



Het ontstaan, voorkomen en herstellen van scheuren in beton

# Wanneer is beton waterdicht?

*In de praktijk worden veel betonconstructies gerealiseerd die waterdicht moeten zijn, zoals kelders, tunnels en reservoirs. Beton is een poreus materiaal, waar water heel langzaam doorheen wordt getransporteerd. Door de aanwezige scheuren gaat dat transport nog veel sneller. Hoe kan een waterdichte betonconstructie worden gemaakt met een materiaal dat in principe niet waterdicht is?*

Om te weten hoe waterdichte constructies moeten worden gemaakt, is het van belang te weten hoe scheuren ontstaan en hoe lekkages bij doorgaande scheurvorming kunnen worden voorkomen of hersteld.

## Watertransport door beton

Beton is niet waterdicht. Beton is namelijk een poreus materiaal, waarbij door de capillaire poriën transport van vloeistof en gas mogelijk is [1]. Deze eigenschap vormt echter geen probleem voor de toepassing bij waterdichte constructies. Dit komt omdat de poriestructuur van beton dicht is. Hierdoor kunnen slechts zeer kleine hoeveelheden water passeren en gaat het transport van water zo langzaam dat het vanuit de buitenste poriën kan verdampen, voordat het aan het oppervlak zichtbaar wordt. Hierdoor wordt deze vorm van watertransport door beton bij een waterdichte constructie geaccepteerd. Daarnaast kan transport van water plaatsvinden door de in het



ir. Frederick van Waarde  
BAM Infraconsult

beton aanwezige scheuren. Water kan op deze manier de betonconstructie binnendringen. Wanneer sprake is van een doorgaande scheur door de gehele constructie, hoe klein ook, kan het water van de ene naar de andere zijde van de constructie worden getransporteerd. Dan wordt ook wel van watervoerende scheuren gesproken en treedt lekkage op. Anders dan het watertransport door het materiaal zelf, is watertransport als gevolg van scheurvorming veelal niet gewenst in een waterdichte constructie. Doorgaande scheuren in een betonconstructie kunnen dan ook een belangrijk probleem vormen voor waterdichte constructies.

Scheuren in het beton ontstaan door het vervormen van beton. De verschillende oorzaken van vervormen zijn onder te brengen in twee categorieën: belastingen en materiaaleigenschappen. In het navolgende zal per categorie worden uitgelegd hoe scheuren ontstaan en wat de invloed hiervan is op een waterdichte constructie.

### Scheuren door belastingen

Als gevolg van de verschillende externe belastingen op een betonconstructie zal deze willen vervormen. De constructie houdt deze vervormingen vanwege zijn stijfheid tegen. Hierdoor treden interne spanningen op. Zo zal bij buiging het beton aan de trekzijde van de doorsnede scheuren. Om deze scheurwijdte te beperken, wordt hier de in het ontwerp berekende hoeveelheid wapening aangebracht. Omdat aan de andere zijde van de constructie een drukzone aanwezig is waar het beton niet scheurt, zal in dat geval geen doorgaande scheur optreden. Dit

1 Bij toeritten van tunnels gelden waterdichtheidseisen voor de wanden en vloeren  
foto: Mark Nelemans

betekent dat het eventueel aanwezige water in dit geval niet door een scheur naar de andere zijde van de constructie kan komen, waardoor geen lekkage zal optreden. Hierbij moet worden opgemerkt dat de optredende scheurwijdte zal moeten voldoen aan de voorgeschreven scheurwijdte uit Eurocode 2 (NEN-EN 1992-1-1 [2]). In artikel 7.3.1 wordt de maximale scheurwijdte voorgeschreven op basis van de milieuklasse.

### Scheuren door materiaaleigenschappen

Behalve door belastingen kan het beton ook vervormen als gevolg van materiaaleigenschappen van het beton zelf. Dit kan het gevolg zijn van temperatuurverschillen of krimp.

#### Vervorming door temperatuurverschillen

Temperatuurverschillen treden onder ander op bij het verharderen van beton. Gedurende de verhardingsfase komt bij de reactie tussen water en cement (het hydratatieproces) warmte vrij. Hierdoor zal een betonconstructie in de verhardingsfase opwarmen en daarna weer afkoelen. Wanneer de betonconstructie afkoelt, wil deze fysiek verkorten. Het temperatuurverschil dat optreedt (en daarmee de fysieke verkorting) is afhankelijk van verschillende omstandigheden. Voorbeelden zijn de afmetingen van de constructie, het seizoen waarin wordt gestort en de samenstelling van het betonmengsel.

