

## 2 BETON ALS BOUWMATERIAAL

### 2.1 Inleiding

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

Maar er is een ander soort duurzaamheid. De laatste decennia focust bijvoorbeeld de betontechnologie in hoge mate op betonsamenstellingen voor ‘duurzame toepassingen’. Het begrip ‘duurzaamheid’ reikt daarbij verder dan de technische levensduur van het product. Waar eerder vooral op druksterkte werd ontworpen, gaat de aandacht nu naar mengseloptimalisatie en bijvoorbeeld inzet van CO<sub>2</sub>-arme cementen of het gebruik van betongranulaat. Door de inzet van de ‘nieuwe’ betonmengsels zijn grote efficiëntievoordelen te halen zoals bouwijdverkorting. Duurzaamheid speelt dan een dubbelrol. Duurzaamheid van zowel het betonmengsel alsmede van de constructie maar ook tijdens de gebruiksfase door het beperken van energiebehoefte door bijvoorbeeld betonkernactivering.

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

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

## 2.2 Mechanische eigenschappen

### **Druksterkte**

Met ‘de druksterkte van beton’ wordt in Nederland meestal de kubusdruksterkte bedoeld. Dat wil zeggen de druksterkte zoals die in NEN-EN 206 artikel 4.3.1 is omschreven. Dit is in feite een kwaliteitsparameter. Op grond van de sterkteklasse van de verwerkte betonspecie is weliswaar de potentiële druksterkte van het beton bekend, maar de werkelijk gerealiseerde druksterkte van het beton is mede afhankelijk van de uitvoeringstechniek, de verhardingsomstandigheden en de mate van nabehandeling van het beton. Er bestaan diverse betrouwbare methoden om de werkelijk gerealiseerde druksterkte van het beton in het werk te bepalen. In paragraaf 6.17 wordt een aantal van deze methoden behandeld.

### **Sterkteklassen**

Betonspecie zal in de loop der tijd sterkte ontwikkelen. De snelheid waarmee de sterkte toeneemt is in het begin groot, maar neemt in de tijd gezien af, tot een zekere eindwaarde is bereikt. De snelheid, de duur en de eindwaarde van de sterkteontwikkeling zijn afhankelijk van de speciesamenstelling en de verhardingscondities.

Omdat zowel de speciesamenstelling als de verhardingscondities nagenoeg oneindig kunnen variëren, is omwille van de beheersing van het ontwerp- en bouwproces de **sterkteklasse** ingevoerd.

De sterkteklasse van een partij betonspecie is gebaseerd op druksterktemetingen aan monsters uit die partij. Tijdens de productie worden speciemonsters getrokken en op een genormaliseerde wijze in kubus- of cilindermallen gestort en verdicht (zie ook 7, Controle en keuring). Omdat in Nederland traditioneel kubussen worden toegepast, wordt verder alleen van kubussen gesproken, er mag echter ook cilinders worden gelezen. De kubussen verhar- den gedurende 28 dagen onder genormaliseerde condities. Op dag 28 wordt van elke kubus de druksterkte bepaald.

Omdat zelfs dan nog enige spreiding optreedt, wordt uit de gevonden serie druksterkten de karakteristieke kubusdruksterkte berekend.

Deze karakteristieke kubusdruksterkte bepaalt tot welke sterkteklasse de betreffende partij betonspecie mag worden gerekend. Dit is een maat voor de ondergrens van de druksterkte van beton.

De constructeur hanteert de sterkteklasse als uitgangspunt voor de mechanische eigenschappen van het beton.

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

### **Sterkteklassen**

#### **Normaal beton en zwaar beton**

C8/10\*  
C12/15  
C16/20  
C20/25  
C25/30  
C30/37  
C35/45  
C40/50  
C45/55  
C50/60  
C55/67  
C60/75  
C70/85  
C80/95  
C90/105  
C100/115\*

#### **Lichtbeton**

LC8/9  
LC12/13  
LC16/18  
LC20/22  
LC25/28  
LC30/33  
LC35/38  
LC40/44  
LC45/50  
LC50/55  
LC55/60  
LC60/66  
LC70/77  
LC80/88

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

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

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

waarin:

- $f_{ck}$  is de karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen;  
 $\gamma_c$  is de partiële veiligheidsfactor voor beton (= 1,5 volgens de Nederlandse Nationale Bijlage);  
 $\alpha_{cc}$  is een coëfficiënt die rekening houdt met langeduureffecten op de druksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt:\*  
( $\alpha_{cc} = 1$  volgens de Nederlandse Nationale Bijlage).

