

# 6 BETONSPECIE EN VERHARDEND BETON

## 6.1 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.

## 6.2 NEN-EN 206 en NEN 8005

### 6.2.1 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.

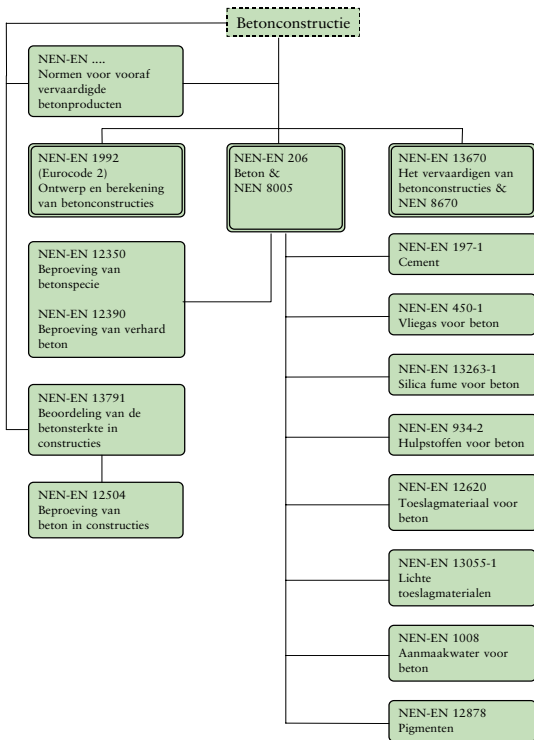
### 6.2.2 Uitvoering

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. Op dit moment wordt er gewerkt aan een zogenaamde ‘rest norm’ NEN 8670 die veel zal bevatten uit NEN 6722 dat niet is opgenomen in NEN-EN 13670. NEN 8670 zal gaan dienen 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.

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



## 6.3 Betonsoorten volgens NEN-EN 206

NEN-EN 206 onderscheidt de volgende betonsoorten:

- **normaal beton** beton met een ovendroge volumieke massa groter dan  $2000 \text{ kg/m}^3$ , maar niet meer dan  $2600 \text{ kg/m}^3$ ;
- **lichtbeton** beton met een ovendroge volumieke massa van niet minder dan  $800 \text{ kg/m}^3$  en niet meer dan  $2000 \text{ kg/m}^3$ . 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  $2600 \text{ kg/m}^3$ . Het wordt vervaardigd door het gebruik van zwaar toeslagmateriaal ter vervanging van een deel of van al het toeslagmateriaal;
- **hogesterktebeton** normaal beton of zwaar beton in een druksterkteklasse hoger dan C 50/60 en lichtbeton in een druksterkteklasse hoger dan LC 50/55.

Meer informatie over lichtbeton, zwaar beton, hogesterktebeton en een aantal betonsoorten met specifieke eigenschappen zijn beschreven in hoofdstuk 4.

## 6.4 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 water-cementfactor/water-bindmiddelfactor, het minimaal vereiste cementgehalte/bindmiddelgehalte en indien van toepassing het luchtgehalte (zie paragraaf 6.5.2).

Andere randvoorwaarden betreffen de minimaal vereiste hoeveelheid fijn materiaal (zie paragraaf 6.7.4) 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.

## 6.4.1 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 voorspanenKies 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 6.7.3
  - 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 poederkoolvliegias
8. Bereken de hoeveelheid toeslagmateriaal

#### 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<sup>3</sup> 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.*

## **6.5 Levensduur en mengselsamenstelling**

### **Let op!**

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

### **6.5.1 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 bescherm-lagen 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)
<b>1 Geen risico op corrosie of aantasting</b>	
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)
<b>2 Corrosie ingeleid door carbonatatie</b>	
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 beschermt tegen regen)
XC4	Wisselend nat en droog (oppervlakken in contact met water, niet in milieuklasse XC2)
<p><b>Opmerking</b>  <i>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</i></p>	
<b>3 Corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater</b>	
Indien beton dat wapening of andere ingesloten metalen bevat in contact staat met chloridehoudend water, inclusief dooizouten afkomstig uit bronnen anders dan zee-water, 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)
<p><b>Opmerking</b>  <i>Voor vochtcondities, zie klasse XC</i></p>	

**Klasse-aanduiding****Beschrijving van het milieu (informatieve voorbeelden waar de betreffende milieuklasse zich kan voordoen)****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)

**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 gesproeiide 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 5.5.3, 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 5.5.3;*
- *andere agressieve chemicaliën;*
- *chemisch verontreinigde grond of water;*
- *hoge watersnelheid in combinatie met de chemische stoffen in de tabel van paragraaf 6.5.3*