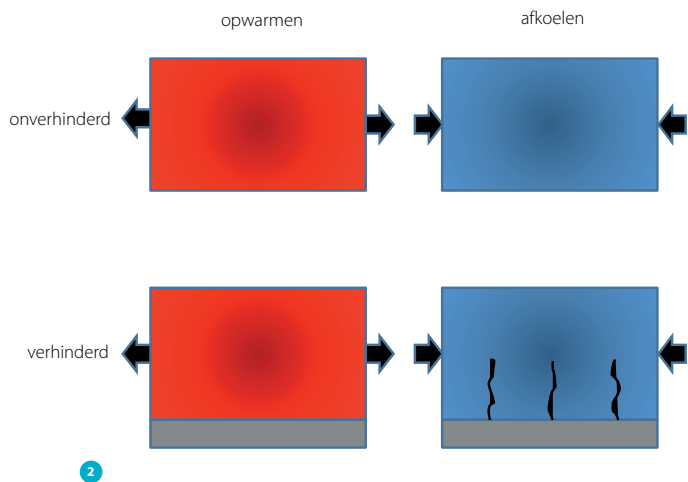
#### Vervorming door krimp

Naast opwarmen en afkoelen is het materiaal beton ook onderhevig aan krimp. In Eurocode 2 [2] worden twee vormen van krimp onderscheiden: uitdrogingskrimp en autogene krimp.

##### *Uitdrogingskrimp*

Uitdrogingskrimp ontstaat wanneer vrij water dat zich in de poriën van verhard beton bevindt, verdampt naar de omgeving. Hierdoor treedt massaverlies op. Doordat het water wordt onttrokken, trekken deze poriën samen en krimpt het beton. Uitdrogingskrimp treedt op als een fysieke verkorting van een constructiedeel vanaf het moment dat beton is verhard. Dit zal gedurende de hele levensduur van de constructie voortduren, waarbij de krimpsnelheid zal afnemen in de loop van de tijd. Doordat het water aan de buitenzijde van de constructie verdampt, is daar de krimp het grootst. De mate van uitdroging en krimp neemt dus dieper in de constructie af. Uitdrogingskrimp is afhankelijk van hoe open de structuur van de poriën is. Wanneer het beton van een goede kwaliteit is, is de structuur van de poriën dichter. Het beton houdt dan het water dat zich in de poriën bevindt, beter vast en daarmee zal de vervorming als gevolg van uitdrogingskrimp beperkt zijn. Een goede kwaliteit beton met een dichte poriënstructuur wordt gerealiseerd door een goede betonsamenstelling en een goede nabehandeling tijdens de uitvoering.

- 2 Principe verhinderde vervorming wand op vloer
- 3 Doorgaande scheuren met lekkage in een wand; het gevolg van verhinderde vervorming
- 4 Koelleidingen aangebracht in een te storten wand



### Autogene krimp

Autogene krimp is, net als uitdrogingskrimp, een vorm van krimp in verhard beton. Het wordt veroorzaakt door de consumptie van water bij het verdergaande hydratatieproces. Het water wordt onttrokken uit de poriën door het cement dat nog niet volledig heeft gereageerd met water. Hierdoor ontstaat een onderdruk in deze poriën waardoor deze samentrekken en het beton fysiek verkort. Het verschil met uitdrogingskrimp is dat in het geval van autogene krimp het vocht niet wordt onttrokken aan de constructie en geen massaverlies optreedt. De mate van autogene krimp is afhankelijk van de opbouw van de poriënstructuur in het verharde beton en de hoeveelheid beschikbaar water in deze poriën. Externe factoren zoals temperatuur en verdamping van water hebben geen invloed op dit krimpingsproces. Deze vorm van krimp is uitsluitend afhankelijk van de samenstelling van het betonmengsel, vandaar de naam autogene krimp.

### Scheurvorming door verhinderde vervorming

Wanneer de eerder beschreven verschillende vormen van fysieke verkorting als gevolg van temperatuurverschillen en krimp worden verhinderd, leidt dit tot trekspanningen in het beton. Verhindering houdt in dat de vervorming wordt tegengehouden. Wanneer de trekspanning groter wordt dan de op dat moment aanwezige treksterkte van het beton, kan dit (doorgaande) scheuren veroorzaken.

