire schaal op de y-as • Bereken de regressielijn; in bijlage 4 van Stutech-rapport 19 staat een voorbeeld
5	Teken in de grafiek een ijklijn, op basis van de standaardafwijking van de meting of de processtandaardafwijking van de productielocatie	• Bereken de in uw geval geldende standaardafwijking en teken de ijklijn in de grafiek. Gebruik NEN 5970. In bijlage 8 van Stutechrapport 19 staat een voorbeeld
6	Bepaal de gewogen rijpheid van het beton in de constructie op grond van het in de constructie gemeten temperatuurverloop vanaf het moment van storten	• Het is dus essentieel de betontemperatuur te laten meten vanaf het begin; dan nog maakt u een kleine fout door de tijdens het transport opgebouwde rijpheid te verwaarlozen • Er zijn rijpheidcomputers in de handel, die op grond van de gemeten temperaturen de gewogen rijpheid direct berekenen. ***Controleer in dat geval altijd of de juiste C-waarde is ingevoerd!***
7	Bepaal de bereikte druksterkte van het beton in de constructie	• Lees in de grafiek de betonsterkte af, die hoort bij de gewogen rijpheid van stap 6

Controle

De ijkgrafiek moet regelmatig worden gecontroleerd op basis van minimaal één proefkubus:

- normaliter minimaal éénmaal per twee weken;
- als de productiecharges meer dan twee weken, maar minder dan drie maanden uiteenliggen. Controle bij begin nieuwe productiecharge;
- bij meer dan drie maanden tussentijd, nieuwe ijkgrafiek maken;
- u mag altijd een nieuwe ijkgrafiek maken, als u dat nodig vindt.

Werkwijze:

- Maak een of meer kubussen van het te controleren betonrecept;
- Plaats de kubussen in de waterbak en haal ze eruit op een moment dat de gewogen rijpheid ervan in het meetgebied van de ijkgrafiek valt;
- Vul de druksterkten en de gewogen rijpheden in op de ijkgrafiek;
- Kijk of de ingevulde meetpunten binnen ± 1× de standaardafwijking van de regressielijn liggen.

Aanpassing

Controleresultaat	Activiteit	Opmerkingen
Eén van de gemeten druksterkten ligt buiten het 1 × standaardafwijking gebied ten opzichte van de regressielijn	De ijkgrafiek kan gehandhaafd worden, mits de overige druksterkten binnen het gebied liggen	Als de controle met één kubus is uitgevoerd, moet nu een tweede gemaakt worden. Ligt de druksterkte daarvan binnen het gebied, dan kan de ijkgrafiek gehandhaafd worden
Meer dan één van de gemeten druksterkten ligt buiten het 1 × standaardafwijkinggebied	De regressielijn moet opnieuw berekend worden en teken de nieuwe ijklijn	
Van een aaneensluitende serie van twaalf of meer controlemetingen valt geen enkel resultaat buiten het 1 × standaardafwijkinggebied	Er mag een geheel nieuwe ijkgrafiek gemaakt worden gebaseerd op ten minste de laatste twaalf druksterkten	Dit levert vaak een ijkgrafiek die betrouwbaarder is dan de oorspronkelijke

4.15 Nabehandelen

Betonspecie en jong beton moeten worden beschermd tegen beschadiging en tegen uitdrogen. NEN-EN 13670, Uitvoering van betonconstructies geeft hiervoor aanwijzingen.

4.15.1 *Nabehandelen en beschermen*

Het jonge beton moet effectief beschermd worden tegen uitdrogen en beschadiging; over de te nemen maatregelen moet bij voorkeur vooraf overeenstemming tussen betrokkenen zijn bereikt.

Beschermen tegen	Mogelijke maatregelen
Uitdrogen	• Voorkom waterverlies door de betonspecie af te dekken met plastic folie of natte doeken, door de specie nat te houden, de bekisting te laten staan of door het aanbrengen van een 'curing compound' • De benodigde nabehandelingstijd is beschreven in 4.15.2
Te grote temperatuurspanningen	• Voorkom te snelle temperatuurstijging bij verwarmen • Voorkom te snelle afkoeling na het ontkisten in de winter door middel van isolatie • Voorkom sterke, eenzijdige verwarming door zoninstraling of sterke eenzijdige afkoeling in de winter • Neem bij dikke betonconstructies verhardingsbeheersingsmaatregelen
Mechanische beschadiging	• Bekisting lang genoeg laten staan • Goede hekken en zo nodig bewaking op de bouwplaats • Niet trillen direct naast zeer jong beton • Bescherm het oppervlak minimaal 1 dag tegen regen
Vorstschade	• Isoleer zeer jong beton tot een sterkte van 5 N/mm² bereikt is
Vervuilen en verkleuren	• Betonvlakken waarboven of waarlangs gewerkt wordt, beschermen met folie of dekzeilen

4.15.2 Bepalen nabehandelingstijd

Nabehandelingsduur

De nabehandelingsduur is afhankelijk van de ontwikkeling van de eigenschappen van het beton specifiek in de dekkingszone. Deze ontwikkeling wordt vastgelegd door het definiëren van nabehandelingsklassen op basis van tijdsduur of op basis van een percentage van de karakteristieke druksterkte na 28 dagen.
De nabehandelingsklasse die moet worden aangehouden moet zijn aangegeven in de projectspecificaties.

Nabehandelingsklassen volgens NEN-EN 13670

	Nabehandelingsklassen			
	1	2	3	4
Nabehandelingsduur in uren	12 *)	Niet van toepassing	Niet van toepassing	Niet van toepassing
Percentage van de voorgeschreven karakteristiek druksterkte	Niet van toepassing	35%	50%	70%

**) Ervan uitgaande dat begin binding binnen 5 uur optreedt en dat temperatuur van het betonoppervlak groter of gelijk aan 5 °C is*

Bepalen van de in het werk bereikte betonsterkte

De betondruksterkte mag worden geschat op grond van de kubusdruksterkte afgeleid met behulp van de methode van de Gewogen Rijpheid.
Als de in tabellen F1, F2 en F3 van NEN-EN 13670 gegeven nabehandelingsduur wordt aangehouden, mag worden aangenomen dat de benodigde betonsterkte is bereikt.

Let op!

De tabellen kunnen alleen gebruikt worden als de benodigde gegevens over de sterkteontwikkeling vooraf bekend zijn.

Sterkteontwikkeling van beton bij 20 °C volgens NEN-EN 206

Sterkteontwikkeling	Sterkteverhouding $f_{cm,2}/f_{cm,28}$
snel	≥ 0,50
normaal	≥ 0,30 - < 0,50
langzaam	≥ 0,15 - < 0,30
zeer langzaam	< 0,15

Tabel F.1 van NEN-EN 13670

Minimum nabehandelingsduur voor nabehandelingsklasse 2 (overeenkomend met een sterkte van het beton in de dekkingszone gelijk of groter dan 35% van de voorgeschreven karakteristieke sterkte).

Temperatuur (t) van het betonoppervlak in °C	Minimum periode van nabehandeling in dagen[a)]		
	Sterkteontwikkeling beton[c) en d)] $f_{cm,2}/f_{cm,28} = r$		
	snel $r \geq 0,50$	normaal $0,50 > r \geq 0,30$	langzaam $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$[b)]	2,0	5	11

a) Voor iedere periode na begin binding voor zover deze langer duurt dan 5 uur.
b) Bij temperaturen lager dan 5 °C moet de duur van de nabehandeling worden verlengd met een periode gelijk aan die waarin de temperatuur lager dan 5 °C was.
c) De sterkteontwikkeling van beton is de verhouding tussen gemiddelde druksterkte na 2 dagen en de gemiddelde druksterkte na 28 dagen bepaald op basis van een geschiktheidsonderzoek of gebaseerd op eerdere gegevens van beton met een vergelijkbare samenstelling (zie NEN-EN 206).
d) Voor beton met een zeer langzame sterkteontwikkeling moet in de projectspecificaties aanvullende eisen worden opgenomen.

Tabel F.2 van NEN-EN 13670

Minimum nabehandelingsduur voor nabehandelingsklasse 3 (overeenkomend met een sterkte van het beton in de dekkingszone gelijk of groter dan 50% van de voorgeschreven karakteristieke sterkte).

Temperatuur (t) van het betonoppervlak in °C	Minimum periode van nabehandeling in dagen[a)]		
	Sterkteontwikkeling beton[c) en d)] $f_{cm,2}/f_{cm,28} = r$		
	snel $r \geq 0{,}50$	normaal $0{,}50 > r \geq 0{,}30$	langzaam $0{,}30 > r \geq 0{,}15$
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$[b)]	3,5	9	18

a) Voor iedere periode na begin binding voor zover deze langer duurt dan 5 uur.
b) Bij temperaturen lager dan 5 °C moet de duur van de nabehandeling worden verlengd met een periode gelijk aan die waarin de temperatuur lager dan 5 °C was.
c) De sterkteontwikkeling van beton is de verhouding tussen gemiddelde druksterkte na 2 dagen en de gemiddelde druksterkte na 28 dagen bepaald op basis van een geschiktheidsonderzoek of gebaseerd op eerdere gegevens van beton met een vergelijkbare samenstelling (zie NEN-EN 206).
d) Voor beton met een zeer langzame sterkteontwikkeling moet in de projectspecificaties aanvullende eisen worden opgenomen.

Tabel F.3 van NEN-EN 13670

Minimum nabehandelingsduur voor nabehandelingsklasse 4 (overeenkomend met een sterkte van het beton in de dekkingszone gelijk of groter dan 70% van de voorgeschreven karakteristieke sterkte).

Temperatuur (t) van het betonoppervlak in °C	Minimum periode van nabehandeling in dagen[a]		
	Sterkteontwikkeling beton[c] en [d] $f_{cm,2}/f_{cm,28} = r$		
	snel $r \geq 0{,}50$	normaal $0{,}50 > r \geq 0{,}30$	langzaam $0{,}30 > r \geq 0{,}15$
$t \geq 25$	3	5	6
$25 > t \geq 15$	5	9	12
$15 > t \geq 10$	7	13	21
$10 > t \geq 5$[b]	9	18	30

a) Voor iedere periode na begin binding voor zover deze langer duurt dan 5 uur.
b) Bij temperaturen lager dan 5°C moet de duur van de nabehandeling worden verlengd met een periode gelijk aan die waarin de temperatuur lager dan 5°C was.
c) De sterkteontwikkeling van beton is de verhouding tussen gemiddelde druksterkte na 2 dagen en de gemiddelde druksterkte na 28 dagen bepaald op basis van een geschiktheidsonderzoek of gebaseerd op eerdere gegevens van beton met een vergelijkbare samenstelling (zie NEN-EN 206).
d) Voor beton met een zeer langzame sterkteontwikkeling moet in de projectspecificaties aanvullende eisen worden opgenomen.

4.16 Bepalen ontkistingstijdstip

4.16.1 Via bereikte betonsterkte

- Zijbekisting mag weg bij de ontkistingssterkte die de constructeur op de tekening heeft gezet; mits de betonsterkte ≥ 3,5 N/mm² is.
- De dragende bekisting mag weg bij de ontkistingssterkte die de constructeur op de tekening heeft gezet; mits de betonsterkte ≥ 14 N/mm² is.

4.16.2 *Volgens art. 5.7. van NEN-EN 13670*

Als op tekening geen ontkistingssterkte is aangegeven, mag pas worden ontkist indien aan alle in dit artikel genoemde voorwaarden wordt voldaan.

Sterkteklasse	Minimale ontkistingssterkte (N/mm²)
C 12/15	18
C 20/25	25
C 30/37	33
C 35/45	40
C 45/55	47
C 53/65	54

4.16.3 *Via minimum aantal verhardingsdagen*

Let op!
Een verhardingsdag is een dag waarop de gemiddelde etmaaltemperatuur ≥ 4 °C is.

Sterkteklasse cement	Ontkistingstijd in dagen		
	Zijbekisting van balken, wanden en kolommen	Onderbekisting van vloeren en balken	
		overspanning ≤ 3 m	overspanning ≤ 3 m
32,5 N en R	3	8	20
42,5 N en R	2	5	10
52,5 N en R	1	3	6

4.16.4 *Richtwaarden minimum aantal verhardingsdagen voor beton met hoogovencement met een lage beginsterkte*

NEN-EN 197-1 definieert de sterkteklasse L specifiek voor hoogovencement met een lage beginsterkte.

Wanneer dit cement in beton wordt toegepast, kunnen de volgende richtwaarden voor het minimum aantal verhardingsdagen worden aangehouden:

Sterkteklasse cement	Ontkistingstijd in dagen		
	Zijbekisting van balken, wanden en kolommen	Onderbekisting van vloeren en balken	
		overspanning ≤ 3 m	overspanning ≤ 3 m
32,5 L	4	10	30
42,5 L	3	8	20
52,5 L	2	5	10

4.17 Bepalen betonsterkte in het werk

De betonsterkte in het werk mag op drie manieren worden bepaald (gebaseerd op ten minste drie temperatuurmetingen of tenminste drie kubussen):
1. De methode van de gewogen rijpheid volgens NEN 5970;
2. De verhardingsproef met temperatuurregeling volgens NEN 5989;
3. De verhardingsproef volgens NEN 5988.

Let op!
De hier genoemde methoden worden voornamelijk gebruikt voor de bepaling van het tijdstip van ontkisten, het tijdstip van (gedeeltelijk) belasten en het tijdstip van (gedeeltelijk) voorspannen van constructies.

4.18 Werken in de winter

Let op!
Doorwerken bij weerfase 2 en hoger mag alleen als dat voor het invallen van de winter is besloten en als alle voor het doorwerken benodigde materialen en apparatuur voor de winter op het werk zijn aangevoerd. Bij het besluit hoort zeker gedegen vooroverleg met de plaatselijke centrale!

4.18.1 Weerfasen en maatregelen

Weer-fase	Gemiddelde temperatuur in °C			Maatregelen ter bescherming van vers gestorte betonoppervlakken
	Tussen 9 uur 's morgens en 9 uur de volgende morgen	Temperatuur in de nacht		
		Op de meeste plaatsen	Op vele plaatsen	
0	≥ 4	≥ -1	–	Geen eisen, maar afdekken of beschermen kan verstandig zijn
1	≥ 4	–	< -1	Geen eisen, maar afdekken of beschermen is aan te raden
2	0 tot 4	≥ -2	–	Afdekken en isoleren tot 5 N/mm² is bereikt. Bij harde wind geldt weerfase 3
3	0 tot 4	–	< -2	Afdekken en isoleren en daarnaast **of** warmte toevoeren **of** verwarmde specie gebruiken **of** cement met hoge hydratatiewarmte gebruiken **of** wcf verlagen. De maatregelen handhaven tot een betonsterkte van 5 N/mm² is bereikt
4	< 0	≥ -5	–	Als weerfase 3; maar specietemperatuur bij storten ≥ 10 °C en temperatuur betonoppervlak boven 4 °C houden, tot een betonsterkte van 5 N/mm² is bereikt
5	< 0	–	-5 tot -10	Als weerfase 4; reken erop dat warmtetoevoer nodig zal zijn om de temperatuur van het betonoppervlak overal boven 4 °C te houden
6	< 0	–	< -10	Bereiden specie, storten, afwerken en nabehandelen mag alleen in omhulde ruimte bij ≥ 8 °C

4.18.2 *Bouwweerbericht*

Bouwweerberichten kunnen zowel via internet, via apps, als telefonisch worden opgevraagd. Het bouwweerbericht is gekoppeld aan de postcode van de bouwlocatie.

Weerfase-aanduiding
Het storten van betonspecie bij lage temperaturen en bij vorst brengt nogal wat risico's met zich mee. Om op de juiste wijze betonspecie te storten, verwerken en na te behandelen is het van belang op de hoogte te zijn van de temperatuur. Het begrip 'weerfase' is hiervoor ingevoerd. Hierin geeft een cijfer aan met welke temperaturen overdag en 's nachts rekening gehouden moet worden. Niet alleen temperaturen maar ook elementen als neerslag en relatieve vochtigheid, zijn van groot belang.

Let op!
Zie ook 3.4.7 'Aanvullende maatregelen bij vriezend weer'.

4.19 Werken in de zomer

Bij kou kunnen slimme toevoegingen in betonspecie helpen om verantwoord te storten en het gewenste eindresultaat te bereiken. Bij storten onder zomerse omstandigheden (warm en droog) moeten betoncentrale en aannemer eveneens hun maatregelen treffen.

Vanaf 20 °C of meer kan betonspecie zijn verwerkbaarheid snel verliezen. Dit is het gevolg van de chemische reactie tussen cement en water. Deze reactie wordt beïnvloed door temperatuur en bij hoge temperaturen verloopt dit veel sneller dan bij lage temperaturen. Het is belangrijk om als aannemer hiermee bij het opstellen van stortplannen rekening te houden. De betonspecie dient zonder oponthoud direct na aankomst op de bouwplaats binnen de kortst mogelijke termijn verwerkt te worden.
De betoncentrale zal bij voorkeur een CEM III/B (hoogovencement) toepassen, het cementgehalte beperken en een (super)plastificeerder met vertragende werking toevoegen.

Een ander aandachtspunt is nabehandeling van vers gestort beton. Zie 3.4.8. Dit is altijd belangrijk, maar onder zomerse omstandigheden moet

hier zo spoedig mogelijk mee begonnen worden. Indien dit te lang op zich laat wachten is het kwaad al geschied met alle negatieve gevolgen voor de betonkwaliteit (sterkte en duurzaamheid). Bij hoge temperaturen en een lage luchtvochtigheid in combinatie met wind kan er zeer snel water uit het beton verdampen. Water dat nodig is om met het cement te reageren tot een duurzaam en sterk product.
Het is verder van het grootste belang dat betoncentrale en aannemer in nauw overleg hun maatregelen op elkaar afstemmen.

5 Controle en keuring

5.1 Definities

5.1.1 Controle

Een productieproces bestaat uit het aankopen, aanvoeren en bewerken van grondstoffen en het afleveren van het product of halffabrikaat.
Elke activiteit in een productieproces is onderhevig aan variatie (spreiding). Het effect hiervan heeft invloed op één of meerdere eigenschappen van het eindproduct.

Controle: dient er toe om er bij alle processtappen op toe te zien dat de afwijking van de streefwaarde niet zo groot wordt dat het realiseren van de gewenste producteigenschappen in gevaar komt.

Controleren: leidt tot aanpassingen tijdens de productie om afkeuren te voorkomen.

5.1.2 Keuring

Elk product moet een aantal eigenschappen hebben om bruikbaar te zijn. Zo moet een tentdak ten minste waterdicht zijn en bestand zijn tegen harde wind.

Voor betonspecie en beton komen opdrachtgever en leverancier de gewenste eigenschappen overeen. Zo'n overeenkomst verwijst hiervoor meestal naar technische specificaties, normen en voorschriften.

Keuring: dient om vast te stellen of een product of halffabrikaat de overeengekomen eigenschappen heeft.

Keuren: leidt tot goed- of afkeuren.

Let op!
In de betonindustrie moeten controle en keuring worden uitgevoerd door, of onder verantwoordelijkheid van een gediplomeerd betontechnoloog. Als de betontechnoloog de proeven niet zelf uitvoert, moeten ze worden uitgevoerd door een gediplomeerd betonlaborant.

5.2 Beoordelingsrichtlijnen en kwaliteitsverklaringen

5.2.1 Beoordelingsrichtlijn

Een beoordelingsrichtlijn (BRL) is een document waarin de voorwaarden zijn vastgelegd waaraan de producent, het productieproces en het product moeten voldoen om een certificaat te krijgen en te behouden.
Een BRL wordt vastgesteld door een college van deskundigen uit de betreffende branche.

5.2.2 Kwaliteitsverklaring

Een kwaliteitsverklaring is een verklaring dat een met name genoemd product of productieproces voldoet aan objectief vastgelegde kwaliteitscriteria. In de bouwsector worden vier verschillende typen KOMO kwaliteitsverklaringen afgegeven.

1 KOMO kwaliteitsverklaring voor productcertificatie
Een KOMO kwaliteitsverklaring voor een product verklaart dat het betreffende product overeenstemt met de technische specificatie die in de kwaliteitsverklaring is opgenomen en/of voldoet aan de vermelde eisen ten aanzien van de 'essentiële' kenmerken. Daarnaast worden waarden gedeclareerd ten aanzien van productkenmerken waarop geen CE-markering van toepassing is. De verklaring is gebaseerd op de eisen die zijn opgenomen in de beoordelingsrichtlijn voor het betreffende product waarin het volgende is geregeld:

- Aan welke eisen voldaan moet worden;
- Welke toleranties zijn toegestaan;
- Aan welke eisen het kwaliteitssysteem ten aanzien van de productie moet voldoen;
- Een beoordeling van verwerkingsvoorschriften.

2 KOMO attest voor de prestaties van een product in zijn toepassing
Een KOMO-attest is een kwaliteitsverklaring die de prestaties in zijn toepassing beschrijft van een bouwproduct, een bouwelement of een bouwsysteem. Deze prestaties omvatten alle aspecten in de toepassing die van belang zijn om kwaliteit te waarborgen en faalkosten te reduceren. In het attest is aangegeven onder welke voorwaarden een product, bouwelement of het bouwsysteem geschikt is voor de beoogde toepassing. Het is een eenmalige beoordeling met een maximale geldigheid van 5 jaar. Het attest is het bewijs

dat het bouwproduct, bouwelement of bouwsysteem in zijn toepassing voldoet aan de relevante Nederlandse regelgeving zoals het Bouwbesluit 2012. Een attest bevat de volgende basiselementen:

- De technische specificatie en productkenmerken waaraan een product, bouwelement of bouwsysteem moet voldoen;
- Het bouwdeel waarin het product kan worden toegepast;
- De toepassingsvoorwaarden;
- De uitvoeringsvoorschriften;
- De prestaties in de toepassing.

3 KOMO kwaliteitsverklaring voor procescertificatie

Onder een proces kan worden verstaan:

- het aanbrengen, installeren, monteren, produceren en verwerken van producten;
- gebruik en beheer van gebouwen / infrastructuur;
- uitvoeren van diensten t.b.v. gebouwen / infrastructuur.

In een KOMO kwaliteitsverklaring voor een proces wordt verklaard dat het proces overeenstemt met de eisen zoals opgenomen in de beoordelingsrichtlijn. Er mag verwacht worden dat het eindresultaat voldoet aan de gestelde eisen.

4 KOMO managementsysteemcertificaat

Een KOMO managementsysteem kan alleen worden afgegeven voor enkele specifieke diensten. In een KOMO managementsysteemcertificaat wordt verklaard dat het managementsysteem van de betreffende organisatie voldoet aan de eisen zoals opgenomen in de beoordelingsrichtlijn voor de betreffende dienst. Onder diensten worden onder andere toetsing en toezicht verstaan.

Let op!

Bij gecertificeerde productieprocessen mogen bepaalde productiecontroles minder frequent worden uitgevoerd dan de betreffende norm voorschrijft. Bij de aflevering van betonmortel kan de afnamecontrole zelfs geheel achterwege blijven als de betoncentrale gecertificeerd is.

5.2.3 CE-markering

De afleveringsdocumenten van een aantal materialen dienen te zijn voorzien van de CE-markering. Het betreft materialen die onder een aantal geharmoniseerde Europese normen vallen. Voor zover gerelateerd aan beton en/of grondstoffen voor beton betreft dat onder meer:

- cement;
- hulpstoffen;
- toeslagmaterialen voor beton;
- toeslagmaterialen voor mortel;
- licht toeslagmateriaal voor beton, mortel en grouts;
- metselmortels;
- poederkoolvliegas voor toepassing in beton;
- gemalen gegranuleerde hoogovenslak voor toepassing in beton.