### **Treksterkte**

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

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

waarin:

- $f_{ctk, 0,05}$  is de karakteristieke waarde van de axiale treksterkte van beton; 5% ondergrenswaarde;  
 $\alpha_{ct}$  is een coëfficiënt die rekening houdt met langeduureffecten op de treksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt;\*(  
( $\alpha_{ct} = 1$  volgens de Nederlandse Nationale Bijlage);  
 $\gamma_c$  is de partiële veiligheidsfactor voor beton (= 1,5 volgens de Nederlandse Nationale Bijlage).

\* Indien de sterkte is bepaald op een tijdstip groter dan 28 dagen (bijvoorbeeld 56 dagen) dan dient deze factor volgens NEN-EN 1992-1-1, 3.1.7 met  $k_t=0,85$  te worden vermenigvuldigd.

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

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

### Let op!

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

### Verklaring:

- $f_{ck}$  karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen  
 $f_{ck,cube}$  karakteristieke kubusdruksterkte van beton op 28 dagen  
 $f_{cm}$  gemiddelde cilinderdruksterkte van beton =  $f_{ck} + 8$  N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{cd}$  rekenwaarde van de druksterkte van beton op 28 dagen  
 $f_{ctm}$  gemiddelde axiale treksterkte van beton:  
 $\leq$  C50/60 :  $f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)}$   
 $>$  C50/60 :  $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$   
 $f_{ctk,0,05}$  is de karakteristieke waarde van de axiale treksterkte van beton;  
5% ondergrenswaarde =  $0,7 \times f_{ctm}$   
 $f_{ctd}$  rekenwaarde van de treksterkte van beton op 28 dagen  
 $E_{cm}$  elasticiteitsmodulus van beton =  $22[(f_{cm}/10)]^{0,3}$

## 2.3 Vervormingsgedrag

### **Elasticiteitsmodulus**

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

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

waarbij: E = elasticiteitsmodulus [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma$  = spanning [N/mm<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  = specifieke vervorming [-]

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

Beton is een heterogeen materiaal, bestaande uit toeslagmateriaal ingebed in een matrix van cementsteen. De E-modulus van beton wordt in sterke mate bepaald door het soort én het gehalte toeslagmaterialen, mits het gebruikte toeslagmateriaal een hogere E-modulus heeft dan de cementsteen. Volgens NEN-EN 1992-1-1 wordt de elasticiteitsmodulus afgeleid van de gemiddelde cilinderdruksterkte:

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

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

### **Kruip**

Elk materiaal vervormt als er een kracht op uitgeoefend wordt. Naarmate de kracht groter wordt, neemt de vervorming toe. Als bij beproeving de kracht niet verder wordt verhoogd, blijkt de vervorming toch nog enige tijd toe te nemen. Die extra vervorming noemen we kruip.

Kruip is van belang voor de betonpraktijk, omdat het tot grotere vervormingen leidt, dan die waarop op grond van de E-modulus gerekend is.

Kruip van beton is de vervorming van de gelstructuur, veroorzaakt door capillaire spanning van het chemisch niet-gebonden water. De grootte van

de kruipvervorming is recht evenredig met de elastische vervorming van het beton. Het verband tussen de kruipvervorming ( $\varepsilon_{\phi}$ ) en de elastische vervorming ( $\varepsilon_{be}$ ) wordt aangegeven met de kruipcoëfficiënt  $\phi$ . Hier geldt:

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

De grootte van de kruip van beton is afhankelijk van:

- de relatieve vochtigheid;
- de ouderdom  $t_c$  op het tijdstip van belasten;
- de sterkteklasse van het beton;
- de geometrie van de betondoorsnede;
- de duur  $t$  van de belasting.

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

Algemeen gesproken is de kruip van invloed op:

- de vervorming van de betonconstructie (bijvoorbeeld doorbuiging van vrijdragende vloeren en balken);
- de herverdeling van de krachtsverdeling in de constructie (bijvoorbeeld ten gevolge van de bouwwijze, zetting, etc.).

### **Relaxatie**

In een materiaal dat belast wordt, ontstaan spanningen. Deze nemen toe naarmate de belasting toeneemt.

Indien het materiaal echter enige tijd onder constante belasting wordt gehouden, neemt de spanning geleidelijk wat af door de kruip in het materiaal. Deze afname van de spanning bij gelijkblijvende belasting noemen we relaxatie. Relaxatie is van belang voor de betonpraktijk omdat het tot geringere spanningen leidt, dan die waarop op grond van de  $E$ -modulus gerekend zou moeten worden.