Een voorbeeld van vermindering is wanneer een wand wordt gestort op een vloer die al is verhard. Tijdens de verhardingsfase van de wand zal de wand opwarmen als gevolg van het hydratatieproces. Hierna zal de wand afkoelen naar omgevingstemperatuur waardoor de wand zal willen verkorten. De verharde vloer is veel stijver dan de pasgestorte wand. Dit verschil in stijfheid zorgt ervoor dat het verkorten van de wand

wordt tegengehouden. Hierdoor ontstaan trekspanningen in de gehele doorsnede van de wand. Wanneer de trekspanningen groter zijn dan de op dat moment aanwezige treksterkte zal het beton scheuren. Er ontstaan dan verticale scheuren die doorgaand zijn door de gehele constructie.

Nadat het beton van de wand is verhard, treedt nogmaals een vervorming op in de vorm van uitdrogingskrimp en autogene krimp. Doorgaande scheurvorming vindt plaats wanneer sprake is van een gelijkmatige vorm van krimp over de gehele doorsnede van de constructie en wanneer deze wordt verhinderd. Omdat uitdrogingskrimp zich concentreert aan de buitenzijde van de constructie en slechts beperkt optreedt aan de binnenzijde, is geen sprake van een gelijkmatige vorm van krimp. Hierdoor is het risico op doorgaande scheuren bij uitdrogingskrimp klein.

Bij autogene krimp treedt de krimp wel min of meer gelijkmatig op over de volledige doorsnede van de constructie. Hierdoor is het risico op doorgaande scheurvorming bij deze vorm van krimp wel groot.

### Voorkomen, herstellen en beheersen van scheurvorming

Voor het realiseren van een waterdichte constructie zijn er twee opties. De eerste – en meest voor de hand liggende – optie is het voorkomen van doorgaande scheuren in de constructie, waarbij wordt gezorgd dat geen scheuren als gevolg van vervormingen optreden. De tweede optie is het herstellen van scheuren in de constructie. Hierbij worden doorgaande scheuren geaccepteerd en wordt waterdichtheid met aanvullende maatregelen gerealiseerd.

In alle twee de gevallen geldt dat de scheurwijdte moet worden beheerst zodat deze voldoet aan de maximale scheurwijdte

volgens artikel 7.3.1 van Eurocode 2. Het gaat daarbij om het beheersen van zowel de doorgaande scheuren als ook de niet-doorgaande scheuren. Dit wordt gedaan door het aanbrengen van wapening, waarbij de benodigde hoeveelheid wapening wordt berekend volgens artikel 7.3.1 van Eurocode 2. Het is mogelijk de scheurwijdte nog verder te beperken door het toepassen van grotere hoeveelheden wapening, echter het voorkomen van scheuren met behulp van wapening is niet mogelijk.

### Voorkomen van doorgaande scheuren

Voor het voorkomen van doorgaande scheuren worden de vervormingen als gevolg van de materiaaleigenschappen gereduceerd. Verhardingsbeheersing is hier een voorbeeld van.

#### Vehardingsbeheersing

Om doorgaande scheuren te voorkomen, moeten de vervormingen die optreden in de verhardingsfase worden gereduceerd. Dit kan door de temperatuurverschillen die optreden tijdens deze fase te beperken en daarmee de optredende vervormingen en spanningen te reduceren, de zogenoemde verhardingsbeheersing. Een vorm van verhardingsbeheersing is het koelen van beton. Tijdens de verhardingsfase wordt door koelbuizen – die worden ingestort in het verhardende beton – koud water geleid, waardoor de temperaturen in het verhardende beton lager worden gehouden. De temperatuurverschillen worden hierdoor lager. Zo wordt ervoor gezorgd dat de optredende spanningen als gevolg van verhinderend niet groter worden dan de aanwezige treksterkte. Hierdoor ontstaan dus geen (doorgaande) scheuren.

#### Voorkomen van scheuren door krimp

Het voorkomen van vervormingen als gevolg van krimp is helaas wat ingewikkelder. In het geval van uitdrogingskrimp kan ervoor worden gezorgd dat de poriestructuur van goede kwaliteit is door het aandacht besteden aan een goed betonmengsel en het goed nabehandelen van het verhardende beton. Hierdoor verdampt minder water en wordt de mate van uitdrogingskrimp zo veel mogelijk beperkt.

