

## 2 **BETON ALS BOUWMATERIAAL**

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste eigenschappen van beton behandeld, zowel als betonspecie in de verwerkingsfase als later verhard als constructiemateriaal.

Voor het gedrag van beton in een constructie is het belangrijk te weten dat beton vooral wordt gekenmerkt door een relatief hoge druksterkte, terwijl het een vrij lage treksterkte heeft. Wanneer beton wordt toegepast in constructies waarin zowel druk- als trekspanningen kunnen optreden, moeten maatregelen worden genomen om te voorkomen dat het beton als gevolg van de trekspanningen bezwijkt.

Ook moet worden voorkomen dat het beton als gevolg van allerlei aantastingsmechanismen eerder zijn functie verliest dan waarvoor het is bedoeld. Dat wordt aan de orde gesteld onder het begrip “duurzaamheid”, waarmee dus de levensduur van de betonconstructie wordt bedoeld.

Naast in constructie toegepast beton worden ook andere betonsoorten aan de orde gesteld.

Als laatste komt de wijze waarop alle eisen aan de betonconstructie en de uitvoering van het betonwerk worden vertaald naar de leverancier van het beton en/of de betonspecie.

<b>INHOUDSOPGAVE</b>		<b>Pag.</b>
2.1	Ontwerpen in beton .....	2-3
2.1.1	Gewapend beton .....	2-3
2.1.2	Voorgespannen beton .....	2-4
2.2	Eigenschappen van beton .....	2-5
2.3	Eigenschappen van betonspecie .....	2-6
2.3.1	Verwerkbaarheid .....	2-7
2.3.2	Vloeigedrag .....	2-8
2.3.3	Stabiliteit / Samenhang / Zetting .....	2-8
2.3.4	Verwerkbaarheid van betonspecie in de voorschriften.....	2-9
2.3.5	Groene sterkte.....	2-12
2.4	Verhardend beton (van specie tot verhard beton).....	2-13
2.4.1	Sterkteontwikkeling.....	2-14
2.4.2	Hydratatiewarmte en temperatuurontwikkeling .....	2-14
2.4.2.1	De “semi-adiabatische warmteontwikkeling.....	2-16
2.4.3	Rijpheid .....	2-16
2.4.4	Krimp.....	2-17
2.5	Verhard beton .....	2-17
2.5.1	Sterkte.....	2-17
2.5.2	E-modulus.....	2-21
2.5.3	Volumieke massa.....	2-21
2.5.4	Milieuklassen / duurzaamheid .....	2-22
2.5.4.1	Risico's inzake de duurzaamheid van de wapening .....	2-24
2.5.4.2	Wapeningscorrosie door carbonatatie (XC1 t/m XC4) .....	2-24
2.5.4.3	Wapeningscorrosie door chloriden (XD en XS) .....	2-25
2.5.4.4	Vorst-(dooizout)bestandheid (XF) .....	2-25
2.5.4.5	Chemische aantasting van beton (XA).....	2-26
2.5.4.6	Sulfaataantasting .....	2-27
2.5.4.7	Zuuraantasting.....	2-28
2.5.4.8	Alkali-silicareactie (ASR) .....	2-29
2.5.4.9	Brandbestandheid.....	2-30
2.5.4.10	Massabeton.....	2-31
2.5.5	Esthetische eisen/Schoon beton.....	2-33
2.5.5.1	Gekleurd beton .....	2-34
2.6	Bijzondere Betonsoorten .....	2-35
2.6.1	Zelf verdichtend beton.....	2-35
2.6.2	Beton in hogere sterkteklassen .....	2-36
2.6.3	Vezelbeton.....	2-36
2.6.4	Colloidaal beton.....	2-37
2.6.5	Schuimbeton.....	2-37
2.6.6	Spuitsbeton.....	2-38
2.7	Specificeren van beton .....	2-38
2.7.1	Beton op basis van prestatie eisen .....	2-39
2.7.1.1	De grootste korrelafmeting van het toeslagmateriaal.....	2-39
2.7.1.2	Chlorideklasse .....	2-40
2.7.1.3	Aanvullende prestatie eisen.....	2-40
2.7.2	Beton op samenstelling.....	2-40
2.7.3	Bestellen van beton.....	2-41

## 2.1 Ontwerpen in beton

Beton is een van de meest gebruikte bouwmaterialen. De combinatie van vrijheid in vormgeving, constructieve eigenschappen en lange levensduur is uniek. Daarom valt voor veel bouwwerken de keuze op beton. Beton kan optimaal worden afgestemd op de eisen vanuit de toepassing omdat het kan worden geproduceerd in een grote variëteit aan kwaliteiten, zowel wat de mechanische eigenschappen als de duurzaamheid betreft.

Veel eisen en randvoorwaarden bij het werken met beton zijn vastgelegd in voorschriften. Die behandelen bijvoorbeeld de constructieve eisen en rekenmethoden. Ook de sterkte- en duurzaamheidseigenschappen van het materiaal beton, de eisen aan gebruikte grondstoffen, randvoorwaarden voor betonsamenstellingen en productie en de verwerking van beton zijn beschreven in voorschriften. In hoofdstuk 11 'Regelgeving' wordt hierop nader ingegaan.



*Figuur 2.1 Betonconstructie in het landschap*

### 2.1.1 Gewapend beton

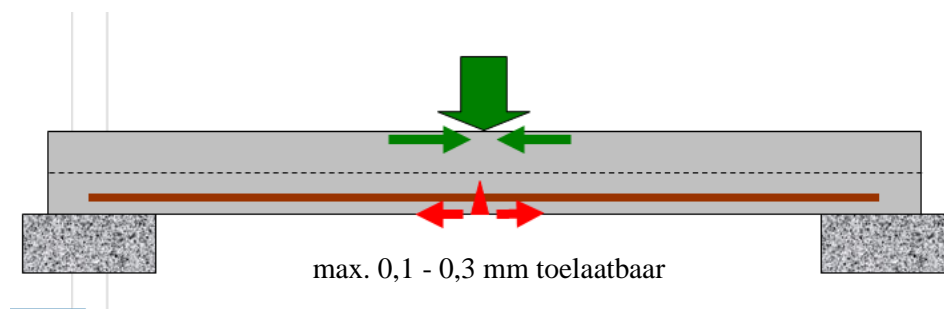
Waar beton snel bezwijkt bij trekspanningen kan staal juist zeer hoge trekspanningen aan. Stalen staven kunnen hoge trekspanningen opnemen maar zullen vanwege hun vorm onder drukspanningen al snel uitbuigen en knikken.

Door nu op die plaatsen, waar in de betonconstructie trekspanningen kunnen optreden, wapeningsstaven op te nemen ontstaat gewapend beton.

De samenwerking tussen staal en beton kan om meer redenen worden beschouwd als een bijna ideaal 'huwelijk':

- Beton hecht zeer goed aan staal: spanningen worden daardoor perfect overgedragen.
- In goed beton wordt staal perfect beschermd tegen roesten: bij hoge pH ontstaat op het staal een zogenoemde 'passiveringslaag' waardoor roesten van het staal onmogelijk is.
- Beton en staal hebben vrijwel dezelfde uitzettingscoëfficiënt: veranderingen in temperatuur veroorzaken geen spanningen tussen de materialen.

- Beton neemt druk op, staal neemt trek op.



*Figuur 2.2 Samenwerking tussen beton en staal*

Toelichting bij de illustratie: op het moment dat in de constructie trekspanningen ontstaan, die groter zijn dan de treksterkte van het beton, zal het beton scheuren. Op dat moment wordt de trekspanningen direct overgenomen door het staal waardoor de scheur niet verder kan groeien.

Bij het ontwerpen van betonconstructies kan de constructeur op basis van de betoneigenschappen en de hoeveelheid en verdeling van het wapeningsstaal de scheurwijdte tot een (veilig) minimum beperken.

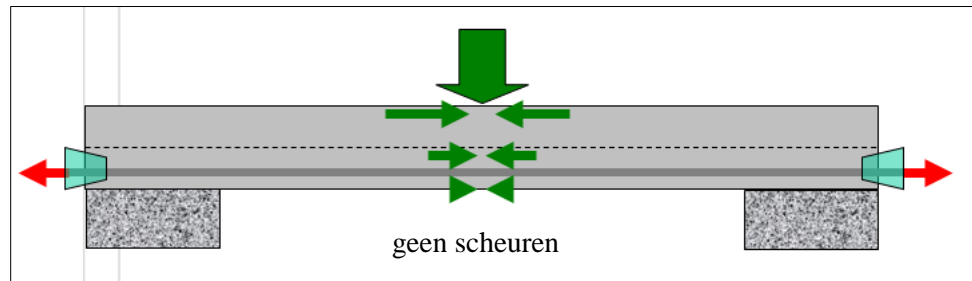
### 2.1.2 Voorgespannen beton

In voorgespannen beton gaat de samenwerking tussen beton en staal nog een stap verder. Hierbij worden op plaatsen waar trekspanningen zouden kunnen ontstaan kabels, strengen, draden<sup>1</sup> of staven van speciaal hoogwaardig staal aangebracht waarmee op deze plaatsen al vooraf drukspanningen worden aangebracht, die groter zijn dan de trekspanning die bij belasting optreedt. Dit gebeurt door deze kabels of staven vooraf te spannen (door ze 'uit te rekken'). Vandaar de term 'voorgespannen beton met voorgerekt staal'.

Veel geprefabriceerde elementen (zoals bijvoorbeeld heipalen, vloerelementen en brugliggers) worden op deze manier gemaakt met voorgerekt staal. De strengen of staven worden gespannen tussen eindverankeringen. Daarna wordt beton om de voorgerekte wapening gestort.

<sup>1</sup> 7 of 9 draden vormen samen een streng. Strengen kunnen weer samengevoegd worden tot kabels

Zodra het beton voldoende sterkte heeft ontwikkeld wordt de eindverankering 'losgelaten' waardoor het staal wil verkorten, het beton verhindert dit via aanhechting waarmee het beton onder druk komt te staan (voorspanning met voorgerekt staal VMA).



*Figuur 2.3*      *Werking van voorgespannen beton*

Voorgespannen beton kan ook op een andere manier worden gemaakt. In de constructie worden dan kanalen aangebracht waar later de kabels of strengen worden ingebracht. Nadat het beton voldoende sterkte heeft opgebouwd, kunnen de strengen met vijzels gespannen worden. Dit wordt 'voorgespannen beton met nagerekt staal' (VZA) genoemd. Deze werkwijze wordt veel toegepast bij grote, in het werk gestorte, overspanningen zoals bruggen en viaducten.

## 2.2      **Eigenschappen van beton**

De behandeling van de eigenschappen van beton beperkt zich vaak tot de eigenschappen van het verharde beton. Echter, alle beton begint zijn 'leven' als halffabrikaat: betonspecie. Dit is zowel het geval bij in het werk gestort beton, als bij de productie van geprefabriceerde elementen.

Pas ná de verwerking (transport, storten, verdichten, afwerken, nabehandelen) ontwikkelt beton zijn eigenschappen. De omstandigheden waaronder de verharding van beton verloopt heeft grote invloed op de uiteindelijk te bereiken betoneigenschappen.

Dit proces wordt in deze cursus opgedeeld in drie fasen:

- **Betonspecie**(de plastische fase). De specie kan in bijna elke gewenste vorm (bekisting of mal) worden gebracht. Deze fase loopt van aanmaak specie tot het moment dat het verdichte (nog onverharde) product in de mal zit. In deze fase zijn de verwerkingseigenschappen het belangrijkste.
- **Verhardend beton** In deze fase ontwikkelt het beton zijn eigenschappen. Dit is de fase van sterkteontwikkeling, maar ook met warmteontwikkeling, temperatuurspanningen en krimpgedrag.
- **Verhard beton** (als constructie). Het eindstadium van het proces. Het beton heeft een heel pakket eigenschappen ontwikkeld. In de eerste plaats de verschillende mechanische eigenschappen. De druksterkte, maar ook bijvoorbeeld de treksterkte en het vervormingsgedrag. Daarnaast is er een aantal thermische en hygrische eigenschappen: verlenging en verkorting door temperatuurschommelingen, temperatuurtransport, vochthuishouding enzovoort.



*Figuur 2.4 Beton storten direct uit truckmixer*

Ten slotte is natuurlijk een belangrijke plaats weggelegd voor de duurzaamheidseigenschappen van verhard beton. Deze zijn immers bepalend voor de levensduur en de eventuele onderhoudskosten aan de constructie.

### 2.3 Eigenschappen van betonspecie

Beton bestaat gemiddeld voor circa 70% (V/V)<sup>2</sup> uit korrels toeslagmateriaal en voor de overige ca. 30% uit(cement-)lijm. Deze 30% kan weer worden onderverdeeld in 10-15% bindmiddel en lucht en ongeveer 15-20% uit water. (alle percentages in V/V)

In de praktijk spelen hierbij veel meer componenten een rol. Zoals vulstoffen die als (heel) fijn toeslagmateriaal fungeren maar soms ook een bindmiddelbijdrage leveren. Daarnaast zien we nog toevoegingen (zie Hoofdstuk 5) zoals hulpstoffen, vezels en pigmenten.