## 6.5.2 Randvoorwaarden betonsamenstelling (NEN 8005)

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

Milieu-klasse	Maximaal toelaatbare water-cementfactor/ water-bindmiddelfactor	Minimaal vereist cementgehalte/ bindmiddelgehalte (kg/m <sup>3</sup> )	Minimum luchtgehalte <sup>a</sup>	
			Grootste korrelafmeting D (mm)	Luchtgehalte % (v/v)
<b>1 Geen risico op corrosie of aantasting</b>				
X0	0,70 <sup>b</sup>	200 <sup>b</sup>	-	-
<b>2 Corrosie ingeleid door carbonatatie</b>				
XC1	0,65	260	-	-
XC2	0,60	280	-	-
XC3	0,55	280	-	-
XC4	0,50	300	-	-
<b>3 Corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater</b>				
XD1	0,55	300	-	-
XD2	0,50	300	-	-
XD3	0,45	300	-	-
<b>4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater</b>				
XS1	0,50	300	-	-
XS2	0,45	300	-	-
XS3	0,45	320 <sup>d</sup>	-	-
<b>5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen met of zonder dooizouten</b>				
XF1	0,55	300	-	-
XF2	0,55	300	63	3,0
			31,5	3,5
			16	4,0
			8	5,0
XF2	0,45	300	-	-
XF3	0,50	300	-	-
XF4	0,50	300	63	3,0
			31,5	3,5
			16	4,0
			8	5,0
XF4	0,45	320 <sup>d</sup>	-	-
<b>6 Chemische aantasting</b>				
XA1	0,55	300	-	-
XA2 <sup>c</sup>	0,50	320	-	-
XA3 <sup>c</sup>	0,45	340	-	-

<sup>a)</sup> Het minimum luchtgehalte heeft betrekking op het gemeten luchtgehalte

<sup>b)</sup> De genoemde water-cementfactor/water-bindmiddelfactor en het genoemde cementgehalte/bindmiddelgehalte zijn alleen van toepassing bij onderwaterbeton

<sup>c)</sup> Voor beton in deze milieuklassen dat aan oplossingen met meer dan 600 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/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

<sup>d)</sup> Bij bouwdeelen met een dikte groter dan 1 meter mag het cementgehalte worden gereduceerd tot minimaal 300 kg/m<sup>3</sup>, 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 <sup>3</sup> )	> 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 <sup>3</sup>
XD3	0,50	300
XS2	0,50	300
XS3	0,50	300

### 6.5.3. Beoordeling agressiviteit 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
<b>Grondwater</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 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 <sub>2</sub> mg/l agressief	prEN 13577:1999	≥ 15 en ≤ 40	> 40 en ≤ 100	> 100 tot verzadiging
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ISO 7150-1	≥ 15 en ≤ 30	> 30 en ≤ 60	> 60 en ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> mg/l	ISO 7980	≥ 300 en ≤ 1000	> 1000 en ≤ 3000	> 3000 tot verzadiging
<b>Grond</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg <sup>a</sup> totaal	EN 196-2 <sup>b</sup>	≥ 2000 en ≤ 3000 <sup>c</sup>	> 3000 <sup>c</sup> en ≤ 12000	> 12000 en ≤ 24000
Zuurgehalte ml/kg Baumann Gully	prEN 16502	> 200	niet aangetroffen in praktijk	

<sup>a)</sup> Kleigrond met een doorlaatbaarheid kleiner dan 10<sup>-5</sup> m/s mag in een lagere klasse worden geplaatst;

<sup>b)</sup> De beproevingsmethode schrijft de extractie voor van SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 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;

<sup>c)</sup> Indien gevaar bestaat voor opeenhoping van sulfationen 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 milieu worden ingedeeld in de naastliggende hogere klasse, tenzij een speciale studie heeft uitgezeten dat dit niet nodig is.

#### 6.5.4 Keuze van de milieuklasse

De ontwerper/betonconstuctor 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 vochtthuishouding en additionele invloeden als vorst al dan niet in combinatie met chloriden de milieuklassen te bepalen.

In voorkomende gevallen dient additioneel de agressiviteit van grond en grondwater te worden vastgesteld met de tabel uit 6.5.3 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		Aantastingsmechanismen						
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: condities 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.



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.*

## **6.5.5 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.

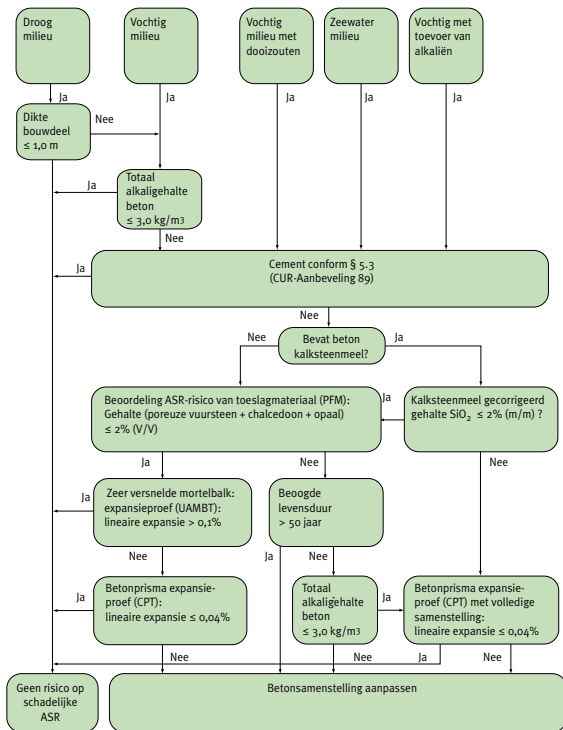
Als schadelijke ASR optreedt is de schade echter meestal wel groot; vandaar dat CUR Aanbeveling 89 heeft opgesteld.