In het geval van autogene krimp kan er als het beton is gestort niets meer actief worden gedaan om de mate van autogene krimp te reduceren. De samenstelling van het betonmengsel bepaalt de mate van autogene krimp. Van tevoren kan worden bepaald welke mate van autogene krimp kan worden verwacht.

### Herstellen van doorgaande scheuren

Wanneer doorgaande scheuren ontstaan, kan lekkage worden voorkomen door die scheuren te herstellen. Hiermee kan al in het ontwerp rekening worden gehouden. Dit herstel kan op verschillende manieren.



4

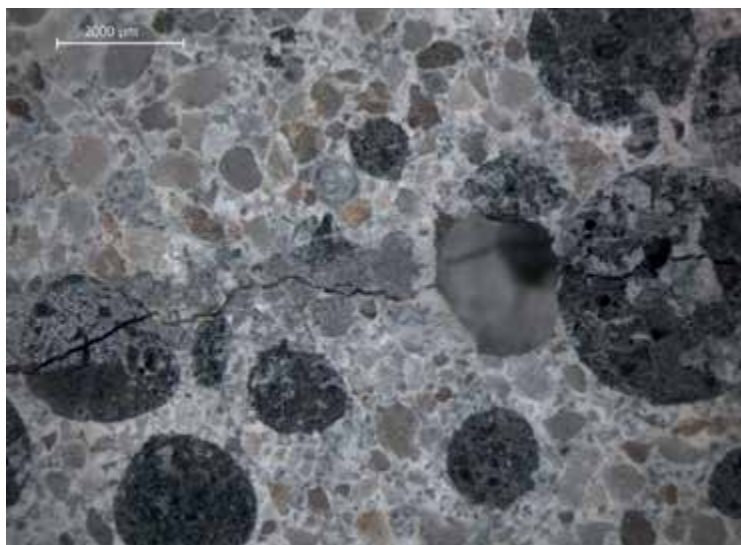
#### Selfhealing

Een van de meest gangbare methoden van herstel is het mechanisme 'selfhealing' [3]. Hierbij wordt in het ontwerp ervan uitgegaan dat wanneer de scheurwijdte van de optredende doorgaande scheur door het toepassen van extra wapening wordt beperkt, de scheur dichtslibt als gevolg van het stromen van water door de scheur. Selfhealing treedt op als gevolg van voortgaande hydratatie, sedimentatie van vaste deeltjes vanuit het water in de scheur en afzetten van kalk/carbonaat en/of zwelling van de cementsteen. Een van de bekendste berekeningsmethoden, die van Lohmeyer [4], beschrijft op basis van de optredende waterdruk en de dikte van het waterkerende beton-element de maximale scheurwijdte waarbij onder bepaalde voorwaarden een scheur weer kan dichtgroeien binnen een periode van enkele maanden. Doorgaande scheurvorming kan dus worden geaccepteerd in het geval dat de selfhealing werkt. Er moet wel rekening mee worden gehouden dat voor het optreden van selfhealing eerst water door de scheur moet stromen en dat feitelijk lekkage moet optreden. Wanneer esthetische eisen zijn gesteld aan het beton, kan dit conflicteren met

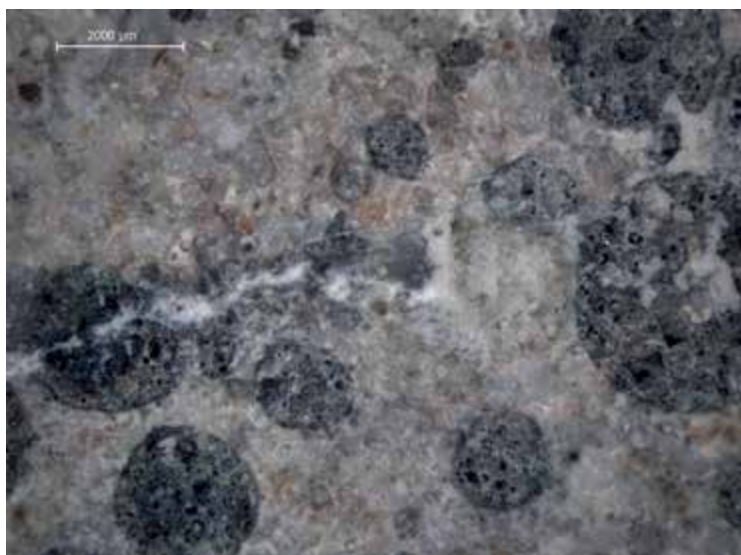
## 5 Selfhealing door middel van bacteriën in beton:

