

Duurzaamheid versus levensduur

ir. Edwin Vermeulen MBA, Betonhuis

Betonconstructies moeten vele decennia meegaan en juist de lange en onderhoudsarme levensduur van beton is goed voor het milieu. Verduurzaming van beton mag dan ook niet ten koste gaan van de levensduur van beton. In dit hoofdstuk gaan we in op het spanningsveld tussen duurzaamheid en levensduur van beton.

Verlagen van het CO₂-profiel van beton

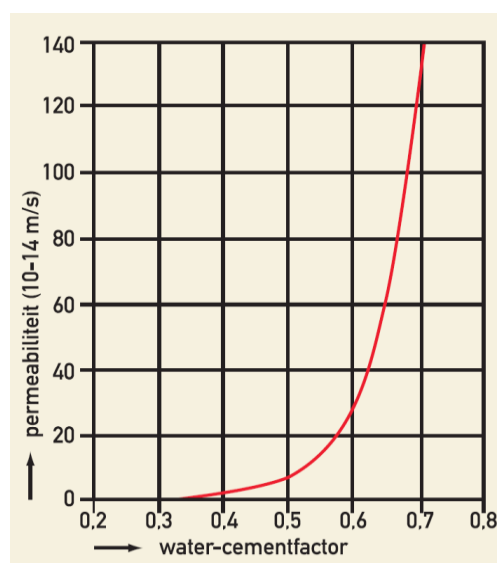
De CO₂-emissie van (ongewapend) beton wordt voor meer dan driekwart bepaald door het cement [1] en meer specifiek door het aandeel portlandcementklinker in het cement. Voor het verlagen van het CO₂-profiel van beton wordt dus al snel naar het cement gekeken. Het CO₂-profiel kan worden verlaagd door een geheel ander bindmiddel te gebruiken, maar zoals in het vorige hoofdstuk beschreven zijn de alternatieven voor cement, zeker voor toepassing in constructief beton, nog beperkt. Er blijven dan nog twee opties over: of minder cement gebruiken of kiezen voor een cementsoort of bindmiddel met een lager gehalte aan portlandcementklinker.

Het verlagen van het CO₂-profiel van beton door cement eruit te halen en daarmee de water-cementfactor te verhogen, of door te kiezen voor cement- en bindmiddelcombinaties met een zeer laag gehalte aan portlandcementklinker, gaat echter meestal wel ten koste van de betonkwaliteit. Vooral bij constructiedelen blootgesteld aan weer en wind zal dit consequenties hebben voor het onderhoud en de levensduur van het beton. We gaan eerst in op de gevolgen van het verhogen van de water-cementfactor en vervolgens op de risico's van het toepassen van zeer lage klinkergehaltes.

Water-cementfactor en levensduur

Permeabiliteit

Het volume aan capillaire poriën in de cementsteen wordt vooral gestuurd door de verhouding tussen de gebruikte hoeveelheid water en cement, de zogeheten water-cementfactor. Bij verlaging van de water-cementfactor wordt de cementsteen dichter, doordat de hoeveelheid en de afmetingen van de capillaire poriën afnemen. Hierdoor daalt zowel de porositeit van het beton (waardoor de sterkte toeneemt) als de permeabiliteit. De permeabiliteit is de mate van doorlaatbaarheid van een materiaal voor vloeistoffen en/of gassen. Doordat er bij aantasting van beton altijd sprake is van transport van vloeistoffen en/of gassen, heeft de permeabiliteit een grote invloed op de levensduur van beton. Daarom wordt voor beton dat in een agressieve omgeving wordt toegepast, een lage water-cementfactor voorgeschreven.



Figuur 1 – Relatie tussen de water-cementfactor en de permeabiliteit.