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 ingrediënten 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 poederkoolvliegias of slak % (m/m)	≥ 25		≥ 30	≥ 50
Na <sub>2</sub> O-eq. poederkoolvliegias in cement % (m/m)	x ≤ 2,0	2,0 < x ≤ 3,0	3,0 < x ≤ 4,5	n.v.t.	n.v.t.
<b>Maximum alkaligehalte cement [% (m/m)]</b>					
indien alkalibijdrage overige bestanddelen <sup>c</sup> ≤ 0,6 kg/m <sup>3</sup>	1,1	1,3	1,6	1,1	1,5
indien alkalibijdrage overige bestanddelen 0,6 < y ≤ 1,2 kg/m <sup>3 a,c</sup>	0,9	1,1	1,5	0,9	1,3
indien alkalibijdrage overige bestanddelen 1,2 < y ≤ 1,6 kg/m <sup>3 b,c</sup>	0,8	1,0	1,4	0,8	1,2

a) Indien wordt aangetoond dat de alkalibijdrage van de hulp- en vulstoffen, anders dan poederkoolvliegias, < 0,1 kg/m<sup>3</sup> is, mag voor de alkalibijdrage van de overige bestanddelen worden uitgegaan van maximaal 1,2 kg/m<sup>3</sup>

b) Indien niet wordt voldaan aan de eis 'alkaligehalte overige bestanddelen ≤ 1,6 kg/m<sup>3</sup>', 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 poederkoolvliegias

Het Na<sub>2</sub>O-equivalent (Na<sub>2</sub>O-eq) is een maat voor het alkaligehalte uitgedrukt als het gehalte aan natriumoxide (Na<sub>2</sub>O) + 0,658 maal het gehalte kaliumoxide (K<sub>2</sub>O) in % (m/m) of kg/m<sup>3</sup>.

Daarnaast zijn er eisen aan cementcombinaties, al dan niet met vliegias als vulstof, met preventieve werking ten aanzien van ASR.

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

a) Indien wordt aangetoond dat de alkalibijdrage van de hulp- en vulstoffen, anders dan poederkoolvliegas, < 0,1 kg/m<sup>3</sup> is, mag voor de alkalibijdrage van de overige bestanddelen worden uitgegaan van maximaal 1,2 kg/m<sup>3</sup>

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 de tabel op pagina 112);
- 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 de tabel op pagina 125).

### Let op!

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

## 6.6 Besluit Bodemkwaliteit (Bbk) en mengsamenstelling

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 bouw materiaal 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.



## 6.7 Grondstoffenkeuze en mengsamenstelling

### **Let op!**

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

#### 6.7.1 Bindmiddelen

##### **Cement**

Niet alle cementsoorten uit NEN-EN 197-1 zijn zonder meer toegestaan; zie hiervoor 8.7.

##### **Poederkoolvliegias**

Gebruik van poederkoolvliegias als deel van het bindmiddel is onder voorwaarden toegestaan; zie hiervoor 11.6.

In beton is uitsluitend poederkoolvliegias 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 11.4 .

Gemalen hoogovenslak voor toepassing in beton moet voldoen aan NEN-EN 15167-1.

#### 6.7.2 Vulstoffen

Naast poederkoolvliegias zijn diverse andere vulstoffen beschikbaar; zie hiervoor 11.

## 6.7.3 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 $\rho_{rd}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Milieuklasse		Volgens CUR-Aanbeveling 112
		X0	Overige milieuklassen	
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!**

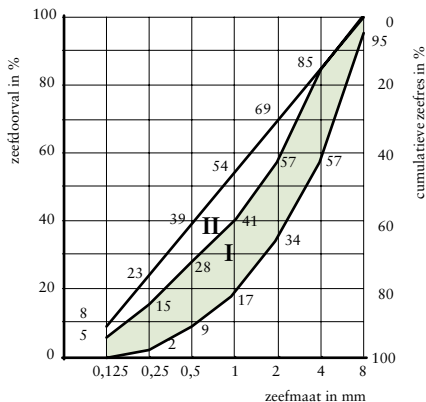
*Uit proefprojecten en praktijkervaring is gebleken dat:*

- *de mengsamenstelling 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.*

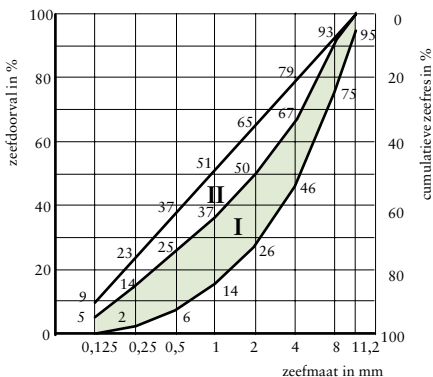
## Korrelverdeling

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.

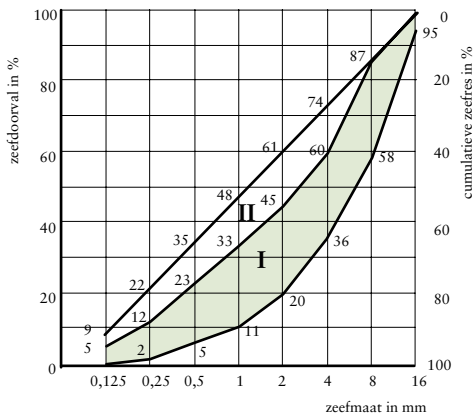
### Ontwerpgebieden voor korrelgroep 0/8



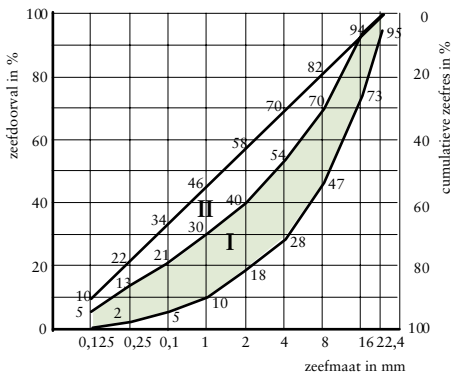
## Ontwerpgebieden voor korrelgroep 0/11