(a) de scheur vóór en (b) nadat deze is gedicht

foto's: Henk Jonkers, TU Delft



5a



5b

de methode selfhealing. In de praktijk is er geen garantie dat selfhealing de scheuren volledig zal afsluiten. Het is dus mogelijk dat de scheuren uiteindelijk watervoerend blijven.

Een nieuwe ontwikkeling op het gebied van selfhealing is het zelfherstellend beton met behulp van bacteriën [5] (zie kader). Deze bacteriën zijn in het beton aanwezig en vormen in een hoge pH-omgeving kalksteen wanneer water de scheur binnenkomt. Zo laten de bacteriën de scheur dichtgroeien. De bacteriën kunnen in al lekkende scheuren worden gebracht, maar kunnen ook al in het beton worden meegemengd. Wanneer het beton dan scheurt en er water door de scheuren gaat stromen, kunnen de bacteriën aan de slag om de scheur weer af te sluiten.

## Afsluiten wateraanvoer

Een andere methode is het afsluiten van de wateraanvoer naar de doorgaande scheur door middel van het afplakken van de betonconstructie aan de grond-/waterzijde met een waterafsluitend membraan. Deze methode wordt veelal toegepast in de woningbouw voor kelders. Doordat de watertoevoer naar de scheur is afgesloten, komt er geen water meer in de scheur. Wanneer de scheurwijdte aan de niet-grondzijde voldoet aan milieuklasse en esthetische eisen, kan in dat geval dus doorgaande scheurvorming worden geaccepteerd. De methode van afplakken moet praktisch wel uitvoerbaar zijn. In de bouwfase moeten de wanden bijvoorbeeld aan de grondzijde toegankelijk zijn.

## Injecteren

Verder kan lekkage worden voorkomen door injecteren. Hierbij worden doorgaande scheuren – vóór of nadat lekkage optreedt – gevuld met een kunsthars die de scheur afsluit. Om injectie goed mogelijk te maken, wordt als vuistregel in de praktijk een minimale scheurwijdte van 0,2 mm aangehouden als benodigd om de injectievloeistof goed in de scheur te krijgen. Hierbij moet worden bedacht dat bijvoorbeeld de methode van selfhealing streeft naar een scheurwijdte die kleiner is dan 0,2 mm. Het kan dus voorkomen dat wanneer de selfhealing niet goed heeft gewerkt, de scheuren daarna niet goed meer kunnen worden geïnjecteerd omdat de scheurwijdte al te veel is beperkt. Het injecteren van scheuren is in de praktijk een corrigerende maatregel en geldt niet als uitgangspunt bij het ontwerp. Het injecteren wordt alleen toegepast wanneer scheuren niet aan de vereiste scheurwijdte voldoen of wanneer scheuren watervoerend worden.

## Voorspanning

Het is ook mogelijk lekkage bij doorgaande scheuren te voorkomen met behulp van voorspannen. Deze methode, waarbij een drukspanning in de betonconstructie wordt aangebracht, wordt bijvoorbeeld toegepast bij opslagtanks voor vloeistoffen. Door het aanbrengen van de drukspanning worden de eventuele doorgaande scheuren dichtgedrukt en wordt lekkage voorkomen. Met het toepassen van voorspanning zullen de eisen op het gebied van duurzaamheid – vanwege de aanwezigheid van voorspanwapening – sterk toenemen. Ook is het toepassen van voorspanning veel duurder dan gewone wapening.

## Schematische weergave

Het is duidelijk dat voor het realiseren van een waterdichte constructie rekening moet worden gehouden met de verschillende oorzaken van scheuren. Daarnaast is het van belang dat er voldoende kennis is om scheuren in de betonconstructie te voorkomen, te beheersen of te herstellen. Dit alles is ondergebracht in een schema in figuur 7.