Deze reductie wordt in rekening gebracht door de normaalkracht en/of buigend moment te vermenigvuldigen met de relaxatiecoëfficiënt  $k_{\phi}$ . Voor geleidelijk optredende permanent aanwezige belastingen geldt volgens de Nationale bijlage van NEN-EN 1992-1-1:

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

waarbij:  $\phi$  = kruipcoëfficiënt

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

### Voorbeeld:

Betonweg C35/45,  $h = 300$  mm,  $RV > 80\%$  (buiten)

Berekende kruipcoëfficiënt  $\phi = 1,5$

Hieruit volgt de relaxatiecoëfficiënt  $k_{\phi} = 0,50$

Dus van alle langdurig aanwezige krachten (moment, normaalkracht) blijft op de lange duur maar 50% over!

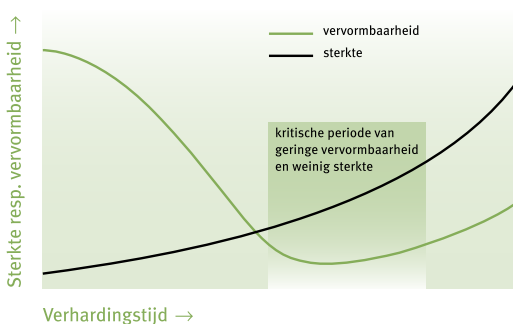
De door kruip veroorzaakte relaxatie van krachten is een hele belangrijke, gunstige eigenschap van beton!

### Breukrek

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

Onderstaande figuur geeft een beeld van de sterkteontwikkeling en het verloop van de vervormbaarheid van zeer jong beton.

#### Ontwikkeling van de breukrek in jong beton



### Krimp veroorzaakt door vochtverlies

Naast vervorming door externe krachten (druk, trek, wringing en afschui-



ving) vervormt beton ook onder invloed van interne krachten zoals krimpen en zwellen ten gevolge van capillaire krachten.

Krimp ten gevolge van vochtverlies is een van de belangrijkste oorzaken van scheurvorming en dus schade aan betonconstructies.

Betontechnologisch onderscheiden we diverse vormen van krimp veroorzaakt door vochtverlies, afhankelijk van het stadium van de verharding van beton. Volgend overzicht geeft enig inzicht.

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

Type/Mechanisme	Invloedsfactoren	Opmerkingen
<p><b>Autogene krimp</b> Een bijzondere vorm van verhardingskrimp: bij een zeer lage wcf wordt door de toenemende hydratatie al het aanvankelijk beschikbare water langzaam opgebruikt. Dit inwendige 'uitdrogingsproces' kan zelfs leiden tot een volume vermindering van de cementsteen en een meetbare krimp van het beton</p>	<p>Vooraf van belang bij een <math>wcf &lt; 0,40</math>. Gebruik van silica fume of andere (zeer) fijne vulstoffen versterkt het effect in belangrijke mate</p>	<p>Een hoog pastagehalte, in combinatie met een lage wcf, vergroot de autogene krimp. Bij bouwdelen in hogesterktebeton, waarbij vervormingen worden verhinderd, kan autogene krimp de oorzaak zijn van scheurvorming Betoniek 15/27, Autogene krimp</p>
<p><b>Uitdrogingskrimp</b> Is het gevolg van het verdampen van het niet-gebonden water in het beton via de capillaire poriën. Door dit waterverlies trekken de poriën samen. Hiertegenover staat echter dat door wateropname de poriën zwellen en het beton kan uitzetten</p>	<p>Uitdrogingskrimp hangt voornamelijk af van de relatieve vochtigheid van de omgeving, afmetingen van het betreffende bouwdeel en de betonsamenstelling. Een lage wcf leidt tot kleine capillaire poriën waaruit het water minder gemakkelijk verdamppt. Naarmate de hydratatiegraad hoger is, zijn de capillaire poriën kleiner. Dit wordt bereikt door goed en voldoende lang nabehandelen</p>	<p>De grootte van de uitdrogingskrimp is voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheid water en cementsteen in beton. In de praktijk is uitdrogingskrimp bij beton met 'normale' sterkte (<math>f_{ck,cube} &lt; 65 \text{ N/mm}^2</math>) op langere termijn de oorzaak van ongewenste scheurvorming in constructies die niet vrij kunnen vervormen. Voldoende dilatatie kan ongewenste scheurvorming voorkomen</p>

### **Thermische vervorming**

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

Voor de thermische uitzettingscoëfficiënt van beton is de thermische uitzet-

tingscoëfficiënt van het toeslagmateriaal van groot belang; voor grindbeton ligt de thermische uitzettingscoëfficiënt rond  $10 \cdot 3 \cdot 10^{26}/^{\circ}\text{C}$  en voor beton met kalksteen rond  $8 \cdot 3 \cdot 10^{26}/^{\circ}\text{C}$ . Voor lichtbeton varieert de uitzettingscoëfficiënt tussen 7 en  $11 \cdot 3 \cdot 10^{26}/^{\circ}\text{C}$ .