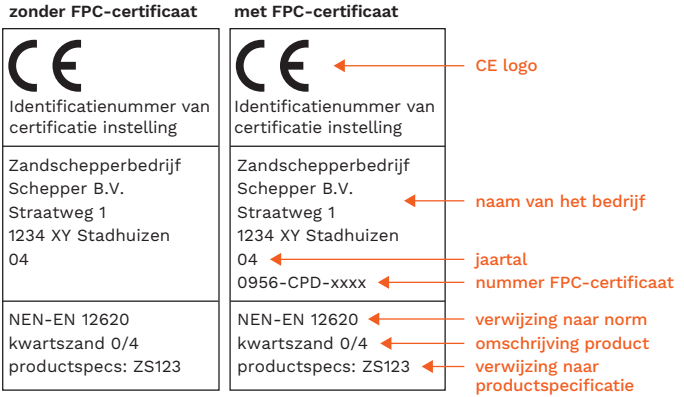
Voorwaarden voor het aanbrengen van de CE-markering

Om een CE-markering te mogen aanbrengen dient de producent te voldoen aan een aantal voorwaarden:

1. *de producent moet een systeem van interne kwaliteitszorg hebben*
   De Engelse benaming hiervoor is Factory Production Control (afgekort tot FPC). Omdat een aantal normen in Nederland alleen nog in de Engelse taal beschikbaar is, wordt in Nederland vaak deze term of de afkorting daarvan gehanteerd. Elke norm bevat een bijlage waarin eisen zijn opgenomen waaraan de interne kwaliteitszorg moet voldoen. Gelukkig (!) is de tekst daarvan in alle normen hetzelfde. De eisen komen deels overeen met die voor een kwaliteitssysteem op basis van ISO 9001 of het kwaliteitssysteem zoals beschreven in de betreffende beoordelingsrichtlijnen;
2. *de producent moet productspecificaties opstellen*
   Op verschillende plaatsen in de normen wordt aangegeven dat de producent informatie moet geven over de eigenschappen van zijn producten, bijvoorbeeld de gemiddelde korrelgradering van de korrelvormige materialen. Het is zinvol deze informatie vast te leggen in productspecificatiebladen. Daarin kan dan ook de begeleidende informatie bij de CE-markering worden opgenomen;
3. *de producent moet op de wijze zoals beschreven in de normen en zijn interne kwaliteitszorgsysteem aantonen dat zijn producten voldoen aan de eisen vastgelegd in de productspecificaties*
   Het is de taak en verantwoordelijkheid van de producent om aan te tonen dat zijn producten voldoen aan de eisen. Dat zijn uiteraard de eisen in de

norm, aanvullende normen en daarvan afgeleide grenswaarden zoals door producent vastgelegd in zijn productspecificatiebladen.
Naast (Europese) normen zijn er in de meeste landen ook aanvullende normen gepubliceerd, met name omdat in de Europese normen voor veel eigenschappen is aangegeven dat die alleen moeten worden bepaald indien dat wordt gevraagd ('when required'). De aanvullende normen geven daar invulling aan.
N.B. Uiteraard kunnen ook afnemers aanvullende eisen stellen. Die eisen vallen echter niet in de categorie 'when required' en vallen daarmee ook niet onder de CE-markering, maar onder de privaatrechtelijke afspraken tussen producent en afnemer. Indien deze door de afnemer gestelde aanvullende eisen deel uit maken van de productspecificaties van de producent en het betreffende product wordt geleverd met KOMO-certificaat, dan vallen deze aanvullende eisen wel onder de beoordeling voor het KOMO-certificaat;

4. *de producent moet schriftelijk verklaren dat zijn producten voldoen (EG conformiteitsverklaring)*
   De door de producent af te geven verklaring heet officieel een 'EG conformiteitsverklaring'. Eenvoudig gezegd verklaart de producent daarin dat zijn producten voldoen aan de eisen. De producent kan er voor kiezen om één verklaring op te stellen waarin hij al zijn producten noemt of voor een verklaring per product. In dat laatste geval ligt het voor de hand deze conformiteitsverklaring te combineren met het productspecificatieblad;
5. *de CE-markering moet worden aangebracht zoals beschreven in de annex ZA van de betreffende norm*
   De CE-markering moet op de afleveringsdocumenten van korrelvormige materialen worden aangebracht. In de annex ZA van elke norm wordt aangegeven hoe dat er uit moet zien. Naast het CE-logo moet nog veel meer informatie worden opgenomen. Gelukkig kan een deel van die informatievoorziening plaatsvinden door verwijzing naar het productspecificatieblad. Onderstaande voorbeelden geven aan hoe deze CE-markering op de afleverdocumenten er kan uitzien. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen producenten met en zonder FPC certificaat.



CPR

De CE-markering op bouwproducten is een rechtstreeks gevolg van de ontwikkeling van regels voor het vrije handelsverkeer binnen Europa. De regels hiervoor waren jarenlang vastgelegd in de CPD (Construction Product Directive). Per 1 juli 2013 echter heeft de Europese Commissie de CPD vervangen door een actuelere en vereenvoudigde CPR (Construction Products Regulation), in het Nederlands: BPV (Bouwproductenverordening). De harmonisering tussen de wetgevingen van de verschillende lidstaten moet zo verder vorm krijgen.

Het CPR heeft het statuut van een verordening, waar de CPD 'slechts' een richtlijn was. De CPR is daarmee in alle lidstaten van de Europese Unie rechtstreeks van kracht zonder omzetting in nationale wetgeving. Lidstaten kunnen geen 'nationale interpretaties' meer hanteren.

5.3 Keuring grondstoffen

Een betrouwbaar productieproces begint bij het doelmatig keuren van de grondstoffen.

Grondstof	Keuren op	Opmerkingen
Cement	NEN-EN 197-1 Controleer de afleverings-bon op soort, klasse, her-komst en hoeveelheid	Koop uitsluitend gecertificeerd cement; zelf keuren is omslachtig
Toeslag-materiaal	NEN-EN 12620, NEN 5905, NEN-EN 13055-1 en NEN 3543 Controleer de korrelopbouw op de normeisen en op de overeengekomen waarden Controleer de afleverings-bon op soort, herkomst en hoeveelheid	Let er bij de aflevering van toe-slagmateriaal ≥ 2000 kg/m³ zeker ook op dat de leverancier het graderingsgebied aangeeft waar-binnen 90% van zijn productie voor de betreffende korrelgroep ligt Zelfs bij gecertificeerd toeslag-materiaal is het kopen van een vooraf overeengekomen korrelopbouw, die geheel is af-gestemd op uw productieproces, vaak nuttig
Water	NEN-EN 1008	Drinkwater voldoet altijd Spoelwater en water van andere herkomst is onder bepaalde voorwaarden ook bruikbaar
Hulpstoffen	NEN-EN 934-2 en NEN 3532 Controleer op aggregatie-toestand, kleur, volumieke massa en pH. Controleer afleveringsbon op soort, herkomst en hoeveelheid	Koop bij voorkeur gecertificeerde hulpstoffen Zie toe op maximum bewaartijd en juiste bewaaromstandigheden, zeker vorstvrij!
Vulstoffen		
Poederkool-vliegas	NEN-EN 450-1 en CUR-Aan-beveling 94 Controleer de afleverings-bon op soort, herkomst en hoeveelheid	Koop bij voorkeur gecertificeer-de producten; zelf keuren is omslachtig

Grondstof	Keuren op	Opmerkingen
Gemalen gegranuleerde hoogovenslak	NEN-EN 15167-1 Controleer de afleverings-bon op soort, herkomst en hoeveelheid	Toevoeging van een bindtijd-regelaar in de vorm van sulfaat is volgens NEN-EN 15167-1 niet toegestaan
Silica fume	NEN-EN 13263-1 Controleer de afleverings-bon op soort, herkomst en hoeveelheid	Koop bij voorkeur gecertificeer-de producten; zelf keuren is omslachtig
Steenmeel	NEN-EN 12620 Controleer op de met de leverancier overeengeko-men eigenschappen en hoeveelheid	Koop bij voorkeur gecertificeer-de producten; zelf keuren is omslachtig
Kleurstoffen	NEN-EN 12878 Let op etikettering en controleer de afleverings-bon op soort, herkomst en hoeveelheid	Koop bij voorkeur gecertificeer-de producten; zelf keuren is omslachtig

Let op!

- *Bij aanvoer van gecertificeerde grondstoffen kan vaak met minder afnamecontroles worden volstaan.*
- *Kijk bij elke grondstof ook in het betreffende hoofdstuk van dit boekje, daar staan vaak nadere aanwijzingen.*

5.4 Keuring procesapparatuur

Preventief onderhoud en periodieke keuring van procesapparatuur voorkomen veel storingen en verbeteren de betrouwbaarheid van het productieproces.

5.4.1 Laboratorium- en meetapparatuur

In onderstaand overzicht is aangegeven welke frequentie bij het onderhoud moet worden aangehouden volgens het raamschema IKB-Criteria 73/06 (pre-fab beton) of de BRL 1801 (betonmortel).

Laboratorium en meetapparatuur	Frequentie	
	Raamschema IKB criteria 73/06	**BRL 1801 betonmortel bijlage G tabel 7**
Drukbank, externe kalibratie Vlakheid intern Krachtsoverdracht Kop, holbolscharnier	1 × per jaar - - -	1 × per 2 jaar 1 × per 6 maanden 1 × per 6 maanden 1 × per maand
Trekbank, externe kalibratie	1 × per jaar	-
Terugslaghamer	voor gebruik 1 × per dag	-
Kubusmallen	Staal: 1 × per jaar Kunststof: 1 × per kwartaal	Staal: 1 × per jaar Kunststof: 1 × per 6 maanden
Weegschalen	1 × per jaar	1 × per 6 maanden
Geijkte gewichten	1 × per 4 jaar	-
Controlegewichten	1 × per 4 jaar	-
Meetapparatuur controle voorspanning	1 × per jaar	-
Precisiemanometers; drukdozen; ijkringen; eigen apparatuur; externe kalibratie	1 × per 2 jaar	1 × per 2 jaar
Meetapparatuur voor het bepalen van afmetingen	bij aanschaf; 1 × per jaar	-
Geijkt meetlint	bij aanschaf	-
Temperatuurregistratieapparatuur	1 × per jaar	-
Rijpheidsapparatuur	volgens opgave kalibratierapport	-
Thermometers	1 × per jaar	1 × per 6 maanden
Controle thermometer	bij aanschaf	-
Maatcilinder	bij aanschaf	-
Luchtmeter	1 × per kwartaal	1 × per 6 maanden
Conditioneringsruimte	-	1 × per maand
Zeven	-	1 × per maand
pH meter	-	1 × per 6 maanden
Capaciteit oven w.c.f. / w.b.f. bepalen	-	1 × per 2 jaar

5.4.2 Doseer- en mengapparatuur

In onderstaand overzicht is aangegeven welke frequentie bij het onderhoud moet worden aangehouden volgens het raamschema IKB-Criteria 73/06 (prefab beton) of de BRL 1801 (betonmortel).

Doseer en mengapparatuur (IKB 73/06) en controle grondstoffenopslag en productie apparatuur (BRL 1801)	Frequentie	
	Raamschema IKB criteria 73/06	BRL 1801 betonmortel bijlage G tabel 6
Doseerinrichting voor cement; visueel kalibratie extern	1 × per dag 1 × per jaar	- -
Opslag en transport cement en vulstof	-	bij wijziging cementsoort
Doseerinrichting voor toeslagmaterialen; visueel Kalibratie extern Bij volume dosering kalibratie extern	1 × per dag 1 × per jaar 1 × per 6 maanden	- - -
Opslag en transport toeslagmateriaal	-	elke levering
Doseerinrichting voor water; visueel Kalibratie extern	1 × per dag 1 × per jaar	-
Doseerinrichting voor hulpstoffen; visueel Kalibratie extern	1 × per dag 1 × per jaar	- -
Opslag en transport vloeibare hulp- en vulstoffen	-	1 × per maand
Vloeistofmeters voor hulpstoffen	-	1 × per 2 jaar
Doseerinrichting voor vulstoffen visueel Kalibratie extern	1 × per dag 1 × per jaar	- -
Mengapparatuur ; visueel Verificatie van de ingestelde waarden	1 × per dag 1 × per dag	- -
Cementslibtank	-	dagelijks
Automatische weeginstallatie; controle op Functioneren Extern ijken	- -	 dagelijks 1 × per 2 jaar
Handmatig bediende installatie; controle op Functioneren Extern ijken	- -	 1 x per week 1 x per 2 jaar

Let op!
Naast de procesapparatuur moeten ook de opslag van grondstoffen, de tussenopslag van halffabrikaten, de opslag van eindproducten, de productiemiddelen en de klimaatkamers regelmatig gecontroleerd worden; zie hiervoor de betreffende BRL.

5.5 Keuring betonspecie volgens NEN-EN 206 en NEN 8005

5.5.1 Consistentie

Methoden en klassegrenzen

Methoden	Klassegrenzen
Verdichtingsmaat C (zie ook NEN-EN 12350-3)	
• Zet de bak vast op de triltafel	C0: ≥ 1,46
• Zet een troffel betonspecie midden op één van de bovenranden van de bak en laat de specie voorzichtig in de bak glijden	C1: 1,45 – 1,26
• Herhaal dit vanaf een naastliggende bovenrand.	C2: 1,25 – 1,11
• Gebruik zodoende alle vier de bovenranden van de bak	C3: 1,10 – 1,04
• Blijf dit herhalen tot de bak vol is en strijk deze voorzichtig af	C4: < 1,04 (alleen voor lichtgewicht beton)
• Verdicht de specie	
• Lees de inzakking af en bereken de verdichtingsmaat C	
Zetmaat S (zie ook NEN-EN 12350-2)	
• Zet de kegel met h = 300 mm op een stevige, vlakke, dichte, horizontale plaat	S1: 10 – 40 mm
• Vul de kegel in drie lagen, elke laag 25 keer porren met de porstaaf Let op! por niet door een laag in de onderliggende laag	S2: 50 – 90 mm S3: 100 – 150 mm S4: 160 – 210 mm
• Trek de kegel voorzichtig rechtstandig omhoog	
• Meet de inzakking in mm	S5: ≥ 220 mm

Methoden	Klassegrenzen
Schudmaat F (zie ook NEN-EN 12350-5)	
• Zet de kegel met h = 200 mm op een schudtafel	F1: ≤ 340 mm
• Vul de kegel in twee lagen, elke laag 10 keer porren met de houten stamper	F2: 350 – 410 mm F3: 420 – 480 mm
• Trek de kegel voorzichtig rechtstandig omhoog	
• Trek de bovenklep van de schudtafel op tot aan de aanslag en laat vallen; doe dit 15 keer Let op! De bovenklep niet tegen de aanslag slaan	F4: 490 – 550 mm F5: 560 – 620 mm
• Meet in twee richtingen, loodrecht op elkaar, de diameter van de speciekoek in mm; het gemiddelde is de schudmaat F	F6: ≥ 630 mm
Vloeimaat SF (zie ook NEN-EN 12350-8)	
• zet de kegel met h = 300 mm op de plaat	SF1: 550 – 650 mm
• vul de kegel in drie lagen	SF2: 660 – 750 mm
• trek de kegel voorzichtig rechtstandig omhoog	
• wacht 30 seconden	SF3: 760 – 850 mm
• meet in twee richtingen loodrecht op elkaar de diameter van de speciekoek in mm: het gemiddelde afgerond op 10 mm is de vloeimaat SF	

Tenzij een meetmethode vooraf is overeengekomen, worden voor de betreffende consistentieklassen de volgende meetmethoden als maatgevend aanbevolen:

- consistenties droog en aardvochtig: verdichtingsmaat C volgens NEN-EN 12350-4 (klassen C0 en C1);
- consistenties half plastisch en plastisch: zetmaat S volgens NEN-EN 12350-2 (klassen S2 en S3);
- consistenties zeer plastisch en vloeibaar: schudmaat F volgens NEN-EN 12350-5 (klassen F4 en F5);
- consistentie zeer vloeibaar: schudmaat F volgens NEN-EN 12350-5 (klasse F6);
- zelfverdichtend beton: vloeimaat (≥ 630 mm) bepaald volgens NEN-EN 12350-8 en een trechtertijd (tussen 5 en 15 seconden) bepaald volgens NEN-EN 12350-9.

Aantal bepalingen
De consistentie van de betonspecie moet ten minste één keer per dag worden bepaald, maar als visuele inspectie van de specie daartoe aanleiding geeft, moeten extra bepalingen worden uitgevoerd.

Let op!
De op de bouwplaats gemeten waarde is bepalend.

5.5.2 Volumieke massa

Methode en criteria

Methode (zie NEN-EN 12350-6)	Keuringscriteria
• Weeg een vat met bekende inhoud • Vul het vat met specie en verdicht • Weeg het vat met specie • Bereken het gewicht van de specie • Bereken de volumieke massa van de specie (kg/m³)	± 50 kg/m³ t.o.v. de overeengekomen waarde Bij grotere afwijking is controle op luchtgehalte en/of grondstofdosering verplicht

Aantal bepalingen
De volumieke massa dient ten minste éénmaal per dag te worden bepaald.

Let op!
Bepaling is alleen verplicht indien een bepaalde volumieke massa is overeengekomen of indien een hulpstof wordt toegepast die luchtbelvorming als hoofd- of nevenwerking heeft.

5.5.3 Luchtgehalte

Methoden en criteria

Methoden	Keuringscriteria
Gebruik bij *poreus toeslagmateriaal en beton- en menggranulaat* de verdringingsmethode volgens ASTM C 173 • Vul het onderste vat van de luchtmeter met betonspecie; gebruik een opzetstuk bij het vullen • Verdicht de specie; op de triltafel of met een trilnaald • Neem het opzetstuk af en rij de specie af precies gelijk met de rand van het vat • Maak de rand schoon en monteer het bovenstuk • Zet een trechter in de hals van het bovenstuk en vul water bij totdat het waterpeil bij de nulstreep staat • Neem de trechter uit en vul nog wat water bij totdat het peil weer op de nulstreep staat • Schroef de hals dicht en schud de meter onderste boven, totdat alle betonspecie los en luchtvrij is • Zet de meter schuin neer met de hals omhoog en laat alle lucht in de hals komen • Lees het luchtgehalte af tot op 0,5 % nauwkeurig	-0,5% en +2% t.o.v. de in het hoofdstuk 'Betonspecie en beton' in tabel 5.5.2 gegeven waarden dosering LBV verplicht Als de hulpstof geen LBV is, geldt voor beton met gesloten structuur: D ≤ 16 mm: luchtgehalte ≤ 4% Grover grind: luchtgehalte ≤ 3%
Gebruik bij *niet poreus toeslagmateriaal* de drukmethode volgens NEN-EN 12350-7 • Controleer of het toestel geijkt is; zo niet ijk het met water volgens bijlage C en D van de norm • Vul het drukvat van de luchtmeter met betonspecie; gebruik een opzetstuk bij het vullen • Verdicht de specie; op de triltafel of met een trilnaald • Neem het opzetstuk af en rij de specie af precies gelijk met de rand van het vat. • Maak de rand zorgvuldig schoon en klem de deksel met geopende kranen op het drukvat. • Vul water bij door één kraantje, totdat uit het andere kraantje water zonder luchtbelletjes komt • Sluit beide kraantjes • Pomp lucht in totdat de manometerwijzer op de rode streep staat. Wacht een paar seconden en pomp zonodig iets bij • Open de kraan tussen drukvat en de manometer • Tik zachtjes tegen de manometer totdat de naald stabiel is • Lees het luchtgehalte af op 0,5 % nauwkeurig	Hiervoor geldende-zelfde keuringscriteria als voor luchtgehalten gemeten met de verdringingsmethode

Aantal bepalingen

Het luchtgehalte moet worden bepaald bij gebruik van hulpstoffen die het luchtgehalte (kunnen) verhogen. Dit dient bij ieder monster met een maximum van 3 per stortdag te gebeuren.

5.5.4 Water-cementfactor

Methoden en nauwkeurigheid

	Methode volgens NEN 5960/A1	Voorwaarden waaraan per methode moet worden voldaan
1	Uit de hoeveelheid afgewogen materialen en het vochtgehalte van het toeslagmateriaal	• de materialen moeten worden afgewogen en de weging moet worden geregistreerd • het vochtgehalte en de waterabsorptie van het toeslagmateriaal moeten bekend zijn of kunnen worden achterhaald
Nauwkeurigheid beproevingsmethode: +/-0,02		
2	Met de droogmethode	• de gedoseerde hoeveelheden grondstoffen moeten bekend zijn • het vochtgehalte van de toeslagmaterialen hoeft niet bekend te zijn • binnen 30 minuten na het aanmaken van de betonspecie moet met het drogen worden begonnen • betonspecie wordt gedroogd in een droogoven bij een temperatuur van tenminste 350 °C
Nauwkeurigheid beproevingsmethode: +/-0,02		
3	Met de oplosmethode*	Er moeten monsters van het gebruikte cement en toeslagmateriaal beschikbaar zijn
Nauwkeurigheid beproevingsmethode: +/-0,04		
4	De methode Thaulow	• mengsel mag alleen cement, zand, grind en water bevatten • de materialen moeten worden afgewogen en de weging geregistreerd • de gedoseerde hoeveelheid water mag onbekend zijn • de toeslagmaterialen mogen geen of een verwaarloosbaar kleine hoeveelheid water absorberen • de volumieke massa van het gebruikte cement en toeslagmateriaal moeten bekend zijn
Nauwkeurigheid beproevingsmethode: +/-0,02		

** Toepassen indien er geen gegevens over de gedoseerde hoeveelheid grondstoffen beschikbaar zijn of indien men twijfelt aan de juistheid van de beschikbare gegevens.*

Let op!
De nauwkeurigheid van de beproevingsmethode geeft informatie over de aan te houden veiligheidsmarge bij het gebruik van de proef ten behoeve van de kwaliteitsbewaking.

Let op!
De methode-Thaulow (omschreven in NEN 5960) is in onbruik geraakt doordat de toepassing van de methode steeds minder nauwkeurig wordt door complexere samenstellingen.

De wcf dient eenmaal per dag per milieuklasse te worden bepaald.

In NEN 8005 aanbevolen aantal bepalingen van de water-cementfactor

Milieuklasse	Partijgrootte per stortdag	Bepalingen per stortdag
X0 en XC1 t/m XC4	< 40 m³ 40 m³ t/m 120 m³ > 120 m³	> 120 m³ 1 per 40 m³ 3
XD1 t/m XD3 XS1 t/m XS3 XF1 t/m XF4 XA1 t/m XA3	< 40 m³ 40 m³ t/m 240 m³ > 240 m³	1 1 per 40 m³ 6

5.5.5 Water-bindmiddelfactor

Methoden en criteria
Alleen methode 1 en 2 van de bij de water-cementfactor genoemde methoden zijn bruikbaar voor procescontrole. Het gehalte aan poederkoolvliegas moet worden omgerekend via de geldende bindmiddelfactor *k* (zie 8.6).
De grenswaarden zijn te vinden in 4.5.2; overigens geldt ook hier de hiervoor gemaakte opmerking over de beproevingsnauwkeurigheid.

Aantal bepalingen wbf
Zie bij 5.5.4.

5.5.6 *Werkwijze bepaling chloridegehalte in beton*

Stel het chloridegehalte van betonspecie vast op basis van de chloridegehalten van de gebruikte grondstoffen. Zie voor de maximaal toegestane chloridegehalten 4.7.6.

	A	B	C	D	E
	Grondstof	**Hoeveelheid (kg/m³)**	**Totaal cementgehalte (kg/m³)**	**Chloridegehalte % (m/m)**	**Chloridegehalte (g/m³)**
1	Cement I				
2	Cement II				
3					
4	Vulstof I				
5	Vulstof II				
6	Toeslagmateriaal I				
7	Toeslagmateriaal II				
8	Toeslagmateriaal III				
9	Toeslagmateriaal IV				
10	Aanmaakwater				
11	Spoelwater				
12	**Totaal chloridegehalte per m³ betonspecie**				

Stap 1: Vul de kolommen B en D in.
Stap 2: Bereken het totaal cementgehalte en vul het gearceerde vakje C 3 in.
Stap 3: Bereken het chloridegehalte en vul kolom E in (B × D × 10).
Stap 4: Tel de chloridegehalten in kolom E op en vul het vakje E 12 in.
Stap 5: Bereken % chloride ten opzichte van het cementgewicht (P_{cl}).

$$P_{cl} = 0{,}1 \times \frac{\textit{vakje E 12}}{\textit{vakje C 3}}$$

Stap 6: Vergelijk gevonden waarde met maximum dat is toegestaan.

5.6 Keuring beton volgens NEN-EN 206 en NEN 8005

5.6.1 Beproevingen

Voor het bepalen van de volumieke massa, de druksterkte en de splijttreksterkte zijn proefstukken nodig. De monsters moeten willekeurig worden genomen volgens NEN-EN 12350. De manier waarop de proefstukken gemaakt moeten worden, de condities tijdens het verharden en de uitvoering van de proef zelf zijn in normen beschreven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen kubussen en cilinders.
Afmetingen, toleranties en toepasbaarheid zijn voorgeschreven in NEN-EN 12390-1, de vervaardiging en bewaring in NEN-EN 12390-2 en de eisen met betrekking tot de mallen in NEN-EN 12390-1. Exact aanhouden van deze normen is essentieel voor het verkrijgen van betrouwbare resultaten. De keuze voor cilinders en/of kubussen laten NEN-EN 206 en NEN 8005 vrij. In Nederland worden voor de aanmaak van proefstukken vrijwel uitsluitend kubussen gebruikt. In dit hoofdstuk wordt daarvan uitgegaan.

5.6.2 Volumieke massa (NEN-EN 12390-7)

De volumieke massa van verhard beton wordt voor de productiecontrole gemeten aan proefkubussen of cilinders, voordat deze op sterkte worden beproefd. De uit de massa en het volume berekende volumieke massa mag niet meer dan 50 kg per m^3 afwijken van de overeengekomen waarde. Is de afwijking groter, dan kan tot een nader onderzoek aan de constructie worden besloten.

Er zijn twee methoden voor het bepalen van de volumieke massa van beton of mortel:
- berekening uit de massa van het proefstuk en de afmetingen van het proefstuk (bij regelmatig gevormde proefstukken);
- berekening uit het verschil tussen massa boven en onder water (bij onregelmatig gevormde proefstukken, maar niet voor poreuze mortels).