In dit schema is de oorzaak van vervorming opgesplitst in materiaaleigenschappen en belasting. In het geval van belastingen zullen scheuren worden geaccepteerd en met het aanbrengen van minimale wapening zal de scheurwijdte worden beperkt. In dit geval is er een drukzone aanwezig en betreft het dus niet-doorgaande scheuren. De maximale scheurwijdte  $w_{\max}$  moet hierbij voldoen aan de geldende levensduur, esthetische en functionele eisen. In het geval van vervormingen als gevolg van materiaaleigenschappen zijn er twee mogelijkheden: voorkomen en herstellen. Bij verhardingsbeheersing wordt voorkomen dat er scheuren optreden en is het gevolg dus  $w = 0$ . In het geval van herstellen worden doorgaande scheuren geaccepteerd en worden de verschillende maatregelen genomen om lekkage tegen te gaan. De scheurwijdte  $w_{\max}$  van de doorgaande scheuren die als gevolg van de genomen maatregel niet meer watervoerend zijn, zal in deze gevallen moeten voldoen aan de geldende levensduur, esthetische en functionele eisen.

Op basis van het schema en de eerder beschreven ervaringen wordt het duidelijk dat in het geval van een waterdichte beton-

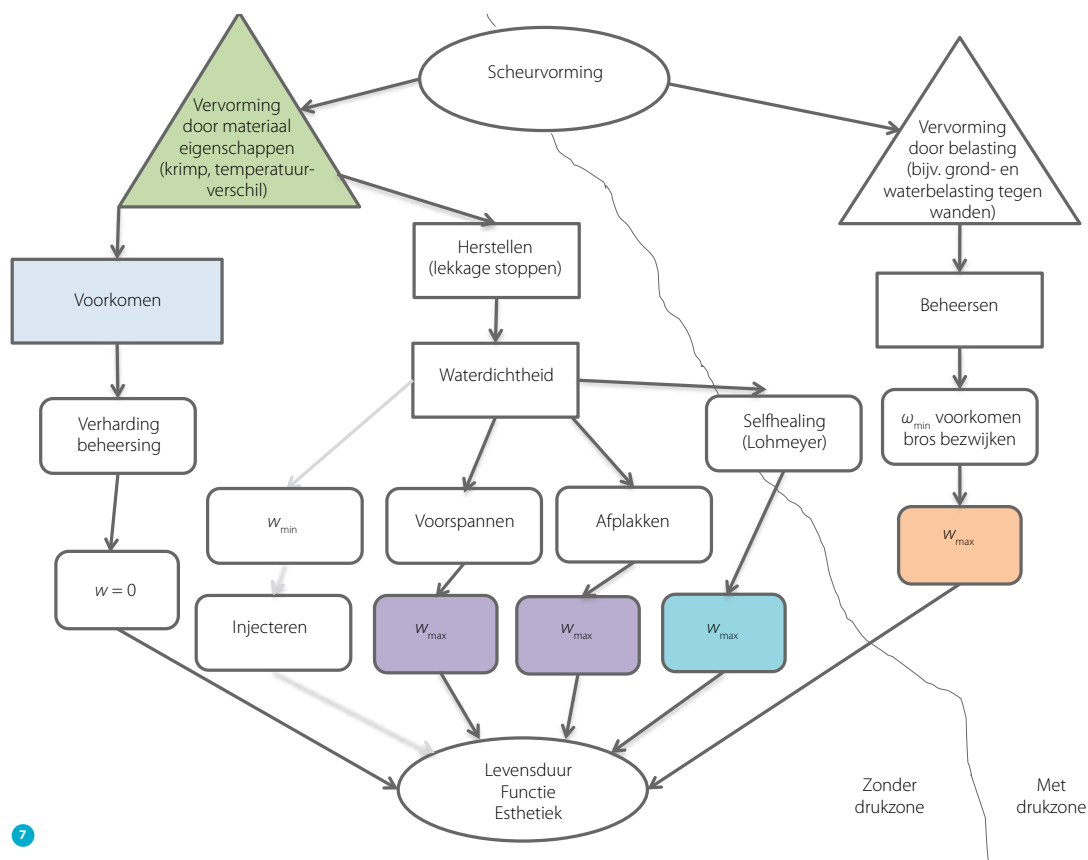
### Zelfherstellend beton

Meer over zelfherstellend beton staat in het artikel 'Zelfherstel bewezen in de praktijk' elders in dit nummer. Online is er meer te vinden op [www.cementonline.nl/zelfheling](http://www.cementonline.nl/zelfheling). Zie ook *Betoniek Standaard* 14/24 – 'Hoera, mijn beton klust zelf' en 13/18 – 'Zelfherstellend beton'. Deze nummers zijn te raadplegen op [www.betoniek.nl](http://www.betoniek.nl).



constructie bij het ontwerp, het beste uitgangspunt is dat doorgaande scheuren worden voorkomen. Wanneer tijdens de uitvoering blijkt dat er alsnog doorgaande scheuren optreden, kan ervoor worden gekozen een van de herstelmaatregelen toe te passen om alsnog waterdichtheid te realiseren. Hierbij moet worden gedacht aan injecteren of afplakken.