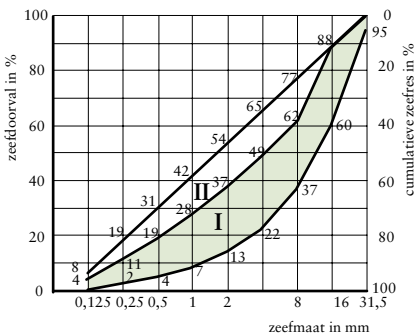
## Ontwerpgebieden voor korrelgroep 0/16



## 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 langstaven in in de grond gevormde palen.

### **6.7.4 Fijngehalte**

Het fijngehalte van betonspecie is de hoeveelheid materiaal  $< 250 \mu\text{m}$ . 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 ( $< 250 \mu\text{m}$ ) in $\text{m}^3$ per $\text{m}^3$ 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 <sup>3</sup> per m <sup>3</sup> beton
2	–
3	0,010
4	0,020
5	0,030
6	0,040

### Voorbeeld:

Voor een mengsel met 130 l fijn per m<sup>3</sup> en een gemeten luchtgehalte van 4% geldt als rekenwaarde voor het fijngehalte:  $130 \cdot 1,04 = 135,2$  l/m<sup>3</sup>.

### Optimaal fijngehalte

Het fijngehalte is optimaal wanneer voor de gegeven verwerkingswijze de waterbehoefte minimaal is, terwijl net geen otmenging optreedt. Dit optimum wordt in belangrijke mate bepaald door de wijze waarop het fijngehalte wordt gerealiseerd. Vaak kan het met poederkoolvliegias 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.

#### 6.7.5 Aanmaakwater

De eisen waaraan aanmaakwater moet voldoen, staan in hoofdstuk 12. 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 12.5.

#### 6.7.6 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 7.5.6.

Het gehalte aan chloriden van beton, weergegeven als het percentage chlo-

riden 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 chloridegehalte	Maximumgehalte aan Cl <sup>-</sup> t.o.v. de massa cement <sup>a</sup>
Beton zonder wapening of ingesloten metalen, met uitzondering 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%

<sup>a)</sup> 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 x 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.

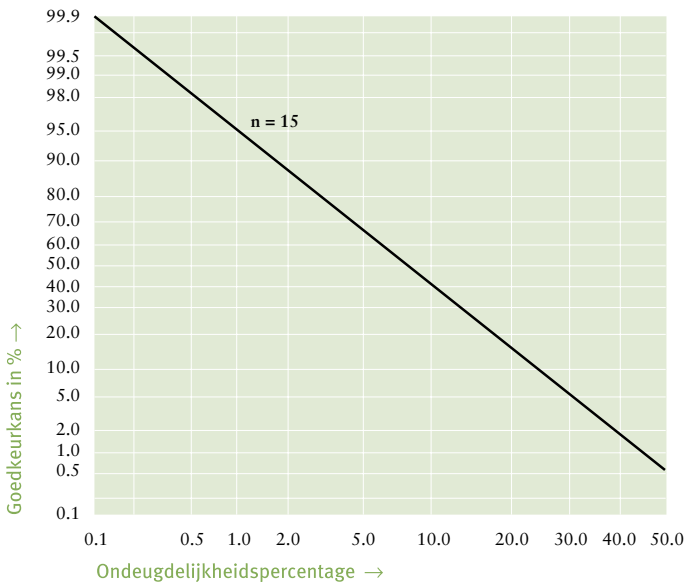
## 6.8 Druksterkte en mengsamenstelling

### 6.8.1 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 6.4.1)
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 6.4.1). Onderzoek of u ervaring en kwaliteitscontrolegegevens hebt met/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 keuringskarakteristiek 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: $f_{cm,cube} = 5 C 1 u 3 \sigma$	Hierin is: $f_{cm,cube}$ de kubusdruksterkte in N/mm <sup>2</sup> C de sterkteklasse in N/mm <sup>2</sup> u de excentriciteit $\sigma$ de standaardafwijking

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



### 6.8.2 Sterkteontwikkeling en water-cementfactor

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

#### Formule

$$f_{\text{cm,cube}(n)} = 5 a N_n \left( 1 - \frac{b}{wcf} \right)^2 c$$

Hierin is:

$f_{\text{cm,cube}(n)}$  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 gemiddelde betonsterkten voor een gegeven speciesamenstelling te verzamelen, zijn deze coëfficiënten te bepalen. Voor beton gemaakt met gangbare ENCI-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	$a$	$b$	$c$
ENCI CEM I en CEM II/B-V	0,85	33	62
ENCI CEM III/A	0,8	25	45
ENCI CEM III/B	0,75	18	30

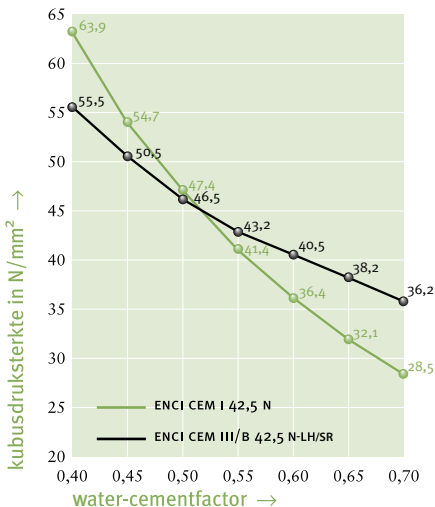
Voor normsterkten van ENCI cementen zie 8.8.1.