Betonspecie is min of meer vloeibaar, doordat de cementlijm en fijn materiaal als een smeerlaag tussen de grovere toeslagkorrels fungeren. Cementlijm + fijn materiaal wordt ook wel cementpasta genoemd. Betonspecie wordt vloeibaarder naarmate de specie meer water bevat of door toepassen van plastificerende hulpstoffen. Bij toenemend vloeigedrag neemt ook het risico van ontmenging toe.

Er is sprake van ontmenging wanneer de grootste en zwaarste delen uitzakken en de lichtere bestanddelen komen bovendrijven. Door ontmenging heeft de betonspecie niet meer overal de bedoelde samenstelling. De kwaliteit van het beton is daardoor minder dan op grond van de samenstelling zou worden verwacht.

Een goed samengestelde betonspecie heeft zoveel samenhang, dat de korrels min of meer geremd zijn in hun onderlinge beweging. Ook bij het transport, storten en verdichten mag de opbouw van de specie niet verstoord worden.

<sup>2</sup> (V/V) = volume per volume, (/m/m) = massa per massa

Dat is niet zo vanzelfsprekend als het lijkt, want de vaste stoffen in de specie verschillen sterk in afmetingen, volumieke massa, oppervlak per volume en oppervlaktestructuur. Bij het samenstellen van beton gaat het dus niet alleen om duurzaamheid en sterkte. In de plastische fase moet de betonspecie ook goed verwerkbaar en voldoende stabiel zijn. Hierbij speelt de viscositeit van de vloeistof een belangrijke rol.

De viscositeit of stroperigheid is de eigenschap van een vloeistof die aangeeft in welke mate deze weerstand biedt tegen vervorming door schuifspanning. Zo is water een voorbeeld van een vloeistof met een lage viscositeit en honing een voorbeeld van een vloeistof met hoge viscositeit.

Daarnaast zijn er vloeistoffen waarbij eerst een bepaalde minimale waarde moet zijn overschreden voordat deze gaat vloeien. Deze drempelwaarde noemt men wel de vloeispanning. In de eerder genoemde voorbeelden van water en honing is er geen vloeispanning, de vloeistof begint direct te vloeien.

Voor betonspecie is wel een bepaalde kracht (energie) nodig om in beweging te komen. Voor zelf verdichtend beton is deze kracht lager. Daarna gedraagt zelf verdichtend beton zich wel weer stroperiger dan normaal beton: grotere samenhang; hogere viscositeit.

In betonspecie is vooral de cementpasta bepalend voor het vloeigedrag. Immers: cementpasta kan vloeien en vervormen, in tegenstelling tot het toeslagmateriaal. Veranderingen in de samenstelling van de cementpasta door bijvoorbeeld water, hulpstof, lucht of vulstof beïnvloeden het vloeigedrag van de specie. Ook de hoeveelheid cementpasta heeft invloed. Hoe meer pasta, hoe groter de afstand tussen de korrels en hoe meer het vloeigedrag van de pasta wordt benaderd.

### 2.3.1 Verwerkbaarheid

Onder de 'verwerkbaarheid' van betonspecie verstaan we alle eigenschappen die van belang zijn om de specie onder de gegeven omstandigheden op een juiste manier te kunnen verwerken. Die omstandigheden zijn niet overal gelijk en daarmee zullen ook de eisen die aan de verwerkbaarheid moeten worden gesteld verschillen. Wie betonstraatstenen produceert, die direct ná het verdichten worden gelost uit de mal, kan niet uit de voeten met een vloeibare betonspecie bedoeld voor het storten van een funderingsbalk.

Het begrip 'verwerkbaarheid' omvat, onder meer, de volgende aspecten:

- mengbaarheid;
- transporteerbaarheid;
- vloeigedrag;
- stabiliteit;
- verpompbaarheid;
- verdichtbaarheid;
- afwerkbaarheid;
- groene sterkte.

De volgende factoren hebben invloed op de verwerkbaarheid van betonspecie:

- watergehalte;
- toeslagmateriaal (grootste korrelafmeting, korrelgrootteverdeling, porositeit, korrelvorm en oppervlaktestructuur);
- cement (hoeveelheid, fijnheid en soort);
- hulpstoffen (hoeveelheid en specifieke werking).

Verder spelen nog verschillende andere factoren een rol, zoals de intensiteit van het mengproces, specieteratuur en het moment van meten.

De aspecten die te maken hebben met het vervaardigen van betonspecie (mengbaarheid, transporteerbaarheid) en het samenstellen van beton (eigenschappen grondstoffen en samenstelling) worden uitgebreid behandeld in de betreffende hoofdstukken. Hierna worden eerst de eigenschappen van de betonspecie die direct waarneembaar zijn voor de verwerker behandeld.

### 2.3.2 Vloeigedrag

Het vermogen van een betonspecie uit te vloeien over een bepaalde afstand wordt het 'vloeigedrag' genoemd. Natuurlijk mag hierbij de homogene samenstelling van de specie niet verloren gaan. Op deze manier verspreidt de specie zich door de gehele bekisting en vult ook de plaatsen die niet direct bereikbaar zijn. Specie waaraan te veel water wordt toegevoegd worden beter vloeibaar maar de kans op ontmenging neemt toe. Vergroten van het vloeigedrag van een specie kan gebeuren door een plastificerende hulpstof aan het mengsel toe te voegen.

Zelf verdichtende betonspecie is zo vloeibaar dat de massa zichzelf verspreidt en verdicht, zonder dat daarvoor verdichtingsenergie nodig is. De samenstelling van dergelijke mengsels wijkt af van die van traditioneel beton, vooral om deze zeer vloeibare species ook stabiel te houden.



*Figuur 2.5 Toepassing zelf verdichtend beton in Veldhoven (Fotografie Frank Beek)*

### 2.3.3 Stabiliteit / Samenhang / Zetting

Stabiliteit is het vermogen van betonspecie om tijdens transport, storten en verdichten, weerstand te bieden tegen ontmenging en de homogene opbouw te behouden.

Betonspecie moet zo worden samengesteld dat voldoende stabiliteit wordt verkregen. Dat kan door te zorgen voor een voldoende hoog aandeel aan fijne delen,



De stromingsweerstand van dat pakket fijne deeltjes is zo groot, dat de toeslagkorrels op hun plaats blijven, ook tijdens het storten en verdichten. Dit is een van de redenen dat in de betonvoorschriften het gehalte fijn ( $< 0,250$  mm) aan een ondergrens is gebonden (zie tabel 3.10 van hoofdstuk 3).

Luchtbelletjes kunnen in betonspecie als fijn materiaal functioneren. Zij dragen bij aan de totale oppervlakte per volume van de specie. Het effect hangt nauw samen met het aantal en de afmeting van de luchtbelletjes. Om effect te sorteren moeten de luchtbelletjes zeer klein zijn.

Na het storten en verdichten van betonspecie kan nog sprake zijn van een zekere vorm van 'zetting' van de specie. Hierdoor kan scheurvorming ontstaan of kan de omsluiting van de wapening minder 'volledig' worden. Overigens is hierbij ook de bekisting soms een factor: een zwakke onderstempeling van de bekisting of een onvoldoende stijve bekisting kan extra 'zetting' tot gevolg hebben.

Ook het verschijnsel waarbij na het verdichten een geringe hoeveelheid water aan het specieoppervlak verschijnt is een vorm van zetting. Dit verschijnsel wordt ook wel 'bleeding' genoemd. Indien dit in beperkte mate optreedt, is dit niet schadelijk en levert zelfs een zekere 'natuurlijke' nabehandeling waardoor plastische krimp wordt voorkomen.

De stabiliteit van betonspecie kan bijvoorbeeld worden verbeterd door vergroting van de totale oppervlakte per volume van het mengsel. Dit kan worden bereikt door de cementkeuze, verhoging van het cementgehalte, de keuze van de gradering van het toeslagmateriaal, dan wel door toevoeging van een zeer fijne vulstof.

Niet alleen onvoldoende stabiliteit, óók een te hoge stabiliteit kan problemen opleveren. Bij vloeren die in de open lucht worden gestort en niet worden afgedekt, kan een hoge speciestabiliteit het interne watertransport naar het specieoppervlak belemmeren. Dit kan ertoe leiden dat het water aan het oppervlak sneller verdampt dan het wordt aangevoerd, met plastische krimpscheuren als gevolg.

#### 2.3.4 Verwerkbaarheid van betonspecie in de voorschriften

Om de verwerkbaarheid van betonspecie in de praktijk 'in getallen' te kunnen uitdrukken en daarmee ook 'controleerbaar' te maken is in de voorschriften een aantal beproevingsmethoden beschreven. Daarvoor is de verwerkbaarheid van betonspecie ingedeeld in klassen. Elke klasse is gekoppeld aan een beproevingsmethode.

Omdat de verschillende beproevingsmethoden buiten bepaalde grenswaarden minder geschikt zijn wordt aanbevolen de verschillende beproevingen te gebruiken voor de in de tabellen vetgedrukte klassen.

We onderscheiden de volgende klassen:

*Tabel 2.1* **Klassen voor de verdichtingsmaat**  
Volgens NEN-EN 12350-4

Klasse	Verdichtingsmaat
<b>C0</b>	$\geq 1,46$
<b>C1</b>	<b>1,45 – 1,26</b>
C2	1,25 – 1,11
C3	1,10 – 1,04
C4*	$< 1,04$
*Klasse C4 is alleen bestemd voor lichtbeton	

*Tabel 2.2* **Klassen voor de zetmaat**  
Volgens NEN-EN 12350-2

Klasse	Zetmaat in mm
S1	10 - 40
<b>S2</b>	<b>50 - 90</b>
<b>S3</b>	<b>100 - 150</b>
S4	160 - 210
S5	$\geq 220$

*Tabel 2.3* **Klassen voor de schudmaat**  
Volgens NEN-EN 12350-5

Klasse	Schudmaat in mm
F1	$\leq 340$
F2	350 – 410
F3	420 – 480
<b>F4</b>	<b>490 – 550</b>
<b>F5</b>	<b>560 – 620</b>
F6	$\geq 630$

**Tabel 2.4 Klassen voor de vloeimaat**  
Volgens NEN-EN 12350-8

klasse	Vloeimaat (Slump-flow) in mm (grenswaarden voor individuele charges)
<b>SF 1</b>	<b>550 – 650</b>
<b>SF 2</b>	<b>660 – 750</b>
SF 3	750 - 850
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 40 mm	

In NEN 8005 zijn voor de beoogde consistentie van 'normaal' beton de volgende klassen aanbevolen (deze zijn in voorgaande tabellen vet afgedrukt):

<b>gewenste consistentie</b>	<b>meetmethode</b>	<b>consistentieklasse</b>
droog	verdichtingsmaat	C0
aardvochtig	verdichtingsmaat	C1
half plastisch	zetmaat	S2
plastisch	zetmaat	S3
zeer plastisch	schudmaat	F4
vloeibaar	schudmaat	F5
zeer vloeibaar	vloeimaat	SF1
zelf verdichtend	vloeimaat	SF2

Voor zelf verdichtend beton kunnen aanvullende specie-eigenschappen worden vastgelegd overeenkomstig de volgende tabellen.

**Tabel 2.5 Klassen voor viscositeit:  $t_{500}$ -tijd**  
Volgens NEN-EN 12350-8

klasse	$t_{500}$ -tijd in seconden (grenswaarden voor individuele charges)
VS 1	< 2,0
VS 2	$\geq$ 2,0
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 40 mm	

**Tabel 2.6 Klassen voor viscositeit: V-trechter**  
Volgens NEN-EN 12350-9

klasse	V-trechter uitvloeitijd in seconden (grenswaarden voor individuele charges)
<b>VF 1</b>	<b>&lt; 9,0</b>
<b>VF 2</b>	<b>9,0 - 25,0</b>
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 22,4 mm	

*Tabel 2.7 Klassen voor de blokkeringsmaat: J-ring*  
Volgens NEN-EN 12350-12

klasse	J-ring stap in mm (grenswaarden voor individuele charges)
<b>PJ 1</b>	<b>≤ 10 met 12 staven</b>
<b>PJ 2</b>	<b>≤ 10 met 16 staven</b>
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 40 mm	

*Tabel 2.8 Klassen voor de stabiliteit tegen ontmenging:  
(Sieve segregation resistance)*  
Volgens NEN-EN 12350-11

klasse	Zeefdoorval in %
<b>SR 1</b>	<b>≤ 20</b>
<b>SR 2</b>	<b>≤ 15</b>
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 40 mm	

In NEN 8005 zijn voor de beoogde consistentie van zelf verdichtend beton de volgende klassen aanbevolen (deze zijn in voorgaande tabellen vet afgedrukt):

<b>Beoordeelde eigenschap</b>	<b>consistentieklasse</b>
viscositeit:	VF1 of VF2
blokkering:	PJ1 of PJ2
stabiliteit:	SR1 of SR2

### 2.3.5 Groene sterkte

Tussen een aantal paragrafen over 'verwerkbaarheid' van betonspecie lijkt de 'Groene sterkte' een beetje vreemde eend in de bijt. Is hier nu sprake van 'verwerkbaarheid' of van 'sterkte'?

Bij de productie van sommige producten wordt direct na het verdichten van de 'betonspecie' het vormgegeven product uit de mal gelost. Het product mag dan niet meer vervormen en er is al sprake van enige 'sterkte'. Dit wordt 'groene sterkte' genoemd.