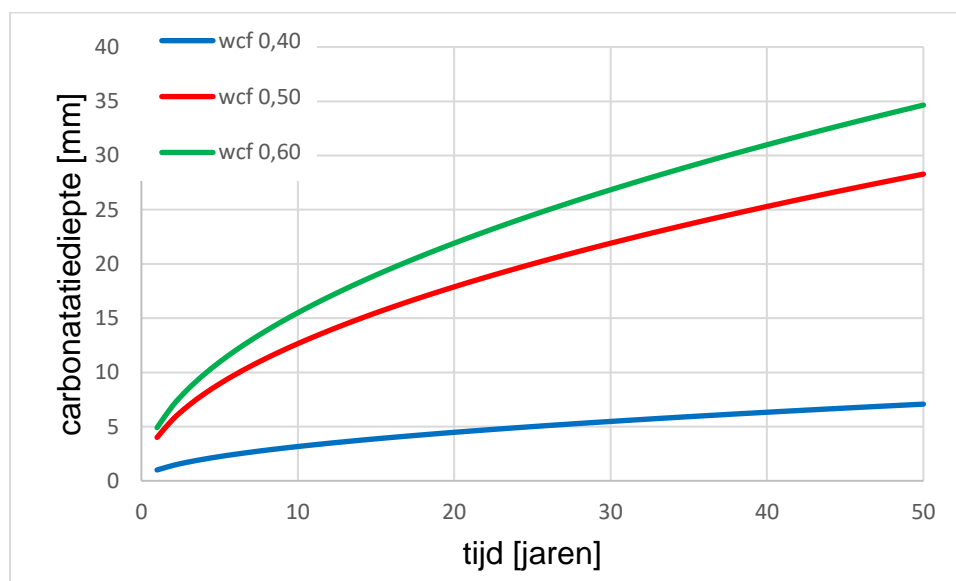
Beton heeft altijd een minimale hoeveelheid water nodig voor de verwerkbaarheid. Bij dit gegeven watergehalte heeft verlaging van de milieukosten door verlaging van het cementgehalte direct consequenties voor de water-cementfactor en dus voor de permeabiliteit.

In figuur 1 wordt de relatie tussen de water-cementfactor en de permeabiliteit weergegeven [2]. Als we nu 10% cement willen besparen en uitgaan van een betonsamenstelling met 330 kg cement en 165 liter water per m³ beton, dan stijgt de water-cementfactor van 0,50 naar 0,56. De permeabiliteit van het beton wordt hierdoor bijna tweemaal zo hoog! Die hogere permeabiliteit heeft een negatief effect op de weerstand tegen carbonatatie, vorst-dooiwisselingen, sulfaten en chloride-indringing en dus op de levensduur van een betonconstructie. Hieronder gaan we in op de relatie tussen de water-cementfactor en de belangrijkste aantastingsmechanismen.

Carbonatatie

Carbonatatie is de reactie van CO₂ uit de lucht met vooral calciumhydroxide uit de cementsteen. Calciumhydroxide wordt hierbij omgezet in calciumcarbonaat (en water), met als gevolg een daling van de pH van het poriewater. Op termijn zal hierdoor ook ter hoogte van de wapening de pH dalen. Bij een pH van minder dan 10 is de passiveringslaag op het wapeningsstaal, een dunne dichte oxidehuid, niet langer stabiel en kan, mits ook vocht en zuurstof aanwezig zijn, corrosie van de wapening optreden. Zoals we hierna zullen zien is carbonatatie bovendien niet alleen een op zichzelf staand schademechanisme, maar heeft het ook invloed op onder andere de vorstbestandheid en weerstand tegen chloride-indringing.

De snelheid waarmee carbonatatie verloopt is sterk afhankelijk van de poriestructuur en dus van de water-cementfactor en wordt daarnaast sterk beïnvloedt door de cementsoort en de nabehandeling. In figuur 2 (gebaseerd op carbonatatiecoëfficiënten gegeven in [3]) wordt de invloed van de water-cementfactor op de carbonatatie van beton op basis van portlandcement weergegeven.