#### Voorbeeld

Zoals te vinden is in hoofdstuk 8.8.1, bedraagt de normsterkte volgens NEN-EN 197-1 na 28 dagen voor ENCI CEM I 42,5 N 54 N/mm<sup>2</sup> en voor ENCI CEM III/B 42,5 N-LH/SR IJmuiden 56 N/mm<sup>2</sup>.

Voor deze twee cementsoorten 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.

## 6.9 Verwerkbaarheid en mengsamenstelling

### 6.9.1 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 consistentieclassen. De consistentie kan worden benoemd tussen 'droog' en 'zeer vloeibaar'.

## 6.9.2 Consistentieklassen (NEN 8005)

Consistentie- klasse	NEN-EN 206				NEN 8005				BRL 1801			
	C klasse	S klasse	F klasse	SF klasse	C klasse	S klasse	F klasse	SF klasse	C klasse	S klasse	F klasse	SF klasse
Droog	C0	-	-	-	C0	-	-	-	C0	-	-	-
Aardvochtig	C1	S1	F1	-	C1	-	-	-	C1	-	-	-
Halfplastisch	C2	S2	F2	-	-	S2	-	-	-	S2	-	-
Plastisch	C3	S3	F3	-	-	S3	-	-	-	S3	-	-
Zeerpastisch	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

## 6.9.3 Grenswaarden consistentieklassen

Klasse	Verdichtingsmaat volgens NEN-EN 12350-4
C0	$\geq 1,46$
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	$\geq 0,8$ met 2 spijlen
PL2	$\geq 0,8$ met 3 spijlen

Klasse	Blokkeringsmaat volgens NEN-EN 12350-12
PJ1	$\leq 10$ mm met 12 spijlen
PJ2	$\leq 10$ mm met 16 spijlen

Klasse	Segregatietest volgens NEN-EN 12350-11
SR1	$\leq 20$ %
SR2	$\leq 15$ %

#### 6.9.4 Waterbehoefte

##### *Richtwaarden voor de effectieve waterbehoefte van betonspecie (l/m<sup>3</sup>)*

Grootste zeefmaat (mm)	8		11,2		16		22,4		31,5	
Ontwerpgebied	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Consistentie										
Aardvochtig (zetmaat $\leq 40$ 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

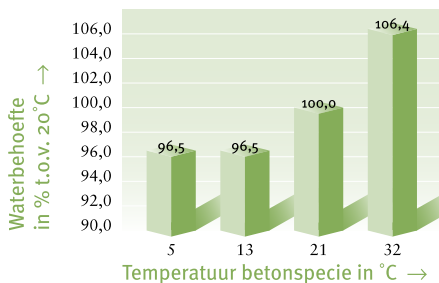
toeslagmateriaal vergt wat meer water. Gebruik van een luchtbelvormer verlaagt de waterbehoefte.

### **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, uitgevoerd door Mebin en ENCI 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 krimpseuren 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.

## **6.10 Transport en mengsamenstelling**

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

### **6.10.1 Transporttijd**

Voor de beschikbare tijd tussen laden en het moment dat het beton is verwerkt wordt verwezen naar 12.3 van NEN 6722. In aanvulling hierop 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 spcietemperaturen, 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.

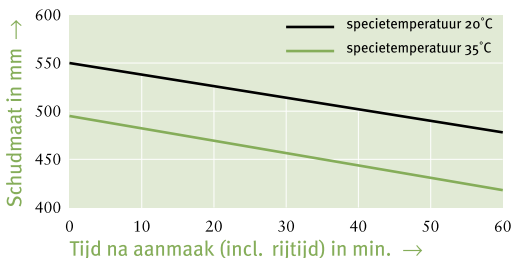
### 6.10.2 Terugloop verwerkbaarheid

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 m<sup>3</sup>, 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 6.9.3.

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.*

### 6.10.3 Transportmethoden

Methodie	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 ont mengen
Open kiepwagen	Geschikt voor droog en aardvochtig beton (consistentie klassen C0 en C1) Bescherm bij langere rijafstanden de specie tegen vorst, natregenen en uitdrogen
Truckmixer	Geschikt voor alle consistentie klassen hoger dan halfplastisch Kans op ont mengen is klein. De ketel moet gedurende de hele rijtijd in beweging worden gehouden
Kubel en kraan	Geschikt voor alle consistenties vanaf halfplastisch. Kans op ont mengen is klein
Betonpomp	Mits specie voldoende stabiel, geschikt voor alle consistentie klassen vanaf halfplastisch 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 (grote 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 ont mengen is groot
Goot	Alleen geschikt voor plastisch beton in consistentie klasse C3 en hoger

## 6.11 Uitleveringsberekening

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

### 6.11.1 Werkwijze

- Stap 1** Voer fase I, II en III 'Betonspecie samenstellen' (6.4.1) uit
- Stap 2** Stel vast hoeveel cement en hoeveel fijne vulstof u per m<sup>3</sup> 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<sup>3</sup>, als  $\sum$  volumes (cement, vulstoffen, hulpstoffen, water en lucht)
- Stap 7** Bereken het volume aan toeslagmateriaal als  $(1 - \text{pastavolume}) \text{ m}^3$
- 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<sup>3</sup> is