De chemische verhardingsreactie van cement en water speelt nog geen rol; eenzelfde groene sterkte zou worden bereikt als het cement wordt vervangen door een inerte fijne vulstof met dezelfde korrelopbouw.

Groene sterkte ontstaat als gevolg van de aantrekkingskracht tussen de watermoleculen (cohesie) onderling en tussen watermoleculen en een vast oppervlak (adhesie). De korrels worden als het ware met water aan elkaar geplakt.

Bekende voorbeelden waarbij gebruik wordt gemaakt van 'groene sterkte' zijn betontegels, betonstenen, trottoirbanden en buizen. Ook bij de vervaardiging van prefab vloerelementen, zoals bijvoorbeeld holle kanaalplaatvloeren, wordt gebruik gemaakt van groene sterkte.

Ook bij de aanleg van betonwegen met een zogenaamde slipformpaver is de groene sterkte belangrijk.

Groene sterkte van betonspecie wordt bereikt door:

- een optimale korrelgrootteverdeling van het toeslagmateriaal;
- voldoende fijne delen in het mengsel, naast cement stoffen zoals tras, vliegas of steenmeel;
- een juiste dosering water;
- een volledige verdichting



*Figuur 2.6 Vervaardiging van betonproducten, gebruik makend van 'groene sterkte'*

## **2.4 Verhardend beton (van specie tot verhard beton)**

Aansluitend aan de verwerking komt de periode waarin het beton zijn uiteindelijke eigenschappen ontwikkelt. We noemen dit de verhardingsfase. In deze fase is er niet alleen sterkteontwikkeling, maar ook warmteontwikkeling. Er kunnen temperatuurspanningen ontstaan en er kan sprake zijn van krimp. In dit hoofdstuk wordt het gedrag van verhardend beton in relatie tot sterkteontwikkeling en warmteontwikkeling behandeld.

In hoofdstuk 4 'De Lijm' wordt dieper ingegaan op het hydratatieproces en het gedrag van de verschillende cementsoorten. In de verhardende fase is ook de nabehandeling van groot belang om de beoogde duurzaamheidseigenschappen ook werkelijk te realiseren. Hierop wordt nader ingegaan in hoofdstuk 8 'Verwerken van betonspecie'.



*Figuur 2.7 Nabehandeling van vers gestort beton: belangrijk!*

Het gedrag en de eigenschappen van verhardend beton blijven in de praktijk vaak onderbelicht. Dat is onterecht want juist in deze fase kan er nog veel mis gaan. Belangrijke fenomenen in deze periode zijn sterkteontwikkeling, warmteontwikkeling en krimp.

#### 2.4.1 Sterkteontwikkeling

De snelheid waarmee beton zijn sterkte ontwikkelt, hangt vooral af van de verhardings-temperatuur, de cementsoort en de water-cementfactor (zie ook Hoofdstuk 6).

Betonspecie blijft na verwerken en verdichten gedurende enkele uren nog redelijk vervormbaar. De periode die daarop volgt is kritisch omdat zelfs heel kleine vervormingen tot scheurvorming kunnen leiden. De sterkteontwikkeling komt nog maar heel langzaam op gang terwijl de vervormbaarheid juist vrij snel afneemt. Deze kritische periode ligt, afhankelijk van betonsamenstelling en temperatuur, tussen 5 en 20 uur

#### 2.4.2 Hydratatiewarmte en temperatuurontwikkeling

Bij de verharding van beton komt energie vrij. Deze energie komt als warmte vrij door de hydratatie van het cement. Zie hiervoor ook hoofdstuk 4 'De Lijm'.

De warmteontwikkeling van een betonsamenstelling is een belangrijk gegeven om daarmee de temperatuurontwikkeling in de constructie en het risico op scheurvorming door temperatuurspanningen te kunnen berekenen. De warmteontwikkeling van verhardend beton wordt voor een groot deel bepaald door de bij de verharding vrijkomende hydratatiewarmte van het cement.

Voor het bepalen van de hydratatiewarmte van cement zijn twee beproevingsmethoden beschikbaar. De methode beschreven in NEN-EN 196-8 bepaalt de hoeveelheid vrijkomende warmte bij constante temperatuur (20 °C) gedurende een periode van 7 dagen. De in NEN-EN 196-9 beschreven methode meet de vrijkomende hydratatiewarmte onder vrijwel adiabatische omstandigheden. Dit zijn omstandigheden waarbij geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaatsvindt. Met andere woorden: alle ontwikkelde warmte wordt omgezet in een temperatuurverhoging. Omdat hierbij de temperatuur snel oploopt, verloopt het verhardingsproces snel. Daardoor kan al na 41 uur worden vastgesteld of het betreffende cement aan de eis voor hydratatiewarmte voldoet.

Richtwaarden hydratatie warmte van enkele veel gebruikte cementen in Nederland:

CEM I 52,5R	: 350 J/g
CEM II/B-V 32,5 R	: 275 J/g
CEM III/B 42,5 N	: 245 J/g
CEM III/A 52,5 N	: 315 J/g

Met de warmteontwikkeling van het cement kan in principe ook de adiabatische temperatuurontwikkeling  $\Delta T_h(t)$  van beton bij benadering worden berekend. De volgende formule wordt gebruikt:

$$\Delta T_h(t) = \frac{C \cdot \Delta Q_h(t)}{c \cdot \rho}$$

Waarin:

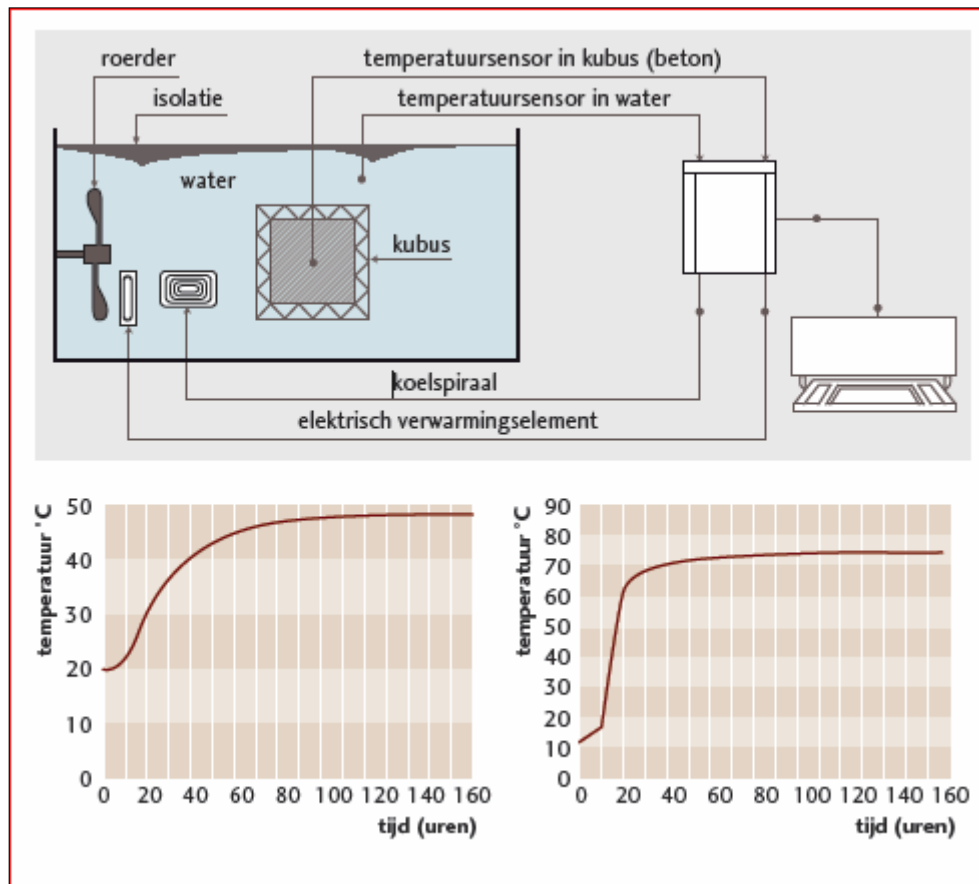
$\Delta T_h(t)$	= adiabatische temperatuurverhoging beton op tijdstip t
C	= cementshoeveelheid per m <sup>3</sup> beton (kg)
$\Delta Q_h(t)$	= hydratatie warmte op tijdstip t (kJ/kg)
c	= specifieke warmte van het beton [kJ/(kg·K)]
$\rho$	= volumieke massa van het beton (kg/m <sup>3</sup> )

De berekening van de warmteontwikkeling van een betonsamenstelling levert slechts een globale benadering. Immers ook de benodigde invoergegevens zijn alleen bij benadering bekend. De hydratatie warmte van het gebruikte cement kan afwijken van de opgegeven richtwaarde door de producent, de specifieke warmte van het beton is niet exact bekend omdat de samenstelling en de eigenschappen van andere grondstoffen variëren en het temperatuurverloop tijdens de verharding heeft grote invloed op de snelheid waarmee de hydratatie warmte vrijkomt.

Om die reden wordt steeds vaker de karakteristieke temperatuurontwikkeling van het toegepaste betonmengsel direct aan de betonsamenstelling gemeten. Meestal wordt dan de temperatuurontwikkeling gemeten als de adiabatische temperatuurontwikkeling van het verhardende beton, kortweg de adiabaat genoemd.

De adiabatische temperatuurontwikkeling is de temperatuurontwikkeling waarbij geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaatsheeft. De methode voor het meten van de adiabatische warmteontwikkeling van betonspecie is vastgelegd in CUR-Aanbeveling 67. De methode is beschreven in *Betoniek* 9/23.

De op deze manier gemeten waarde vormt een betrouwbaar invoergegeven voor programma's waarmee de temperatuurontwikkeling en –spanningen in betonconstructies kunnen worden berekend.



Figuur 2.8 Bepaling van de adiabatische temperatuurontwikkeling.

#### 2.4.2.1 De “semi-adiabatische warmteontwikkeling

Omdat de proefopstelling voor het meten van de adiabatische temperatuurontwikkeling niet altijd beschikbaar is wordt in de praktijk ook gewerkt met eenvoudige praktische methoden om een indruk te krijgen van de warmteontwikkeling van beton. Bijvoorbeeld door beton te laten verharden in geïsoleerde kistjes en daarin de temperatuurontwikkeling te meten. Op die manier kan in vergelijkende proeven snel een beeld worden verkregen van het gedrag van verschillende betonsamenstellingen. Het spreekt voor zich dat het gemeten temperatuurverloop hierbij wordt beïnvloed door de grootte van het proefstuk en de aangebrachte isolatie. Het gemeten temperatuurverloop bij deze, niet gestandaardiseerde proef, noemt men wel de “semi-adiabaat” of de “semi-adiabatische temperatuur-ontwikkeling”.

#### 2.4.3 Rijpheid

Bij de sterkteontwikkeling van beton spelen temperatuur en tijd een dominante rol. De combinatie van temperatuur en tijd wordt rijpheid genoemd. In de praktijk kan de relatie tussen sterkteontwikkeling en rijpheid van een bepaalde betonsamenstelling worden vastgelegd in een zogenoemde ijkgrafiek.



Door in een betonconstructie van het verhardend beton het temperatuurverloop in de tijd te meten en daaruit de rijpheid te berekenen kunnen we met behulp van de ijkgrafiek de sterkteontwikkeling van dat beton in de constructie bepalen.

Hierbij geldt dat voor een bepaalde betonsamenstelling dezelfde rijpheid dezelfde sterkte geeft, ongeacht de verhardingstemperatuur.

Om deze laatste bewering kloppend te maken moeten we een rekenkundig foefje uithalen. Immers de toename van de verhardingssnelheid van beton verloopt niet recht-evenredig met de verhoging van de temperatuur; bij hogere temperaturen verloopt de verharding sneller. Bovendien reageert niet elke betonsamenstelling even heftig op verhoging/verlaging van de temperatuur, vooral door de verschillen in temperatuurgevoeligheid van de verschillende cementsoorten.

Dit probleem is ondervangen met de methode van de gewogen rijpheid. Bij deze methode wordt bij de berekening van de rijpheid de temperatuurgevoeligheid van het cement in rekening gebracht met behulp van de zogenaamde C-waarde. Deze C-waarde is een factor voor de temperatuurgevoeligheid van het cement.

De methode om de sterkteontwikkeling van beton te bepalen met de methode van de gewogen rijpheid wordt uitgebreid behandeld in de cursus 'Betontechnoloog' [bte].

#### 2.4.4 Krimp

Krimp is de vormverandering (verkorting) van beton door uitdroging, cementshydratatie en/of afkoeling. Krimp is een van de belangrijkste oorzaken van scheurvorming en daardoor schade aan betonconstructies. Krimp wordt uitgebreid behandeld in hoofdstuk 9 "Meer eigenschappen van beton".

## 2.5 Verhard beton

Verhard beton heeft een breed scala aan eigenschappen. In de praktijk zijn de mechanische en de duurzaamheidseigenschappen het belangrijkste. Natuurlijk heeft beton meer eigenschappen. Een bekende - fysische - eigenschap van beton is de volumieke massa. Verder onderscheiden we een aantal thermische eigenschappen, zoals uitzettingscoëfficiënt, warmtegeleiding en warmtecapaciteit en eigenschappen die te maken hebben met de vochthuishouding in beton, de hygrische eigenschappen. Dit hoofdstuk behandelt de belangrijkste eigenschappen bij het werken met beton als bouw materiaal.