### Rekenvoorbeeld

De zon verwarmt een grindbetonplaat (lengte 10 m) van  $15^{\circ}\text{C}$  naar  $40^{\circ}\text{C}$ .

Temperatuurverhoging:	$25^{\circ}\text{C}$
Thermische uitzettingscoëfficiënt:	$12 \cdot 3 \cdot 10^{26}/^{\circ}\text{C}$
→ Per meter zet de plaat uit:	$25 \cdot 3 \cdot (12 \cdot 3 \cdot 10^{26})$ meter
dat is:	$300 \cdot 3 \cdot 10^{26}$ meter $5 \cdot 0,3$ mm/m
De plaat is 10 meter lang,	
dus de hele plaat zet uit:	$10 \cdot 3 \cdot 0,3 = 3$ mm

### **Let op!**

*Bij afkoeling tot  $15^{\circ}\text{C}$  zal de plaat ook weer 3 mm krimpen.*

## 2.4 Technische levensduur

Duurzaamheid is, in de context van levensduur, het vermogen van een constructie (-deel), om gedurende een voldoende lange periode, zijn functies te vervullen. In de ontwerpfase houdt de ontwerper/constructeur rekening met de omgeving (het milieu) waarin de betonconstructie moet functioneren. De ontwerper/constructeur benoemt de milieuklasse voor de diverse constructiedelen en de betontechnoloog houdt vervolgens bij het mengselontwerp rekening met de randvoorwaarden die voor de betreffende milieuklasse gelden. Zie hiervoor 6.5.

In de gebruiksfase kan een betonconstructie door diverse oorzaken in kwaliteit achteruitgaan. Kwaliteitsverlies kan vroeg of laat leiden tot een afnemende functionaliteit in de vorm van verminderde esthetische waarde, zoals bijvoorbeeld vlekken ten gevolge van kalkuitbloei of vervuiling, een afnemende bruikbaarheid, een mindere beschikbaarheid en/of een onvoldoende veiligheid van de constructie.

Kwaliteitsverlies of schade aan beton uit zich meestal door scheuren of door het afdrukken van het betonoppervlak.

Deze schade kan optreden zowel door inwendige als uitwendige oorzaken. De schade die hierbij optreedt, is het gevolg van vervormingen (tempera-

tuur en vocht), corrosie van de wapening, expansie en /of chemische aantasting van de cementsteen (oplossen van hydratatieproducten).

In de navolgende tabel zijn de volgende schades opgenomen:

- scheuren in de plastische fase;
- opgelegde verhinderde vervormingen;
- wapeningscorrosie;
- vorst en vorst-dooizout aantasting;
- chemische aantasting;
- cosmetische schade;
- brandschade.

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

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

**(vervolg)**

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Slipformtrek-scheuren	Eén of meerdere scheuren na elkaar veroorzaakt door de voortgaande, glijdende beweging van de bekisting. Scheuren staan vrijwel haaks op de voortgangsrichting. Randen van de scheuren zijn rafelig. Scheuren staan breed open en zijn bij dunwandige constructies vaak door en door	C&BC Informatieblad: Scheurvorming in jong beton
<b>Opgelegde verhinderde vervormingen</b>		
Thermische krimpscheuren	Onregelmatig scheurenpatroon in beton veroorzaakt door temperatuurverschillen tussen kern en oppervlak en/of een regelmatig scheurenpatroon veroorzaakt door uitwendig verhinderde vervormingen	C&BC Informatieblad: Scheurvorming in jong beton Betoniëk 8/25, Scheurkalender Betoniëk 15/17, Meten is hot
Scheuren ten gevolge van thermische vervormingen	Vaak één enkele scheur in een constructieonderdeel ten gevolge van verhinderde vervorming. Bijvoorbeeld een betonlatei versus metselwerk of een dakplaat versus buitengevel	2.3 Thermische vervorming Betoniëk 8/25, Scheurkalender Betoniëk 10/22, Krimp