7

### Specificeren van waterdichtheid

Om de eisen ten aanzien van waterdichtheid exacter te kunnen beschrijven, kunnen ze worden gespecificeerd met dichtheidsklassen volgens deel 3 van Eurocode 2 (NEN-EN 1992-3 [6]). De dichtheidsklassen beschrijven welke mate van lekkage is geaccepteerd. In het document worden ook maatregelen beschreven die noodzakelijk zijn voor het behalen van de gespecificeerde dichtheidsklasse. Deel 3 van Eurocode 2 is specifiek geschreven voor constructies voor het keren en opslaan van stoffen. De clausules die gaan over het keren van vloeistoffen kunnen echter ook worden gebruikt voor andere soorten constructies waar waterdichtheid is vereist.

Hieronder zijn de verschillende dichtheidsklassen gegeven en hoe deze zijn omschreven in de norm.

- Dichtheidsklasse 0: Enige mate van lekkage aanvaardbaar of lekkage van vloeistoffen is irrelevant.
- Dichtheidsklasse 1: Lekkage moet beperkt blijven tot een kleine hoeveelheid, enkele donkere of vochtplekken zijn aanvaardbaar.
- Dichtheidsklasse 2: Eventuele minimale lekkage is toelaatbaar. Donkere en/of vochtplekken zijn niet acceptabel.
- Dichtheidsklasse 3: Geen lekkage toegestaan.

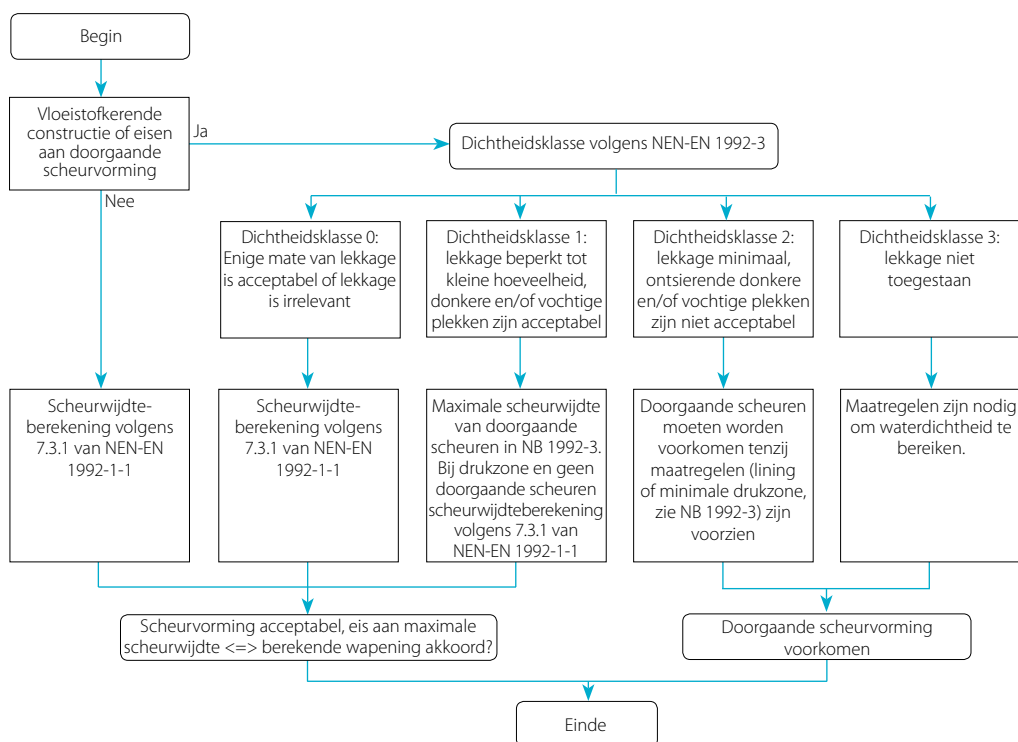
Bij elke dichtheidsklasse wordt aangegeven welke mate van scheuren is geaccepteerd en welke maatregelen moeten worden

genomen om de lekkage te beperken of te voorkomen.