Later, in hoofdstuk 9 'Meer eigenschappen van beton', worden de overige, voor de betontechnoloog vaak minder bekende eigenschappen, behandeld.

### 2.5.1 Sterkte

De druksterkte van beton is in de meeste gevallen bepalend voor het draagvermogen van een betonconstructie. De druksterkte is de belangrijkste mechanische eigenschap van beton. Ook in de betonvoorschriften wordt beton in de eerste plaats gekarakteriseerd met de druksterkte, die wordt uitgedrukt in sterkteklassen. De druksterkte van beton is een eigenschap die bij toenemende verhardingstijd groter wordt. Om praktische redenen heeft men gekozen, om de rekenwaarde voor de druksterkte te bepalen na 28 dagen verharding. Dat neemt niet weg dat na 28 dagen de druksterkte nog kan toenemen.

In Nederland wordt voor het bepalen van de druksterkte van beton gebruik gemaakt van kubusvormige proefstukken. Er wordt dus gesproken over de kubusdruksterkte van beton.

Cilindervormige proefstukken leveren waarden die circa 15 - 20% lager zijn, waarmee de werkelijkheid beter wordt benaderd. Zie verder de toelichting in het blauwe kader.

Tabel 2.9 Sterkteklassen in de betonvoorschriften

<b>Druksterkteklassen voor normaal en zwaar beton</b>		
Druksterkteklasse	Minimale karakteristieke cilindersterkte $f_{ck;cil}$ N/mm <sup>2</sup>	Minimale karakteristieke kubussterkte $f_{ck;cube}$ N/mm <sup>2</sup>
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Tabel 2.10 Sterkteklassen lichtbeton in de betonvoorschriften

<b>Druksterkteklassen voor lichtbeton</b>		
Druksterkteklasse	Minimale karakteristieke cilindersterkte $f_{ck;cil}$ N/mm <sup>2</sup>	Minimale karakteristieke kubussterkte <sup>a)</sup> $f_{ck;cube}$ N/mm <sup>2</sup>
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

a) Indien de verhouding tussen deze waarden en de referentie-cilindersterkte met voldoende nauwkeurigheid is vastgesteld en vastgelegd, mogen ook andere waarden worden gebruikt.

### Druksterkte en karakteristieke sterkte

In de betonvoorschriften (NEN-EN 206) en de constructieve voorschriften (Eurocode 2) wordt de sterkte van beton gerelateerd aan sterkteklassen. Zie tabel 2.9 en 2.10. De sterkteklasse van normaal en zwaar beton wordt aangeduid met de letter C (van concrete) gevolgd door twee getallen. Bij lichtbeton wordt de sterkteklasse voorafgegaan door LC (van lightweight concrete).

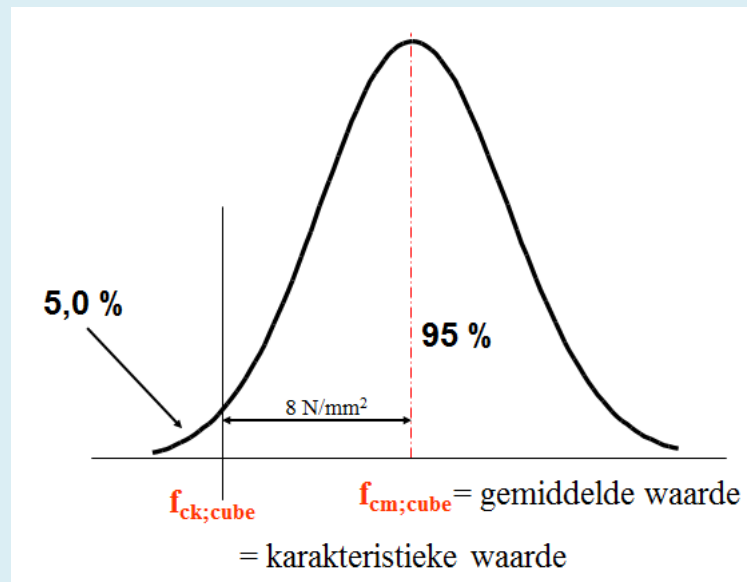
Het eerste getal na C of LC staat voor de karakteristieke cilinderdruksterkte, het tweede getal staat voor de karakteristieke kubusdruksterkte. Er is een verschil in sterkte tussen de sterkte, bepaald op cilindervormige (diameter 150 mm; hoogte 300 mm) proefstukken en kubussen (ribbe 150 mm). De waarden, gemeten aan cilinders is ca. 15 - 20% lager dan de waarde gemeten aan kubussen. Dit verschil wordt bepaald door de vorm en de afmetingen van de proefstukken. Bovendien wordt opgemerkt dat het hier om in het laboratorium vervaardigde proefstukken gaat. (dus geen geboorde cilinders!) In Nederland is het gebruikelijk de betondruksterkte te bepalen op basis van kubussen. De karakteristieke druksterkte van beton is het getal waarboven 95% van de aan proefstukken gemeten waarden zal liggen, zelfs als de hele partij zou worden verwerkt tot proefstukken.

In dit dictaat (en in de Eurocode 2) wordt uitgegaan van de volgende relatie tussen de karakteristieke sterkte en de gemiddelde sterkte:  $f_{cm,cube} = f_{ck,cube} + 8 \text{ N/mm}^2$  (feitelijk geeft de Eurocode deze relatie aan voor de cilinderdruksterkte:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2).$$

Deze relatie is in werkelijkheid wat gecompliceerder:

Uit een grote serie druksterktebepalingen wordt het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald. Als mag worden aangenomen dat de sterkte normaal verdeeld is kan de karakteristieke waarde als volgt worden berekend: gemiddelde waarde  $f_{cm}$  minus 1,64 × de standaardafwijking  $s$ , oftewel:  $f_{ck} = f_{cm} - 1,64 s$ .



Figuur 2.9 Relatie karakteristieke sterkte  $f_{ck}$  en de gemiddelde sterkte  $f_{cm}$

$$(f_{cm,cube} = f_{ck,cube} + 8 \text{ N/mm}^2)$$

Veel mechanische eigenschappen van beton vertonen een bepaalde samenhang met de druksterkte. In de Eurocodes voor het ontwerpen van betonconstructies zijn rekenwaarden voor druksterkte, treksterkte, gemiddelde treksterkte en elasticiteitsmodulus gekoppeld aan de sterkteklasse (tabel 2.11). Daarbij moet worden opgemerkt, dat de gegeven waarden betrekking hebben op gangbare toeslagmaterialen. Zodra gebruik wordt gemaakt van nieuwe toeslagmaterialen moeten de genoemde eigenschappen bij het geschiktheids-onderzoek worden vastgesteld.

Tabel 2.11 Tabel: relatie druksterkte en andere mechanische eigenschappen

	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck,cube}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cm,cube}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ctm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )
C20/25	20	25	28	33	2,21	30.000
C25/30	25	30	33	38	2,56	31.500
C30/37	30	37	38	45	2,90	32.800
C35/45	35	45	43	53	3,21	34.100
C40/50	40	50	48	58	3,51	35.200
C45/55	45	55	53	63	3,80	36.300
C50/60	50	60	58	68	4,07	37.300
C55/67	55	67	63	75	4,21	38.200
C60/75	60	75	68	83	4,35	39.100
C70/85	70	85	78	93	4,61	40.700
C80/95	80	95	88	103	4,84	42.200
C90/105	90	105	98	113	5,04	43.600
Materiaaleigenschappen als vermeld in tabel 3.1 van Eurocode 2						

Verklaring:

$f_{ck}$  = karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen

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

$f_{cm}$  = gemiddelde cilinderdruksterkte

$f_{cm, cube}$  = gemiddelde druksterkte

$f_{ctm}$  = gemiddelde axiale treksterkte van beton

$E_{cm}$  = elasticiteitsmodulus van beton

Zie verder ook hoofdstuk 9 'Meer eigenschappen van beton'

*Treksterkte*

De treksterkte van een materiaal bepaalt of het scheurt bij een bepaalde (trek)spanning. In een betonconstructie wordt wapening ingebracht in de vorm van staven of vezels waarmee trekspanningen kunnen worden opgenomen.

Globaal bedraagt de treksterkte van beton circa 10% van de druksterkte. De treksterkte van beton kan op verschillende manieren worden gemeten. Als zuivere (axiale) treksterkte, als slijttreksterkte of met buigproeven aan balkjes. De treksterkte, gemeten met de buigproef noemen we de buigtreksterkte. De als buigtreksterkte gemeten waarde is hoger dan de gemeten waarden voor de (zuivere) treksterkte. De treksterkte kan ook worden bepaald door het splijten van proefstukken: de slijttreksterkte.

Voor grindbeton met een druksterkte van 30 N/mm<sup>2</sup> bedraagt de treksterkte ongeveer 2,5 – 3,0 N/mm<sup>2</sup> en de buigtreksterkte ongeveer 4,5 N/mm<sup>2</sup>.

Het verband tussen de treksterkte en de druksterkte kan worden beïnvloed door de mengsamenstelling.

De keuze van een toeslagmateriaal met een kleine 'grootste korrelafmeting' ( $D_{max}$ ) zal de treksterkte verhogen bij een gelijkblijvende druksterkte. Ook het gebruik van gebroken toeslagmateriaal levert een relatief hogere treksterkte. Cementsteen hecht beter aan gebroken toeslagmateriaal waardoor bij gelijke druksterkte de treksterkte hoger is dan bij gebruik van bijvoorbeeld grind.

### 2.5.2 E-modulus

Zelfs beton is een (enigszins) elastisch materiaal dat vervormt wanneer er een belasting op wordt aangebracht. De elasticiteitsmodulus geeft de relatie tussen de grootte van de spanning, veroorzaakt door de belasting én de door deze spanning veroorzaakte (elastische) vervorming. De elasticiteitsmodulus wordt uitgedrukt in  $N/mm^2$ .

Deze relatie staat bekend als de Wet van Hooke:

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

waarbij:

$E$  = elasticiteitsmodulus ( $N/mm^2$ )

$\sigma$  = spanning ( $N/mm^2$ )

$\varepsilon$  = specifieke vervorming (-)

De specifieke vervorming (rek) is de verlenging of verkorting (stuik) van een materiaal per eenheid van lengte en is dimensieloos.

Beton is een heterogeen materiaal, bestaande uit toeslagmateriaal ingebed in een matrix van cementsteen. De E-modulus van beton wordt in sterke mate bepaald door de soort én het gehalte toeslagmaterialen, mits het gebruikte toeslagmateriaal een hogere E-modulus heeft dan de cementsteen.

De elasticiteitsmodulus van beton, zoals gegeven in de tabellen, is de waarde bij het begin van belasten en wordt aangeduid met  $E_{cm}$ . Door het plastisch vervormen van het beton zal de waarde van de elasticiteitsmodulus bij toenemende belasting afnemen.

### 2.5.3 Volumieke massa

De volumieke massa wordt uitgedrukt in massa per volume. Bij beton is het gebruikelijk de volumieke massa uit te drukken in  $kg$  per  $m^3$ . Naar volumieke massa wordt beton onderscheiden in de volgende drie klassen:

- *lichtbeton* - beton met een ovendroge volumieke massa die niet minder is dan  $800 kg/m^3$ , maar niet meer dan  $2000 kg/m^3$ . Bij de productie van geprefabriceerde elementen wordt soms lichtbeton toegepast om te besparen op transportkosten. Ook bij in het werk gestorte bruggen en viaducten wordt soms lichtbeton toegepast.
- *normaal beton* - beton met een ovendroge volumieke massa groter dan  $2000 kg/m^3$ , maar niet meer dan  $2600 kg/m^3$ .
- *zwaar beton* - beton met een ovendroge volumieke massa groter dan  $2600 kg/m^3$ .

In lichtbeton is het grove harde toeslagmateriaal, en soms ook (een deel van) de fijne fractie vervangen door toeslagmateriaal met een lagere volumieke massa. NEN-EN 206 onderscheidt voor lichtbeton zes zogenaamde dichtheidsklassen, ingedeeld op basis van de (ovendroge) volumieke massa.

Tabel 2.12 Dichtheidsklassen voor lichtbeton

Dichtheidsklasse	Dichtheid in kg/m <sup>3</sup>
D 1,0	≥ 800 en ≤ 1000
D 1,2	> 1000 en ≤ 1200
D 1,4	> 1200 en ≤ 1400
D 1,6	> 1400 en ≤ 1600
D 1,8	> 1600 en ≤ 1800
D 2,0	> 1800 en ≤ 2000

Licht beton wordt veel toegepast in constructies die een geringe massa moeten hebben, maar door de poreuze structuur van het lichte toeslagmateriaal is het beton geschikt voor warmte-isolatie doeleinden.

Zwaar beton wordt bijvoorbeeld gebruikt als ballastbeton in schepen, maar ook in wanden voor ruimten waar gewerkt wordt met straling, bijvoorbeeld de röntgenafdeling in een ziekenhuis en in wanden voor ruimten met veel geluidsoverlast.