Bij deze laatste methode wordt de volgende formule gebruikt:

$$\rho_a = \rho_{water} \times \frac{(massa_{boven\ water})}{(massa_{boven\ water}) - (massa_{onder\ water})}$$

Voorbeeld:
Men heeft uit een constructie een cilinder geboord. Helaas is daarvan een stuk afgebroken. Men wil onder meer de volumieke massa van het betreffende beton weten. Door weging boven- en onder water worden de volgende massa's gevonden:
boven water: 2823,2 gram
onder water: 1866,3 gram
Omdat de volumieke massa van water 1000 gram per liter is, is de volumieke massa van het betreffende beton dus:

$$1000 \times \left(\frac{2823{,}2}{2823{,}2 - 1866{,}3}\right) = \frac{2823200}{956{,}9} = 2950 \text{ g/l (of: 2950 kg/m}^3\text{)}$$

5.6.3 Kubusdruksterkte (NEN-EN 12390-3)

Om te controleren of een betonspecie na 28 dagen verharden de vereiste kubusdruksterkte heeft, worden van monsters van deze specie proefstukken vervaardigd en bewaard (volgens NEN-EN 12390-2). Iedere proefkubus moet uit een afzonderlijk te nemen monster betonspecie worden vervaardigd en de kubusafmeting moet 150 mm zijn. Na 28 dagen wordt de druksterkte (volgens NEN-EN 12390-3) gemeten. De eisen die aan de drukbank worden gesteld, staan beschreven in NEN-EN 12390-4. De bezwijkbelasting van proefkubussen wordt bepaald op 10 kN nauwkeurig. De drukbank die hiervoor wordt gebruikt dient een digitale of analoge krachtsaanwijzing in kN te hebben.

De afwijking van de drukbank mag voor interne bedrijfscontrole niet groter zijn dan 3%. Voor externe verificatielaboratoria mag deze afwijking niet groter zijn dan 1%. De druksterkte wordt vervolgens berekend door de bezwijkbelasting te delen door het belaste oppervlak (in mm²). Daarbij wordt de bezwijkbelasting van kN naar N omgezet. Dit levert de druksterkte op, uitgedrukt in N/mm².

Het beproeven van kubussen dient te gebeuren volgens NEN-EN 12390-1. De kubussen worden voor het beproeven uit de waterbak of klimaatkamer gehaald en met een doek afgedroogd. Daarna wordt eerst de volumieke massa bepaald. Vervolgens wordt de druksterkte bepaald.

Belastingstempo en omrekenfactoren

Riblengte proefkubus (MM)	Omreken-factoren kubusdruk-sterkte	Belastingstempo in kN/s					
		C12/15	C20/25	C30/37	C35/45	C45/55	C53/65
100	0,91	5	10	15	15	20	25
150	1,00	10	20	25	25	25	25
158	1,00	10	20	25	25	25	25
200	1,05	20	25	25	25	25	25
300	1,10	25	25	25	25	25	25

Let op!

De omrekenfactoren zijn vermenigvuldigers; dus een druksterkte van 40 N/mm² gevonden op een kubus van 200 mm betekent een kubusdruksterkte van 1,05 x 40 = 42 N/mm² volgens de norm.

In NEN 8005 aanbevolen aantal bepalingen van de druksterkte

Sterkteklasse	Partijgrootte per stortdag	Bepalingen per stortdag
C12/15 C20/25 en C30/37 LC12/13 LC20/22 en LC30/33	 ≤ 240 m³ > 240 m³	 1 per 40 m³ 6
C35/45, C45/55, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95, C90/105 en C100/115 LC40/44, LC50/55, LC60/66, LC70/77 en LC80/88	 < 40 m³ 40 m³ t/m 240 m³ > 240 m³	 2 2 per 40 m³ 12

5.6.4 Splijttreksterkte (NEN-EN 12390-6)

De bepaling van de splijttreksterkte is onder meer van belang bij ongewapend beton waarin ten gevolge van buiging toch trekspanningen kunnen ontstaan. Voorbeelden hiervan zijn betonnen straatstenen en -tegels. Als hierop belasting wordt aangebracht, buigen deze producten door en treedt er trekspanning op die door het beton opgenomen moet worden.
Het proefstuk wordt vlak voor het beproeven uit de waterbak of de geconditioneerde ruimte gehaald en ontdaan van water. Eventuele bramen worden met een schuursteen weggehaald.
Beproef het proefstuk zodanig dat een lijnlast loodrecht op het afwerkvlak, indien aanwezig, wordt aangebracht.
Centreer het proefstuk en breng de drukplaten in contact met het proefstuk via de latjes (hardboard 10 ± 1 mm breed, 4 ± 1 mm dik en een minimale lengte van het proefstuk).

Formule

$$f_b = \frac{2F}{\pi \times L \times d}$$

Hierin is:
f_b splijttreksterkte in N/mm²;
F bezwijklast in N;
L lengte van het proefstuk in contact met de drukplaten;
d de dikte van het proefstuk tussen de latjes.

5.6.5 Bepalen waterindringing beton volgens NEN-EN 12390-8

In de betonmortelindustrie wordt bij de procescontrole van beton, bestemd voor vloeistofdichte constructies, doorgaans gebruik gemaakt van NEN-EN 12390-8. In deze norm is de methode voor de bepaling van de waterindringing van beton beschreven. De benodigde apparatuur bestaat uit een toestel, waarin proefstukken met bepaalde afmetingen op een zodanige wijze kunnen worden geplaatst, dat waterdruk kan inwerken op het te beproeven oppervlak. Als proefstuk wordt gebruik gemaakt van kubussen met een riblengte van 150 mm. De waterindringing wordt bepaald door het proefstuk vervolgens te splijten en de indringing van het water op het breukvlak te meten.
Om dit te vergemakkelijken wordt soms een kleurstof aan het water toegevoegd.

Let op!
Deze methode is geaccepteerd in BRL 1801 ten behoeve van de procescontrole, maar wijkt af van de in CUR/PBV-Aanbeveling 63 beschreven methode voor geschiktheidsonderzoek.

5.7 Verwerken van meetgegevens

De keuring op druksterkte in NEN-EN 206 is gebaseerd op de beoordeling van series van 15 proefstukken. De toets op karakteristieke kubusdruksterkte wordt uitgevoerd met een vooraf bepaalde schatting van de standaardafwijking over de hele populatie. Dat betekent dat we die populatiestandaardafwijking ook vooraf moeten vaststellen. Dat gebeurt in een zogenoemd 'aanvangsonderzoek'.

In dit hoofdstuk worden de volgende symbolen gebruikt:
$f_{ci,cube}$ = het individuele kubusdruksterkteresultaat
$f_{cm,cube}$ = gemiddelde kubusdruksterkte
$f_{ck,cube}$ = karakteristieke kubusdruksterkte
σ = schatting van de populatiestandaardafwijking
$\bar{x}_{15}$ = het gemiddelde van 15 opeenvolgende testresultaten
s_{15} = standaardafwijking van 15 opeenvolgende testresultaten

5.7.1 Het aanvangsonderzoek

Tijdens het aanvangsonderzoek wordt een verhoogde monsternamefrequentie gehanteerd.
Bij dit onderzoek moeten over een tijdsbestek van tenminste 3 maanden, direct voorafgaande aan de te beoordelen productieperiode, ten minste 35 proefresultaten van een betonsamenstelling worden verzameld.
Daarbij beschikken we nog niet over een standaardaardafwijking. We toetsen in deze periode alleen op individuele meetwaarden en het gemiddelde van series van r meetwaarden. Daarvoor gelden de volgende eisen:
- het gemiddelde van drie opeenvolgende resultaten moet steeds voldoen aan: $f_{cm,cube} \geq f_{ck,cube} + 4$;
- en de individuele resultaten moeten voldoen aan: $f_{ci,cube} \geq f_{ck,cube} - 4$.

Nadat in het aanvangsonderzoek tenminste 35 meetresultaten zijn verkregen, wordt de standaardafwijking bepaald. Deze waarde wordt daarna gebruikt als

schatting van de populatiestandaardafwijking en wordt aangeduid met het symbool s.

5.7.2 Het vervolgonderzoek

Daarna wordt overgegaan op het vervolgonderzoek (met een lagere monsternamefrequentie).
Bij het vervolgonderzoek worden series van 15 proefstukken gebruikt. Daarvan worden het gemiddelde en de standaardafwijking berekend. In de praktijk zijn hier twee opties. Er kan worden gekozen voor steeds een nieuwe serie van 15 resultaten, maar er kan ook voor een 'voortschrijdende' serie worden gekozen. In dat geval worden steeds de laatste 15 resultaten beoordeeld. Er komen nieuwe meetwaarden bij en er vallen evenveel oude af.

De proefserie wordt goedgekeurd als zowel de toets op het gemiddelde van de 15 resultaten, als de toets op de individuele waarden voldoet.
Het gemiddelde moet voldoen aan criterium 1: $\bar{x}_{15} - 1{,}48 \cdot \sigma \geq f_{ck,cube}$.
De individuele testresultaten moeten voldoen aan criterium 2:
$f_{ci,cube} \geq f_{ck,cube} - 4$.

5.7.3 Toets geldigheid σ

De voor de toetsen gebruikte schatting van de populatiestandaardafwijking σ mag niet te veel afwijken van de standaardafwijking over de laatste 15 meetwaarden. Hiervoor geldt de eis: $0{,}63 \cdot \sigma \leq s_{15} \leq 1{,}37 \cdot \sigma$. Zodra de waarde van s_{15} buiten deze grenzen komt moet σ opnieuw worden berekend uit de laatste 35 resultaten.

5.8 Geschiktheidsonderzoek

Geschiktheidsonderzoek moet worden uitgevoerd om te beoordelen of de betonspecie en het beton de eigenschappen zullen hebben die we ervan verwachten. Onzekerheid over de specie- en betoneigenschappen ontstaat vooral bij het werken met één of meerdere onbekende grondstoffen, bij het stellen van speciale technische eisen aan het beton, of bij toepassing van speciale transport- of verwerkingstechnieken.

Bij geschiktheidsonderzoek moet het effect van bijzondere verhardingsomstandigheden worden meegenomen. In dat geval moeten proefkubussen zowel onder genormaliseerde als onder de bijzondere omstandigheden verharden. De optredende verschillen in 28-daagse druksterkte mogen er niet toe leiden dat de gevraagde sterkteklasse bij verharding onder bijzondere omstandigheden niet gehaald wordt. In dat geval moet de betontechnoloog het mengsel aanpassen.

Bijzondere verhardingsomstandigheden treden bijvoorbeeld op bij 'warme gietbouw' of verharding in een verwarmde klimaatkamer. Door de verharding bij verhoogde temperatuur wordt de beginsterkte weliswaar verhoogd, maar de eindsterkte verlaagd.

6 Cement

6.1 Definitie

Cement is een fijngemalen, anorganische stof die na mengen met water een pasta vormt, die zowel boven als onder water verhardt. Het reactieproduct behoudt na verharding zijn sterkte en stabiliteit, ook onder water.

6.2 Terminologie

Cement is het meest gebruikte bindmiddel voor mortel en beton. Vandaar dat in het spraakgebruik met 'mortel' en 'beton' **cementmortel** en **cementbeton** bedoeld worden. In dit boekje wordt met de term 'cement' altijd cement op basis van portlandcementklinker bedoeld, tenzij anders is vermeld.

6.3 NEN-EN 197-1

De oorspronkelijk cementnorm NEN-EN 197-1 is gepubliceerd in 2000. De Europese Technische Commissie CEN/TC 51 'Cement en building limes' beoordeelt deze norm iedere vijf jaar om te zien of aanpassing nodig is. Vervolgens wordt de herziene norm ter goedkeuring voorgelegd aan de normalisatieorganisaties van 31 lidstaten verbonden aan CEN. De huidige norm NEN-EN 197-1 is gepubliceerd in augustus 2011. Een nieuwe herziene versie van EN 197-1 is in voorbereiding en doorloopt de goedkeuringsprocedure. Publicatie wordt verwacht in 2020. Belangrijkste noviteit wordt de uitbreiding met een aantal nieuwe cementsoorten.

De oorspronkelijke Nederlandse cementnorm NEN 3550 bevat nu nog slechts eisen aan wit cement.

Regels voor naamgeving

Cementsoorten worden aangeduid met **CEM** gevolgd door het **nummer** van de hoofdsoort in Romeinse cijfers. Daarna volgt een schuine streep met daarachter de letters **A**, **B** of **C**. De aanduiding kan worden gevolgd door een **horizontale streep** en een **hoofdletter** die aangeeft welk hoofdbestanddeel naast de portlandcementklinker is gebruikt.

Hoofdsoorten:

Portlandcement	CEM I
Samengesteld portlandcement	CEM II
Hoogovencement	CEM III
Puzzolaancement	CEM IV
Composietcement	CEM V

Klinkergehalte:

A B C = Afnemend klinkergehalte

Hoofdbestanddelen van cement volgens NEN-EN 197-1

K = Portlandcementklinker
S = Gegranuleerde hoogovenslak
D = Microsilica
P = Natuurlijk puzzolaan
Q = Gebrande natuurlijke puzzolaan
V = Poederkoolvliegas (siliciumhoudend)
W = Poederkoolvliegas (calciumhoudend)
T = Gebrande leisteen
L = Kalksteen (organisch koolstofgehalte ≤ 0,5% (m/m)
LL= Kalksteen (organisch koolstofgehalte ≤ 0,2% (m/m)

M = Het cement bevat een mengsel van bovengenoemde hoofdbestanddelen

Eisen voor gloeiverlies aan poederkoolvliegas

NEN-EN 450-1, Vliegas voor beton, maakt op basis van het gloeiverlies (gehalte onverbrande steenkool) een onderverdeling in 3 categorieën.

	Gloeiverlies (LOI) in % (m/m)
Categorie A	< 5,0
Categorie B	2,0 - 7,0
Categorie C	4,0 - 9,0

Categorie A mag zonder meer als hoofdbestanddeel worden toegepast. Categorieën B en C mogen alleen als hoofdbestanddeel in cement worden toegepast wanneer is aangetoond dat de duurzaamheid van beton, zoals de bestandheid tegen vorst en de interactie met hulpstoffen, niet nadelig wordt beïnvloed.

6.4 Cement volgens NEN-EN 197-1

6.4.1 Soorten en samenstelling

Samenstelling			Samenstellingen (gehalte in massaprocent)[a] Hoofdbestanddelen				
Hoofd-typen	Gewone cementen		Klinker	Hoogoven-slak	Microsilica	Puzzolanen	
						Natuurlijke	
			K	S	D[b]	P	
CEM I	Portlandcement	CEM I	95-100	–	–	–	
CEM II	Portland-slakcement	CEM II/A-S	80-94	6-20	–	–	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	–	–	
	Portland microsili-cacement	CEM II/A-D	90-94	–	6-10	–	
	Portland-puzzolaan-cement	CEM II/A-P	80-94	–	–	6-20	
		CEM II/B-P	65-79	–	–	21-35	
		CEM II/A-Q	80-94	–	–	–	
		CEM II/B-Q	65-79	–	–	–	
	Portland-vliegascement	CEM II/A-V	80-94	–	–	–	
		CEM II/B-V	65-79	–	–	–	
		CEM II/A-W	80-94	–	–	–	
		CEM II/B-W	65-79	–	–	–	
	Portland-leisteencement	CEM II/A-T	80-94	–	–	–	
		CEM II/B-T	65-79	–	–	–	
	Portlandkalk-steencement	CEM II/A-L	80-94	–	–	–	
		CEM II/B-L	65-79	–	–	–	
		CEM II/A-LL	80-94	–	–	–	
		CEM II/B-LL	65-79	–	–	–	
	Portlandcompo-sietcement[c]	CEM II/A-M	80-88	←	←	←	
		CEM II/B-M	65-79	←	←	←	
CEM III	Hoogovencement	CEM III/A	35-64	36-65	–	–	
		CEM III/B	20-34	66-80	–	–	
		CEM III/C	5-19	81-95	–	–	
CEM IV	Puzzolaan-cement[c]	CEM IV/A	65-89	–	←	←	
		CEM IV/B	45-64	–	←	←	
CEM V	Composiet-cement[c]	CEM V/A	40-64	18-30	–	←	
		CEM V/B	20-38	31-50	–	←	

a) De waarden in de tabel zijn uitgedrukt ten opzichte van de som van hoofd- en nevenbestanddelen.
b) Het gehalte microsilica mag niet meer dan 10% bedragen.
c) In het geval van portlandcomposietcement CEM II/A-M en CEM II/B-M, puzzolaancement CEM IV/A en CEM IV/B en composietcement CEM V/A en CEM V/B moeten de hoofdbestanddelen, anders dan klinker, in de aanduiding van het cement vermeld zijn

	Vliegas		Gebrande leisteen	Kalksteen		Neven-bestand-delen[d]
Gebrande natuurlijke	Silicium-houdend	Calcium-houdend				
Q	V	W	T	L	LL	
–	–	–	–	–	–	0-5
–	–	–	–	–	–	0-5
–	–	–	–	–	–	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
→	12-20	→	→	→	→	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

d) Nevenbestanddelen zijn 'Fillers' volgens § 5.3 van NEN-EN 197-1.
Indien daarom gevraagd wordt moet de fabrikant informatie over de gebruikte nevenbestanddelen verstrekken.

6.4.2 Sterkteontwikkeling

Normsterkte

De ontwikkeling van de druksterkte van cement wordt op genormaliseerde wijze bepaald. Met een zogenaamd 'normzand' wordt mortelspecie gemaakt waarmee rechthoekige balkjes (160 × 40 × 40 mm) worden vervaardigd.
De zand/cement-verhouding van de mortelspecie bedraagt 3 : 1 (m/m). De water-cementfactor 0,5.
De proefstukken worden bij 20 °C en onder water bewaard en beproefd op druksterkte en buigtreksterkte na 2, respectievelijk 7 of 28 dagen.
Op grond van de gemeten druksterkten wordt de **normsterkte** van een cement na 2, 7 of 28 dagen bepaald. Aan de buigtreksterkten worden in NEN-EN 197-1 geen eisen gesteld. Normsterkten kunnen desgewenst ook op andere dan de in de norm aangegeven tijdstippen worden bepaald.

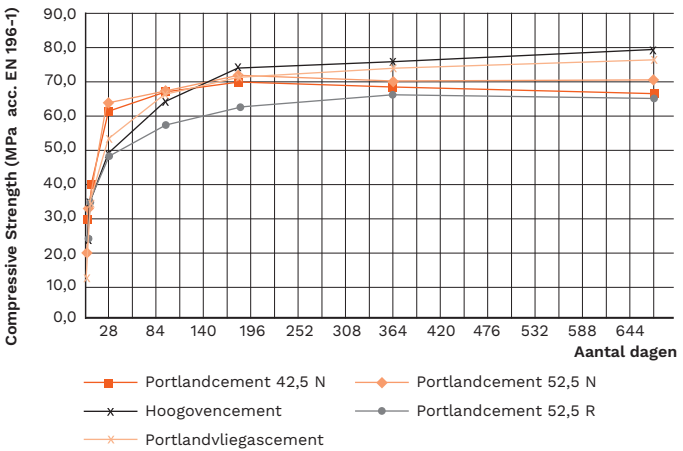
Sterkteklassen

NEN-EN 197-1 kent **drie sterkteklassen** en geeft voor elke klasse grenswaarden waarbinnen de **normsterkte** moet liggen.
De sterkteklasse wordt vermeld na de naam van het cement.
De toevoeging L duidt op een lage beginsterkte, de toevoeging N duidt op een normale beginsterkte, de toevoeging R duidt op een hogere beginsterkte. De aanduiding L is echter alleen van toepassing op hoogovencement; CEM III/A, CEM III/B en CEM III/C.

Sterkteklasse	Normsterkte (N/mm²)		
	2 dagen	**7 dagen**	**28 dagen**
32,5 L	–	≥ 12,0	≥ 32,5 ≤ 52,5
32,5 N	–	≥ 16,0	≥ 32,5 ≤ 52,5
32,5 R	≥ 10,0	–	≥ 32,5 ≤ 52,5
42,5 L	–	≥ 16,0	≥ 42,5 ≤ 62,5
42,5 N	≥ 10,0	–	≥ 42,5 ≤ 62,5
42,5 R	≥ 20,0	–	≥ 42,5 ≤ 62,5
52,5 L	≥ 10,0	–	≥ 52,5 -
52,5 N	≥ 20,0	–	≥ 52,5 -
52,5 R	≥ 30,0	–	≥ 52,5 -

6.4.3 Sterkteontwikkeling op termijn

NEN-EN 197-1 en NEN-EN 206 beschrijven de eisen aan sterkteontwikkeling van cement, respectievelijk beton tot en met 28 dagen. Dit is een internationale afspraak op basis van praktische overwegingen. Na het tijdstip van 28 dagen blijkt dat de sterkteontwikkeling gedurende 1 à 2 jaar nog aanzienlijk toeneemt.
Bij cementproducenten wordt lange duur sterkte van cementen gemeten. Uit de meetresultaten blijkt dat de cementsoorten verschillend ten opzichte van elkaar presteren. Verschillen worden veroorzaakt door de samenstelling en fijnheid van de cementen. Duidelijk zichtbaar wordt dat bijvoorbeeld hoogovencement in het begin trager reageert dan portlandcement. Maar 'tragere cementen' hebben een relatief grotere na-verharding.



Let op!
Deze figuur geeft de sterkte-ontwikkeling weer bij 20 °C en RH > 95%.

6.4.4 Hydratatiewarmte

Bij de hydratatie van cement en water komt warmte vrij. Wanneer normaal cement, getoetst volgens NEN-EN 196-8, een hydratatiewarmte heeft kleiner of gelijk aan 270 J/gr na 7 dagen verharding, dan noemen we dat een 'cement met lage hydratatiewarmte'. Cement dat aan deze eis voldoet wordt aangeduid met de letters LH.
De hydratatiewarmte mag ook bepaald worden overeenkomstig NEN-EN 196-9 na 41 uur verharden.

6.4.5 Cement met hoge bestandheid tegen sulfaten

Wanneer beton gedurende zijn levensduur wordt blootgesteld aan een milieu waarin sprake is van een hoge sulfaatbelasting, bijvoorbeeld in de milieuklassen XA2 en XA3 (zie 4.5.2 en 4.5.3), moet een cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten worden toegepast.
NEN-EN 197-1 benoemt 7 cementen, verdeeld in 3 hoofdgroepen.

Hoofdgroep	Aanduiding	Eisen aan gehalte C_3A van de klinker
Sulfaatbestand portlandcement	CEM I-SR 0	0%
	CEM I-SR 3	≤ 3%
	CEM I-SR 5	≤ 5%
Sulfaatbestand hoogovencement	CEM III/B-SR	Geen eis
	CEM III/C-SR	Geen eis
Sulfaatbestand puzzolaancement	CEM IV/A-SR	≤ 9%
	CEM IV/B-SR	≤ 9%

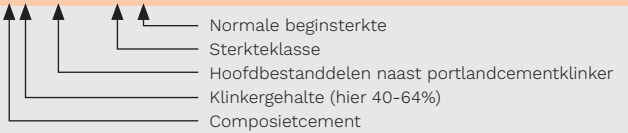
Cementen die voldoen aan de hierna gestelde criteria worden aangeduid met de letters SR.

In de informatieve bijlage A van NEN-EN 197-1 is een lijst opgenomen met cementen die niet voldoen aan de hierboven gestelde criteria maar door een aantal afzonderlijke Europese lidstaten eveneens worden beschouwd als cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten. Deze cementen mogen niet worden aangeduid met SR.

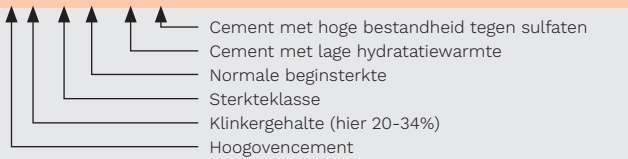
Hoofd-typen	Notatie van de 7 normale cementen met een hoge bestandheid tegen sulfaten		Samenstellingen *(gehalte in massaprocent)*				
			Hoofdbestanddelen				
			Klinker	Hoogoven-slak	Natuurlijk puzzolaan	Silicium houdend vliegas	Neven-bestand-delen
			K	S	P	V	
CEM I	Sulfaatbestand portlandcement	CEM I-SR 0	95-100				0-5
		CEM I-SR 3					
		CEM I-SR 5					
CEM III	Sulfaatbestand hoogovencement	CEM III/B-SR	20-34	68-80			0-5
		CEM III/C-SR	5-19	81-95			0-5
CEM IV	Sulfaatbestand puzzolaancement	CEM IV/A-SR	65-79		21-35		0-5
		CEM IV/B-SR	45-64		36-55		0-5

Voorbeeld cementbenaming

CEM V/A (S-V) 42,5 N



CEM III/B 42,5 N - LH/SR



6.5 Andere cementnormen

NEN-EN 197-1 geldt alleen voor gewone cementen. Voor cementen met speciale eigenschappen worden in Europees verband eveneens normen opgesteld of zijn nog nationale normen van kracht.
Inmiddels beschikken we over de volgende normen:

NEN-EN 197-2
NEN-EN 197 Cement - deel 2 beschrijft de voorwaarden waaraan de productiecontrole van cement moet voldoen. In het bijzonder worden eisen gesteld aan het kwaliteitssysteem, het kwaliteitshandboek en de interne kwaliteitscontrole. Bovendien zijn in deze norm de taken en verantwoordelijkheden van de certificatie-instelling vastgelegd. De controles, vermeld in deel 2 zijn er op gericht om aan te kunnen tonen dat een cement voldoet aan de eisen conform NEN-EN 197-1.