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

### 6.11.2 Uitleveringscontrole

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



## 6.12 Betonspecie maken

### 6.12.1 Doserer grondstoffen

Grondstof	Doseernauwkeurigheid	Opmerkingen
Cement	6 1,5% (m/m)	Doserer alleen door weging
Toeslagmateriaal	6 2% (m/m)	
Water	6 2% (m/m)	
Hulpstoffen	6 3% (m/m)	
Vulstoffen	6 2% (m/m)	

#### **Let op!**

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

### 6.12.2 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.

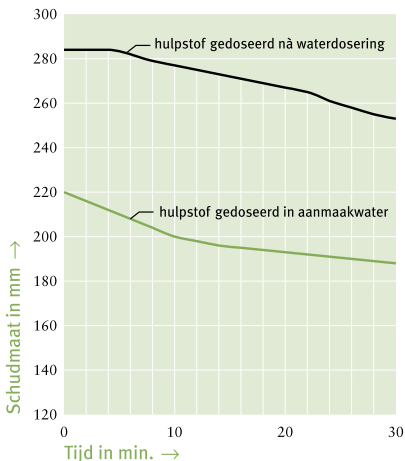
#### **Let op!**

*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.

### 6.12.3 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 1 15 5 115 seconden.

Droge mengtijd: 15 1 (100/4) 2 5 5 35 seconden.

Natte mengtijd: 115 2 35 5 80 seconden.

### **6.12.4 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:

$$\text{specietemperatuur} = \frac{G_w \cdot 3 H_w \cdot 3 t_w + 1 G_c \cdot 3 H_c \cdot 3 t_c + 1 G_t \cdot 3 H_t \cdot 3 t_t}{G_w \cdot 3 H_w + 1 G_c \cdot 3 H_c + 1 G_t \cdot 3 H_t}$$

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.

Teller: 150 3 4,19 3 60 1 300 3 0,84 3 40 1 1947 3 0,84 3 5 5 55967

Noemer: 150 3 4,19 1 300 3 0,84 1 1947 3 0,84 5 2516

Specietemperatuur: 55967/2516 5 22 °C



Dit rekenvoorbeeld heeft betrekking op een gangbare mengsamenstelling. 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.*
- *Bevoren 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.*

#### **6.12.5 Stoominjectie in de menger**

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

## **6.13 Verharding**

### **6.13.1 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.

## 6.13.2 Beïnvloeden verhardingstemperatuur

### Warmteontwikkeling

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

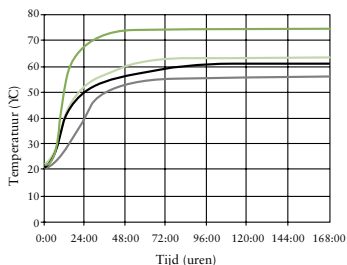
Zowel de snelheid van warmteproductie als de snelheid van de warmteafvoer is te beïnvloeden met betontechnologische en bouwtechnische maatregelen.

De hydratatiwarmte 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 hydratatiwarmte 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 $d \geq 0,80$ 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

### 6.13.3 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 hydratatiwarmte 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 hydratatiwarmte (LH) en beperk zo mogelijk het cementgehalte	Hierdoor wordt de totale hoeveelheid hydratatiwarmte beperkt
Verlaag de specietemperatuur	Een effectieve manier is om het toeslagmateriaal te koelen, zie 6.12.4
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

## 6.14 Gewogen rijpheid

### 6.14.1 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.

$$R_g = \frac{10(C^{0,1T_g^{21,245}} - 2 C^{22,245})}{\ln C}$$

$R_g$  = de gewogen rijpheid van het beton na 1 uur;

$T_g$  = de gemiddelde temperatuur van het beton in dat uur;

$C$  = de C-waarde van het gebruikte cement of het gebruikte bindmiddel.

### **6.14.2 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 poederkoolvliegias***

Bij mengsels van cementen of van cement met poederkoolvliegias 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	Vershil in C-waarde $\neq 0,2$	Geen maatregel; interpoleren tussen C-waarden
	Vershil 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 poederkoolvliegias	$k$ -waarde vliegias $< 0,2$ 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 vliegias $= 0,2$	C-waarde opnieuw bepalen
	Alle andere mengsels van cement en vliegias	C-waarde opnieuw bepalen

C-waarde mengsels van hoogovencement van ENCI-Rotterdam CEM III/B 42,5 N LH met portlandcement van ENCI Maastricht CEM I 52,5 N of CEM I 52,5 R

Mengverhouding		C-waarde cementcombinatie met	
hoogovencement	portlandcement	CEM I 52,5 N	CEM I 52,5 R
100	0	1,60	1,60
95	5	1,55	1,55
90	10	1,55	1,55
85	15	1,50	1,50
80	20	1,50	1,50
75	25	1,45	1,45
70	30	1,45	1,45
65	35	1,40	1,40
60	40	1,40	1,40
55	45	1,35	1,35
50	50	1,35	1,35
45	55	1,35	1,35
40	60	1,30	1,30
35	65	1,30	1,30
30	70	1,25	1,25
25	75	1,25	1,25
20	80	1,25	1,25
15	85	1,20	1,20
10	90	1,20	1,20
5	95	1,15	1,15
0	100	1,15	1,15

C-waarde mengsels van hoogovencement van ENCI-Maastricht/IJmuiden  
 CEM III/B 42,5 N LH met portlandcement ENCI Maastricht  
 CEM I 52,5 N of CEM I 52,5 R