Ook in off-shore toepassingen kan het gebruik van zwaar beton zinvol zijn. Bedenk dat het schijnbare massa van normaal beton met een volumieke massa van 2400 kg/m<sup>3</sup> onderwater nog slechts ca. 1400 kg/m<sup>3</sup> is. Bij zwaar beton met een volumieke massa van 3800 kg/m<sup>3</sup> is de schijnbare massa onder water ca. 2800 kg/m<sup>3</sup>. Een groot voordeel bij toepassing als golfbreker.

Gangbare betonsoorten hebben een volumieke massa van circa 2350 kg/m<sup>3</sup>. De betontechnoloog kan de volumieke massa van beton op twee manieren beïnvloeden, door:

- de keuze van toeslagmateriaal met een ongewoon hoge of juist lage volumieke massa, meestal beperkt tot het grove toeslagmateriaal;
- het opvoeren van de porositeit van de cementsteen in het beton. Bijvoorbeeld door het inbrengen van lucht of het innemen van schuim.

#### 2.5.4 Milieuklassen / duurzaamheid

Gegeven de belastingen door het gebruik en vanuit het omringend milieu wordt de levensduur van een betonconstructie bepaald door het ontwerp (wapening, dekking, scheurwijdte, enz.), de betonsamenstelling en de kwaliteit van de uitvoering.

In de betonvoorschriften is een indeling in milieuklassen gemaakt. Deze milieuklassen zijn gekoppeld aan verschillende aantastingsmechanismen. Omdat ook de vochtinhouding in de betondekking zo'n grote rol speelt in relatie tot de duurzaamheid en levensduur van een betonconstructie is in de milieuklassen steeds een 'onderverdeling' gemaakt naar de vochtinhouding in relatie tot de omgevingsomstandigheden. In de betonvoorschriften zijn op deze manier 18 milieuklassen beschreven. Zie tabel 2.13.

De 18 milieuklassen zijn gegroepeerd in 6 hoofdgroepen:

- geen risico op corrosie of aantasting (X0);
- corrosie ingeleid door carbonatatie (XC);
- corrosie ingeleid door chloriden, niet afkomstig uit zeewater (XD);
- corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater (XS);
- aantasting door vorst / dooi wisselingen met of zonder dooizouten (XF);
- chemische aantasting (XA).

Tabel 2.13 Overzicht van de milieuklassen volgens NEN-EN 206

1. Geen risico op corrosie of aantasting (X0)		
Aanduiding	Beschrijving van het milieu	Voorbeelden van betontoepassingen in de betreffende milieuklasse
X0	Beton zonder wapening of ingestort metaal: alle milieus behalve bij vorst-dooi, afslijting of chemische aantasting.	Onderwaterbeton. Beton voor werkvloeren . Beton voor ongewapende funderingen
	Beton met wapening of ingestorte metalen: zeer droog	Beton binnen gebouwen met een zeer lage luchtvochtigheid
2. Corrosie ingeleid door carbonatatie (XC)		
<i>Beton met wapening of andere ingestorte metalen en blootgesteld aan lucht en vocht gelden de volgende milieuklassen:</i>		
XC1	Altijd droog of altijd nat	Beton binnen gebouwen met een lage luchtvochtigheid. Beton blijvend onder water
XC2	Normaal nat en slechts af en toe droog	Beton langdurend in contact met water. Veel funderingen
XC3	Matige of hoge luchtvochtigheid	Beton binnen gebouwen met een matige of hoge luchtvochtigheid Beton buiten beschermt tegen regen
XC4	Wisselend nat en droog	Betonoppervlakken blootgesteld aan contact met water, maar die niet vallen onder milieuklasse XC2 . Beton buiten onbeschermt
3. Corrosie ingeleid door chloriden, niet afkomstig uit zeewater (XD)		
<i>Beton, dat wapening of andere ingestorte metalen bevat, in contact met water dat chloriden bevat, inclusief dooizouten, maar niet afkomstig uit zeewater:</i>		
XD1	Matige (lucht) vochtigheid	Betonoppervlakken blootgesteld aan chloriden uit de lucht (geen zeewind)
XD2	Nat, zelden droog	Zwembaden Beton blootgesteld aan chloride houdend industriewater
XD3	Wisselend nat en droog	Brugdelen blootgesteld aan chloridehoudend spatwater Verhardingen. Parkeerdekken in parkeergarages
4. Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater (XS)		
<i>Beton, dat wapening of andere ingestorte metalen bevat, blootgesteld aan chloriden uit zeewater of aan lucht dat zout bevat afkomstig uit de zee</i>		
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-, spat- en nevelzone	Delen van constructies in zee
5. Vorst/dooi aantasting met of zonder dooizouten (XF)		
<i>Beton nat en blootgesteld aan flinke vorst/dooiwisselingen</i>		
XF1	Beperkt verzadigd met water, geen dooizouten	Verticale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF2	Beperkt verzadigd met water, met dooizouten	Verticale betonoppervlakken van wegconstructies blootgesteld aan vorst verstoven dooizouten
XF3	Verzadigd met water, geen dooizouten	Horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan regen vorst
XF4	Verzadigd met water, met dooizouten of zeewater	Wegen en brugdekken blootgesteld aan dooizouten Horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan direct gesproeid dooizouten en aan vorst Spatzone van constructies in zee blootgesteld aan vorst
6. Chemische aantasting		
<i>Beton blootgesteld aan chemische aantasting door natuurlijke grond en grondwater</i>		
XA1	Zwak agressief chemisch milieu, volgens tabel 1	Funderingsbalken      Bedrijfsvloeren in de zuivelindustrie
XA2	Matig agressief chemisch milieu, volgens tabel 1	Beton (elementen) in de glastuinbouw Calamiteiten bakken in de chemische industrie. Vloestofdicht beton. Funderingspalen
XA3	Sterk agressief chemisch milieu, volgens tabel 1	Riolerings-systemen en rioolwaterzuiveringsinstallaties

Een betonconstructie of bouwdeel kan aan meer dan één aantastingsmechanisme worden blootgesteld. Bovendien kunnen binnen één constructie voor de diverse bouwdeelen verschillende milieuklassen van toepassing zijn.

Het is aan de constructeur om voor de betreffende betonconstructie (of bouwdeelen) de van toepassing zijnde milieuklasse(n) te bepalen.

Die milieuklasse(n) is (zijn) verder bepalend voor de toelaatbare scheurwijdte en betondekking. Eveneens afhankelijk van de milieuklasse geeft NEN 8005 de randvoorwaarden voor de betonsamenstelling, voor wat betreft minimum cementgehalte, maximale water-cementfactor en soms ook luchtgehalte.

#### 2.5.4.1 *Risico's inzake de duurzaamheid van de wapening*

De aantastingsmechanismen bij gewapend beton kunnen worden opgedeeld naar risico's met betrekking tot de wapening en risico's met betrekking tot de aantasting van het materiaal beton.

Zo kan door carbonatatie en/of chloride-indringing de wapening in beton gaan corroderen. Het beton zelf kan worden aangetast door vorst, eventueel in combinatie met dooizouten, door sulfaten uit de grond of het grondwater of door verschillende chemicaliën. Natuurlijk kan beton ook zijn functie verliezen door stootbelastingen of afslijten.

De bescherming van het wapeningsstaal in beton is gebaseerd op de alkaliteit van het poriewater. De alkaliteit van het poriewater is afhankelijk van de totale hoeveel stoffen in het beton die  $\text{OH}^-$  ionen kunnen vormen. We kennen die stoffen onder de naam "basen" of "alkaliën". In beton is dat met name de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Die wordt gevormd bij de chemische reactie van de portlandcementklinker met water. Daarbij ontstaat cementsteen en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (calciumhydroxide, zie 4.5.1.1). De calciumhydroxide is voor een groot deel opgelost aanwezig in het poriewater als de ionen  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{OH}^-$ . De in oplossing aanwezige  $\text{OH}^-$  ionen zorgen voor een hoge pH en wel hoger naarmate er meer  $\text{OH}^-$  ionen aanwezig zijn.

Is de pH hoog genoeg ( $\text{pH} \geq 12$  à  $13$ ), dan vormt zich een dunne oxidehuid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) op het staaloppervlak. Deze zogenoemde passiveringslaag remt het in oplossing gaan van de ijzerionen zo sterk, dat het corrosieproces tot stilstand komt.

Deze passivering van het staal kan op twee manieren verloren gaan:

- verlaging van de pH-waarde als gevolg van carbonatatie;
- overschrijding van het chloridegehalte waarbij corrosie kan optreden.

#### 2.5.4.2 *Wapeningscorrosie door carbonatatie (XC1 t/m XC4)*

Met de term 'carbonatatie' bedoelen we de inwerking van  $\text{CO}_2$  (koolzuurgas) uit de lucht op het poriewater in beton. Koolzuurgas komt in kleine hoeveelheden (0,04% V/V) in de lucht voor. Het gas lost in water op en vormt dan een zwak zuur. Dit mechanisme verlaagt de pH (zuurgraad) in beton, waarmee de beschermende werking van de hoge pH (passivering van het wapeningsstaal) vermindert of verdwijnt.

In een vochtig milieu kan het wapeningsstaal dan gaan corroderen. (XC2 en XC3)

In een blijvend droog milieu vormt carbonatatie geen duurzaamheidsrisico. Ook in een blijvend nat milieu zal geen carbonatatie optreden. (beide XC0)

Koolzuur uit de lucht kan natuurlijk alleen maar in contact komen met water in capillaire poriën die aan het betonoppervlak komen. Koolzuur zal met in het poriewater opgeloste kalk calciumcarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) vormen, een kalkverbinding die moeilijk oplosbaar is in water en neerslaat in de poriën. Daardoor wordt kalk aan het poriewater onttrokken waardoor de pH ervan daalt tot ongeveer 8. De neerslag van het calciumcarbonaat vernauwt de poriën en verlaagt de permeabiliteit ervan. Dit leidt ertoe dat carbonatatie langzamer gaat naarmate de poriën verder van het betonoppervlak liggen.



### 2.5.4.3 Wapeningscorrosie door chloriden (XD en XS)

Bij de wapeningscorrosie door chloriden wordt onderscheid gemaakt tussen chloriden die afkomstig kunnen zijn uit bijvoorbeeld dooizouten, industriële processen of zwembadwater (XD1 t/m XD3) en chloriden uit zeewater (XS1 t/m XS3).

Hoewel het hierbij om hetzelfde aantastingsmechanisme gaat wordt het zeewatermilieu in de betonvoorschriften toch benoemd als een aparte hoofdgroep.

Niet alleen de concentratie aan chloriden, afkomstig uit het zeewater, speelt hierbij een rol, maar ook de in het water opgeloste sulfaten en het feit dat er bij constructies in zeewater vaak sprake is van sterke stromingen met schurend zand.

Vergelijkbaar met de hiervoor besproken wapeningscorrosie door carbonatatie speelt bij corrosie waarbij chloriden aanwezig zijn de vochthuishouding in de dekking een belangrijke rol.

Niet alleen omdat voor het corrosieproces voldoende vocht aanwezig moet zijn maar ook omdat de chloriden zich alleen via het poriewater kunnen verplaatsen. Een milieu met een matige(lucht)vochtigheid waarbij betonoppervlakken worden blootgesteld aan chloriden uit de lucht wordt hier minder zwaar ingeschaald (XD1 en XS1) dan een wisselend nat/droog milieu waarbij betonoppervlakken worden blootgesteld aan spattend water (XD3 en XS3). De klassen XD2 en XS3 zijn bestemd voor de vrijwel voortdurend nat blijvende oppervlakken.

#### *Chloridediffusie*

De snelheid waarmee chloriden zich in beton kunnen verplaatsen, wordt uitgedrukt in de chloridediffusiecoëfficiënt  $D_{cl}$  uitgedrukt in  $m^2/s$ . De chloridediffusiecoëfficiënt  $D_{cl}$  van beton wordt vooral bepaald door de gebruikte cementsoort. Daarnaast spelen ook de fijnheid van het cement, de water-cementfactor en de eigenschappen van andere grondstoffen een rol.

Evenals de druksterkte neemt ook de dichtheid van beton in de tijd toe. Dit betekent dat de diffusiecoëfficiënt afneemt bij een groeiende ouderdom van het beton. De toename van de dichtheid is het grootst voor beton met portlandvliegascement. Daarentegen blijft de dichtheid van beton met portlandcement achter bij die van hoogovencementbeton.

In bijgaande tabel staan richtwaarden voor de diffusiecoëfficiënt van veel gebruikt grindbeton, gemaakt met drie verschillende cementen, na 28 dagen verharden onder geconditioneerde omstandigheden ( $20^\circ C > 98\% RV$ ).

Tabel 2.14 Diffusiecoëfficiënten voor chloriden  $D_{cl}$  richtwaarden voor grindbeton met verschillende cementsoorten.

Cementsoort	Chloridediffusie $D_{cl}$ in $m^2/s$
Portlandcement	$20 - 50 \times 10^{-12}$
portlandvliegascement	$5 - 20 \times 10^{-12}$
hoogovencement met meer dan 50% slak	$1 - 5 \times 10^{-12}$

### 2.5.4.4 Vorst-(dooizout)bestandheid (XF)

Vorst en vorst in combinatie met dooizouten kunnen schade veroorzaken aan beton. Het in de poriën aanwezige water kan bevriezen en schade veroorzaken door uitzetting. Dat risico is het grootst bij jong, nog onvolledig verhard beton. Dit bevat relatief gezien meer water en heeft nog een lage sterkte.