**(vervolg)**

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Uitdrogingskrimp	Regelmatig scheurenpatroon op onderling grote afstand en met name in grote horizontale constructieonderdelen of wanden. Moment van verschijnen: gedurende de eerste maanden tot jaren; afhankelijk van de afmetingen en klimatologische omstandigheden. Scheuren hebben scherpe randen en worden vaak ingeleid door de vorm van de constructie of ter plaatse van een verzwakking van de doorsnede	Betoniek 8/25, Scheurkalender Betoniek 10/22, Krimp Betoniek 15/4, Watersnood
<b>Wapeningscorrosie</b>		
Carbonatatie geïnitieerde corrosie	Roesten van de wapening veroorzaakt ter plaatse scheuren en/of afdrukken van het betonoppervlak	CUR-Rapport 90-3, Carbonatatie, corrosie en vocht. Betoniek 8/22, Carbonatatie en corrosie C&BC Informatieblad: Duurzaamheid en milieuklassen Betoniek 15/26, Corrosie uitvergroot

**(vervolg)**

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

(vervolg)

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



**(vervolg)**

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Microbiologische salpeterzuuraantasting	Specifieke vorm van zuuraantasting, afzanden en losse schollen van het betonoppervlak door salpeterzuur vormende bacteriën. Geldt met name voor binnenwanden van koeltorens	C&BC Informatieblad: Aantasting door zuren
Aantasting door zouten, zwakke base en sterk zuur	Oplossen van cementsteen vergelijkbaar met zuuraantasting. Specifiek voor opslag van kunstmest (ammoniumzout) en aantasting door zeewater (magnesiumzout)	CUR Rapport 172, Duurzaamheid en onderhoud van betonconstructies C&BC Informatieblad: Chemische aantasting
Koolteerdestillaten	Kreosoot (olie) en kresol zijn licht agressief. Door uitwisselingsreacties gaat de samenhang van de cementsteen verloren en ontstaat sterkteverlies	C&BC Informatieblad: Chemische aantasting
Plantaardige oliën	Plantaardige oliën zijn matig agressief. Door uitwisselingsreacties gaat de samenhang van de cementsteen verloren en treedt sterkteverlies op	C&BC Informatieblad: Chemische aantasting
Dierlijk vet en vetzuren	Dierlijk vet en vetzuren zijn licht tot matig agressief. Door oplosreacties gaat de samenhang van de cementsteen verloren en ontstaat sterkteverlies	C&BC Informatieblad: Chemische aantasting

**(vervolg)**

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
<i>Diversen:</i> kuilvoer (silage), mest, cider, appelwijn, vruchtensap	Sterke tot zeer sterke agressieve aantasting. Door oplosreacties, of een combinatie van oplos- en uitwisselingsreacties, gaat de samenhang van de cementsteen verloren en ontstaat sterkteverlies	C&BC Informatieblad: Chemische aantasting Betoneik 15/16, Beton in XA
<b>Cosmetische schade</b>		
Kalkuitslag	Witte vlekken op het betonoppervlak, veroorzaakt door het uittreden van calciumhydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uit het poriewater. Bij reactie met kooldioxide uit de lucht slaat de (witte) calciumcarbonaat $\text{CaCO}_3$ neer	Betoneik 10/10, Kalkuitslag C&BC Informatieblad: Kalkuitslag
Pyrietvlekken	Bruin/zwarte vlekken op het betonoppervlak door uitbloei van roestwater afkomstig van reactieproducten van ijzersulfides	NEN 5905 Betoneik 11/25, Verroest
Pop-Outs	Afdrukken van schilfers van de betonhuid door bijvoorbeeld: <ul style="list-style-type: none"><li>• pyriet; expansie van reactieproducten</li><li>• <math>\alpha</math>-kwarts; expansie van in toeslagmateriaal geabsorbeerd water tijdens een vorstperiode</li></ul>	NEN 5905 Betoneik 11/25, Verroest NEN-EN 12620

(vervolg)

Type schade	Schadebeeld	Literatuur
Groen beton	Op schaduwrijke en vochtige plekken bestaat de kans op groene afzettingen op beton door algen, mossen en korstmossen. Laten zitten of verwijderen?	Betoniek 16/05, Groen beton?
<b>Brandschade</b>		
Spatten van randen van balken en kolommen, spatten van het betonoppervlak	Spatten van toeslagmateriaal ('aggregate spalling') en afdrucken van betonschilfers/schollen. Ter plaatse van hoeken van bouwdelen springen stroken beton af. Bij een zeer dichte beton kan explosief spatten optreden door expansie van waterdamp in het verhitte beton	CUR-Aanbeveling 95, Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van bouwdelen in hogesterktebeton CUR-rapport 98, Spatten van grind- en lichtbeton bij brand Betoniek 12/9, Brandbestand Betoniek 14/16, Brand

C&BC Informatiebladen zijn te downloaden van de site van het CementenBeton-Centrum. Uitleg over vele begrippen is tevens opgenomen in het Betonlexicon.