NEN 3550

NEN 3550 bevat enkel nog bepalingen voor wit cement.

Speciale eigenschap	Aanduiding cement	Aanvullende eisen
Wit cement	Voorbeeld CEM I 52,5 N NEN 3550: wit	Geen eisen, aanvullend op NEN-EN 197-1 Opmerking: Vervaardigd uit praktisch ijzervrije grondstoffen

NEN-EN 14216

Deze norm geldt voor bijzondere cementsoorten met als specifieke eigenschap een zeer lage hydratatiewarmte.
Cementen die aan deze norm voldoen worden in afwijking van de normale cementen niet aangeduid als CEM maar als VLH.
Een VLH-cement heeft een hydratatiewarmte ≤ 220 J/g na 7 dagen en getoetst volgens EN 196-8.
Binnen het kader van deze norm kunnen de volgende cementen worden geproduceerd:

Hoofdsoort	Notatie bijzonder cement met erg lage hydratiewarmte		Samenstellingen *(gehalten in massaprocent)*[a]							Nevenbestanddelen
			Hoofdbestanddelen							
			Klinker	Hoogovenslak	Microsilica	Puzzolanen		Vliegas		
						natuurlijke	Gebrande natuurlijke	Silicium-houdend	Calcium-houdend	
			K	S	D[b]	P	Q	V	W	
VLH III	Hoogovencement	VLH III/B	20-34	66-80	–	–	–	–	–	0-5
		VLH III/C	5-19	81-95	–	–	–	–	–	0-5
VLH IV	Puzzolaancement[c]	VLH IV/A	65-89	–	← 11-35 →					0-5
		VLH IV/B	45-64	–	← 36-55 →					0-5
VLH V	Composietcement[c]	VLH V/A	40-64	18-30	–	← 18-30 →			–	0-5
		VLH V/B	20-38	31-50	–	← 31-50 →			–	0-5

a) De waarden in de tabel zijn uitgedrukt ten opzichte van de som van hoofd- en nevenbestanddelen
b) Het gehalte microsilica mag niet meer bedragen dan 10%
c) In het geval van puzzolaancement VLH IV/A en VLH IV/B en composietcement VLV V/A en VLH V/B moeten de hoofdbestanddelen, anders dan klinker, in de aanduiding van het cement vermeld zijn.

Een VLH-cement heeft ook een langzame sterkteontwikkeling. Voor dit cement geldt één sterkteklasse, met alleen een eis voor de normsterkte op 28 dagen:

Sterkteklasse	Druksterkte in N/mm²	
	Normsterkte	
	28 dagen	
22,5	≥ 22,5	≤ 42,5

NEN-EN 15743

Deze norm is van toepassing op gesulfateerd cement (supersulfated cement). Dit cement bestaat voor het grootste gedeelte uit gegranuleerde hoogovenslak en calciumsulfaat. Bij normaal hoogovencement wordt de gegranuleerde hoogovenslak geactiveerd door de portlandcementklinker. Bij gesulfateerd cement wordt de hoogovenslak geactiveerd door calciumsulfaat. Gesulfateerd cement heeft een hoge weerstand tegen sulfaataantasting, kent een lage warmteontwikkeling (< 220 J/gram) en is daardoor uitermate geschikt voor funderingen en massabeton. Als gevolg van de trage sterkteontwikkeling gelden voor gesulfateerd cement alleen de sterkteklassen 32,5 L en N, 42,5 L en N, 52,5 L en N conform 6.4.2.

Type	Notatie		Samenstelling *(gehalte in massaprocent)*			
			Hoofdbestandelen		Nevenbestanddelen	
			Gegranuleerde hoogovenslak	Calcium sulfaat	Portland cementklinker	Anders
			S	Cs	K	A
SSC	Gesulfateerd cement	SSC	≥ 75	5 ≤ Cs ≤ 20	0 < K ≤ 5	0 ≤ A ≤ 5

Let op!

In verband met het gevaar voor expansie is het mengen van gesulfateerd cement met cementen op basis van portlandcementklinker niet toegestaan.

NEN-EN 413-1

NEN-EN 413-1 is de norm voor metselcement. Dit is een cementnorm die eigenlijk niet in het rijtje thuishoort. De hierboven genoemde normen hebben allemaal betrekking op cement dat in beton voor constructieve doeleinden wordt toegepast.

Samenstelling metselcement

Type	Samenstelling in massaprocenten		
	Portland-cementklinker	**Andere hoofdcomponent**	**Hulp-stof**
MC5	≥ 25	Hiervoor komen de volgende anorganische materialen in aanmerking: • hoofdbestandden volgens NEN-EN 197-1; • natuurlijke mineralen; • mineralen gebruikt voor of vrijkomend bij de fabricage van portlandcementklinker; • hydraulische kalk; • anorganische pigmenten.	≤ 1[b]
MC 12,5 MC 12,5 X[a] MC 22,5 X[a]	≥ 40		

a) Metselcement aangeduid met X bevat geen luchtbelvormer
b) De hoeveelheid organische hulpstof (gehalte droog materiaal) mag niet meer bedragen dan 0,5% (m/m) ten opzichte van het metselcement

Eisen aan metselcement

Type	Eigenschappen metselmortelspecie		Druksterkte in N/mm²		
	luchtgehalte % (v/v)	**Waterretentie % (m/m)**	**7 dagen**	**28 dagen**	
MC 5	≥ 8 en ≤ 22	≥ 80	–	≥ 5	≤ 15
MC 12,5			≥ 7	≥ 12,5	≤ 32,5
MC 12,5 X	≤ 6	≥ 75			
MC 22,5 X			≥ 10	≥ 22,5	≤ 42,5

6.6 Cementen op basis van aluminiumcementklinker/ aluminiumcement

Aluminiumcement wordt gemaakt op basis van een klinker vervaardigd uit bauxiet en kalksteen. Daarmee behoort het tot een andere groep dan de cementen op basis van portlandcementklinker. Aluminiumcement is een hydraulisch bindmiddel dat stormachtig met water reageert tot een sterke en dichte cementsteen. Bij de hydratatie komt veel warmte vrij.

Afhankelijk van de verhardingstemperatuur ontstaan calcium-aluminaat-hydraten (CAH) met als samenstelling:
- CAH_{10} (< 20 °C);
- C_2AH_8 (20 °C – 60 °C);
- C_3AH_6 (> 60 °C).

Aluminiumcement moet voldoen aan NEN-EN 14647, Calcium Aluminaat Cement – Composition, specification and conformity criteria. De aanduiding voor dit cement is CAC.

Druksterkte in N/mm²		Begin binding (min)
Na 6 uur	Na 24 uur	
≥ 18,0	≥ 40,0	≥ 90

Opmerking 1
Aluminiumcement verhardt zeer snel. De sterkteontwikkeling na 28 dagen bij 20 °C is dan ook niet relevant. Conformiteit op druksterkte wordt meestal getoetst op jonge leeftijd.

Opmerking 2
Waarden van de druksterkte verkregen op jonge leeftijd mogen vanwege de conversie niet gebruikt worden voor het ontwerpen van betonconstructies.

6.6.1 Conversie

Bij temperaturen boven 20 °C worden CAH_{10} en C_2AH_8 geleidelijk omgezet in C_3AH_6. Daarbij komt onder meer water vrij waardoor de permeabiliteit en de porositeit van de cementsteen sterk toenemen en de druksterkte sterk afneemt. Dit verschijnsel wordt 'conversie' genoemd. Aluminiumcement is daarom meestal ongeschikt voor constructiebeton.

6.6.2 Vuurvastheid

Cementsteen van aluminiumcement gaat weliswaar in sterkte achteruit bij hogere temperaturen, maar het behoudt zijn samenhang. Bij temperaturen boven 1000 °C ontstaan keramische verbindingen, die na afkoelen behouden blijven. Aluminiumcement wordt daarom vaak toegepast als bindmiddel voor 'vuurvast' beton.

6.6.3 Aluminiumcementbeton

Betonspecie en beton gemaakt met aluminiumcement heeft een aantal bijzondere eigenschappen; zie hoofdstuk 3.1 'Aluminiumcementbeton'.

6.7 In Nederland toegestane cementsoorten

Van de in NEN-EN 197-1 genoemde cementen zijn de onderstaande in NEN 8005 toegelaten. Andere cementsoorten mogen worden toegepast, mits ze voldoen aan NEN-EN 197-1 en hun geschiktheid is aangetoond. Hoe de geschiktheid kan worden vastgesteld, is beschreven in CUR-Aanbeveling 48.

CEM I	portlandcementen
CEM II/A-S en CEM II/B-S	portlandslakcementen
CEM II/A-V en CEM II/B-V	portlandvliegascementen
CEM II/B-T	portlandleisteencement
CEM III/A en CEM III/B	hoogovencementen

Voor cementen die voldoen aan NEN-EN 197-1 of NEN-EN 14216 en waarvan de generieke toepasbaarheid niet is aangetoond, geldt dat het cement mag worden toegepast daar waar de specifieke geschiktheid de prestatie van het bouwdeel positief beïnvloed. Specifieke geschiktheid van het cement moet worden aangetoond door te toetsen op één of meer relevante duurzaamheidsaspecten zoals genoemd in CUR-aanbeveling 48 eventueel aangevuld met relevante testmethoden, bijvoorbeeld hydratatiewarmte.

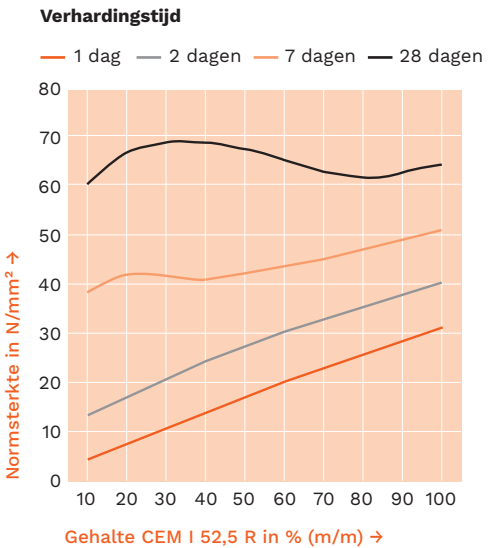
De cementsoorten CEM III/C en VLH III/C (klinkergehalte lager dan 20% m/m) mogen alleen worden toegepast in bouwdelen die vallen in de categorie massabeton. Zie paragraaf 4.5.2.

6.8 Mengen van cementen

Er kunnen redenen zijn om verschillende cementsoorten te mengen; alle hoofdsoorten CEM I tot en met CEM V kunnen in alle gewenste verhoudingen gemengd worden.
Zowel de mengverhouding als de onderlinge verschillen tussen de cementen hebben invloed op de specie- en de betoneigenschappen van de met het cementmengsel samengestelde betonspecie.
Veelal zijn de effecten op verwerkbaarheid en kleur redelijk in te schatten, maar ook de verhardingskarakteristiek kan wijzigen. Geschiktheidsonderzoek is daarom aan te raden.

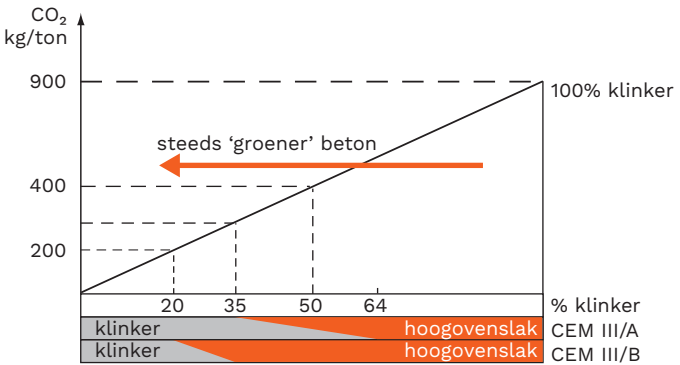
6.8.1 Mengen portlandcement en hoogovencement

Het mengen van portlandcement (CEM I) met hoogovencement (CEM III) leidt tot een andere verhardingskarakteristiek en – bij toenemend gehalte aan portlandcement – tot een donkerder beton.
In hoogovencementbeton wordt in de winter soms een deel van het CEM III/B 42,5 N vervangen door CEM I 52,5 R om daarmee de beginsterkte van het beton te verhogen. Dit heeft niet alleen invloed op de beginsterkte, maar ook op de verdere sterkteontwikkeling, zoals blijkt uit onderstaande grafiek.



6.8.2 'Groener' beton door het mengen van cementen.

Het beperken van het klinkergehalte in cement verlaagt de CO_2-uitstoot en maakt het cement 'groener'. Met een combinatie van een CEM III met een hoog percentage hoogovenslak en een CEM I 52,5 R kan de betontechnoloog schuiven met het gehalte hoogovenslak tot de meest optimale prestatie van het beton (bijvoorbeeld sterkte, technische duurzaamheid, CO_2-footprint, kostprijs) is bereikt.
Het grote voordeel van het mengen van cementen is dat de afnemer altijd verzekerd is van een gegarandeerde prestatie van het individuele cement.
Het schuiven met de verhoudingen CEM III versus CEM I maakt het beton niet alleen 'groener', maar verandert ook andere prestaties van het beton.



Onderstaande tabel geeft een overzicht van het effect op de verschillende eigenschappen van beton als gevolg van het mengen van een CEM III/B met een CEM I, een cement op basis van 100% portlandcementklinker.

Eigenschap	Verschuiving naar minder klinker
Sterkteontwikkeling	Lagere beginsterkte, hoogovensslak is latent hydraulisch en wordt geactiveerd door het aandeel klinker.
Temperatuurgevoeligheid	Wordt gevoeliger bij afname klinkergehalte
Warmteontwikkeling	Wordt lager naarmate het klinkergehalte afneemt.
Vorst (dooizout) bestandheid	Voor een goede bestandheid tegen vorst in combinatie met dooizouten wordt een ondergrens van 50% portlandklinker aanbevolen.
Weerstand tegen carbonatatie	Wordt lager. Hoe minder klinker aanwezig, hoe lager de kalkbuffer
Weerstand tegen chloride indringen	Een hoger aandeel CEM III verhoogt de weerstand tegen chloride-indringing
Sulfaataantasting	Een hoger aandeel CEM III, verhoogt de bestandheid tegen sulfaataantasting, voorwaarde is een gehalte aan hoogovenslak > 66%

Eigenschap	Verschuiving naar minder klinker
Bestandheid tegen alkalikiezelzuurreactie	Een hoger aandeel CEM III maakt beton beter bestand tegen ASR, voorwaarde is een gehalte aan hoogovenslak > 50%
Zuuraantasting	Een hoger aandeel CEM III zorgt voor een betere en dichte cementsteen, daarmee wordt de weerstand tegen zuuraantasting verhoogd.

6.8.3 Mengen aluminiumcement en portlandcement

Het is onverstandig om aluminiumcement zelf te mengen met portlandcement. Dit leidt in veel gevallen tot ogenblikkelijk opstijven. Bovendien is de sterkteontwikkeling onvoorspelbaar.
Mengsels met aluminiumcement die minder dan 20% of meer dan 80% portlandcement bevatten, geven species die nog enige tijd verwerkbaar zijn.

6.9 CO_2 armere cementen

6.9.1 Calcium sulfo-aluminaat belite cement

De basisgrondstoffen voor calcium sulfo-aluminaat belite cement komen voor een groot deel overeen met portlandcement. Het verschil zit in de verhoudingen waarin de grondstoffen worden toegepast: een overmaat aan calciumsulfaat en aluminium. Door een lagere oventemperatuur in vergelijking tot het branden van de portlandcementklinker, ontstaat een klinker met een andere mineralogische samenstelling. De lagere inzet van kalksteen en de lagere oventemperatuur waarmee de klinker wordt vervaardigd geeft een besparing in de CO_2 uitstoot in vergelijking tot CEM I van ongeveer 30%. Een nadeel van deze klinker ten opzichte van de traditionele klinker is de tragere sterkteontwikkeling. De grote cementindustrieën plegen al jarenlang research om dit nadeel te compenseren. Het klinkermineraal ternesite levert een bijdrage aan de vereiste sterkteontwikkeling.

6.9.2 Drempels voor CO_2 armere bindmiddelen

Bij dergelijke bindmiddelen is vaak, wegens het ontbreken van brede kennis, gebruikservaringen en technische normen, niet direct bekend wat de milieuvoordelen zijn of wat de prestaties van de betontoepassing zullen zijn. Bij alternatieve bindmiddelen is het verder belangrijk te onderzoeken of de grondstoffen wel wereldwijd beschikbaar zijn en blijven, de prijs acceptabel is en het gebruik ervan in beton verantwoord is (gezondheid, constructieve veiligheid).

6.10 Veilig werken met cement

6.10.1 Irritatie

Droog cementpoeder is pH-neutraal. Zodra het in aanraking komt met vocht of water ontstaat een alkalisch milieu. Hierdoor zijn beton- en mortelspecie irriterend voor ogen en huid. Ook direct contact van cementpoeder met ogen en huid, alsmede inademen of inslikken moet worden vermeden, omdat het poeder in dat geval immers ook in aanraking komt met vocht.

Neem bij het werken met cement de volgende voorzorgsmaatregelen:
- vermijd stofvorming;
- werk in een goed geventileerde omgeving;
- gebruik bij het werken met cement in bulk een gesloten opslag- en doseersysteem, waarin de afgezogen lucht wordt gefilterd;
- als stofvorming onvermijdelijk is, gebruik dan een adembeschermingsmasker klasse P1 en bescherm de ogen met een goed sluitende stofbril;
- bescherm bij langdurig of regelmatig contact met cement de handen met neopreen werkhandschoenen.

6.10.2 Cementeczeem

Een kleine groep mensen kan bij veelvuldig contact tussen huid en (beton) specie last krijgen van cementeczeem. Cementeczeem is een allergische reactie op oplosbaar chroom (VI). Deze stof, afkomstig uit grond- en brandstoffen, zit in uiterst kleine hoeveelheden in het cement. Bij het produceren van cement is het niet mogelijk om oplosbaar chroom (VI) uit het cement te verwijderen. Wel is het mogelijk om, door toevoeging van een kleine hoeveel-

heid reductiemiddel, het oplosbaar chroom (VI) om te zetten in onoplosbaar chroom (III).
Op basis van de Europese Verordening (EG) nr. 1907/2006 (REACH) mag geen cement meer worden verwerkt wanneer het gehalte aan oplosbaar chroom (VI) meer dan 2 ppm bedraagt.
Door het reduceren van cement is de kans op het verkrijgen van cementeczeem verwaarloosbaar geworden. Het gevaar voor huidirritatie is echter hierdoor niet verdwenen.

6.10.3 Niet gereduceerd cement

Cementen die van nature arm zijn aan oplosbaar chroom (VI) (zij bevatten minder dan 0,0002%) behoeven niet te worden gereduceerd.

7 Toeslagstoffen

7.1 Functie

Toeslagstoffen vormen het dragende skelet van beton. De eigenschappen van de toeslagstoffen bepalen grotendeels de eigenschappen van het beton. Belangrijke eigenschappen zijn bijvoorbeeld druksterkte en vervormingsgedrag, volumieke massa, slijtweerstand, korrelopbouw en korrelvorm (rond of gebroken).
Toeslagstoffen nemen circa 70% van het betonvolume in. De aanhechting tussen de toeslagstoffen en de cementsteen is van grote invloed op de samenhang en de sterkte van het beton.

7.2 Indeling

De eisen die aan toeslagmaterialen worden gesteld zijn vastgelegd in NEN-EN 12620 Toeslagmaterialen. Ze worden ingedeeld naar grootte, volumieke massa en oorsprong.

7.2.1 Onderverdeling naar grootte

In de specificaties hanteert men de symbolen d en D voor het aanduiden van respectievelijk de kleinste en grootste korrelafmeting van de toeslagstoffen. In feite zijn de waarden voor d en D conventioneel bepaald aangezien de norm toelaat dat er nog korrels zijn die groter zijn dan D en kleiner dan d. De zeef welke geen zeefrest vertoont voor een bepaald granulaat, is dus groter dan D (zie 7.4.1 Geometrische kenmerken, § korrelverdeling).

Onderverdeling naar grootte	
Zand	**Steenslag/grind**
D = 0	d ≥ 2
D ≤ 4	D ≤ 63
	Eis: D/d ≥ 1,4
	Bijvoorbeeld korrelmaat 4/5,6

7.2.2 *Onderverdeling naar volumieke massa*

De volumieke massa van toeslagstoffen is de massa per volume-eenheid, onderstaande tabel geeft een indeling.

Naam	Symbool	Toelichting
Absolute volumieke massa (vroeger soortelijk gewicht)	ρ_a	Verhouding tussen de massa van het materiaal en het volume dat door het materiaal zelf wordt ingenomen zonder poriën.
Reële volumieke massa (vroeger korrelvolumiekemassa)	ρ_{rd}	Verhouding tussen de massa van het materiaal en het volume van het materiaal inclusief de poriën. Vooral van belang bij lichte toeslagmaterialen.
Verzadigd, oppervlaktedroge volumieke massa	ρ_{ssd}	Verhouding tussen de massa van het oppervlakte-droog materiaal en het volume van het materiaal. (ssd = 'saturated, surface dry')
Schijnbare volumieke massa (vroeger stortgewicht)	ρ_b	Dit is de massa van 1 m^3 toeslagstoffen, zoals deze op voorraad liggen, met inbegrip van de holle ruimtes tussen de stenen.

Men spreekt van lichte, normale en zware toeslagstoffen.

- Licht: ρ_a, $\rho_{rd} < 2000$ kg/m^3
- Normaal: ρ_a tussen 2000 en 2800 kg/m^3
- Zwaar: $\rho_a \geq 2800$ kg/m^3

Let op!

Normale en zware toeslagstoffen vallen onder NEN-EN 12620 en NEN 5905
Grove, lichte toeslagmaterialen (≥ 4 mm) vallen onder NEN-EN 13055-1 en NEN 3543

7.2.3 *Onderverdeling naar oorsprong*

Toeslagstoffen		
Natuurlijk	**Kunstmatig**	**Gerecyclede**
Rechtstreeks gevonden in de natuur bijvoorbeeld grind Ontstaan door het breken van rots bijvoorbeeld kalksteenslag	Van minerale oorsprong Ondergaan een industrieel proces bijvoorbeeld staalslakken/gebakken kleikorrels	Ontstaan uit het breken en afzeven van bouwmateriaal bijvoorbeeld betonpuin of metselwerkpuin

Natuurlijke gesteentes

Natuurlijke toeslagstoffen ontstaan op verschillende manieren. We spreken van stollingsgesteente, alluvionair, sedimentair en metamorf gesteente.

Type	Voorbeeld	Eigenschappen	Toepassingen
Stollingsgesteente	Porfier	Uitstekende mechanische, chemische eigenschappen	Wegenbeton Hogesterktebeton
Alluvionair gesteente	Riviergrind Zeegrind	Rond materiaal	Betonspecie
Sedimentair gesteente	Kalksteen Zandsteen	Gebroken materiaal	Betonspecie Prefab beton
Metamorf gesteente	Blauwe hardsteen	Esthetisch	Natuurtegels

Natuurlijk zand

Type	Voorbeeld	Eigenschappen
Natuurlijk zand	Zeezand Rivierzand	Ronde vorm Korrelopbouw afhankelijk van de ontginningsplaats
Breekzand	Kalksteenzand Porfierzand	Hoekige vorm Korrelopbouw afhankelijk van breek- en zeefproces, al dan niet gewassen

Kunstmatige toeslagstoffen

Type	Voorbeeld	Eigenschappen
Slakken	Staalslakken	Hoge volumieke massa (> 3.000 kg/ m^3)
Lichte toeslag-stoffen	Gebakken klei-korrels	Lage volumieke massa Thermisch en akoestisch isolerend

Gerecyclede toeslagstoffen

Dit zijn toeslagstoffen afkomstig van het selectief breken van puin afkomstig van sloopwerken.
NEN 5905 stelt eisen aan de samenstelling en de eigenschappen van betongranulaat en menggranulaat.

Type	LA-waarde	Gehalte beton-korrels met $\rho_a \geq 2100$ kg/m^3	Eigenschappen
Betongranulaat	< 40	> 90%	De LA-waarde wordt bepaald via de 'Los Angeles Abrasion test' volgens NEN-EN 1097-2.
Menggranulaat	< 50	> 50%	(zie 7.4.3. Geometrische kenmerken, § Weerstand tegen verbrijzeling)

Het gehalte aan niet steenachtige materialen dient overeenkomstig NEN-EN 12620 te worden aangegeven. Bepaling dient volgens prNEN-EN 933-11 te geschieden.