Bij het gebruik van dooizouten kunnen in de toplaag aanzienlijke temperatuurverschillen ontstaan doordat het smeltende ijs in het betonoppervlak warmte onttrekt aan het onderliggende beton. Het verschil in zoutconcentratie tussen toplaag en onderliggend beton speelt hierin ook een rol. Bij de spanningen die kunnen ontstaan bij ijsvorming onder het betonoppervlak kan het toplaagje van het beton worden afgedrukt.

De vorst-dooizoutbestandheid van beton hangt mede af van de gebruikte cementsoort. Bekend is dat portlandcement (CEM I) of portlandvliegascement (CEM II–V) beter presteert met betrekking tot de vorst-dooizoutbestandheid dan hoogovencement (CEM III).

De vorst-dooizoutbestandheid is aanmerkelijk te verbeteren door het gebruik van een luchtbelvormer of zogenoemde microbolletjes in de betonspecie. Dan worden de poriën onderbroken en ontstaat ruimte voor het bevriezende en daarbij uitzettende water.

In de betonvoorschriften NEN-EN 206 en NEN 8005 zijn voor de milieuklassen XF1 t.m. XF4 de randvoorwaarden voor de betonsamenstelling (max. water-cementfactor, minimum cementgehalte en eventueel min. luchtgehalte) vastgelegd voor beton dat blootgesteld wordt aan vorst/dooiwisselingen met of zonder dooizouten.

#### 2.5.4.5 *Chemische aantasting van beton (XA)*

Naast de hiervoor beschreven aantastingsmechanismen gekoppeld aan en verschillende milieus kan de betonconstructie worden blootgesteld aan agressieve stoffen in de natuurlijke omgeving: bodem of grondwater, maar bijvoorbeeld via afvalwater in de chemische industrie of mest in de agrarische sector. De verschillende mechanismen zijn gebundeld in een hoofdgroep XA. Deze is onderverdeeld in licht, matig of sterk agressief, afhankelijk van de pH-waarde en/of de concentratie van bepaalde stoffen in het omringende milieu. Om te kunnen vaststellen in hoeverre een bepaald milieu agressief is voor beton, kunnen verschillende onderzoeken / bepalingen worden uitgevoerd. Deze onderzoeken naar agressieve bestanddelen zijn vastgelegd in normen. (Zie tabel 2.15).

Deze tabel kan gebruikt worden voor beton dat in aanraking komt met grond en grondwater. Bovendien kan ze 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

Tabel 2.15 Beoordeling agressiviteit milieu (NEN-EN 206).

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	≥ 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	EN-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	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	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;

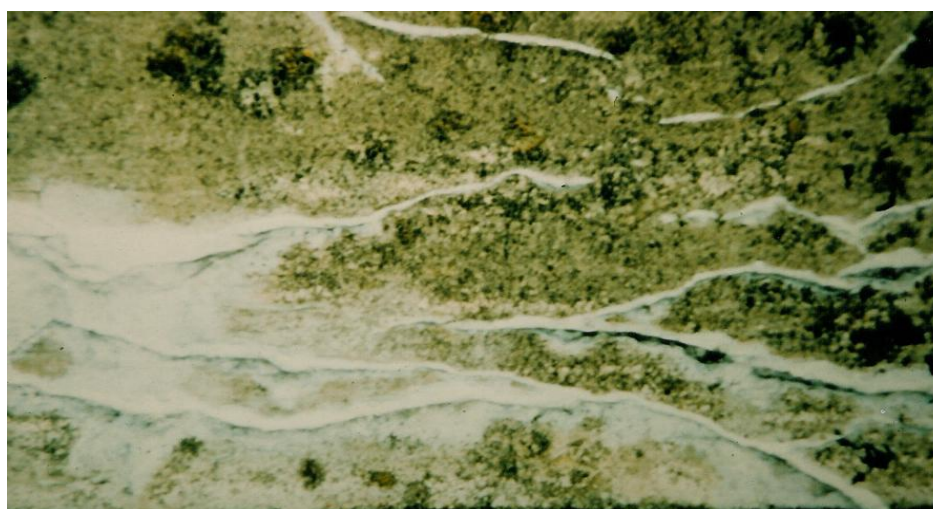
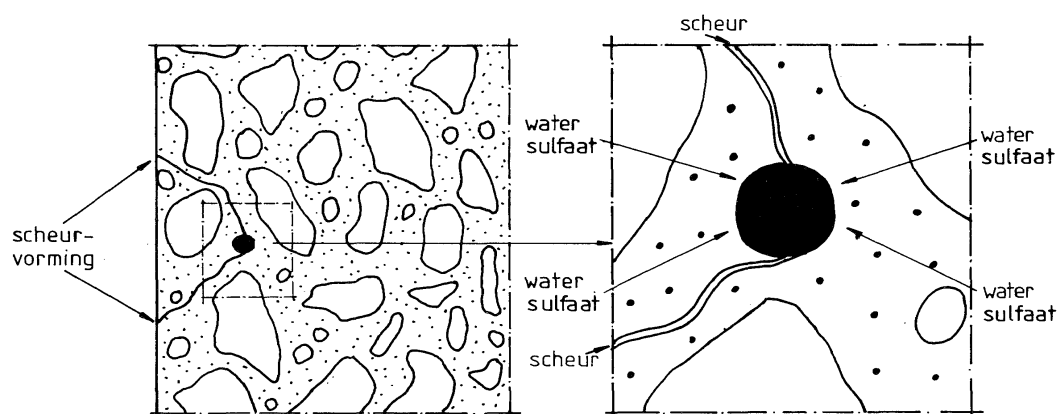
<sup>b</sup> De beproevingsmethode schrijft de extractie voor van SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> door middel van zoutzuur; als alternatief mag de extractie met behulp van water worden toegepast, indien op de plaats van het gebruik van het beton ervaring beschikbaar is;

<sup>c</sup> Indien gevaar bestaat voor opeenhoping van sulfaationen in het beton, ten gevolge van nat/droogwisselingen of capillaire opzuiging, moet de grenswaarde van 3000 mg/kg worden verlaagd tot 2000 mg/kg.

De ontwerper / constructeur zal zich er altijd van bewust moeten zijn dat, naast de mate van agressiviteit zoals weergegeven in de tabel, ook andere stoffen in meer of mindere mate het beton kunnen aantasten. Ook indien er sprake is van hoge stroomsnelheden van water of grondwater, in combinatie met de vermelde stoffen, is extra aandacht op zijn plaats. Concentratie, verversing en temperatuur zijn bepalend voor de werkelijke aantasting. Zijn de concentraties van agressieve stoffen hoger dan vermeld in milieuklasse XA3 volgens de tabel, dan is het vrijwel zeker dat beton zal worden aangetast. Nader onderzoek is dan nodig naar een geschikte beschermlaag of om een zekere mate van aantasting te accepteren en een inschatting te kunnen maken van de snelheid van aantasting.

#### 2.5.4.6 *Sulfaataantasting*

Binnen de hoofdgroep XA 'chemische aantasting van beton' valt ook de aantasting van beton door de inwerking van sulfaten. Kenmerkend voor deze aantasting is een onregelmatig scheurenpatroon in het betonoppervlak, vaak met witte uitbloei. Het mechanisme achter dit schadebeeld is een expansieve ettringietvorming in het beton. Sulfaten komen voor in bijvoorbeeld zeewater, rioolssystemen en mestkelders. Verder zijn er specifieke situaties waarbij sulfaten kunnen voorkomen zoals in de glastuinbouw, waar veel met kunstmest wordt gewerkt of bij bouw- en sloopafval dat gips bevat (calciumsulfaat).



*Figuur 2.10 Sulfaataantasting.*

In NEN-EN 206 is de agressiviteit van sulfaatconcentraties in grondwater en grond gekoppeld aan de milieuklasse, zie tabel 2.17 op pagina 2-31.

In een omgeving waar sulfaataantasting kan optreden verdient de toepassing van een cement met hoge bestandheid tegen sulfaten de voorkeur.

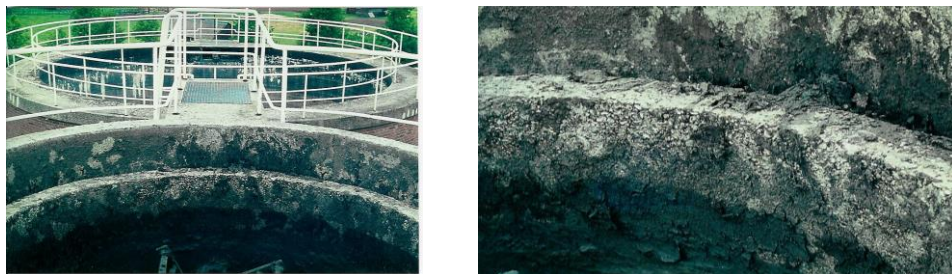
#### 2.5.4.7 Zuuraantasting

Beton wordt in meer of mindere mate aangetast door zuren. We kunnen een onderscheid maken tussen aantasting door uitloging en door oplossing.

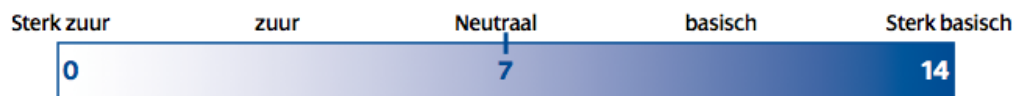
Bij uitloging wordt de concentratie van onder meer calcium- en hydroxide-ionen in het poriewater lager. Bij oplossing is het chemisch evenwicht tussen vaste stof en omringende (porie)vloeistof verbroken en gaat de vaste stof in oplossing. Door het oplossen van de cementsteen verliest het materiaal zijn samenhang en wordt het betonoppervlak aangetast.

Specifieke vormen van zuuraantasting:

- *Biogene zwavelzuuraantasting.* Vorm van zuuraantasting van het betonoppervlak door zwavelzuur dat is ontstaan door bacteriële omzetting van sulfiden in zwavelzuur.
- *Microbiologische salpeterzuuraantasting.* Zichtbaar is het afzanden en het ontstaan van losse schollen aan het betonoppervlak door salpeterzuurvormende bacteriën. Komt onder meer voor bij binnenwanden van koeltorens
- *Aantasting door zouten, zwakke base en sterk zuur.* Dit veroorzaakt oplossen van cementsteen vergelijkbaar met zuuraantasting. Deze aantasting komt specifiek voor bij de opslag van kunstmest (ammoniumzout) en aantasting door zeewater (magnesiumzout).
- *Aantasting door zacht water.* Geen echte zuuraantasting; toch in dit rijtje omdat het schadebeeld sterk overeenkomt: zacht water kan kalk oplossen. Een betonoppervlak kan beschadigen indien het in contact is met zacht water dat voortdurend wordt ververst.



Figuur 2.11 Biogene zwavelzuuraantasting



Figuur 2.12 Zuurgraad: van sterk zuur naar basisch

#### 2.5.4.8 Alkali-silicareactie (ASR)

De alkali-silicareactie in beton is een reactie van alkaliën en water met reactief silica, dat in toeslagmateriaal kan voorkomen. Alkaliën (natrium- en kaliumhydroxiden) zijn aanwezig in het poriewater van beton. Bij de reactie ontstaan gelvormige reactieproducten die veel (porie)water kunnen binden en daardoor zwellen. Hierdoor worden drukspanningen in het beton opgebouwd. Bij te hoge spanningen door de inwendige zwelling zal het beton scheuren. In dat geval is sprake van schadelijke ASR.

De reactie verloopt uiterst langzaam en de schade treedt pas na jaren op. Aan het betonoppervlak is ASR zichtbaar als een craquelévormig scheurenpatroon, vaak in combinatie met witte uitbloei



*Figuur 2.13 ASR-aantasting*

Hoe ASR kan worden voorkomen, zal in de vervolgcursus voor Betontechnoloog (BTE) worden behandeld. Het vaststellen van schade door ASR en de methoden van repareren worden in de vervolgcursus voor Onderhoudkundige (BOK) behandeld.

#### 2.5.4.9 *Brandbestandheid*

Bij veel toepassingen is de bestandheid van beton tegen hoge temperaturen een belangrijke eigenschap. Denk aan (kantoor)gebouwen, tunnels en viaducten. In relatie tot brandbestandheid is beton één van de betrouwbaarste bouwmaterialen. Beton is onbrandbaar en heeft een grote ingebouwde veiligheid bij verhitten door brand. Vanzelfsprekend kan bij extreme verhitting wel schade aan de constructie ontstaan. In geval van brand ontstaan spanningen door thermische uitzetting. De mate waarin dit tot scheurvorming kan leiden is sterk afhankelijk van de vorm en afmetingen van de constructie en de wijze en aard van wapenen (gewapend of voorgespannen beton, wapeningsdichtheid, dekking enz.).

Zeer snelle verhitting van een betonoppervlak kan ook leiden tot afspatten van de toplaag. Zie figuur 2.14. De oorzaak hiervan is dat aanwezig vocht in de poriën van het beton zeer snel wordt omgezet in stoom dat een veel groter volume inneemt dan het oorspronkelijke vocht en daardoor enorme druk opbouwt. Als dat het geval is, ontstaan interne drukken die de toplaag doen afspatten. Beton met een dichte structuur, zoals beton in hogere sterkteklassen is hiervoor gevoeliger dan normaal beton.