- Dichtheidsklasse 0: De bepalingen in 7.3.1 van NEN-EN 1992-1-1 mogen worden aangehouden. (Scheuren en lekkage zijn geaccepteerd maar mogen het functioneren, het aanzicht en de duurzaamheid van de betonconstructie niet negatief beïnvloeden.)
- Dichtheidsklasse 1: De bepalingen in 7.3.1 van NEN-EN 1992-1-1 mogen worden aangehouden, in het geval dat geen doorgaande scheuren aanwezig zijn en de breedte van de drukzone dient ten minste  $x_{\min}$  te zijn. In het geval van doorgaande scheuren, moeten deze voldoen aan  $w_k$  (hierbij wordt van selfhealing uitgegaan).
- Dichtheidsklasse 2: Doorgaande scheuren door de constructie moeten worden voorkomen tenzij geschikte maatregelen zijn genomen (afplakken, extra voegen). De breedte van de drukzone dient ten minste  $x_{\min}$  te zijn.
- Dichtheidsklasse 3: Speciale maatregelen zullen moeten worden genomen om waterdichtheid te garanderen (afplakken of voorspannen). De breedte van de drukzone dient ten minste  $x_{\min}$  te zijn.

De waarden van  $w_k$  en  $x_{\min}$  worden in de norm toegelicht.

De verschillende dichtheidsklassen en maatregelen zijn samengevat in een schema in figuur 8.



8

Het schema van de dichtheidsklassen volgens de Eurocode vertoont veel overeenkomsten met het schema op basis van de ervaringen uit de praktijk. Ook in het geval van de dichtheidsklassen wordt aangeraden om voor het realiseren van een waterdichte constructie aan te houden dat doorgaande scheuren worden voorkomen.

## Conclusie

Wanneer een betonconstructie wordt gerealiseerd, moet bij aanvang van het ontwerp worden nagedacht over hoe om te gaan met scheurvorming. Daarbij is het van belang inzicht te hebben in het verschil tussen wel en niet-doorgaande scheuren en te begrijpen dat de oorzaak van deze twee typen scheuren verschillend is. In het geval dat er geen waterdichtheidseis geldt, kunnen doorgaande scheuren in een betonconstructie worden geaccepteerd, zolang de scheurwijdte van de scheur voldoet aan de maximale scheurwijdte uit Eurocode 2. Wanneer de constructie waterdicht moet zijn, is de mate waarin enige vorm van lekkage kan worden geaccepteerd bepalend voor de vraag of doorgaande scheuren wel of niet kunnen worden geaccepteerd. Voor de omschrijving van de mate van lekkage kan worden gebruik-gemaakt van de dichtheidsklassen volgens NEN-EN 1992-3. Duidelijk is dat wanneer dichtheidsklasse 3 en 2 (en in mindere mate ook bij 1) wordt voorge-

schreven er geen doorgaande scheuren zijn toegestaan. Dit betekent dat in dat geval voor het realiseren van een duurzame, waterdichte constructie het uitgangspunt moet zijn dat doorgaande scheuren in de betonconstructie moeten worden voorkomen. Wanneer doorgaande scheuren toch aanwezig zijn in een constructie die waterdicht moet zijn, zijn er verschillende mogelijkheden om lekkage te voorkomen en toch een waterdichte constructie te realiseren. ☒

## LITERATUUR

- 1 Wegen, G.J.L., van der, Waterdichtheid van beton: de theorie. *Cement* 2005/6.
- 2 NEN-EN 1992-1-1 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen.
- 3 Breugel, K. van, Self-Healing en vloeistofdichtheid. *Cement* 2003/7.
- 4 Lohmeyer, G., Ebeling, K. Weiße Wannen – einfach und sicher. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2006.
- 5 Hoera, mijn beton klust zelf!. *Betoniek Standaard* 14/24.
- 6 NEN-EN 1992-3 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 3: Constructies voor keren en opslaan van stoffen.
- 7 Stufib-rapport 16: Massieve (zware) betonconstructies.