Mengverhouding		C-waarde cementcombinatie met	
hoogovencement	portlandcement	CEM I 52,5 N	CEM I 52,5 R
100	0	1,55	1,55
95	5	1,55	1,55
90	10	1,50	1,50
85	15	1,50	1,50
80	20	1,45	1,45
75	25	1,45	1,45
70	30	1,45	1,45
65	35	1,40	1,40
60	40	1,40	1,40
55	45	1,35	1,35
50	50	1,35	1,35
45	55	1,35	1,35
40	60	1,30	1,30
35	65	1,30	1,30
30	70	1,25	1,25
25	75	1,25	1,25
20	80	1,25	1,25
15	85	1,20	1,20
10	90	1,20	1,20
5	95	1,15	1,15
0	100	1,15	1,15

C-waarde →

	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	
0	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	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	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	4,6
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	5,2
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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	21,4
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	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	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	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	29,0

← Temperatuur(°C)

	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95
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	45,8	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
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
56	69,8	74,2	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

## C-waarde →

	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95
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	74,2	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

↑ Temperatuur (°C)



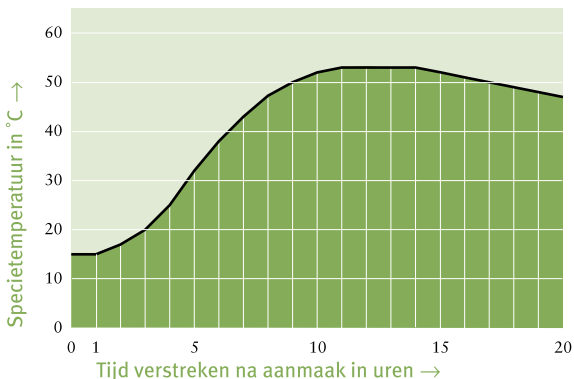
	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95
74	93,1	103,9	116,8	132,0	149,8	170,5	194,3	221,8	253,3	289,2	330,1	376,5	429,0	488,2	554,7	629,3	712,8	806,0	909,7
75	94,4	105,7	119,2	135,1	153,8	175,6	200,8	229,9	263,3	301,6	345,3	395,0	451,4	515,1	586,9	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

### 6.14.3 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 halfuur 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-temperatuur (°C)	Ouderdom (uur)	Gemiddelde specietemperatuur van dit uur (°C)	Gewogen rijpheid (°Ch)	
				Van dit uur	Gesommeerd
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	413,8
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

## 6.14.4 Ijkgrafiek

### Samenstelling en gebruik

Stap	Activiteit	Toelichting
1	Vraag op bij welke betonsterkte men wil ont-kisten of voorspannen	<ul style="list-style-type: none"><li>• De ijkgrafiek is alleen geldig in het gebied waarvoor hij gemaakt is; extrapoleren is onbetrouwbaar</li></ul>
2	Zorg dat de C-waarde van het bindmiddel bekend is, zie ook 8.8.1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Voor cement op te vragen bij de fabrikant, maar voor mengsels van cementen of van cement met poederkoolvlieg-as moet u zelf de C-waarde bepalen. Gebruik hiervoor NEN 5970</li><li>• 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 poederkoolvlieg-as</li></ul>
3	Bepaal het verband tussen de kubusdruksterkte en de logaritme van de gewogen rijpheid voor het te gebruiken mengsel	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zorg ervoor dat de voor de ijking gebruikte druksterkten niet meer dan <math>\pm 8 \text{ N/mm}^2</math> van de gevraagde betonsterkte (stap 1) afwijken</li><li>• Schat hoeveel tijd kubussen in de waterbak bij 20 °C nodig zullen hebben om de gevraagde sterkte van stap 1 te bereiken</li><li>• 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.</li><li>• Bereken voor elke kubus de gewogen rijpheid op het moment van drukken</li><li>• Schrijf voor elke kubus in een tabel de druksterkte, de gewogen rijpheid en de logaritme van de gewogen rijpheid naast elkaar</li></ul>

(vervolg)

Stap	Activiteit	Toelichting
4	Teken de regressielijn op grond van punt 3	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li><li>• Bereken de regressielijn; in bijlage 4 van Stutech-rapport 19 staat een voorbeeld</li></ul>
5	Teken in de grafiek een ijklijn, op basis van de standaardafwijking van de meting of de processtandaardafwijking van de productielocatie	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li></ul>
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	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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</li><li>• Er zijn rijpheidcomputers in de handel, die op grond van de gemeten temperaturen de gewogen rijpheid direct berekenen. <b>Controleer in dat geval altijd of de juiste C-waarde is ingevoerd!</b></li></ul>
7	Bepaal de bereikte druksterkte van het beton in de constructie	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lees in de grafiek de betonsterkte af, die hoort bij de gewogen rijpheid van stap 6</li></ul>

## 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  $\pm 1x$  de standaardafwijking van de regressielijn liggen.

## Aanpassing

Controleresultaat	Activiteit	Opmerkingen
Eén van de gemeten druksterkten ligt buiten het 1 3 standaardafwijkinggebied 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 3 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 3 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