*Figuur 2.14 Afgespat beton.*

Door de toevoeging van polypropyleenvezels aan beton kan de bestandheid tegen spatten aanmerkelijk worden verbeterd. Deze vezels smelten snel bij verhitting. Zo ontstaan kanaaltjes in het betonoppervlak waardoor de druk kan ontsnappen en de toplaag minder snel zal afspringen. Hierop komen we in hoofdstuk 5 terug

#### 2.5.4.10 *Massabeton*

De eisen in tabel 2.17 mogen worden gewijzigd bij massabeton.

Er is sprake van massabeton voor verschillende bouwdelen als deze bouwdelen voldoen aan de waarden van tabel 2.16:

*Tabel 2.16 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

Voor bouwdelen die voldoen aan de definitie van massabeton mag het cementgehalte/bindmiddelgehalte en/of de water-cementfactor/water-bindmiddelfactor worden aangepast, als wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- er moet gebruik worden gemaakt van een cement met een lage hydratatiewarmte conform NEN-EN 197-1 of NEN-EN 14216. Of er moet een combinatie van cement en vulstof zijn gebruikt, waarbij de bindmiddelcombinatie voldoet aan de eisen van een lage hydratatiewarmte volgens EN 197-1.
- de sterkteklasse moet minimaal C30/37 zijn.

Specifiek voor massabeton in de milieuklassen XD3, XS2 en XS3 mag de maximaal toelaatbare water-cementfactor/water-bindmiddelfactor worden verhoogd tot 0,50 bij een minimaal vereist cementgehalte/bindmiddelgehalte van 300 kg per m<sup>3</sup>.

Tabel 2.17 Eisen aan de betonsamenstelling, afhankelijk van de milieuklasse

Milieu-klasse	Maximaal toelaatbare wcf / wbf [-]	Minimaal vereiste cementgehalte / bindmiddelgehalte [kg] per 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 <sup>c</sup>	0,45	300	-	-
<b>4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater</b>				
XS1	0,50	300	-	-
XS2 <sup>c</sup>	0,45	300	-	-
XS3 <sup>c</sup>	0,45	320	-	-
<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	-	-
<b>6 Chemische aantasting</b>				
XA1	0,55	300	-	-
XA2 <sup>d</sup>	0,50	320	-	-
XA3 <sup>d</sup>	0,45	340	-	-
a	Het minimumluchtgehalte heeft betrekking op het gemeten luchtgehalte.			
b	De genoemde water-cementfactor/water-bindmiddelfactor en het genoemde cement-/bindmiddelgehalte zijn alleen van toepassing bij onderwaterbeton in niet-agressief water. Voor ongewapend beton gelden geen grenswaarden.			
c	Bij bouwdelen die voldoen aan de definitie massabeton, zie tabel 2.16.			
d	Voor beton in deze milieuklassen dat aan oplossingen met meer dan 600 mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l of aan grond met een gehalte aan sulfaten groter dan 3 000 mg/kg wordt blootgesteld, behoort cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten te worden gebruikt dat voldoet aan NEN-EN 197-1, met uitzondering van CEM I-SR 5, puzzolaacement CEM IV/A-SR en CEM IV/B-SR.			



### 2.5.5 Esthetische eisen/Schoon beton

Bij de bespreking van alle eigenschappen van beton wordt vaak het uiterlijk vergeten. Terwijl juist het uiterlijk van beton vaak aanleiding geeft tot discussies, zelfs als daar vooraf geen speciale eisen aan zijn gesteld. Eisen aan het oppervlak kunnen bijvoorbeeld gaan over de structuur van het oppervlak, toleranties aan de vlakheid en de kleur.

NEN-EN 13670/NEN 6722 bevat een paragraaf 'Toleranties voor betonoppervlakken'. Hierin worden drie klassen benoemd: klasse A, B en C.

- Klasse A omvat de standardeisen, waarbij doorgaans geen hoge esthetische eisen gelden.
- Klasse B is zoals het voorschrift zegt 'een klasse met bijzondere esthetische eisen aan het betonoppervlak, die in de projectspecificatie zijn aangegeven'. In het voorschrift worden deze eisen niet nader uitgewerkt.
- Klasse C is een klasse zonder esthetische eisen.

In de norm zijn alleen de standardeisen voor klasse A uitgewerkt. Tenzij in de projectspecificatie andere eisen zijn vastgelegd zijn deze van toepassing. Voor veel toepassingen blijken deze eisen echter te ruim. Dit betekent dat de gewenste esthetische eisen moeten worden beschreven, zoals bedoeld bij klasse B. Om hierin te voorzien is CUR-Aanbeveling 100 opgesteld. Dit document kan als hulpmiddel fungeren voor het opstellen van afspraken tussen partijen.

Het vervaardigen van schoon beton vergt speciale aandacht met betrekking tot de selectie van grondstoffen, het mengselontwerp en de uitvoering.

Voor de betontechnoloog kunnen een aantal specifieke aandachtspunten worden benoemd.

*Tabel 2.18 Aandachtspunten voor schoon beton.*

Bindmiddelen	De soort cement en eventueel toegepaste vulstoffen hebben invloed op de grijstint;
Toeslagmateriaal	Toeslagmateriaal moet voldoen aan aanvullende eisen met betrekking tot verontreinigingen. De kleur van vooral de fijne fracties heeft invloed op de kleur van het beton.
Betonspecie	Er moet voldoende fijn materiaal in het mengsel aanwezig zijn.
Water-cementfactor	Verschillen in watergehalte en water-cementfactor veroorzaken verschillende kleuren; Een lagere water-cementfactor maakt het beton donkerder; een hogere lichter.
Verwerkbaarheid	De verwerkbaarheid moet gelijkmatig zijn: te vloeibare species kunnen nazakken of ontmengen, te droge species vragen meer verdichtingsenergie. In beide gevallen ontstaan een andere structuur en kleur van het oppervlak,
Vulstoffen	Test de beoogde samenstelling altijd op het kleureffect van een vulstof. Fijne vulstoffen hebben veel kleurkracht. Door toepassen van poederkoolvliegias of silica fume bijvoorbeeld, kleurt beton duidelijk donkerder.
Uitvoering	Beschermen en nabehandelen. De bekisting overal even lang laten staan om kleurverschillen te voorkomen.

### 2.5.5.1 *Gekleurd beton*

Gekleurd beton is een bijzondere variant van 'Schoon beton'. Voor de verwerking van gekleurd beton gelden dezelfde aandachtspunten als voor schoon beton. Het samenstellen, mengen en verwerken van betonspecie met kleur vergt extra aandacht, omdat bij gebruik van pigmenten niet alleen de gewone technologische overwegingen gelden, maar ook overwegingen aangaande de kleur van beton.

Pigmenten in beton worden gerekend tot de vulstoffen en worden verder in hoofdstuk 5 behandeld.

### 2.5.5.2 *De kleur van beton / blauwverkleuring*

Ook zonder dat sprake is van “gekleurd beton” heeft beton al een kleur. Vaak zien we in de projectspecificatie de omschrijving “ glad grijs uit de kist”. De grijstint van beton wordt onder meer bepaald door de keuze van de cementsoort, eventuele vulstoffen, de water-cementfactor en de kleur van het toeslagmateriaal en de structuur van het betonoppervlak. Soms wordt de uitvoering direct na het ontkisten van beton verrast met een onverwacht blauwe kleur van het betonoppervlak.

De oorzaak van deze blauwverkleuring ligt bij het gebruikte cement: deze blauwverkleuring kan optreden bij gebruik van hoogovencement of in ieder geval een cementsoort die hoogovenslak bevat. Hoogovenslak bevat naast de verschillende componenten die nodig zijn voor de bijdrage in de sterkteontwikkeling (hierop wordt in hoofdstuk 4 “ De lijm” verder ingegaan) ook nog de elementen ijzer, mangaan (Mn) en zwavel (S). Deze reageren in het verhardend beton tot de verbindingen ijzersulfide (FeS) en mangaansulfide MnS). Deze verbindingen geven beton, gemaakt met hoogovencement, de zo karakteristieke blauwe kleur.



*Figuur 2.15 Gekleurd beton.*

Na verloop van tijd verdwijnt deze kleur omdat deze verbindingen aan het betonoppervlak met zuurstof uit de lucht reageren tot  $\text{FeSO}_4$  en  $\text{MnSO}_4$ , bij deze reactie verdwijnt de blauwe kleur. De snelheid waarmee dat gebeurt, is afhankelijk van de dichtheid van het betonoppervlak. Bij een dicht oppervlak, bijvoorbeeld bij beton dat wat langer in een stalen bekisting heeft gestaan kan het verdwijnen van de blauwe kleur (veel) langer duren.

Bij schoon beton is dit een extra aandachtspunt: zo kunnen verschillende verblijfstijden in de bekisting zelfs bij exact gelijke samenstellingen een duidelijk verschillende kleur van het betonoppervlak opleveren. Het kan soms lang duren voor deze verschillen helemaal zijn verdwenen.

## 2.6 Bijzondere Betonsoorten

Beton is altijd 'maatwerk'. Betonspecie wordt immers nooit 'uit voorraad' geleverd; het wordt steeds opnieuw geproduceerd waarbij de eigenschappen worden afgestemd op de eisen van de afnemer of voor een bepaalde toepassing.

Toch worden in de praktijk een aantal betonsoorten onderscheiden omdat ze één of meerdere bijzondere eigenschappen hebben. In dit hoofdstuk zijn al enkele 'bijzondere' betonsoorten ter sprake gekomen:

- vloeistofdicht beton,
- schoonbeton en
- gekleurd beton.

Andere voorbeelden van bijzondere betonsoorten zijn:

- zelf verdichtend beton;
- beton in hogere sterkteklassen;
- vezelbeton: staalvezels en kunststofvezels;
- colloïdaal beton;
- schuimbeton;
- spuitbeton.

De bijzondere eigenschappen van deze betonsoorten worden soms verkregen door andere grondstoffen of speciale hulpstoffen te verwerken. Soms vraagt ook het mengproces bijzondere aandacht. Hierna in kort bestek wat meer informatie over de technologie van deze bijzondere betonsoorten, de manier waarop ze worden beoordeeld en enkele bijzonderheden betreffende de verwerking, verharding en het verharde product.

### 2.6.1 Zelf verdichtend beton

Bij zelf verdichtend beton is de betonspecie zeer vloeibaar en deze verdicht zichzelf onder de zwaartekracht. De bekisting wordt volledig gevuld en de specie passeert alle daarin aanwezige wapening en omhult die volledig met behoud van homogeniteit en zonder aanvullende verdichting. Met zelf verdichtend beton kunnen de arbeidsomstandigheden in betonfabrieken en op de bouwplaats aanmerkelijk worden verbeterd. De verwerking van de specie vergt nauwelijks inspanningen en de overlast door de trilling en herrie van verdichtingsapparatuur is verdwenen.

Zelf verdichtend beton is een betrekkelijk nieuw product. Toch zijn de normale betonvoorschriften van toepassing en past het binnen de sterkteklassen en eisen van duurzaamheid in NEN-EN 206 en NEN 8005.

Naast de vloeibaarheid van zelf verdichtend beton is de stabiliteit van de specie een belangrijke eigenschap. Juist bij zeer vloeibare species is immers het risico op ontmenging bijzonder groot.

### 2.6.2 Beton in hogere sterkteklassen

Hoewel op dit moment de sterkteklassen tot en met C100/115 zijn opgenomen in de voorschriften beton (NEN-EN 206 / NEN 8005) worden in de praktijk sterkteklassen hoger dan C55/67 nog steeds benoemd als 'hogesterkte beton' (HSB)

De ontwikkeling van beton in steeds hogere sterkteklassen gaat nog steeds door. In de praktijk wordt al beton gemaakt in sterkteklasse C165/200. Vanuit experimenten op laboratoriumschaal zijn waarden tot maar liefst 800 N/mm<sup>2</sup> gerapporteerd. Beton in hogere sterkteklassen wordt vooral toegepast in op druk belaste constructieonderdelen. Naast de hoogwaardige mechanische eigenschappen heeft dit beton ook een hoge dichtheid en duurzaamheid.

### 2.6.3 Vezelbeton

De eigenschappen van beton kunnen worden verbeterd door toevoegen van staalvezels en/of kunststofvezels.



Figuur 2.16 Staalvezelbetonspecie

**Staalvezels** worden in beton toegepast om enerzijds de cementsteen te versterken (microniveau) en anderzijds als wapening (macroniveau). De prestatie van staalvezels komt vooral tot uiting in de eigenschappen van het verharde beton:

- verbeterd na scheurgedrag/buigtaaiheid;
- verhoging scheurweerstand;
- betere scheurverdeling;
- verbeterde brandwerendheid.

In de specie leidt het gebruik van vezels tot een verbeterde stabiliteit van de specie.

Voor bepaalde toepassingen kunnen staalvezels zelfs de traditionele wapening geheel of gedeeltelijk vervangen. Het effect van de vezel wordt vooral bepaald door de eigenschappen (lengte, diameter, vorm, aanhechtingsgedrag), de hoeveelheid vezels per m<sup>3</sup> beton en een correcte aanpassing van de samenstelling van de betonspecie (vooral in het fijne gebied) om een optimale omhulling en hechting van de vezels mogelijk te maken. Het is belangrijk dat de vezels goed homogeen in de betonspecie zijn verdeeld.