Voor een verantwoorde toepassing van betongranulaat wordt verwezen naar CUR-aanbeveling 112 'Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal'. De toepassing van betongranulaat is op dit moment tot en met 20% geregeld via NEN-EN 206 en NEN 8005. Een vervanging tussen 20-50% van het steenslag/grind volgens de CUR-aanbeveling 112, moet met de opdrachtgever worden overeengekomen.

7.3 Eigenschappen van toeslagstoffen voor beton

7.3.1 Algemene kenmerken

De toeslagstoffen moeten vrij zijn van onzuiverheden die de eigenschappen van het beton nadelig kunnen beïnvloeden (bijvoorbeeld kleiachtige materialen, suiker, humus).
De mechanische en chemische eigenschappen moeten zoveel mogelijk constant blijven. De regelmatigheid van de korrelverdeling van de toeslagstoffen is van wezenlijk belang voor het behoud van de kwaliteit van het beton.

De toeslagstoffen moeten een voldoende mechanische sterkte bezitten, die op zijn minst groter moet zijn dan de beoogde druksterkte van het beton (behalve in het geval van lichtbeton). Op die manier zal de sterkte van het beton bepaald worden door de sterkte van de cementsteen, en dus ook controleerbaar en aanpasbaar zijn.
De toeslagstoffen moeten bestand zijn tegen vorst. De vorstbestendigheid hangt af van de porositeit en het absorptievermogen van de toeslagstoffen.

7.3.2 Proeven op toeslagstoffen

Normen en eisen

De norm EN 12620 beschrijft de eigenschappen waarover toeslagstoffen voor gebruik in beton moeten beschikken.
Omdat het over een Europese norm gaat, zijn er eigenschappen in opgenomen die niet noodzakelijk in elk land van toepassing zijn (bijvoorbeeld weerstand tegen afslijten door spijkerbanden). Daarom wordt deze Europese norm aangevuld door nationale bijlagen, waarin bepaald is welke eigenschappen in dat land gelden. Voor Nederland is dit vastgelegd in de norm NEN-EN 12620. Aanvullend is er in NEN 5905 voor een aantal veel gebruikte korrelgroepen een tabel opgesteld met de eisen voor die korrelgroepen.

7.4 Aanduiding en identificatie van toeslagstoffen

7.4.1 Geometrische kenmerken

Korrelverdeling

De korrelverdeling geeft een aanduiding van de afmetingen van de toeslagstoffen die in een bepaalde korrelgradering terug te vinden zijn. De korrelverdeling wordt bepaald door het percentage van de korrels dat door een zeef met bepaalde maaswijdte valt.
De bepaling van de korrelverdeling moet beantwoorden aan de voorschriften van NEN-EN 933-1. De grenzen waaraan een korrelgroep moet voldoen, zijn vastgelegd in de norm NEN-EN 12620.

Grove toeslagstoffen							
Norm	**Kaliber d/D**	**Categorie EN**		**Massapercentage doorval m/m door de zeef van**			
	2D	**1,4 D**	**D**	**d**	**d/2**		
EN 12620	D/d ≤ 2 of D ≤ 11,2 mm	G_c 85/20	100	98-100	85-99	0-20	0-5
		G_c 80/20	100	98-100	80-99	0-20	0-5
	D/d > 2 en D > 11,2 mm	G_c 90/15	100	98-100	90-99	0-15	0-5

Praktisch voorbeeld van in Nederland gangbare korrelgroepen

Granulaat	Grof										
Korrelgroep	2/5	2/8	4/8	4/16	4/22	4/32	8/11	8/16	16/22	16/32	16/63
Categorie Zeven basisset + set 1	Gc85/20	Gc85/20	Gc85/20	Gc90/10	Gc90/15	Gc90/15	Gc85/20	Gc85/20	Gc85/20	Gc85/20	Gc90/15
90											98-100
63						100				100	90-99
45					100	98-100			100	98-100	
31,5				100	98-100	90-99		100	98-100	85-99	25-70
22,4				98-100	90-99		100	98-100	85-99	25-70	
16		100	100	90-99		25-70	98-100	85-99	0-20	0-20	0-15
11,2	100	98-100	98-100		25-70		85-99	25-70			
8	98-100	85-99	85-99	25-70			0-20	0-20	0-5	0-5	0-5
5,6	85-99		25-70								
4	25-70	25-70	0-20	0-15	0-15	0-15	0-5	0-5			
2	0-20	0-20	0-5	0-5	0-5	0-5					
1	0-5	0-5									

Zand						
Norm	Kaliber 0/D	Categorie EN	Massapercentage doorval door de zeef van			
			2 D	1,4 D	D	d	d/2
NEN-EN 12620	D ≤ 4 mm en d = 0	G_F 85	100	95-100	85-99	–	–

Gehalte aan fijne deeltjes

Het gehalte aan fijne deeltjes (< 0,063 mm) wordt gemeten conform de norm NEN-EN 933-1 en wordt uitgedrukt volgens onderstaande tabellen vastgelegd in de norm NEN-EN 12620. We onderscheiden verschillende klassen voor grove toeslagstoffen en zand.

Grove toeslagstoffen

Maximaal gehalte aan fijne deeltjes NEN EN 12620	
Code	**%**
$f_{1,5}$	1,5
f_{4}	4,0
$f_{opgegeven}$	opgegeven waarde > 4

Zand

Maximaal gehalte aan fijne deeltjes NEN EN 12620	
Code	**%**
f_{3}	3,0
f_{10}	10,0
f_{16}	16,0
f_{22}	22,0
$f_{opgegeven}$	opgegeven waarde > 22

Fijnheidsmodulus van zand

De fijnheidsmodulus geeft door middel van één cijfer een indicatie van de grofheid van het zand. Eén cijfer kan natuurlijk niet even veel informatie verschaffen als een zeefkromme. De fijnheidsmodulus wordt berekend als de som van de cumulatieve massapercentages op de volgende zeven: 4 – 2 – 1 – 0,5 – 0,25 en 0,125 mm en gedeeld door 100.

Volgens bijlage B van NEN-EN 12620 zijn er 3 onderverdelingen mogelijk:
- Grof zand: klasse CF
- Middelgrof zand: MF
- Fijn zand: FF

Fijnheid		
Code		
CF	MF	FF
4,0 à 2,4	2,8 à 1,5	2,1 à 0,6

Vorm

De vorm is een belangrijke eigenschap van toeslagstoffen. Om te beginnen bepaalt de vorm het vloeigedrag van betonspecie; hoe ronder de vorm, hoe gemakkelijker het zal vloeien.
Daarnaast heeft de vorm invloed op het gehalte aan holle ruimtes in het beton, wat dan weer een weerslag heeft op de hoeveelheid specie die nodig is om deze holle ruimtes op te vullen.
Tot slot speelt de vorm ook nog een rol in de breukweerstand van het beton.
Voor zand en grove toeslagstoffen worden de hoekigheid en/of de vorm op een verschillende manier gemeten.

Grove toeslagstoffen

De vorm van de grove toeslagstoffen wordt bepaald via de afplattingscoëfficiënt en het korrelvormgetal.
De afplattingscoëfficiënt kenmerkt de vorm van het granulaat op basis van de grootste afmeting en zijn dikte. De proef bestaat uit het afzeven van de grove toeslagstoffen op een reeks staafzeven conform met NEN-EN 933-3.
De proef wordt uitgevoerd op toeslagstoffen met korrelafmetingen $d \geq 4$ mm tot $D \leq 80$ mm. Er wordt een classificatie gehanteerd beschreven in de NEN-EN 12620, afhankelijk van de maximale diameter en het verkregen resultaat.

Maximaal waardes voor de afplattingscoëfficiënt	
Code	
f_{10}	10
f_{15}	15
f_{20}	20
f_{25}	25
f_{30}	30
f_{35}	35
f_{40}	40
f_{50}	50
$f_{opgegeven}$	opgegeven waarde > 50

Hoe hoger de afplattingscoëfficiënt, hoe meer platte elementen het granulaat vertoont.

Het korrelvormgetal wordt bepaald via het berekenen van de afmetingsverhouding tussen de lengte en de dikte van afzonderlijke deeltjes in een monster met behulp van een schuifmaat conform NEN-EN 933-4. Het korrelvormgetal wordt berekend als de massa van de deeltjes waarvan deze afmetingsverhouding meer dan 3 bedraagt, uitgedrukt als percentage van de totale droge massa van de beproefde deeltjes.
Indien $D \leq 2d$, wordt het korrelvormgetal (SI) aan de hand van de volgende vergelijking bepaald:
SI = (M2/M1) × 100
Hierin is
M1 de massa van het analysemonster
M2 de massa van de deeltjes waarvan L/E > 3
Indien $D > 2d$, wordt het korrelvormgetal (SI) bepaald uit de massa's van de niet-kubusvormige deeltjes via enkele gedeelde of ongedeelde korrelgroepen.

Zand

Voor zand wordt de vorm bepaald door middel van de stroomcoëfficiënt (NEN-EN 933-6).
Deze wordt bepaald door middel van een proef waarbij de tijd wordt gemeten die nodig is om een bepaalde hoeveelheid droog zand uit een trechter met een welbepaalde opening te laten stromen.

Hoe hoekiger het zand is, hoe moeilijker het zand vloeit en hoe langer dus de uitstroomtijd zal zijn. De coëfficiënt wordt uitgedrukt in tijd als seconden. Hoe hoger de uitstroom-coëfficiënt, hoe minder het zand een goede verwerking waarborgt.

Minimale waardes voor de stroomcoëfficiënt	
Code	
$E_{CS}38$	38
$E_{CS}35$	35
$E_{CS}30$	30
E_{CS}opgegeven	opgegeven waarde < 30

Let op!
De stroomcoëfficiënt geldt voor gebroken zand.

7.4.2 Fysische kenmerken

Waterabsorptie
Door hun min of meer poreuze structuur absorberen toeslagstoffen water. Bij harde, dichte toeslagstoffen zal de absorptie tussen 0 en 2% bedragen.
Bij lichte toeslagstoffen kan de waterabsorptie in sommige gevallen zelfs oplopen tot ca 30%.
Met de hoeveelheid water dat door de toeslagstoffen wordt geabsorbeerd, hoeft geen rekening gehouden te worden bij de berekening van de water-cementfactor.
De waterabsorptie van de toeslagstoffen moet worden bepaald volgens NEN-EN 1097-6. Daartoe moet het verschil in massa tussen 'oppervlaktedroge' en 'volledig gedroogde' toeslagstoffen worden bepaald.

Reële volumieke massa
De reële volumieke massa van toeslagstoffen speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de samenstelling van beton. De meeste samenstellingen worden immers in massaprocenten gegeven. Hoe deze waarde moet worden bepaald, wordt beschreven in de norm NEN-EN 1097-6, in respectievelijk § 8 voor grove toeslagstoffen en § 9 voor zand.

7.4.3 Mechanische kenmerken

Weerstand tegen verbrijzeling (LA)
De mate waarin toeslagstoffen weerstand bieden tegen verbrijzeling, wordt bepaald met de Los Angeles-proef. Daarbij worden de toeslagstoffen onderworpen aan een belasting die wordt veroorzaakt door schokken met genormaliseerde kogels in een Los Angeles-toestel. De LA-waarde is het massaverlies na de proef, uitgedrukt in procenten.
De proef wordt uitgevoerd zoals beschreven in de norm NEN-EN 1097-2.
Er wordt een classificatie gehanteerd beschreven in de NEN-EN 12620.

Slijtvastheid (MDW)
De slijtvastheid wordt bepaald met de Micro-Deval-slijtproef. De toeslagstoffen ondergaan in een draaiende cilinder een onderlinge wrijving van korrel op korrel, onder bepaalde omstandigheden. De Micro-Deval-waarde is het massaverlies na de proef, uitgedrukt in procenten.
De proef wordt uitgevoerd zoals beschreven in de norm NEN-EN 1097-1.
Er wordt een classificatie gehanteerd beschreven in de NEN-EN 12620.

Weerstand tegen polijsting (PSV)
In wegverhardingen moeten de toeslagstoffen aan de oppervlakte zo lang mogelijk weerstaan aan de gevolgen van polijsting door het voorbijrijdend verkeer.
Deze weerstand tegen polijsting wordt bepaald door middel van de versnelde polijstingsproef. Hoe hoger de waarde, hoe groter de weerstand tegen polijsten.
De proef wordt uitgevoerd zoals beschreven in de norm NEN-EN 1097-8.
Er wordt een classificatie gehanteerd beschreven in de NEN-EN 12620.

Vorst-/dooibestandheid van toeslagstoffen
Ten gevolge van vorst kan water dat zich in poreuze delen van toeslagstoffen bevindt, bevriezen. Hierdoor neemt het volume van het water toe en kunnen de korrels stukvriezen. Conform EN 1367-1 kan de vorst-/dooibestandheid van toeslagstoffen worden bepaald die gebaseerd is op het verlies aan massa na verscheidene vorst-/dooicycli en kan volgens NEN-EN 12620 onderverdeeld worden in volgende categorieën.

Maximale waardes voor vorst-/dooibestandheid	
Code	**%**
F_1	1,5
F_2	2
F_4	4
$F_{opgegeven}$	opgegeven waarde > 4

Deze vorst-/dooibestandheid kan ook gecontroleerd worden bij aanwezigheid van dooizouten waarvoor een aparte classificatie is voorzien binnen NEN-EN 12620. Deze test is uitermate belangrijk voor toepassingen in een maritieme omgeving.
Of beton, waarin de toeslagstoffen verwerkt zijn, ook zal stukvriezen, hangt natuurlijk van meer aspecten af dan alleen van de vorstbestendigheid van de toeslagstoffen.

7.4.4 *Chemische kenmerken*

Toeslagstoffen moeten vrij zijn van verontreinigingen die een schadelijke invloed kunnen hebben op de betonspecie, het verharde product of het wapeningsstaal.

Gehalte aan chloorionen
Omdat chloriden het wapeningsstaal aantasten, worden er ook eisen gesteld aan het totale chloridegehalte van het beton. Aangezien toeslagstoffen een groot bestanddeel zijn van beton, is het belangrijk het chloridegehalte van de toegepaste toeslagstoffen te kennen, vooral bij zeetoeslagstoffen. Het chloridegehalte zal bepaald worden volgens EN 1744-1.

Let op!
Wanneer het gehalte aan water-oplosbare chloride ionen kleiner of gelijk is aan 0,01%, mag 0,01% gebruikt worden voor de berekeningen van het chloride gehalte in beton.

Gehalte aan schelpdelen
De bepaling van het schelpgehalte van het toeslagmateriaal is belangrijk in functie van de impact op de sterkteontwikkeling en duurzaamheid van het beton. NEN-EN 12620 geeft volgende classificatie.

Maximale waardes voor schelpdelen NEN-EN 12620	
Code	**%**
CS_{10}	10
$CS_{opgegeven}$	opgegeven waarde > 10

Let op!
Geldt enkel voor gebroken materiaal.

Kwaliteit van de fijne deeltjes
Bij zand beschikken we over specifieke proeven die de aanwezigheid van schadelijke stoffen zoals klei of organische stoffen bepalen.

Zandequivalent
Het zandmonster wordt gespoeld met een uitvlokkende oplossing die de fijnste deeltje samenkit. De wasoplossing wordt overgeheveld in een proefbuis waar de zanderige deeltjes eerst bezinken, waarna de zwevende deeltjes (floculaat) erbovenop bezinken.
De verhouding tussen de hoogte van de laag bezonken zanderige deeltjes en de hoogte van het totaal bezonken materiaal (zanderige en zwevende deeltjes), vermenigvuldigd met 100, noemt men het zandequivalent.

Methyleenblauwproef
Methyleenblauw heeft de eigenschap zich bij voorkeur te laten absorberen door klei en organische verbindingen.
Een vastgestelde massa fijne deeltjes (fractie 0/2 voor BW of 0/0,125 voor BW_F) wordt vermengd in een hoeveelheid gedistilleerd water waaraan een toenemende hoeveelheid methyleenblauw wordt toegevoegd. Zolang het methyleenblauw geabsorbeerd wordt, zal deze oplossing niet verkleuren.
De hoeveelheid geabsorbeerd methyleenblauw is dus een maat voor de hoeveelheid klei die aanwezig is.

7.5 Lichte toeslagmaterialen volgens NEN-EN 13055-1 en NEN 3543

Toeslagmaterialen met een ρ_{rd} (rd = relative density) minder dan 2000 kg/m³ behoren tot de lichte toeslagmaterialen.

Eisen

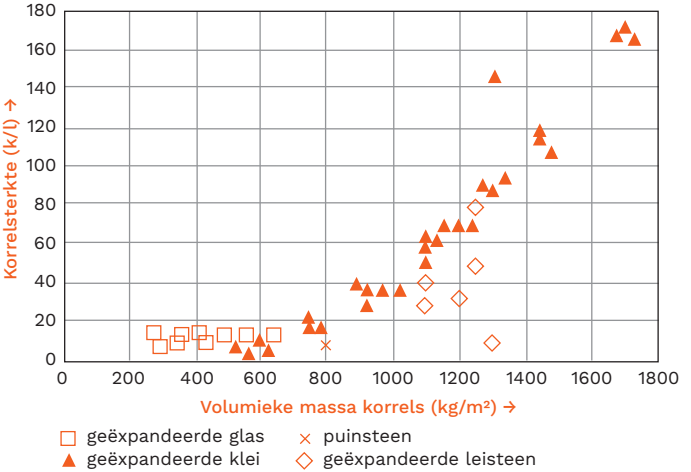
In NEN-EN 13055-1 en NEN 3543 zijn géén eisen vastgelegd voor de verschillende eigenschappen van het lichtgewicht toeslagmateriaal.
Voor alle eigenschappen is aangegeven welke norm gebruikt moet worden om de betreffende eigenschap te bepalen. De producent dient vervolgens de bandbreedte waarbinnen de betreffende eigenschap moet liggen, aan te geven. De proefresultaten moeten binnen deze eigenschap vallen.

De korrelgroep wordt aangeduid met d/D, waarbij d de kleinste zeefmaat en D de grootste zeefmaat aangeeft.
De norm geeft zeefmaten voor het definiëren van de korrelgroep. Korrelgroepen met D/d kleiner dan 1,4 zijn niet toegestaan. De hoeveelheid ondermaat mag niet groter zijn dan 15% (m/m) en de hoeveelheid bovenmaat niet groter dan 10% (m/m). Indien vereist, dient de producent de zeef waardoor 100% van het materiaal gaat op te geven.
Ook korrelvorm en fijnaandeel dienen, indien vereist, te worden opgegeven door de producent.

Eisen fysische eigenschappen lichte toeslagmaterialen

Eigenschap	Beproevings-norm	Waarde	Toegestane afwijking
Volumieke massa	NEN-EN 1097-6	Opgave leverancier	± 15%; max. ± 150 kg/m^3
Volumieke massa (losgestort)	NEN-EN 1097-3	Opgave leverancier	± 15%; max. ± 100 kg/m^3
Water-absorbtie	NEN-EN 1097-6	Indien vereist Opgave leverancier	Binnen opgegeven bandbreedte
Watergehalte	NEN-EN 1097-5	Indien vereist Opgave leverancier	Binnen opgegeven bandbreedte
Korrelsterkte: verbrijzelings-weerstand	NEN-EN 13055-1	Indien vereist Opgave leverancier	Binnen opgegeven bandbreedte
Volume-vastheid	NEN-EN 13055-1	Indien vereist Opgave leverancier	Binnen opgegeven bandbreedte

Relatie tussen korrelsterkte en ρ_{rd} van verschillende lichte toeslagmaterialen



Eisen chemische eigenschappen lichte toeslagmaterialen

Eigenschap	Beproevings-norm	Waarde	Toegestane afwijking
Chloridegehalte	NEN-EN 1744-1	Opgave leverancier	Onder opgegeven grenswaarde
In zuur oplos-bare sulfaten	NEN-EN 1744-1	Opgave leverancier	Indien gehalte uitgedrukt als SO_3 > 1,0% moet geschiktheid wor-den aangetoond
Totaal zwavel	NEN-EN 1744-1	Opgave leverancier	Binnen opgegeven bandbreedte
Gloeiverlies	NEN-EN 1744-1	Opgave leverancier	Binnen opgegeven bandbreedte
Organische verontreiniging	NEN-EN 1744-1	Opgave leverancier	Binnen opgegeven bandbreedte
Gevoeligheid voor ASR van natuurlijk licht toeslagmat.	Zie hiervoor CUR-Aanbeveling 89 'Voorkomen van schadelijke ASR'		

7.6 Eigenschappen gangbare grove toeslagmaterialen

7.6.1 Herkomst lichte toeslagmaterialen

Toeslag-materiaal	Fabrikant	Plaats	Land
Argex	Argex	Zwijndrecht (Burcht)	België
Exclay	Maxit	Eindhoven	Nederland
Liapor	Liapor GmbH & Co. KG	Hallendorf-Pautzfeld	Duitsland

7.6.2 Materialen met een volumieke massa van 2000 – 2800 kg/m³

Materiaal	Volumieke massa ρ_a (kg/m³) (× 1000)	Waterabsorptie 24 uur % (m/m)	Druksterkte (N/mm²)	Polijstgetal	Therm. uitzettings-coëfficiënt (× 10^{-6})
Riviergrind	2,50–2,70	0,8–1,2	150–200	55	8,0–12,8
Porfier	2,55–2,80	0,4–0,6	180–300	54	7,3–8,4
Gabbro/dioriet	2,90–3,00	1,0–1,1	170–300	59	6,5–7,9
Harde kalksteen	2,65–2,85	0,9–1,2	80–230	35–47	4,0–7,1
Zandsteen/ kwartsiet	2,60–2,65	0,2–1,2	150–300	58–65	10,8–12,8
Basalt	2,85–3,00	niet bekend	250–400	50	6,5–8,1
Graniet	2,60–2,80	0,5–0,7	160–260	59	6,0–9,0

7.6.3 Zware toeslagmaterialen

Materiaal	Volumieke massa ρ_a (kg/m³) (× 1000)	Druksterkte (N/mm²)	Dyn. E-modulus (kN/mm²)
Bariet	3,4–4,3		57–61
Hematiet	4,0–5,3	160–600	75–300
Magnetiet	3,5–5,1	80–200	80–200
Ferrosilicium	6,2–8,8		

8 Hulpstoffen en toevoegingen

8.1 Definitie

Een hulpstof is een stof die, als regel bij een toevoeging in hoeveelheden gelijk aan of minder dan 5% (m/m) van de cementhoeveelheid, een significante wijziging bewerkstelligt van één of meer eigenschappen van de cementpasta, de mortel- of betonspecie en/of het verharde product.

8.2 Algemene eisen en productinformatie

Uiteraard is de hoofdwerking van een hulpstof de belangrijkste reden om te worden toegepast. Daarnaast moeten hulpstoffen voldoen aan algemene eisen. De meeste van deze eisen worden gewoonlijk ook vermeld op de productinformatie van de betreffende hulpstof.
Deze algemene eisen zijn vermeld in NEN-EN 934-1, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Deel 1: Algemene eisen.

Eigenschap	Testmethode	Eisen/afwijkingen
Homogeniteit	Visueel	Er mag geen sprake zijn van ontmenging tijdens gebruik. Ontmenging moet binnen de grenzen blijven zoals vastgelegd door de producent
Kleur	Visueel	Gelijkmatig en overeenkomstig de productinformatie
Effectief bestanddeel	NEN-EN 480-6	De infrarood analyse mag geen afwijking geven t.o.v. de opgave van de producent
Volumieke massa	ISO 758	D ± 0,03 wanneer D > 1,10 kg/l D ± 0,02 wanneer D ≤ 1,10 kg/l D is vermeld op de productinformatie
Vaste-stofgehalte	NEN-EN 480-8	0,95 T ≤ X ≤ 1,05 T if T ≥ 20% 0,90 T ≤ X ≤ 1,10 T if T ≤ 20% Het vaste stofgehalte T is vermeld op de productinformatie

Eigenschap	Testmethode	Eisen/afwijkingen
pH-waarde (alleen) voor vloeistoffen)	ISO 4316	Mag niet meer afwijken dan ± 1 ten opzichte van de in de productinformatie opgegeven waarde
Totaal gehalte chloride	ISO 1158	≤ 0,10% (m/m), of nooit boven de waarde zoals vermeld op de productinformatie
Gehalte in water oplosbaar chloride (Cl^-)	NEN-EN 480-10	≤ 0,10% (m/m), of nooit boven de waarde zoals vermeld op de productinformatie
Gehalte aan alkaliën ($Na_2O_{-eq.}$)	NEN-EN 480-12	Nooit boven de waarde zoals vermeld op de productinformatie
Corrosie bevorderend gedrag	NEN-EN 480-14	Onderzoek vindt alleen plaats wanneerde hulpstof stoffen bevat die niet voorkomen op lijsten A.1 en A.2 van Bijlage A.a)

a) *Bijlage A van NEN-EN 934-1 bevat twee lijsten waarin verschillende stoffen zijn benoemd*
- *A.1 Goedgekeurde lijst;*
  Deze lijst bevat stoffen die in de hulpstof worden gebruikt als de actieve stof in relatie tot de hoofdwerking van de hulpstof. Deze stoffen zijn goedgekeurd en behoeven geen verder onderzoek naar eventueel corrosie bevorderend gedrag.
- *A.2 Vastgestelde lijst;*
  Stoffen die op deze lijst staan worden ook in de hulpstof toegepast als actieve stof en behoeven ook geen verder onderzoek naar corrosie bevorderend gedrag. Deze stoffen moeten wel expliciet worden vermeld op de CE-markering omdat het gebruik van deze stoffen, in relatie tot de toepassing, in sommige landen onderworpen is aan nationale regelgeving.