## 6.15 Nabehandelen

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

### 6.15.1 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	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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'</li><li>• De benodigde nabehandelingstijd is beschreven in 6.15.2</li></ul>
Te grote temperatuurspanningen	<ul style="list-style-type: none"><li>• Voorkom te snelle temperatuurstijging bij verwarmen</li><li>• Voorkom te snelle afkoeling na het ontkisten in de winter door middel van isolatie</li><li>• Voorkom sterke, eenzijdige verwarming door zoninstraling of sterke eenzijdige afkoeling in de winter</li><li>• Neem bij dikke betonconstructies verhardingsbeheersingsmaatregelen</li></ul>
Mechanische beschadiging	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bekisting lang genoeg laten staan</li><li>• Goede hekken en zo nodig bewaking op de bouwplaats</li><li>• Niet trillen direct naast zeer jong beton</li><li>• Bescherm het oppervlak minimaal 1 dag tegen regen</li></ul>
Vorstschade	<ul style="list-style-type: none"><li>• isoleer zeer jong beton tot een sterkte van <math>5 \text{ N/mm}^2</math> bereikt is</li></ul>
Vervuilen en verkleuren	<ul style="list-style-type: none"><li>• Betonvlakken waarboven of waarlangs gewerkt wordt, beschermen met folie of dekzeilen</li></ul>

## 6.15.2 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 uitgegaan 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	$\geq 0,50$
normaal	$\geq 0,30 - < 0,50$
langzaam	$\geq 0,15 - < 0,30$
zeer langzaam	$< 0,15$

**Tabel F.1 van NEN-EN 13670**

Minimum nabehandlungsduur 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 <sup>a)</sup>		
	Sterkteontwikkeling beton <sup>c)</sup> en <sup>d)</sup>		
	$f_{cm,2} / f_{cm,28} = r$		
	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 nabehandlungsduur voor nabehandelsklasse 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 <sup>a)</sup>		
	Sterkteontwikkeling beton <sup>c) en d)</sup>		
	$f_{cm,2} / f_{cm,28} = r$		
	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 <sup>a)</sup>		
	Sterkteontwikkeling beton <sup>c) en d)</sup>		
	$f_{cm,2} / f_{cm,28} = r$		
	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.

## 6.16 Bepalen ontkistingstijdstip

### 6.16.1 Via bereikte betonsterkte

- Zijbekisting mag weg bij de ontkistingsterkte die de constructeur op de tekening heeft gezet; mits de betonsterkte  $\geq 3,5 \text{ N/mm}^2$  is.
- De dragende bekisting mag weg bij de ontkistingsterkte die de constructeur op de tekening heeft gezet; mits de betonsterkte  $\geq 14 \text{ N/mm}^2$  is.

### 6.16.2 Volgens art. 5.7. van NEN-EN 13670

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

Sterkteklasse	Minimale ontkistingssterkte (N/mm <sup>2</sup> )
C 12/15	18
C 20/25	25
C 30/37	33
C 35/45	40
C 45/55	47
C 53/65	54

### 6.16.3 Via minimum aantal verhardingsdagen

#### **Let op!**

Een verhardingsdag is een dag waarop de gemiddelde etmaaltemperatuur  $\geq 4$  °C is.

Sterkteklasse cement	Ontkistingstijd in dagen		
	Zijbekisting van balken, wanden en kolommen	Onderbekisting van vloeren en balken	
		overspanning $\leq 3$ 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

### 6.16.4 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 hoogoven- cement met lage begin- sterkte	Ontkistingstijd in dagen		
	Zijbekisting van balken, wanden en kolommen	Onderbekisting van vloeren en balken	
		overspanning $\leq 3$ m	overspanning > 3 m
32,5 L	4	10	30
42,5 L	3	8	20
52,5 L	2	5	10

## 6.17 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 (gedeeltijk) belasten en het tijdstip van (gedeeltelijk) voorspannen van constructies.*

## 6.18 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 (Mebin) centrale!*

### 6.18.1 Weerfasen en maatregelen

Weer- fase	Gemiddelde temperatuur in °C			Maatregelen ter bescherming van vers gestorte betonoppervlakken
	Tussen 9 uur 's mor- gens 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 bescher- men kan verstandig zijn
1	≥ 4	-	< -1	Geen eisen, maar afdekken of bescher- men is aan te raden
2	0 tot 4	≥ -2	-	Afdekken en isoleren tot 5 N/mm <sup>2</sup> 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 hydra- tiewarmte gebruiken of wcf verlagen. De maatregelen handhaven tot een betonsterkte van 5 N/mm <sup>2</sup> is bereikt
4	< 0	≥ -5	-	Als weerfase 3; maar specietempera- tuur bij storten ≥ 10 °C en temperatuur betonoppervlak boven 4 °C houden, tot een betonsterkte van 5 N/mm <sup>2</sup> is bereikt
5	< 0	-	-5 tot -10	Als weerfase 4; reken erop dat warmte- toevoer nodig zal zijn om de tempera- tuur 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

### 6.18.2 Bouwweerbericht

Bouwweerberichten kunnen zowel via internet als telefonisch worden opgevraagd. Deze diensten zijn niet kosteloos. 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.

Informatie hierover is via telefoon, fax, internet en e-mail te verkrijgen:

- Cobouwweerlijn 0900-9728; via deze lijn krijgt u de weerfase en een gedetailleerd bouwweerbericht voor de regio waarin het bouwwerk ligt. Daarvoor is het nodig dat u de 4 cijfers van de postcode van het bouwwerk bij de hand hebt als u belt.
- Weerbureau HWS Bouwweerlijn 0900-2008003;

Via internet:

[www.bouwweer.nl](http://www.bouwweer.nl)

[www.cobouw.nl](http://www.cobouw.nl)

[www.winterservice.nl](http://www.winterservice.nl)

#### **Let op!**

*Zie ook 5.4.7 'Aanvullende maatregelen bij vriezend weer'.*

## 6.19 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 vertraagende werking toevoegen.

Een ander aandachtspunt is nabehandeling van vers gestort beton. Zie 5.4.8. 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.