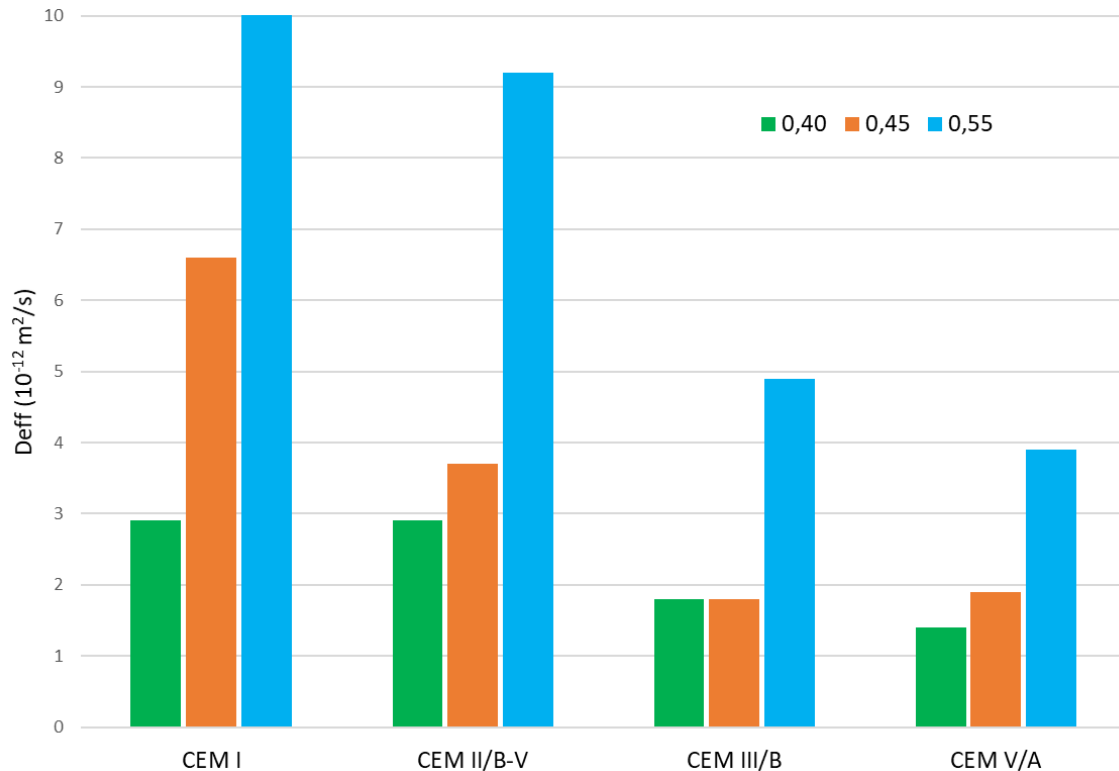
Figuur 2 – Carbonatatie diepte als functie van de water-cementfactor voor beton op basis van een CEM I 52,5 R.

Chloride-indringing

Wapeningscorrosie ten gevolge van het indringen van chloriden afkomstig uit dooizouten of zeewater wordt algemeen beschouwd als de grootste bedreiging voor de levensduur van constructies in gewapend beton. In water opgeloste chloride-ionen dringen van buitenaf via capillaire opzuiging en diffusie in het beton. Bij overschrijding van een kritisch chloridegehalte op de diepte van de wapening resulteert dit in depassivering van de wapening. Door ingedrongen chloriden geïnitieerde wapeningscorrosie gaat vaak gepaard met lokale aantasting in de vorm van zogeheten putcorrosie, die

gekenmerkt wordt door een hoge lokale corrosiesnelheid. Aangezien de corrosieproducten daarbij meestal goed oplosbaar zijn, kan chloride-geïnitieerde wapeningscorrosie reeds over lange tijd plaatsvinden, voordat het uitwendig zichtbaar wordt.

De snelheid waarmee chloride-ionen in beton indringen, is sterk afhankelijk van de toegepaste cementsoort en de water-cementfactor (figuur 3).

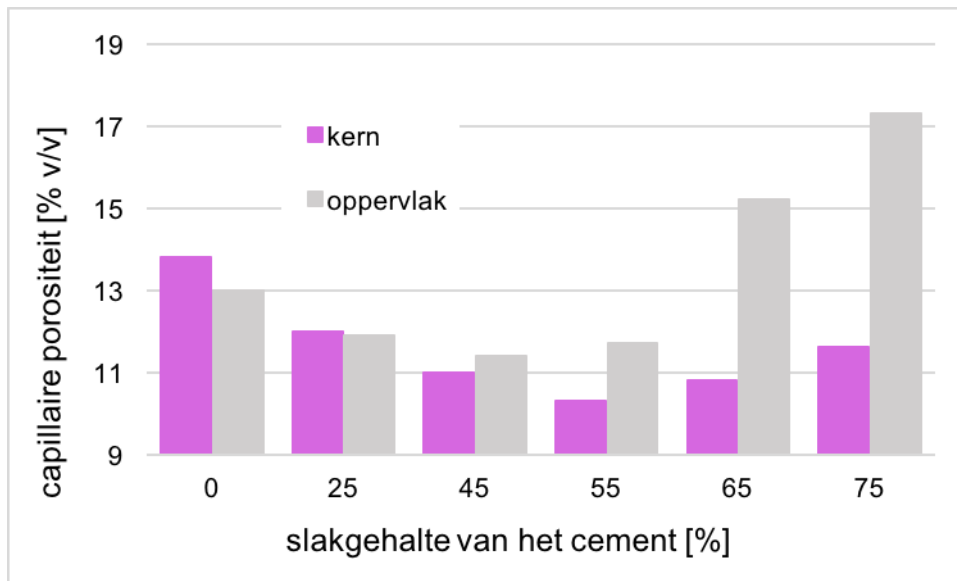


Figuur 3 – Chloridediffusiecoëfficiënt als functie van de cementsoort en water-cementfactor, bepaald na 26 weken zoutoplossing/droog cycli aan betonprisma's (CEM I wcf 0,55 valt uit de schaal; de waarde is circa $140 \cdot 10^{-12}$) [4].