8.3 Indeling

Hulpstoffen worden ingedeeld overeenkomstig de hoofdwerking die zij beogen te hebben in betonspecie of in verhard beton.
NEN-EN 934-2, de norm voor hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel, geeft de volgende indeling en eisen ten aanzien van de hoofdwerking.
De effectiviteit van de hoofdwerking wordt beoordeeld ten opzichte van een referentiebeton en een referentiemortel conform NEN-EN 405-1 + A1.

Type hulpstof	Hoofdwerking	Eis aan de hoofdwerking in relatie tot een referentie-betonspecie (NEN-EN 480)
Waterreducerende/ plastificerende hulpstof	• verlaging van watergehalte bij gelijkblijvende verwerkbaarheid; • verhoging van de verwerkbaarheid bij gelijkblijvend watergehalte	waterreductie ≥ 5% druksterkte ≥ 110% (op 7 en 28 dagen)
Sterke waterreducerende / superplastificerende hulpstof	• sterke verlaging van watergehalte bij gelijkblijvende verwerkbaarheid; • sterke verhoging van de verwerkbaarheid bij gelijkblijvend watergehalte	waterreductie ≥ 12% druksterkte ≥ 140% (1 dag) ≥ 115% (28 dagen) toename zetmaat ≥ 120 mm toename schudmaat ≥ 160 mm
Water retentiemiddel	beperking van het waterverlies als gevolg van bleeding	bleeding ≤ 50%
Luchtbelvormer	vorming van een gecontroleerde hoeveelheid fijnverdeelde luchtbelletjes tijdens het mengproces	≥ luchtgehalte referentiebeton + 2,5% (v/v) afstandfactor in referentiebeton ≤ 0,20 mm
Bindtijdversneller	verkorting van de overgang tussen de plastische en vaste fase van een beton (mortel)specie	bij 5 °C ≤ 60% Ondergrens bij 20 °C is 30 min.
Verhardingsversneller	versnelt de sterkteontwikkeling van het verhardende beton	bij 20°C ≥ 120% (na 24 uur) ≥ 90% (na 28 dagen) bij 5°C ≥ 130% (na 48 uur)
Vertragende hulpstof	verlenging van de overgang tussen de plastische en vaste fase van een beton (mortel)specie	begin binding: referentie + 90 min. einde binding: referentie + 360 min.
Hulpstof ter verhoging van de weerstand tegen waterindringing	beperkt de capillaire absorptie van verhard beton	capillaire absorptie: ≤ 50% (na 7 dagen testen en 7 dagen nabehandelen) ≤ 60% (na 28 dagen testen en 90 dagen nabehandelen)

Naast de hier genoemde typen hulpstoffen en hoofdwerkingen kent NEN-EN 934-2 nog een aantal hulpstoffen waarbij combinaties kunnen worden gemaakt van de hier genoemde hoofdwerkingen. De eisen die hierbij aan de hoofdwerking worden gesteld kunnen enigszins afwijken van de eisen genoemd in deze tabel.

8.4 Toepassingen

De meest toegepaste hulpstoffen zijn (super)plastificeerders, luchtbelvormers, vertragers en versnellers. De hoofdwerking van de hulpstoffen wordt voornamelijk bepaald door het gehalte en het soort effectieve bestanddeel.

8.4.1 (Super)plastificeerders

Op basis van ligninesulfonaat

Hoofdwerking	• Verhoogt verwerkbaarheid of verlaagt waterbehoefte • Waterreductie minimaal 5%, zie ook 8.3
Bijwerking	• Kan vertragend werken • Kan bij hogere doseringen lucht inbrengen
Dosering	• Raadpleeg instructies fabrikant
Attentiepunten	• Effectief bij lage doseringen • Effectiviteit en vertraging nemen bij portlandcement toe met afnemend C_3A gehalte • Hoofdzakelijk toegepast als gewone plastificeerder

Op basis van melaminesulfonaat

Hoofdwerking	• Verhoogt verwerkbaarheid of verlaagt waterbehoefte • Waterreductie minimaal 12%, zie ook 8.3
Bijwerking	• Geen
Dosering	• Raadpleeg instructies fabrikant
Attentiepunten	• Sterke terugloop in verwerkbaarheid, vooral bij hogere temperaturen • Doseren na het aanmaakwater verhoogt de effectiviteit aanmerkelijk • In verband met een kortere werkingsduur heel goed toepasbaar in de betonelementenindustrie

Op basis van naftaleensulfonaat

Hoofdwerking	• Verhoogt verwerkbaarheid of verlaagt waterbehoefte • Waterreductie minimaal 12%, zie ook 8.3
Bijwerking	• Kan bij hoge doseringen vertragend werken; vooral bij gebruik van hoogovencement
Dosering	• Raadpleeg instructies fabrikant
Attentiepunten	• Doseren na het aanmaakwater verhoogt de effectiviteit aanmerkelijk • In verband met een langere werkingsduur heel goed toepasbaar in transportbeton

Op basis van polycarboxylaten

Hoofdwerking	• Verandert in hoofdzaak de rheologie van betonspecie, met name het vloeigedrag en de viscositeit
Bijwerking	• Raadpleeg fabrikant
Dosering	• Raadpleeg instructies fabrikant
Attentiepunten	• Bij alle doseringen dienen hulpstof- en watergehalte zorgvuldig op elkaar te zijn afgestemd. Onnauwkeurige afstemming leidt soms tot stroperige specie, maar vaker nog tot ontmenging • Werkingsduur van verschillende typen kan onderling verschillen

8.4.2 Luchtbelvormers (LBV)

Op basis van oppervlakactieve stoffen

Hoofdwerking	• Inbrengen van fijnverdeelde luchtbelletjes in de betonspecie
Bijwerking	• Leidt tot sterkteverlies. (Reken per % lucht boven 2% op een sterkteverlies vergelijkbaar met het toevoegen van 10 liter water) • Verhoogt de vorst-dooizoutbestandheid van het beton bij wcf > 0,45 • Verhoogt de speciesamenhang • Verhoogt de verwerkbaarheid • Verhoogt de waterdichtheid van het beton
Dosering	• Raadpleeg instructies fabrikant
Attentiepunten	• Extra mengtijd nodig • Moet zeer nauwkeurig gedoseerd worden • Poederkoolvliegas verlaagt de effectiviteit drastisch • Naarmate het cementgehalte en/of de cementfijnheid toeneemt, zal meer luchtbelvormer nodig blijken om een gewenst luchtgehalte te bereiken • Het combineren van een luchtbelvormer met een plastificeerder heeft soms moeilijk te beheersen effecten op verwerkbaarheid en luchtgehalte. Raadpleeg in voorkomende gevallen vooraf de leverancier van de hulpstoffen

8.4.3 Vertragers

Materiaal	• Vertragers worden vaak gemaakt op basis van suikers, zoals sacharine of gluconaten, maar ook andere chemische verbindingen komen voor
Hoofdwerking	• Vertraagt de hydratatiereactie
Bijwerking	• Leidt tot hogere eindsterkten van het beton
Dosering	• Bepalen door geschiktheidsonderzoek
Attentiepunten	• Vertragers zijn zo gevoelig voor de eigenschappen van de grondstoffen, dat geschiktheidsonderzoek vrijwel altijd (weer) nodig is. Resultaten uit het verleden zeggen weinig over het gedrag in een nieuwe speciesamenstelling • Zeer gevoelig voor de specietemperatuur, en daarmee ook voor de omgevingstemperatuur. Het is daarom raadzaam de specietemperatuur te bewaken • Gevoelig voor cementsoort. Geschiktheidsonderzoek is essentieel • Gevoelig voor type en gehalte aan vulstoffen. Geschiktheidsonderzoek is essentieel • Verleng de nabehandelingstijd evenredig • Bleeding kan lang doorgaan, omdat het water gedurende de vertragingstijd niet gebonden wordt

8.4.4 Versnellers

Materiaal	• De meest effectieve versnellers worden meestal gemaakt op basis van $CaCl_2$
Hoofdwerking	• Versnelt de hydratatiereactie
Bijwerking	• De hydratatiewarmte komt sneller vrij; dat leidt vaak tot hogere temperatuurgradiënten in het verhardende beton, waardoor het scheurrisico toeneemt • Verhoogt de kans op kalkuitbloeïing • Leidt tot lagere eindsterkten van het beton • Dosering verhoogt de kans op wapeningscorrosie
Dosering	• Bepalen door geschiktheidsonderzoek
Attentiepunten	• Versnellers op basis van $CaCl_2$ zijn uitsluitend toegelaten in ongewapend beton

8.5 Toevoegingen

In beton kunnen behalve de hier genoemde hulpstoffen ook andere toevoegingen worden toegepast. Deze passen niet in het kader van NEN-EN 934-2, maar gezien hun acceptatie in de markt mag hun toepassing niet onvermeld blijven.

8.5.1 Kleurstoffen/pigmenten

Uiterst fijngemalen poeders, meestal op basis van anorganische metaalverbindingen. Kleurstoffen op basis van organische verbindingen komen nagenoeg niet voor; zwart bestaat als metaaloxide en als organisch roetzwart.

Hoofdwerking	• Kleurt de cementsteen in beton- en mortelspecie, en daarmee de mortel of het beton
Bijwerking	• Kan tot sterkte toename van de waterbehoefte leiden en bij overdosering zelfs tot ernstige vertraging
Dosering	• Bepalen door geschiktheidsonderzoek
Attentiepunten	• De kleur van het cement, van eventuele vulstoffen en van het zand zijn van grote invloed op de kleur van het beton • Bij kleurwisselingen de menger en het transportgereedschap zorgvuldig reinigen

Wanneer kleurstoffen worden toegepast in ongewapend of gewapend beton moeten zij voldoen aan de eisen volgens NEN-EN 12878:

Invloed van kleurstof op:	Eisen beton	
	Ongewapend	Gewapend
Begin binding (min.)	≥ 60	≥ 60
Einde binding (min.)	≤ 720	≤ 720
Maximaal verschil in bindtijd ten opzichte van blanco referentie cement (min.)	≤ 60	≤ 60
Sterkteverlies t.o.v. referentiecement na 28 dagen (%)	≤ 10	≤ 8
Gehalte in water oplosbaar (%)	≤ 5	≤ 0,10
Gehalte aan chloride (Cl^-) (%)	–	≤ 0,10

8.5.2 Holle microbolletjes

Materiaal	• Kleine luchtbelletjes met een elastische kunststof omhulling en een doorsnede van 0,02-0,08 mm
Hoofdwerking	• Inbrengen van fijnverdeelde luchtbelletjes in de betonspecie
Bijwerking	• Leidt tot enig sterkteverlies • Verhoogt de speciesamenhang • Verhoogt de verwerkbaarheid • Verhoogt de vorst-dooizoutbestandheid van het beton bij wcf > 0,45 • Verhoogt de waterdichtheid van het beton
Dosering	• Raadpleeg instructies fabrikant
Attentiepunten	• Extra mengtijd nodig • Moet zeer nauwkeurig worden gedoseerd in de natte betonspecie • Bij voldoende dosering om vorst-dooizoutbestandheid te verzekeren, is het sterkteverlies geringer dan bij gebruik van een LBV op basis van oppervlakteactieve stoffen

8.5.3 Colloïdale hulpstoffen

Materiaal	• Gemodificeerde polymeren op basis van cellulosederivaten
Hoofdwerking	• Beperkt de bewegelijkheid van de fijne delen in de betonspecie en vergroot zodoende de samenhang ervan. De taaie, kleverige, traagstromende specie ligt toch in consistentieklasse F4 of hoger • Bij storten onder water nagenoeg geen uitspoeling, zie ook 3.2
Bijwerking	• Kan luchtgehalte verhogen • Werkt vertragend
Dosering	• Bepalen door geschiktheidsonderzoek
Attentiepunten	• Ook bruikbaar om beton met open structuur te maken. Dit is opgebouwd uit cementpasta, fijn zand en grof toeslagmateriaal. De hulpstof verbetert de kleef van de cementpasta aan het oppervlak van de grove toeslagmateriaalkorrels

8.5.4 Spoelmiddelen

Hulpstof die spoelwater geschikt maakt voor hergebruik als toevoeging aan het aanmaakwater voor betonspecie.

Hoofdwerking	• Beïnvloedt de reactie tussen cement en water zodanig dat in het spoelwater geen kluiten ontstaan, die niet met de hand te verpulveren zijn
Bijwerking	• De binding van betonspecie waaraan spoelwater is toegevoegd, kan wat vertraagd worden en de sterkteontwikkeling kan de eerste 24 uur wat achterblijven
Dosering	• Raadpleeg instructies fabrikant
Attentiepunten	• Spoelwater aan minimaal 3 m^3 betonspecie toevoegen • Spoelwater moet binnen 5 dagen zijn verwerkt. • Als spoelwater bevroren is geweest, mag het niet meer worden gebruikt

8.5.5 Staalvezels

Staalvezels kunnen worden toegepast om enerzijds de cementsteen te versterken (microniveau) en anderzijds om als wapening te functioneren (macroniveau). Het rekenen met staalvezels in beton vergt een totaal andere benadering dan het rekenen met conventioneel gewapend beton. Conventionele wapening kan nooit zomaar één op één worden vervangen door staalvezelbeton. Zie ook 3.9.

Belangrijke materiaal-eigenschappen	• Verhouding lengte/diameter van de staalvezel • Rekstijfheid/weerstand tegen verlenging • Treksterkte • Aanhechtingsvermogen van de vezel aan het beton • Staalvezels moeten voldoen aan NEN-EN 14889-1
Hoofdwerking	• Verhogen van de buigtreksterkte, buigtaaiheid en equivalente buigtreksterkte van (constructief) beton
Dosering	• Minimaal 30 kg/m^3 • Volg advies op van de leverancier. Dosering is afhankelijk van de gewenste prestatie, het type vezel en de hoeveelheid grof toeslagmateriaal
Attentie	• Vezels zitten homogeen fijn verdeeld in het beton, dus ook op die plek waar geen trekspanningen aanwezig zijn • De hoeveelheid staalvezels is beperkt door het gevaar voor samenklonteren • Het opvoeren van de hoeveelheid staalvezels verlaagt de verwerkbaarheid

8.5.6 Polypropyleenvezels

De toepassing van polypropyleenvezels in betonspecie heeft primiar het beperken van de scheurgevoeligheid ten gevolge van plastische krimp tot doel. Soms worden zij ook gebruikt ter verbetering van de stabiliteit en/of samenhang van de betonspecie en ter verbetering van de brandbestandheid en het afspatgedrag van beton. Zie ook 3.9.

Materiaal	• Polypropyleenvezel is een draadvormig deeltje van polypropyleen, een heldere witte kunststof, met of zonder coating • Polypropyleenvezels moeten voldoen aan NEN-EN 14889-2
Hoofdwerking	• Het beperken van de scheurgevoeligheid ten gevolge van plastische krimp
Dosering	• Ca. 0,5-2,5 kg per m^3 beton • Volg advies op van de leverancier
Attentie	• Plastische krimpscheuren worden veroorzaakt door verdamping van aanmaakwater, ofwel een gebrek aan nabehandeling. De toepassing van polypropyleenvezels mag echter nooit een motivatie zijn om een betonoppervlak niet na te behandelen • Dosering van de vezels geschiedt tijdens het vervaardigen van de betonspecie • Voor het mengen moeten de verwerkingsvoorschriften van de leverancier worden opgevolgd • Toevoeging van polypropyleenvezels verlaagt de verwerkbaarheid

9 Vulstoffen

9.1 Definitie

Een vulstof is een inerte dan wel puzzolane of (latent) hydraulische stof, meestal fijner dan 63 µm, die aan betonspecie kan worden toegevoegd ter aanvulling van de hoeveelheid fijn materiaal.

9.2 Indeling

NEN-EN 206-1 deelt vulstoffen in twee groepen in:
- inerte vulstoffen (type I);
- vulstoffen met een bindmiddelfunctie (type II)

9.3 Inerte vulstoffen (type I)

Inerte vulstoffen zijn vulstoffen waaraan op grond van hun eigenschappen geen bindmiddelfunctie kan worden toegekend. Gangbaar zijn:
- kalksteenmeel;
- kwartsmeel;
- kleurstoffen/pigmenten.

Steenmelen moeten voldoen aan NEN-EN 12620. Kleurstoffen dienen te voldoen aan NEN-EN 12878.

9.3.1 Kalksteenmeel en kwartsmeel

Kalksteenmeel en kwartsmeel vormen een aanvulling op het gehalte aan fijn materiaal in de (beton)specie en zullen als zodanig de stabiliteit van de betonspecie verhogen. Vooral kalksteenmeel, met een fijnheid ongeveer gelijk aan cement, is in dit opzicht effectief. Kalksteenmeel wordt vooral toegepast als vulstof in zelfverdichtend beton.
Voor de toepassing in beton worden in BRL 1804 aanvullend op NEN-EN 12620 onder andere de volgende eisen gesteld:

Eigenschap	Eisen volgens BRL 1804	
	kalksteenmeel	kwartsmeel
waterbehoefte (βp)	opgave producent	opgave producent
vochtgehalte	≤ 1% (m/m)	≤ 0,5% (m/m)
Blaine	≥ 2200 cm^2/gram	–
volumieke massa	–	2600 – 2700 kg/m^3
gehalte aan $CaCO_3$	≥ 75% (m/m)	–
gehalte aan carbonaten	≥ 90% (m/m)	–
gehalte aan SiO_2	–	≥ 96% (m/m)
gehalte aan kristallijn kwarts	–	≥ 95% (m/m)
methyleenblauwadsorptie	≤ 1,2%	≤ 1,2%
gehalte aan organische materialen (TOC)	≤ 0,5% (m/m)	–
gloeiverlies	–	≤ 0,15% (m/m)
gehalte aan chloriden	≤ 0,1% (m/m)	≤ 0,1% (m/m)
gehalte aan sulfaten – SO_3	≤ 0,50% (m/m)	–
totaal zwavelgehalte - S	≤ 0,40% (m/m)	≤ 0,15% (m/m)

Let op!

Als deze vulstoffen zo worden toegepast dat ze de korrelopbouw van het cement/toeslagmaterialenmengsel verbeteren, zullen ze ook bijdragen aan de sterkte en de duurzaamheid van het beton.

9.4 Vulstoffen met bindmiddelfunctie

Vulstoffen waaraan op grond van hun eigenschappen een bindmiddelfunctie kan worden toegekend, mits gebruikt in combinatie met een geschikte cementsoort. Gangbaar zijn:

- poederkoolvliegas;
- tras;
- silica fume;
- gemalen hoogovenslak.

Let op!

Puzzolanen zijn geen hydraulische bindmiddelen, alleen in combinatie met een zorgvuldig gekozen cement is de bindmiddelfunctie betrouwbaar te gebruiken. Het is daarom belangrijk via geschiktheidsonderzoek een optimale combinatie te zoeken en daarna geen van beide componenten lichtvaardig te vervangen.

Let op!

NEN-EN 206 kwantificeert de bindmiddelfunctie van poederkoolvliegas en silica fume en niet die van tras en gemalen hoogovenslak. Silica fume wordt voornamelijk toegepast in hogesterktebeton. Tras wordt nagenoeg niet meer toegepast in constructief beton.

9.4.1 Poederkoolvliegas

Definitie

Poederkoolvliegas is een fijn poeder dat hoofdzakelijk bestaat uit bolvormige, glasachtige deeltjes, die bij de verbranding van poederkool zijn gevormd.
De als brandstof gebruikte poederkool mag versneden zijn met secundaire brandstoffen; de hoeveelheid is echter begrensd. Zie hiervoor CUR-Aanbeveling 94, (2016).
Als de poederkoolvliegas is verkregen door het meestoken van secundaire brandstoffen, moet de producent aantonen dat de daarmee geproduceerde poederkoolvliegas geschikt is voor gebruik in beton.

Eigenschappen

Specifiek oppervlak	4000–7000 cm^2/gram
Volumieke massa ρ_a	2250 kg/m^3
Volumieke massa ρ_b	900–1100 kg/m^3

Chemische samenstelling

Belangrijkste chemische eisen volgens NEN-EN 450-1		Opmerkingen
Gloeiverlies % (m/m): Categorie A Categorie B Categorie C	 ≤ 5% 2,0 < G < 7,0 4,0 < G < 9,0	 Voor toepassing in beton is alleen Categorie A zonder meer toegelaten. (NEN 8005) Categorie B en C mogen alleen worden toegepast als de geschiktheid is aangetoond en toepassing is overeengekomen. (NEN 8005)
Chloridegehalte berekend als Cl^-	≤ 0,1% (m/m)	
Sulfaatgehalte berekend als SO_3	≤ 3,0%	
Vrije kalk berekend als CaO	≤ 1,0%	Als van een partij poederkoolvliegas het gehalte aan vrije kalk tussen 1 en 2,5% ligt, mag de partij worden aanvaard, mits de vormhoudendheid voldoet aan de eisen
Gehalte aan alkaliën berekend als Na_2O_{-eq}	≤ 5,0%	
Gehalte oplosbaar fosfaat (P_2O_5)	≤ 0,01%	Poederkoolvliegas dat wordt verkregen door het verbranden van pure steenkool wordt geacht aan deze eis te voldoen

Fysische Eisen

Belangrijkste fysische eisen volgens NEN-EN 450-1		Opmerkingen
Fijnheid % (m/m)	> 0,045 mm	
Categorie N	≤ 40%	Voor toepassing in beton is categorie N zonder meer geschikt (NEN 8005)
Categorie S	≤ 12%	Categorie S mag alleen worden toegepast als de geschiktheid is aangetoond en toepassing is overeengekomen. (NEN 8005)
Activiteitenindex/ Reactiviteit • 28 dagen • 90 dagen	 ≥ 75% ≥ 85%	De activiteitenindex geeft geen directe informatie over de bijdrage aan sterkteontwikkeling van poederkoolvliegas in beton
Vormhoudendheid	≤ 10 mm	Vormhoudendheid wordt getoetst aan een mengsel van 30% poederkoolvliegas en 70% referentie cement
Begin binding Gemeten vertraging t.o.v. referentiecement	≤ 120 min.	Begin binding wordt getoetst aan een mengsel van 25% poederkoolvliegas en 75% referentiecement. Poederkoolvliegas dat wordt verkregen door het verbranden van pure steenkool wordt geacht aan deze eis te voldoen

Activiteitenindex en andere kwaliteitsparameters volgens NEN-EN 450-1

De activiteitenindex is een maat voor het sterkteverlies dat optreedt wanneer in een standaardmortel 25% van het cementgehalte wordt vervangen door poederkoolvliegas. Het sterkteverlies mag na 28 dagen niet meer bedragen dan 25% en na 90 dagen niet meer dan 15% ten opzichte van standaardmortel zonder poederkoolvliegas.

De activiteitenindex en alle andere kwaliteitseisen volgens § 5 van NEN-EN 450 moeten bij elke productieplaats door of namens de producent door

middel van productiecontrole worden bewaakt, om de geschiktheid van de poederkoolvliegas voor beton te waarborgen.

9.4.2 Silica fume

Definitie

Silica fume bestaat uit zeer fijne deeltjes amorf siliciumdioxyde (SiO_2) die vrijkomen bij het smeltproces voor de bereiding van het element silicium en ferro-siliciumlegeringen.
Silicafume moet voldoen aan NEN-EN 13263-1. Deze norm onderscheidt twee klassen silicafume op basis van het gehalte siliciumdioxyde.

Eigenschappen

Specifiek oppervlak	150.000 – 350.000 cm^2/gram
Volumieke massa ρ_a	2200 kg/m^3
Volumieke massa ρ_b	150 – 350 kg/m^3

Samenstelling

Samenstelling	Eisen volgens NEN-EN 13263-1	Opmerkingen
Gehalte aan SiO_2	≥ 85 % (m/m)	Class 1
	≥ 80% (m/m)	Class 2
Gehalte vrije kalk (CaO)	≤ 1,0% (m/m)	
Sulfaatgehalte (SO_3)	≤ 2,0% (m/m)	
Gehalte alkaliën Na_2O-equivalent)	–	Cijfers worden op verzoek door de producent verstrekt
Chloridegehalte (Cl^-)	≤ 0,10% (m/m)	Het chloridegehalte mag tussen 0,10 en 0,30% liggen, maar dit moet dan wel schriftelijk bevestigd worden door de producent
Gloeiverlies	≤ 4,0% (m/m)	

Activiteitenindex

De activiteitenindex is het percentage (uitgedrukt in %) van de druksterkte wanneer in een standaardmortel 10% van het cement wordt vervangen door silica fume.