**Kunststofvezels** zijn er in talloze varianten. Ze worden vervaardigd uit heel uiteenlopende materialen en in alle denkbare lengtes en diameters. Sommige benaderen de eigenschappen van staalvezels. De ontwikkeling van kunststofvezels gaat nog steeds door. Meest gebruikelijk is de toepassing van polypropyleenvezels.

In de nog plastische specie verbeteren deze vezels de samenhang van de specie. Hiermee kan betonspecie voor bijvoorbeeld in de grond gevormde palen een grotere stabiliteit verkrijgen. De verbeterde samenhang van betonspecie door deze vezels maakt betonspecie minder gevoelig voor scheurvorming door plastische krimp.

Langs een heel andere mechanisme kunnen polypropyleenvezels de gevoeligheid voor afsputten verbeteren bij zeer hoge temperatuurbelastingen zoals brand, een en ander zoals beschreven in §2.5.4.9.

#### 2.6.4 Colloïdaal beton

Colloïdaal beton bezit een grote samenhang, bedoeld voor verwerking onder of aan het water, zonder uitspoelen. Omdat de specifieke eigenschappen en beproevingsmethoden voor dit beton niet zijn opgenomen in NEN-EN 206 en NEN 8005, is CUR-Aanbeveling 18 'Colloïdaal beton' opgesteld, waarin aanvullende richtlijnen zijn opgenomen.

Colloïdale betonspecie kan onder bepaalde voorwaarden vrij door het water vallen zonder dat uitspoeling van cementpasta en fijne delen optreedt. Dit gedrag wordt bereikt door het toevoegen van speciale waterretentiemiddelen. Deze werken als een soort behangplaksel: ze 'verdikken' als het ware het water waardoor de beweeglijkheid van de fijne deeltjes aanmerkelijk afneemt. Daardoor wordt de samenhang van een specie zodanig verbeterd dat ontmenging, ook in water, wordt tegengegaan.

Het is mogelijk colloïdaal beton met een open structuur te maken door het weglaten van het grove gedeelte van het zand en het fijne deel van het grove toeslagmateriaal. Het waterretentiemiddel zorgt ervoor dat het mengsel van cementlijm en fijn zand niet uitzakt, maar aan de grove korrels blijft hangen.

#### 2.6.5 Schuimbeton

Schuimbeton is in feite geen beton, maar een mortel. Het bevat immers geen grof toeslagmateriaal. Schuimbeton bestaat uit een matrix van cementsteen en kunstmatig door middel van schuim ingebrachte luchtbelletjes, soms aangevuld met fijn toeslagmateriaal in de vorm van heel fijn zand.

De eigenschappen van schuimbeton zijn gekoppeld aan samenstelling en structuur en vooral aan de volumieke massa van het materiaal. Zo is bij een volumieke massa tussen ca. 400 en 600 kg/m<sup>3</sup> een druksterkte mogelijk van 0,5 tot 2,5 N/mm<sup>2</sup>, terwijl bij een volumieke massa van 1600 kg/m<sup>3</sup> een druksterkte van ca. 10 N/mm<sup>2</sup> kan worden bereikt.



Figuur 2.17 *schuimbeton.*

In Nederland wordt schuimbeton toegepast in de woning- en utiliteitsbouw alsmede in civiele werken. Het betreft vooral de volgende toepassingen:

- werkvloeren;
- afschot- en/of isolatielagen op daken;
- lichte funderingslagen onder wegdekken, parkeerplaatsen enz. vooral in gebieden met zeer slappe ondergrond;
- isolatieondervloer bij op staal gefundeerde vloeren;
- isolatie van kruipruimten;
- vulmateriaal voor verlaten en lege tanks en/of leidingen.

Bij de productie van schuimbeton wordt eerst een basismortel gemengd, bestaande uit cement en water, eventueel met vulstoffen en/of een gedeelte zeer fijn zand.

Deze mortel wordt in een volgende processtap vermengd met een vooraf vervaardigd stabiel schuim dat de rol van toeslagmateriaal heeft. Dit schuim ziet eruit als scheerschuim.

Schuimbeton is een duurzaam materiaal dat goed bestand is tegen allerlei weersinvloeden. Door de aanwezigheid van heel veel kleine luchtbelletjes is het materiaal uitstekend vorstbestand.

#### 2.6.6 Spuitbeton

Spuitbeton is betonspecie die met perslucht op een ondergrond wordt gespoten en daarbij gelijk wordt verdicht. Bij spuitbeton vindt het mengen, transporteren, aanbrengen en verdichten dus in één arbeidsgang plaats. De samenstelling van de specie wijkt niet fundamenteel af van normaal beton. De samenstelling van spuitbeton kan daarom voldoen aan de normale betonvoorschriften. De manier van werken en verwerken is echter wel degelijk anders dan het storten van beton. Spuitbeton wordt rechtstreeks op een ondergrond gespoten zodat een bekisting niet nodig is.

### 2.7 Specificeren van beton

Om beton te kunnen bestellen is het nodig om alle eisen die van toepassing zijn vast te leggen. Dat gaat zowel om de eisen aan het verharde beton als om de eisen aan de betonspecie. De ontwerper zal in de projectspecificatie vooral de eisen beschrijven die nodig zijn vanuit de functie van de betonconstructie: bijv. de sterkteklasse en

duurzaamheid. Voor de uitvoering zijn andere eisen van belang, zoals verwerkbaarheid en sterkteontwikkeling. De uiteindelijke specificatie voor het bestellen van beton(specie) is dus een combinatie van de eisen van twee partijen: ontwerper en uitvoering.

Bij het specificeren van beton wordt onderscheid gemaakt tussen beton op prestatie-eisen en beton op samenstelling. Aangezien in de praktijk het merendeel van het beton op prestatie eisen gespecificeerd wordt, zullen we daar nu verder op ingaan.

### 2.7.1 Beton op basis van prestatie eisen

Bij het specificeren op prestatie eisen maken we onderscheid tussen de zogenaamde basiseisen en aanvullende eisen. Basiseisen zijn die eisen die in alle gevallen moeten worden aangegeven. Aanvullende eisen kunnen worden voorgeschreven, wanneer dat nodig is.

De specificatie van beton dient, naast de vermelding dat het beton moet voldoen aan NEN-EN 206 in combinatie met NEN 8005, tenminste de volgende vijf eisen te bevatten:

1. druksterkteklasse
2. milieuklasse(n)
3. consistentieklasse
4. grootste korrelafmeting
5. chlorideklasse

Hierna bespreken we de verschillende eisen meer in detail.

#### 2.7.1.1 *De grootste korrelafmeting van het toeslagmateriaal*

Voor constructies met dichte wapening kan de constructeur via de projectspecificatie al aanwijzingen geven over de toelaatbare grootste korrelafmeting. Maar in de praktijk kan de uitvoerder en/of de betontechnoloog geconfronteerd worden met het feit, dat het wapeningsnet zo dicht en compact is dat er nauwelijks betonspecie door kan.

Bij het vaststellen van de grootste korrelafmeting kunnen onder andere de volgende richtlijnen worden aangehouden waarbij de grootste korrelafmeting van het toeslagmateriaal niet groter mag zijn dan:

- de vrije ruimte tussen evenwijdige VZA-kabels;
- de vrije ruimte bij overlappingslassen: de vrije ruimte behoort niet groter te zijn dan  $4\varnothing$  of 50 mm of in het geval van naburige overlappingsen behoort de vrije ruimte tussen aangrenzende staven niet kleiner te zijn dan  $2\varnothing$  of 20 mm;
- de vrije ruimte voor spankanalen en voorspanelementen: de minimale vrije afstand tussen voorspanelementen behoort  $2\varnothing$  of 20 mm te bedragen;
- $3/2$  van de vrije ruimte tussen evenwijdige bundels spanelementen en/of niet in bundels ondergebrachte evenwijdige spanelementen buiten het verankeringsgebied;
- de vrije ruimte tussen evenwijdige groepen spanelementen en/of niet in groepen ondergebrachte evenwijdige spanelementen in het verankeringsgebied;
- $1/5$  van de kleinste afstand tussen de bekistingswanden;
- $2/5$  van de vloer- of druklaagdikte voor in het werk gestorte vloeren;
- $3/4$  van de kleine afstand tussen wapeningsstaven (ter plaatse van de overlappingsen mag dat  $2/3$  zijn);
- $1/4$  van de vrije ruimte tussen langsstaven bij in de grond gevormde palen.

In Nederland zijn de maximale korrelafmetingen 8 mm, 16 mm en 32 mm gebruikelijk.

### 2.7.1.2 Chlorideklasse

Om corrosie van beton- en vooral voorspanstaal te voorkomen, stelt de NEN-EN 206 eisen aan het maximale *chloridegehalte* van beton. Voor ongewapend beton, gewapend beton en voorgespannen beton met nagerekt voorspanstaal (zonder aanhechting) en, tenslotte, voorgespannen beton met voorgerekt wapeningsstaal (met aanhechting) staan de eisen in tabel 2.19. Voor beton zonder corrosiegevoelige materialen mogen we uitgaan van het chloridegehalte van ongewapend beton.

Het chloridegehalte wordt berekend met behulp van de chloridegehalten van de verschillende materialen waaruit het betonmengsel is samengesteld. Het chloridegehalte wordt uitgedrukt ten opzichte van de hoeveelheid bindmiddel.

Tabel 2.19 *Maximaal chloridegehalte ten opzichte van het bindmiddelgehalte in % (m/m)*

aard van de constructie	chloride-klasse	maximaal chloridegehalte in % (m/m)
ongewapend beton	CI 1,0	1,0
gewapend beton en voorgespannen beton met nagerekt voorspanstaal	CL 0,40	0,40
voorgespannen beton met voorgerekt voorspanstaal	CL 0,20	0,20

### 2.7.1.3 Aanvullende prestatie eisen

Naast de 5 hiervoor beschreven eisen kunnen ook aanvullende eisen gesteld worden.

Denk bijvoorbeeld aan een vertraagde binding of aan de warmte ontwikkeling.

Ook aan sterkte-ontwikkeling kunnen aanvullende eisen worden gesteld. Het spreekt voor zich dat in die gevallen vooraf overleg met de leverancier nodig is. Dit vanwege de beschikbaarheid van bepaalde grondstoffen of om te voorkomen dat in principe onverenigbare eisen worden gesteld. (Bijvoorbeeld een lage temperatuurontwikkeling én een extreem snelle sterkte-opbouw.)

### 2.7.2 Beton op samenstelling

Tot nu toe is vooral het specificeren van beton op prestatie eisen behandeld. Zoals al aangegeven, geeft de norm ook de mogelijkheid beton op samenstelling te specificeren. De manier hiervan verschilt niet van de opzet bij beton op prestatie eisen. Ook hier zien we basiseisen, die in ieder geval in de specificatie moeten worden genoemd en er zijn aanvullende eisen, deze mogen in de specificatie worden genoemd.

Er zit nog wel een addertje onder het gras bij het specificeren op samenstelling. Hierbij wordt de betonsamenstelling en de toe te passen grondstoffen voorgeschreven. De producent zorgt ervoor dat de betonspecie aan deze eisen voldoet. Of de betonspecie ook voldoet aan de andere eisen uit de NEN-EN 206 is de verantwoordelijkheid van de opsteller van de specificatie.



### 2.7.3 Bestellen van beton

Na het specificeren van het beton komt de volgende stap: het daadwerkelijke bestellen van het beton. We hebben de technische eisen in de vorm van de basis eisen en de eventuele aanvullende eisen paraat.

Bij het bestellen van de betonspecie moeten ten minste de volgende eisen doorgeven:

- sterkteklasse;
- milieuklasse(n);
- consistentieklasse;
- grootste korrelafmeting D;
- chlorideklasse;
- eventuele aanvullende eisen.

Dit is nog niet alles. De producent heeft meer informatie nodig van de gebruiker. Hij moet immers de betonspecie afleveren op een afgesproken plaats, een afgesproken tijd en de juiste hoeveelheid. Daarom is de volgende aanvullende informatie nodig:

- naam afnemer: de naam van de aannemer en/of de persoon die de bestelling opgeeft;
- afleveradres, zonodig met routebeschrijving;
- de datum;
- tijdstip waarop de levering wordt verwacht op de bouwplaats;
- de hoeveelheid - het totale aantal m<sup>3</sup> dat geleverd moet worden;
- de stortsnelheid - tempo waarin de specie verwerkt zal worden in m<sup>3</sup> per uur;
- de stortwijze - zoals pomp, kraan, kubel, pomp(mixer).
- Manier van afwerken, bijvoorbeeld bij monolithisch afgewerkte vloeren,
- Andere wensen, bijvoorbeeld specifieke cementen, toeslagmaterialen, enz.

Hierop wordt uitgebreider teruggekomen in hoofdstuk 8 'Verwerken van betonspecie'

Het spreekt voor zich dat speciale stortmethoden opgegeven worden, bijvoorbeeld onder water storten of verpompen van beton. Als er beperkingen zijn voor de truckmixers moet dit gemeld worden. Bij onvoldoende draagvermogen van de ondergrond moet een platenbaan worden gelegd.