Klinkergehalte en levensduur

Het CO₂-profiel van beton kan worden verlaagd door toepassing van een cement of bindmiddelcombinatie met een zeer laag gehalte aan portlandcementklinker. Omdat we in Nederland al wereldwijd koploper zijn in het gebruik van CO₂-arme cementen, bestaat het risico dat we hierbij gaan kijken naar bindmiddelen met minder dan 25% klinker. Voor zeer specifieke toepassingen, zoals constructiedelen van massabeton, kan dit vanwege de beperking van de warmteontwikkeling een verantwoorde keuze zijn. Maar voor de meeste constructies blootgesteld aan weer en wind is de toepassing van bindmiddelen met minder dan 25% klinker op de lange termijn onverstandig. Bij lage klinkergehaltes neemt door carbonatatie de porositeit aan het oppervlak namelijk sterk toe (figuur 4) en bij minder dan circa 25% klinker leidt dit tot een sterk verminderde weerstand tegen onder andere vorstdooi-wisselingen en chloride-indringing. Voor aantasting door vorst in combinatie met dooizouten ligt dit omslagpunt zelfs al bij circa 50% klinker. Om die reden wordt voor betonwegen ook geen hoogovencement CEM III/B toegepast, maar bijvoorbeeld wel een hoogovencement CEM III/A of een portlandvliegascement CEM II/B-V.

Het klinkergehalte waaronder er sprake is van een sterke toename in porositeit door carbonatatie, ligt bij vliegascement overigens een stuk hoger dan bij slak. Bij vliegascement ligt dit percentage niet bij circa 25% klinker maar bij circa 60% klinker oftewel 40% vliegascement [5][6].



Figuur 4 – Invloed van carbonatatie op de porositeit [7].

De toenemende totale porositeit is niet de enige verklaring voor de afnemende vorstbestandheid bij afnemend klinkergehalte. Niet alleen de totale porositeit neemt toe door carbonatatie, maar ook het aandeel grove poriën, waarin water tot $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan bevriezen, neemt toe.

Landelijk geen milieuwinst

Het lijkt logisch om voor een project eisen te stellen aan de milieukosten van de toegepaste materialen en om deze zodanig te stellen dat er een verlaging ten opzichte van de gangbare milieukosten wordt bereikt. Zeker bij constructief beton zal men dan echter al snel het klinkergehalte proberen te verlagen. Nog afgezien van de risico's voor de levensduur bij zeer lage klinkergehaltes, wordt hiermee landelijk gezien geen milieuwinst gerealiseerd. De regionaal geproduceerde slak en vliegashoudstof worden namelijk al volledig ingezet in cement en beton, zodat er alleen sprake is van een verschuiving bij toepassing van uitzonderlijk hoge slakgehalten in een specifiek project.

Tot slot

Het sterkste milieuvoordeel van beton is zonder twijfel de zeer lange en onderhoudsarme levensduur. Per toepassing moet daarom zeer kritisch worden beoordeeld of CO_2 -verlaging mogelijk en verantwoord is.

Literatuur

1. Resultaten keurmerk Beton Bewust. VOBN, oktober 2016.
2. Neville, A.M., Properties of concrete, Fourth and Final Edition, 2004.
3. Sanjuán, M.A., Piñero, A. and O. Rodríguez, Ground granulated blast furnace slag efficiency coefficient (k value) in concrete. Applications and limits. *Materiales de Construcción*, Vol. 61, 2011.
4. Polder, R.B., Nijland, T.G. and M.R. de Rooij, Experience with the durability of blast furnace slag cement concrete with high slag content (CEM III/B) I in the Netherlands since the 1920's. TNO, 2013.
5. Wu, B. & Ye G., Development of porosity of cement paste blended with supplementary cementitious materials after carbonation. 14th International Congress on the Chemistry of Cement, October 2015, Beijing, China.
6. Thiéry, M. e.a., Effect of Carbonation on the Microstructure and Moisture Properties of Cement based materials. International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto – Portugal, 2011.
7. Utgenannt, Peter, The influence of ageing on the salt-frost resistance of concrete, doctoral thesis, 2004.