De activiteitenindex van een mortel, getest na 28 dagen, moet minimaal 100% bedragen.

Let op!

Silica fume wordt geleverd in poedervorm of als slurry. De vorm waarin het materiaal geleverd wordt is van invloed op de mengbaarheid en daardoor op de verwerkbaarheid van de betonspecie.

Silica fume wordt meestal in de vorm van een slurry toegepast, waarbij het gehalte droge stof ca. 50% (m/m) bedraagt wat overeenkomt met een gehalte van 700 kg silica fume per m^3 slurry.

9.4.3 Gemalen gegranuleerde hoogovenslak

Definitie

Gegranuleerde hoogovenslak wordt verkregen door het snel afkoelen van gesmolten slak van geschikte samenstelling, vrijgekomen bij het smelten van ijzererts in een hoogoven. De slak bestaat voor ten minste tweederde van de massa uit glasachtige slak en bezit hydraulische eigenschappen indien de slak op de juiste wijze wordt geactiveerd.

Gemalen gegranuleerde hoogovenslak wordt verkregen door de gegranuleerde hoogovenslak te vermalen tot een fijn poeder in een daartoe geschikte installatie.

Chemische samenstelling

Chemische eisen volgens NEN-EN 15167-1		Opmerkingen
Verhouding: $CaO + MgO + SiO_2$	≥ 2/3 van totale massa, waarbij het restant bestaat uit Al_2O_3 en kleine hoeveelheden andere elementen	Volgens NEN-EN 15167-1 mag gemalen gegranuleerde hoogovenslak geen andere componenten bevatten anders dan een maalhulpmiddel
$(CaO + MgO) / SiO_2$	≥ 1	
Magnesiumoxide	≤ 18% (m/m)	

Chemische eisen volgens NEN-EN 15167-1		Opmerkingen
Sulfide	≤ 2,0% (m/m)	
Sulfaat	≤ 2,5% (m/m)	
Gloeiverlies	≤ 3,0% (m/m)	
Chloridegehalte	≤ 0,10% (m/m)	Het chloridegehalte mag hoger zijn dan 0,10%, maar dit moet dan worden vermeld op de verpakking of in de productinformatie
Vochtgehalte	≤ 1,0% (m/m)	

Fysische eisen

Fysische eisen volgens NEN-EN 15167-1		Opmerkingen
Fijnheid Begin binding	≥ 2750 cm^2/gram Niet langer dan twee maal de bindtijd van het testcement	Begin binding wordt bepaald aan een mengsel bestaande uit 50% (m/m) gemalen hoogovenslak en 50% (m/m) testcement[a)]
Activiteitenindex • 7 dagen • 28 dagen	 ≥ 45% ≥ 70%	De activiteitenindex wordt bepaald aan een mengsel bestaande uit 50% (m/m) gemalen hoogovenslak en 50% (m/m) testcement.[a)]

a) Aan het testcement worden de volgende eisen gesteld
- *het moet zijn een CEM I, sterkteklasse 42,5 N of hoger, e.e.a. conform NEN-EN 197-1;*
- *de fijnheid (Blaine) moet groter zijn dan 3000 cm^2/gram;*
- *het gehalte aan tricalciumaluminaat (C_3A) moeten liggen tussen 6 – 12%;*
- *het alkali-gehalte (Na_2O-eq.) moet liggen tussen 0,5 – 1,2%*

Activiteitenindex

De activiteitenindex is een maat voor het sterkteverlies, cq.-winst, dat optreedt wanneer in een standaard mortel 50% van het testcement wordt vervangen door de gemalen hoogovenslak. De activiteitenindex is een verhoudingsgetal (in %) van de druksterkte van het mengsel testcement + gemalen

hoogovenslak ten opzichte van de druksterkte van alleen het testcement. De druksterkte wordt bepaald aan de hand van normprisma's (NEN-EN 196-1). De activiteitenindex geeft geen directe informatie over de bijdrage aan de sterkteontwikkeling van gemalen hoogovenslak in beton.

Toepassing

De toepassing van gemalen gegranuleerde hoogovenslak in mortel en beton is nog niet geregeld in NEN-EN 206 en/of NEN 8005.
Conform paragraaf 5.2.5.3 van NEN-EN 206 ('Concept voor de gelijkwaardige prestatie van beton') is toepassing van gemalen gegranuleerde hoogovenslak mogelijk wanneer de gelijkwaardigheid ten opzichte van een betonsamenstelling die wel aan de eisen van NEN-EN 206 voldoet, wordt aangetoond.

CUR-Aanbeveling 48 (2010) bevat procedures, criteria en beproevingsmethoden voor het aantonen van de gelijkwaardige prestaties van beton en vulstoffen.

9.5 Invloed van poederkoolvliegas en silica fume op eigenschappen van betonspecie en beton

Gebaseerd op identieke mengsels op basis van portlandcement, waarvan de wcf gelijk is aan de wbf.

9.5.1 Invloed poederkoolvliegas

Betonspecie

	Invloed	Opmerkingen
Waterbehoefte	0	Sterk afhankelijk van de korrelvorm en fijnheid van de poederkoolvliegas
Verwerkbaarheid	+	Mits wbf = wcf
Stabiliteit	0	Zie waterbehoefte
Afwerken specieoppervlak	–	Kan zwart, opdrijvend koolstof geven
Combinatie met lbv	– –	Vraagt zeer hoge dosering van de lbv

Beton

	Invloed
Druksterkte 7 dagen	onveranderd
Druksterkte 28 dagen	wat hoger
Druksterkte > 28 dagen	hoger
Porositeit	wat kleiner
Permeabiliteit	wat kleiner
Duurzaamheid	wat beter
Vorst- dooizoutbestandheid	onveranderd
Kleur	donkerder
Gevoeligheid voor ASR	minder gevoelig

9.5.2 Invloed silica fume

Betonspecie

	Invloed	Opmerkingen
Waterbehoefte	– –	
Verwerkbaarheid en afwerken specieoppervlak	– –	Bij lage doseringen gedraagt de specie zich thixotroop; bij hogere doseringen wordt de specie taai en blijft aan transportmiddelen en gereedschap hangen
Stabiliteit	++	Dit betekent echter: zo weinig bleeding, dat vloeren gevoelig worden voor plastische krimpscheuren en 'verbranden'
Combinatie met lbv	0	

Beton

	Invloed	Opmerkingen
Druksterkte 7 dagen	++	Door de grote fijnheid en de sterke puzzolaniteit ontstaat een grote bijdrage aan de sterkteontwikkeling vanaf het begin
Druksterkte 28 dagen	++	280
Sterktetoename na 28 dagen	0	
Porositeit	0	Blijft ongeveer gelijk; porieverdeling verschuift naar fijnere poriën, waardoor de permeabiliteit sterk afneemt
Permeabiliteit	++	Neemt dus sterk af
Duurzaamheid	++	
Vorst-dooizoutbestandheid	0	wcf is bepalend
Kleur	0	Wisselend, afhankelijk van herkomst
Weerstand tegen ASR	++	280

+ = beter
++ = veel beter
0 = onveranderd
– = slechter
– – = veel slechter

9.6 Bindmiddelfactor *k* voor poederkoolvliegas

Volgens artikel 5.2.5.2 van NEN-EN 206 mag aan een gedeelte van de in betonspecie toegepaste poederkoolvliegas een bindmiddelfunctie worden toegekend.

De reactiviteit van poederkoolvliegas wordt echter in hoge mate bepaald door de eigenschappen van het cement waarmee deze puzzolaan gecombineerd wordt. Vandaar dat de norm voorschrijft dat het cement moet voldoen aan NEN-EN 197-1 en de poederkoolvliegas aan NEN-EN 450-1.

In de onderstaande tabel zijn de waarden voor de bindmiddelfactor gegeven; deze waarden gelden voor alle milieuklassen.

Cementsoort	k-factor	Poederkoolvliegas/ Cement [massa]	Beschreven in
CEM I	0,4	≤ 0,33	NEN-EN 206
CEM II/A	0,4	≤ 0,25	NEN-EN 206
CEM III/A	0,2	≤ 0,25	NEN 8005
CEM III/B	0,2	≤ 0,25	NEN 8005

Bij de toepassing van de bindmiddelfactor van poederkoolvliegas moet aan de volgende randvoorwaarden worden voldaan.

- De poederkoolvliegas/cement verhouding bepaalt hoeveel vliegas mag worden meegenomen in de berekening van het bindmiddelgehalte (B) en de waterbindmiddelfactor (wbf).
- Extra poederkoolvliegas in het mengsel wordt beschouwd als vulstof en mag niet meegenomen worden in de berekening van het bindmiddelgehalte (B) en de wbf.
- Het bindmiddelgehalte (B) wordt berekend uit: het cementgehalte (C) plus een gedeelte (k-factor) van de poederkoolvliegas (V). In formule vorm: $B = C + (k \cdot V)$
- Als in een mengsel meerdere cementsoorten worden gebruikt, mag de k-waarde worden berekend door rechtlijnige interpolatie op basis van de gewichtsverhouding van de cementen in het mengsel.

Voorbeeld:
CEM III/B 32,5 N 210 kg/m³
CEM I 52,5 R 90 kg/m³

$$k_{(mengsel)} = \frac{(210 \times 0,2) + (90 \times 0,4)}{300} = 0,26$$

9.6.1 *Water-bindmiddelfactor*

De water-bindmiddelfactor mag worden berekend met onderstaande formule, met de restrictie dat in de berekening voor het poederkoolvliegasgehalte **niet meer dan 0,33 C** mag worden meegenomen.

$$wbf = \frac{W}{C + k \times V}$$

Hierin is:
C cementgehalte;
k bindmiddelfactor;
V poederkoolvliegasgehalte;
wbf water-bindmiddelfactor.

9.7 Bindmiddelfactor *k* voor silica fume (Class 1)

Vergelijkbaar met poederkoolvliegas mag vanwege de sterke puzzolane werking van silica fume (Class 1) een deel van het cement worden vervangen. De maximale hoeveelheid silica fume die in rekening mag worden gebracht voor de water-cementfactor en het minimum cementgehalte moet voldoen aan de eis:

silica fume / cement ≤ 0,11

Indien een grotere hoeveelheid silica fume wordt gebruikt, mag het meerdere niet bij het *k*-waarde concept in rekening worden gebracht.
De *k*-waarde geldt alleen in combinatie met een CEM I en CEM II/A conform NEN-EN 197-1 en is daarbij afhankelijk van de water-cementfactor en de milieuklasse:

Voorgeschreven water-cement-factor	*k*-waarde volgens NEN-EN 206
≤ 0,45	2,0
> 0,45	2,0; behalve voor milieuklassen XC en XF, dan geldt k = 1,0

9.7.1 Minimum cementgehalte

De hoeveelheid (cement + k × silica fume) mag niet kleiner zijn dan het minimum cementgehalte dat voor de van toepassing zijnde milieuklasse is vereist. Het minimum cementgehalte mag niet met meer dan 30 kg/m³ worden verminderd in beton dat wordt blootgesteld aan die milieuklasse waarbij het minimumcement gehalte ≤ 300 kg/m³ is.

9.7.2 Water-bindmiddelfactor

De water-bindmiddelfactor mag worden berekend met onderstaande formule, met de restrictie dat in de berekening voor het gehalte silica fume niet meer dan 0,11 C mag worden meegenomen.

$$wbf = \frac{W}{C + k \times S}$$

Hierin is:
wbf = water-bindmiddelfactor
W = watergehalte
C = cementgehalte
k = bindmiddelfactor
S = gehalte silica fume

10 Aanmaakwater

Aanmaakwater is een essentiële grondstof voor beton; zonder water geen hydratatie. Het is daarom belangrijk dat het aanmaakwater geen verontreinigingen bevat die:

- het hydratatieproces verstoren;
- de functionaliteit van het beton bedreigen;
- de corrosie van wapening bevorderen (alleen van belang bij gewapend of voorgespannen beton).

10.1 Indeling volgens NEN-EN 1008

De geschiktheid van water voor de vervaardiging van beton is grotendeels afhankelijk van de herkomst. NEN-EN 1008 kent de volgende indeling:

Herkomst	Geschikt	Nader onderzoek	Opmerkingen
Drinkwater	ja	nee	
Spoelwater van recyclinginstallaties en proceswater afkomstig van betonindustrie	ja	ja	Regelmatige controle op de dichtheid van het water is noodzakelijk in verband met het gehalte aan vaste bestanddelen
Bron-/grondwater	ja	ja	Initieel grondig onderzoek Periodiek herhalen als daar reden toe is
Oppervlaktewater en industrieel afvalwater	ja	ja	
Zeewater en brak water	beperkt	nee	Alleen geschikt voor ongewapend beton
Huishoudelijk afvalwater	nee		

10.2 Eerste beoordeling aanmaakwater

Voor een eerste beoordeling van de geschiktheid.

Kijken naar	Letten op
Kleur	Het water moet helder zijn, hooguit een beetje gelig
Reuk	Het water moet natuurlijk ruiken en mag niet stinken
Schuim	Na flink schudden mag geen schuimkraag blijven staan
Bezinksel	Slechts dun laagje sediment na half uur staan
Zuurgraad	De pH moet ≥ 4 zijn
Humuszuren	Natronloogproef; bij koffiekleurige verkleuring fulvozuurtest (laten) doen
Olie of vet	Er mogen nagenoeg geen verkleuringen zijn

10.3 Nader onderzoek

Water van onbekende kwaliteit moet op geschiktheid worden beoordeeld aan de hand van een chemische analyse en onderzoek aan beton(specie).

10.3.1 Chemische samenstelling

Chloriden

Toepassing	Maximaal chloridehalte in mg/liter
voorgespannen beton	500
gewapend beton	1000
ongewapend beton	4500

Water met een gehalte aan chloriden dat hoger is dan hier aangegeven kan eventueel wel worden toegepast, maar dan moet aangetoond worden dat het totaal gehalte aan chloriden voldoet aan de eisen gesteld in NEN-EN 206.

Sulfaten
Het sulfaatgehalte in het water, uitgedrukt als SO_4^{2-}, mag niet hoger zijn dan 2000 mg/liter.

Alkaliën
Bij toepassing van mogelijk reactief toeslagmateriaal moet het Na_2O-equivalent van het water worden bepaald. Wanneer het Na_2O-equivalent hoger is dan 1500 mg/liter, dan moet worden aangetoond dat er maatregelen zijn genomen om schadelijke ASR te voorkomen.

Schadelijke bestanddelen
Het gehalte aan schadelijke bestanddelen in het water mag niet groter zijn dan:

Element	Maximum gehalte in mg/liter
Suiker	100
Fosfaat (als P_2O_5)	100
Nitraat (als NO_3)	500
Lood (als Pb^{2+})	100
Zink (als Zn^{2+})	100

10.3.2 Onderzoek aan beton(specie)

Het referentiebeton is vervaardigd met gedistilleerd of gedemineraliseerd water.

Eigenschap	Absoluut	Afwijking t.o.v. referentiebeton
Begin binding	≥ 1 uur	≤ 25%
Einde binding	≤ 12 uur	≤ 25%
Druksterkte na 7-dagen		≤ 10%[a]

a) Hier is bedoeld ≥ 90% van de druksterkte van het referentiebeton

10.4 Water voor nabehandeling

Niet alle water is geschikt voor nabehandeling, al hoeft het aan minder strenge eisen te voldoen dan aanmaakwater. Ongeschikt is:
- water dat de hydratatie vertraagt;
- sulfaathoudend water;
- chloorhoudend water voor gewapend of voorgespannen beton;
- ijzerhoudend water voor schoon beton.

10.5 Spoelwater

Spoelwater dat ontdaan is van resten toeslagmateriaal bevat nog fijne deeltjes gehydrateerd cement. Indien een spoelmiddel is gebruikt, kan het spoelwater daarvan nog resten bevatten (zie ook 8.5.4).
Gebruik van spoelwater met resten spoelmiddel is geregeld in CUR-Aanbeveling 28. Dit spoelwater:
- moet binnen vijf dagen worden verwerkt;
- mag niet bevroren zijn geweest;
- mag geen harde kluiten bevatten;
- moet aan minimaal 3 m³ betonspecie worden toegevoegd.

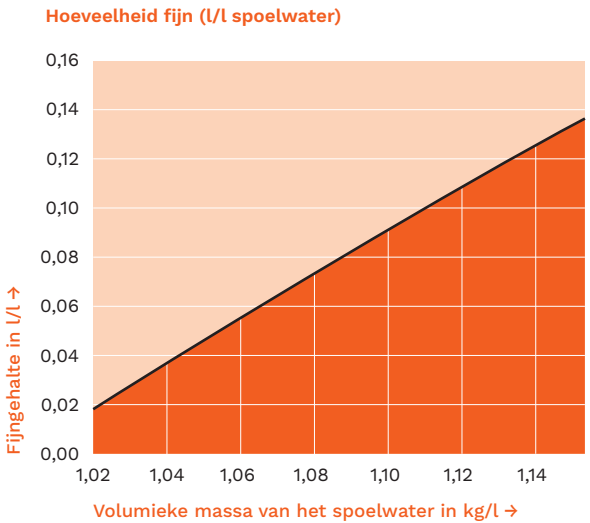
Gehydrateerd cement dat in het spoelwater aanwezig is, beïnvloedt het gehalte aan fijn materiaal in de betonspecie waaraan het wordt toegevoegd. Het volumegewicht van het spoelwater is een maat voor het gehalte aan fijn materiaal in het water.

In formule:

$$W_n = \left(\frac{1 - \rho_{ww}}{1 - \rho_f}\right)$$

Hierin is:
W_n de hoeveelheid fijn materiaal in liter per liter water;
ρ_{ww} de gemeten volumieke massa van het spoelwater in kg/l;
ρ_f de volumieke massa van het fijne materiaal in kg/l.

In grafiek:
Gehydrateerd cement heeft een ρ_a van 2100 kg/m³; ervan uitgaande dat er nagenoeg geen andere fijne delen meer in het spoelwater zitten, is het gehalte aan fijn materiaal van het water te berekenen aan de hand van de – bijvoorbeeld met een areometer gemeten – volumieke massa van het spoelwater. In onderstaande grafiek is het verband aangegeven.



Let op!
Dit fijn telt mee voor het minimum fijngehalte in betonspecie dat conform NEN 8005 vereist is.

Maximale dosering spoelwater
NEN-EN 1008 stelt dat met het cementslibwater niet meer dan 1% (m/m) vaste stof ten opzichte van de totale hoeveelheid toeslagmateriaal in het beton mag worden gedoseerd. Uitgaande van de ρ_a van het cementslib van 2100 kg/m³ kan het fijngehalte (l/l) vanuit de grafiek eenvoudig worden omgerekend naar de hoeveelheid vaste stof in kg/l spoelwater.

Relatie volumieke massa spoelwater versus massa vaste stof

Volumieke massa van het spoelwater (kg/l)	Massa vaste stof (kg/l)
1,02	0,038
1,03	0,057
1,04	0,076
1,05	0,095
1,06	0,115
1,07	0,134
1,08	0,153
1,09	0,172
1,10	0,191
1,11	0,210
1,12	0,229
1,13	0,248
1,14	0,267
1,15	0,286

Gemiddeld bevat een m^3 beton circa 1800 kg toeslagmateriaal. Volgens NEN-EN 1008 mag maximaal 18 kg aan vaste stof via het spoelwater aan de betonsamenstelling worden toegevoegd. Als het spoelwater een volumieke massa heeft van bijvoorbeeld 1,09 kg/l, dan bevat dit spoelwater volgens de tabel 0,172 kg/l vaste stof. Van dit spoelwater mag maximaal 18/0,172 = 104,6 liter worden toegevoegd als aanmaakwater.

Overzicht normen en literatuur

Normen

NEN-EN 196-1, Beproevingsmethoden voor cement – Deel 1: Bepaling van de sterkte(en) (2016)
NEN-EN 196-2, Beproevingsmethoden voor cement - Deel 2: Chemische analyse van cement (2013)
NEN-EN 196-6, Beproevingsmethoden voor cement - Deel 6: Bepaling van de fijnheid (2019)
NEN-EN 196-8, Beproevingsmethoden voor cement - Deel 8: Hydratatiewarmte - Oplosmethode (2010)
NEN-EN 196-9, Beproevingsmethoden voor cement - Deel 9: Hydratatiewarmte - Semi adiabatische methode (2010)
NEN-EN 197-1, Cement - Deel 1: Samenstelling, specificaties en conformiteitscriteria voor gewone cementsoorten (2011)
NEN-EN 197-2, Cement - Deel 2: Conformiteitsbeoordeling (2014)
NEN-EN 206, Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit (2017)
NEN-EN 413-1, Metselcement - Deel 1: Samenstelling, specificatie en conformiteitscriteria (2011)
NEN-EN 450-1, Vliegas voor beton - Deel 1: Definitie, specificaties en conformiteitscriteria (2012)
NEN-EN 450-2, Vliegas voor beton - Deel 2: Conformiteitsbeoordeling (2005)
NEN-EN 480-1, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Beproevingsmethoden - Deel 1: Referentiebeton en referentiemortel voor beproevingen (2014)
NEN-EN 480-6: Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Beproevingsmethoden -Deel 6: Infrarood-analyse (2005)
NEN-EN 480-8, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Beproevingsmethoden - Deel 8: Traditionele bepaling van het droge stofgehalte (2012)
NEN-EN 480-10, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Beproevingsmethoden - Deel 10: Bepaling van het gehalte in water oplosbare chloriden (2009)

NEN-EN 480-12, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Beproevingsmethoden - Deel 12: Bepaling van het alkaligehalte van hulpstoffen (2005)
NEN-EN 480-14, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Beproevingsmethoden - Deel 14: Bepaling van de gevoeligheid voor corrosie van betonstaal in beton -Elektrochemische beproevingsmethode bij gelijkblijvende potentiaal (2006)
NEN-EN 933-1, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Bepaling van de korrelgrootteverdeling - Zeefmethode (2012)
NEN-EN 933-2, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 2: Bepaling van de korrelverdeling - Controle- zeven, nominale afmetingen van de openingen (1996)
NEN-EN 933-3, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 3: Bepaling van korrelvorm - Vlakheidsindex (2012)
NEN-EN 933-4, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 4: Bepaling van de korrelvorm - Korrelvormgetal (2008)
NEN-EN 933-5, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 5: Bepaling van het percentage van gebroken oppervlakken in grove toeslagmaterialen (1998/A1:2004)
NEN-EN 933-6, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 6: Beoordeling van oppervlakte-eigenschappen - Stroomcoëfficiënt van toeslagmaterialen (2014)
NEN-EN 933-7, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 7: Bepaling van het gehalte aan schelpen - Percentage schelpen in grove toeslagmaterialen (1998)
NEN-EN 933-8, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 8: Beoordeling van fijn materiaal - Zandequivalentbeproeving (2012+A1:2015)
NEN-EN 933-9, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 9: Beoordeling van fijn materiaal - Methyleenblauwproef (2009+A1:2013)
NEN-EN 933-10, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 10: Beoordeling van fijn materiaal - Korrelverdeling van vulstoffen (luchtstraalzeving) (2009)
NEN-EN 933-11, Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 11: Classificatiebeproeving voor de bestanddelen van grove gerecyclede toeslagmaterialen (2009+C1:2009)

NEN-EN 934-1, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel - Deel 1: Algemene eisen (2008)
NEN-EN 934-2, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel – Hulpstoffen voor beton - Deel 2: Definities, eisen, conformiteit, markering en aanduiding (2009+A1:2012)
NEN-EN 934-6, Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel - Deel 6: Bemonstering, beoordeling en verificatie van de bestendigheid van de prestaties (2019)
NEN-EN 1008, Aanmaakwater voor beton - Specificatie voor monsterneming, beproeving en beoordeling van de geschiktheid van water, inclusief spoelwater van reinigingsinstallaties in de betonindustrie, als aanmaakwater voor beton (2002)
NEN-EN 1097-1, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Bepaling van de weerstand tegen afslijting (micro-Deval) (2011)
NEN-EN 1097-2, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 2: Bepaling van de weerstand tegen verbrijzeling (2010)
NEN-EN 1097-3, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 3: Bepaling van de dichtheid van onverdicht materiaal en het gehalte aan holle ruimten (1998)
NEN-EN 1097-4, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 4: Bepaling van de holle ruimten in droge verdichte vulstof (2008)
NEN-EN 1097-5, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 5: Bepaling van het watergehalte door drogen in een geventileerde oven (2008)
NEN-EN 1097-6, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 6: Bepaling van de deeltjesdichtheid en de wateropname (2013)
NEN-EN 1097-7, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 7: Bepaling van de dichtheid van vulstof - Methode met pyknometer (2008)
NEN-EN 1097-8, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 8: Bepaling van de polijstwaarde (2009)
NEN-EN 1097-9, Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 9: Bepaling van de weerstand tegen slijtage door spijkerbanden - Skandinavische proef (2014)

NEN-EN 1097-10, Beproevingsmethoden voor de mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 10: Bepaling van de wateropzuighoogte (2014)
NEN-EN 1367-1, Beproevingsmethode voor de thermische eigenschappen en verwering van toeslagmaterialen – Deel 1: Bepaling van de bestandheid tegen vriezen en dooien (2007)
NEN-EN 1744-1, Beproevingsmethoden voor de chemische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Chemische analyse (2009+A1:2012)
EN 1992-1-1, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen (C2:2011/NB: 2016)
NEN 2743, In het werk vervaardigde vloeren - Kwaliteit en uitvoering van monolithisch afgewerkte betonvloeren en -verhardingen (2003)
NEN 3543, Nederlandse aanvulling op NEN-EN 13055-1: Lichte toeslagmaterialen voor beton, mortel en injectiemortel (2005)
NEN 3550, Cement volgens NEN-EN 197-1 of NEN-EN 14216, met aanvullende speciale eigenschappen - Definities en eisen (2012)
NEN 5905, Nederlandse aanvulling op NEN-EN 12620 'Toeslagmaterialen voor beton' (2005+A1:2008)
NEN 5960, Beton - Bepaling van de water-cementfactor van betonspecie (2006+A1:2011)
NEN 5970, Bepaling van de druksterkte-ontwikkeling van jong beton op basis van de gewogen rijpheid (2001)
NEN 5988, Beton - Bepaling van de kubusdruksterkte – Verhardingsproef (1999)
NEN 5989, Beton - Bepaling van de kubusdruksterkte – Verhardingsproef met temperatuurregeling (1999)
NEN 8005, Nederlandse invulling van NEN-EN 206-1: Beton - Deel 1: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit (2014/C1: 2017)
NEN 8670: 2018 ontw Aanvullende voorschriften bij NEN-EN 13670; Het vervaardigen van betonconstructies
NEN-EN-ISO 9001, Kwaliteitsmanagementsystemen - Eisen (2008)
NEN-EN 12350-1, Beproeving van betonspecie - Deel 1: Monsterneming (2009)
NEN-EN 12350-2, Beproeving van betonspecie - Deel 2: Zetmaat (2009)
NEN-EN 12350-4, Beproeving van betonspecie - Deel 4: Verdichtingsmaat (2009)
NEN-EN 12350-5, Beproeving van betonspecie - Deel 5: Schudmaat (2009)
NEN-EN 12350-6, Beproeving van betonspecie - Deel 6: Volumieke massa (2009)

NEN-EN 12350-7, Beproeving van betonspecie - Deel 7: Luchtgehalte - Drukmethoden (2009)
NEN-EN 12350-8, Beproeving van betonspecie - Deel 8: Vloeimaat (2010)
NEN-EN 12350-9, Beproeving van betonspecie - Deel 9: Trechtertijd (2010)
NEN-EN 12350-10, Beproeving van betonspecie - Deel 10: Blokkeringsmaat (L-Box) (2010)
NEN-EN 12350-11, Beproeving van betonspecie - Deel 11: Zelfverdichtend beton - Beproeving op ontmenging (2010)
NEN-EN 12350-12, Beproeving van betonspecie - Deel 12: Blokkeringsmaat (J-ring) (2010)
NEN-EN 12390-1, Beproeving van verhard beton - Deel 1: Vorm, afmetingen en verdere eisen voor proefstukken en mallen (2012)
NEN-EN 12390-2, Beproeving van verhard beton - Deel 2: Vervaardiging en bewaring van proefstukken voor sterkteproeven (2009)
NEN-EN 12390-3, Beproeving van verhard beton - Deel 3: Druksterkte van proefstukken (2009)
NEN-EN 12390-4, Beproeving van verhard beton - Deel 4: Druksterkte - Specificatie voor drukbanken (2000)
NEN-EN 12390-6, Beproeving van verhard beton - Deel 6: Splijttreksterkte van proefstukken (2009)
NEN-EN 12390-7, Beproeving van verhard beton - Deel 7: Volumieke massa van verhard beton (2009)
NEN-EN 12390-8, Beproeving van verhard beton - Deel 8: Indringdiepte van water onder druk (2009)
NEN-EN 12504-1, Beproeving van beton in constructies - Deel 1: Boorkernen - Monsterneming, onderzoek en bepaling van de druksterkte (2009)
NEN-EN 12504-2, Beproeving van beton in constructies - Deel 2: Niet-destructief onderzoek - Bepaling van de terugslagwaarde (2012)
NEN-EN 12504-3, Beproeving van beton in constructies - Deel 3: Bepaling van de uittrekkracht (2005)
NEN-EN 12504-4, Beproeving van beton - Deel 4: Bepaling van de ultrasone pulssnelheid (2005)
NEN-EN 12620, Toeslagmateriaal voor beton (2002) +A1 (2008)
NEN-EN 12878, Pigmenten voor het kleuren van bouwmaterialen gebaseerd op cement en/of kalk - Specificaties en beproevingsmethoden (2014)
NEN-EN 13055-1, Lichte toeslagmaterialen - Deel 1: Lichte toeslagmaterialen voor beton, mortel en injectiemortel (2005)
NEN-EN 13263-1, Silicafume voor beton - Deel 1: Definities, eisen en conformiteitsbeheersing (2005) +A1 (2009)

NEN-EN 13263-2, Silicafume voor beton - Deel 2: Conformiteitsbeoordeling (2005) +A1 (2009)
NEN-EN 13577 Chemische aantasting van beton - Bepaling van het gehalte aan agressieve koolstofdioxide (2007)
NEN-EN 13670, Het vervaardigen van betonconstructies (2009)
NEN-EN-ISO 14001, Milieumanagementsystemen - Eisen met richtlijnen voor gebruik (2015)
NEN-EN-ISO 14020:2001, Milieu-etiketteringen en -verklaringen - Algemene principes
NEN-EN-ISO 14040:2006, Milieumanagement - Levenscyclusanalyse - Principes en raamwerk
NEN-EN 14216, Cement - Samenstelling, specificaties en conformiteitscriteria voor bijzondere cementsoorten met erg lage hydratatiewarmte (2015)
NEN-EN 14487-1, Spuitbeton - Deel 1: definities, eisen en conformiteit (2005)
NEN-EN 14647, Calciumaluminaatcement - Samenstelling, specificaties en conformiteitscriteria (:2005)+/C1:(2007)
NEN-EN 14889-1, Vezels in beton – Deel 1: Staalvezels - Definities, specificaties en conformiteit (2006)
NEN-EN 14889-2, Vezels in beton – Deel 2: Polymeervezels - Definities, specificaties en conformiteit (2006)
NEN-EN 15167-1, Gemalen gegranuleerde hoogovenslak voor gebruik in beton, mortel en injectiemortel - Deel 1: Definities, specificaties en conformiteitscriteria (2006)
NEN-EN 15743, Gesulfateerd cement – Samenstelling, specificatie en conformitietsbeoordeling (2010 + A1: 2015)
NEN-EN 15804:2012+A1:2013, Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen van producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten
NEN-EN 16502: 2014 Beproevingsmethode voor de bepaling van de bodemzuurgraad volgens Baumann-Gully

Beoordelingsrichtlijnen

BRL 1801, Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO® productcertificaat betonmortel (2016)
BRL 1803, Nationale beoordelingsrichtlijn: ‘Hulpstoffen voor beton, mortels of injectiemortel’ (2013)
BRL 1804, Nationale beoordelingsrichtlijn: Steenmeel voor toepassing als vulstof in beton en mortel (2018)

BRL 2506, Recyclinggranulaten voor toepassing in de betonbouw, wegenbouw en grondbouw (2017)
BRL 2601, Nationale beoordelingsrichtlijn voor Cement (2012) + wijzigingsblad (2014)
BRL 2604, constructief beton op basis van een 'niet zonder meer toegelaten cement' (2013)
BRL 5060, Beoordelingsrichtlijn Attest met productcertificaat voor staalvezelbeton (2012) met aanvullingsblad (2017)

CUR-Aanbevelingen

CUR-Aanbeveling 5, Metselwerkpuingranulaat als toeslagmateriaal voor beton (2013)
CUR-Aanbeveling 18, Colloïdaal beton (2011)
CUR-Aanbeveling 28, Hergebruik spoelwaterresidu van betonspecie met behulp van spoelmiddel (1992)
CUR-Aanbeveling 31, Nabehandeling en bescherming van beton (1993)
CUR-Aanbeveling 35, Bepaling van de buigtreksterkte, buigtaaiheid en equivalente buigtreksterkte van staalvezelbeton (1994)
CUR-Aanbeveling 36, Ontwerpen van elastisch ondersteunde betonvloeren en -verhardingen (2011)
CUR-Aanbeveling 39, Beton met grove lichte toeslagmaterialen (1994)
CUR-Aanbeveling 48, Procedures, criteria en beproevingsmethoden voor de toetsing van de geschiktheid van nieuwe cementen voor toepassing in beton en voor de gelijkwaardige prestatie van beton met vulstoffen (2010)
CUR-Aanbeveling 53, Spuitbeton en gespoten cementgebonden mortels (1997)
CUR-Aanbeveling 59, Vervaardiging en beproeving van schuimbeton (2012)
CUR/PBV-Aanbeveling 63, Bepaling van de vloeistofindringing in beton door de capillaire absorptieproef (1998)
CUR/PBV-Aanbeveling 65, Ontwerp en aanleg en herstel van vloeistofdichte voorzieningen van beton (2005)
CUR/PBV-flyer, Beton als beschermer van het milieu (redactionele bijlage bij Cement 5/2000)
CUR-Aanbeveling 67, Bepaling adiabatische temperatuurontwikkeling van een verhardend beton (1998)
CUR-Aanbeveling 80, Beton met menggranulaten als grof toeslagmateriaal (2014)

CUR-Aanbeveling 89, Maatregelen ter voorkoming van betonschade door de alkali-silicareactie (ASR) (2018)
CUR-Aanbeveling 94, Toepassing van poederkoolvliegas in mortel, beton en grout (derde herziene uitgave, 2016)
CUR-Aanbeveling 100, Schoon beton. Criteria voor de specificatie en beoordeling van betonoppervlakken, 2e herziene druk (2013)
CUR-Aanbeveling 106, Beton met fijne fracties uit BSA-granulaten als fijn Toeslagmateriaal (2014)
CUR-Aanbeveling 110, Gietvloeren met cement als bindmiddel (2007)
CUR-Aanbeveling 111, Staalvezelbeton bedrijfsvloeren op palen – Dimensionering en uitvoering (2007)
CUR-Aanbeveling 112, Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal (2014)
CUR-Aanbeveling 116, AEC-granulaat als toeslagmateriaal voor beton (2017)

Bepaling van de milieuprestaties van gebouwen en gww-werken, geactualiseerde versie 2015, SBRCURnet

Overige (buitenlandse) normen en richtlijnen

ASTM C94, Standard specification for ready-mixed concrete (1994)
ASTM C173, Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the volumetric method (2001)
Besluit Bodemkwaliteit (2008)
DIN 4030-2, Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben (1991)
ISO 4316, Surface active agents - Determination of pH of aqueous solutions - Potentiometric method (1977)
ISO 5664, Water quality - Determination of ammonium - Distillation and titration method (1984)
ISO 7150, Water quality - Determination of ammonium - Part 1: Manual spectrometric method (1984)
ISO 7980, Water quality - Determination of calcium and magnesium – Atomic absorption spectrometric method (1986)
NRB, Nederlandse Richtlijn Bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten (2001)
BS 8204-1, Screeds, bases and in situ floorings (2003)

Betoniek

Betoniek 3/9, Sulfaataantasting (1974)
Betoniek 5/1, Zwavelzuuraantasting (1980)
Betoniek 5/27, Mengen van cementen (1982)
Betoniek 6/25, Jong beton, een kritische fase (1985)
Betoniek 6/28, Een wolk van stof (1985)
Betoniek 7/11, Colloïdaalbeton (1987)
Betoniek 8/10, Het stortplan (1989)
Betoniek 8/13, Eigenschappen van beton I (1990)
Betoniek 8/15, Eigenschappen van beton II (1990)
Betoniek 8/18, Eigenschappen van beton III (1990)
Betoniek 8/22, Carbonatatie en corrosie (1998)
Betoniek 8/25, Scheurkalender (1991)
Betoniek 9/10, Granulaten in de praktijk (1992)
Betoniek 9/14, Pompen van beton (1993)
Betoniek 9/15, Kritisch chloridegehalte (1993)
Betoniek 9/18, Kwaliteitsverklaringen, hoe werkt dat? (1993)
Betoniek 9/23, Warmte en verharding (1994)
Betoniek 9/30, De nieuwe cementnorm NEN 3550 (1994)
Betoniek 10/3 Thermische spanningen. (1995)
Betoniek 10/10, Kalkuitslag (1995)
Betoniek 10/13, Hulpstoffen (1996)
Betoniek 10/22, Krimp (1997)
Betoniek 10/24, Beton in bestek (1997)
Betoniek 11/1, 't Is Zuur (1998)
Betoniek 11/8, Aluminiumcement (1998)
Betoniek 11/9, Vloeistofdicht beton III (1998)
Betoniek 11/10, Is uw vloer nog vloeistofdicht? (1998)
Betoniek 11/11, 'Vorst en dooi' (1999)
Betoniek 11/12, Zelfverdichtend beton (1999)
Betoniek 11/13, Naar 100% granulaat? (1999)
Betoniek 11/15 Waarom werken superplastificeerders (soms niet)? (1999)
Betoniek 11/17, Licht en Zwaar (1999)
Betoniek 11/18, Koelen en knuffelen. (1999)
Betoniek 11/25, 'Verroest' (2000)
Betoniek 11/28, Van kubus tot constructie. (2000)
Betoniek 12/1, Onderwaterbeton boven water (2001)
Betoniek 12/2, Licht in gewicht (2001)

Betoniek 12/7, EN 197: de Europese cementnorm (2001)
Betoniek 12/9, Brandbestand (2001)
Betoniek 12/19, 'Voorkomen van ASR' (2002)
Betoniek 12/28, Hoogvloeibare betonproducten (2003)
Betoniek 13/4, ASR in beeld (2004)
Betoniek 14/01, Spuitbeton (2007)
Betoniek 13/20, Watermanagement (2005)
Betoniek 14/5, De stukken eraf (2007)
Betoniek 14/16, Brand (2008)
Betoniek 15/02, ASR verzekering (2010)
Betoniek 15/13, DEF? (2011)
Betoniek 15/14, Watersnood (2011)
Betoniek 15/16, Beton in XA (2011)
Betoniek 15/17, Meten is hot! (2011)
Betoniek 15/22, Meer sustainable (2012)
Betoniek 15/23, SR en VLH (2012)
Betoniek 15/26, Corrosie uitvergroot (2012)
Betoniek 15/27, Autogene krimp (2012)
Betoniek 16/05, Groen beton? (2013)
Betoniek 16/18, Verwerkbaarheid in de regelgeving (2016)
Betoniek 16/20, Zelfverdichtend beton 2017)
Betoniek 16/21, Op de korrel (2017)
Betoniek 16/22, Pappen en nathouden (2017)
Betoniek 16/26, De tijd aan zijn zijde (2018)
Betoniek 16/27, Luchtig beton (2019)

Overige literatuur

A.M. Neville, Properties of concrete, Harlow (4th ed., 1995)
C. Souwerbren [et al.], Betontechnologie, ENCI Media (10e dr., 1998)
H.H.M. Soen, Praktische Betonkennis, C&BC (2007)
CUR-Rapport 172, Duurzaamheid en onderhoud van betonconstructies
CUR-Rapport 90-3, Carbonatatie, corrosie en vocht (1990)
CUR-Rapport 92-7, Kritisch chloridegehalte in gewapend beton (1992)
CUR-Rapport 98, Spatten van grind- en lichtbeton bij brand (1980)
Elkem microsilica, a breakthrough in concrete technology, Elkem Chemicals Ltd., technical bulletin.

Informatiebladen Betonhuis

(beschikbaar als pdf op www.betonhuis.nl)

Alkali-silicareactie (ASR)
Chemische aantasting
Aantasting door zuren
Aantasting door sulfaten
Vorst en dooizouten
Duurzaamheid en milieuklassen
Kalkuitslag
Scheurvorming in jong beton

Verdere begrippen zijn terug te vinden in het Beton Lexicon (www.betonlexicon.nl)

Cement, beton en CO2, CementenBetonCentrum

Diversen

Duurzaam beton – Trending Topics, Betonplatform (2014)

H.W. Reinhardt, Beton als constructiemateriaal, Delftse Universitaire Pers (1985)
J. Krell et al, Temperaturabhängigkeit von Betoneigenschaften (Beton, 11/94)
K. van Breugel et al, Het grijze gebied van het jonge beton. VNC (1996)
Schoon beton, Verschijningsvormen en keuringscriteria, VNC/Stutech (1990)
Stutech-rapport 7: Nabehandeling (1987)
Stutech-rapport 13, Vervanging van grind door gebroken toeslagmaterialen in beton (1993)
Stutech/Stubeco-rapport 14: Verhardingsbeheersing van beton (1993)
Stutech-rapport 16, Praktische toepassing van bouw- en sloopafvalgranulaat in beton (1994)
Stutech-rapport 19: Gewogen rijpheid (1998)

Trefwoordenregister

De cijfers geven weer: Hoofdstuk . paragraaf . subparagraaf.

A
Aanmaakwater 10
Aanvangsonderzoek 5.7.1
Activiteitenindex 9.4.1 / 9.4.2 / 9.4.3
Afvalwater 10.1
Agressief milieu 4.5.3
Alkali-silicareactie (ASR) 2.4 / 4.5.5
Aluminiumcement 6.6 / 6.8.3
Aluminiumcementbeton 3.1
Attest 5.2.2

B
Belite cement 6.9.1
Beoordelingsrichtlijnen 5.2.1
Besluit Bodemkwaliteit 4.6
Beton keuren 5.6
Betondekking 4.5.4
Betongranulaat 7.2.3
Beton in kleur 3.4.2
Betonsoorten 4.3
Betonspecie keuren 5.5
Betonspecie maken 4.12
Betonspecie samenstellen 4.4.1 / 4.5.2
Betonsterkte 4.17
Bindmiddelfunctie 9.4
Bindmiddelfactor (poederkoolvliegas) 9.6
Bindmiddelfactor (silica fume) 9.7
Bindmiddelgehalte 9.6.1
Bleeding 4.9.3
Bouwweerbericht 4.18.2
Brak water 10.1
Brandschade 2.4
Breukrek 2.3
Bronwater 10.1

C
Carbonatatie 2.4
CE-markering 5.2.3
Cement 6
Cement; speciale eigenschappen 6.5
Cementeczeem 6.10.2
Cementmengsels 6.8
Cementnamen 6.3
Cementslibwater 10.5
Cementsoorten 6.4.1
Certificaten 5.2 / 7.3.6
Chemische aantasting 2.4
Chemische eigenschappen 7.4.4
Chloridegehalte 4.7.6 / 5.5.6 / 10.3.1
Chroom (VI) 6.10.2
CO_2-armere cementen 6.9
Colloïdaalbeton 3.2
Colloïdale hulpstoffen 8.5.3
Consistentieklassen 4.9.2 / 4.9.3 / 5.5.1
Controle productieproces 5.1.1
Conversie 6.6.1
Cosmetische schade 2.4
CPR 5.2.3
C-waarde 4.14.2

D
Doseerapparatuur 5.4.2
Doseren 4.12

T

Drinkwater 10.1
Druksterkte 4.8 / 4.17.1 / 5.6.3
Duurzaamheid 4.5

E
Elasticiteitsmodulus 2.3

F
Fijngehalte 4.7.4 / 7.4.1 / 10.5
Fysische eigenschappen 7.4.2

G
Gekleurd beton 3.4.2 / 3.4.3
Geldigheidstoets 5.7.3
Geometrische eigenschappen 7.4.1
Geschiktheidsonderzoek 5.8 / 10.3.2
Gewogen rijpheid 4.14
Groener beton 6.8.2
Grondstoffen keuren 5.3
Grondwater 10.1
Grove toeslagmaterialen 7.6

H
Hoogovencement CEM-III/C 6.8.2
Hoogovenslak 9.4.3
Hulpstoffen 4.12.2 / 8
Hydratatiewarmte 4.13 / 6.4.4 / 6.5
Hydrofoberen 3.4.1

I
IJkgrafiek c-waarde 4.14.4
Irriterende werking cement 6.10.1

K
Kalksteenmeel 9.3.1
Kalkuitslag 2.4
Keuren 5.1.2 / 5.3 / 5.4 / 5.5 / 5.6
Keuringskarakteristiek 4.8.1
Kleurstoffen 8.5.1
Korrelgroepen 4.7.3 / 7.2.3
Korrelverdeling 4.7.3
Krimp 2.3
Kruip 2.3
Kubusdruksterkte 4.8 / 4.17.1 / 5.6.3
Kwaliteitsverklaringen 5.2.2
Kwartsmeel 9.3.1

L
Laboratoriumapparatuur 5.4.1
Levensduur en mengselsamenstelling 4.5
Lichtbeton 3.3
Lichte toeslagmaterialen 7.5 / 7.6.1
Luchtbelvormers 8.4.2
Luchtgehalte 5.5.3

M
Mechanische eigenschappen 2.2 / 7.4.3
Meetapparatuur 5.4.1
Mengapparatuur 5.4.2
Mengen (beton) 4.12.3
Mengen (cementen) 6.8
Menggranulaat 7.2.3
Mengselsamenstelling 4.4
Metselcement 6.5
Metselwerkgranulaat 7.2.3
Microbolletjes 8.5.2
Milieuklassen 4.5.1 / 4.5.4

N
Nabehandelen 4.15 / 10.4
Natriumequivalent 4.5.5
Normalisatie 4.2 / 6.5

O
Omrekenfactor 5.6.3
Onderwaterbeton 3.2

Ontkisten 4.16
Oppervlaktewater 10.1

P
Plastificeerders 8.4.1
Plastische krimpscheuren 2.3 / 4.10 / 8.5.6
Poederkoolvliegas 9.4.1 / 9.5.1
Polypropyleenvezels 8.5.6
Pop-outs 2.4
Procesapparatuur 5.4
Pyrietvlekken 2.4

R
Relaxatie 2.3
Richtlijn Bouwproducten (CPD) 5.2.3

S
Sedimentatie, *zie bleeding*
Schade 2.4
Scheurvorming 2.4
Scheurwijdte 4.5.4
Schoonbeton 3.4
Schuimbeton 3.5
Silica fume 9.4.2 / 9.5.2
Slijtvastbeton 3.7
Specietemperatuur 4.12.4
Specietransport 4.10
Splijttreksterkte 5.6.4
Spoelmiddelen 8.5.4
Spoelwater 10.5
Spuitbeton 3.6
Staalvezels 8.5.5
Standaardafwijking 5.7.3
Sterkte in het werk 4.15.2 / 4.17 / 5.9
Sterkteklassen 2.2 / 6.4.2
Sterkteontwikkeling beton 4.8.2 / 4.13.1 / 6.4.2
Sterkteontwikkeling cement 6.4.2
Sulfaataantasting 2.4
Sulfaatbestandheid 6.4.5
Superplastificeerders 8.4.1

T
Technische levensduur 2.4
Thermische vervorming 2.3
Toeslagstoffen 4.7.3 / 7
Transport van betonspecie 4.10
Treksterkte 2.2

U
Uitleveringsberekening 4.11
Ultra hogesterktebeton (USHB) 3.8

V
Veiligheid 6.9
Verharding 4.13
Verhardingsbeheersing 4.13.3
Verhardingstemperatuur 4.13.1
Verordening Bouwproducten (CPR) 5.2.3
Versnellers 8.4.4
Vertragers 8.4.3
Vervolgonderzoek 5.7.2
Vervormingsgedrag 2.3 / 2.4
Verwerkbaarheid 4.9 / 4.10.2
Vezelbeton 3.9
VLH-cement 6.5
Vloeistofdicht beton 3.10
Volumieke massa 5.5.2 / 5.6.2 / 7.2.2
Vorst(dooizout)schade 2.4
Vulstoffen 9
Vuurvastheid 6.6.2

W
Wapeningscorrosie 2.4
Warmteontwikkeling 4.13.2 / 6.4
Water, *zie aanmaakwater*

Water-bindmiddelfactor 5.5.5 / 9.6.1 / 9.7.2
Water-cementfactor 4.8.2 / 5.5.4
Waterafscheiding, *zie bleeding*
Waterbehoefte 4.9.4
Waterindringing 5.6.5
Weerfasen 4.18.1
Winter 4.18
Wit cement 3.4.3 / 6.5

IJ
IJkgrafiek (gewogen rijpheid) 4.14.4

Z
Zeewater 10.1
Zelfverdichtend beton 3.11
Zomer 4.19
Zuuraantasting 2.4
Zwaar beton 3.12
Zware toeslagmaterialen 7.6.3

Notities

Notities

Notities

Notities