

Home » » 'Geclaimde CO2-opname beton onjuist'

# 'GECLAIMDE CO2-OPNAME BETON ONJUIST'

KOOS SCHENK, ALEF SCHIPPERS

VRIJ 10 FEBRUARI 2017

ARTIKEL

Recent werd in Nature Geoscience [1] gesteld dat de CO<sub>2</sub>-opname door beton tijdens de levensduur veel hoger is dan eerder werd aangenomen. Ongeveer de helft van de CO<sub>2</sub>-uitstoot die vrijkomt bij de calcinatie van het materiaal zou dankzij carbonatatie weer worden opgenomen. Een benadering vanuit de cementchemie laat zien dat deze conclusie niet juist is.

Uitgaande van de theorie in diverse literatuur over cementchemie [3-7], blijkt dat cementsteen een veel lagere hoeveelheid CO<sub>2</sub> op kan nemen dan wordt gesteld in de publicatie uit Nature Geoscience [1, 2]. De publicatie in Nature Geoscience is zo complex opgezet, dat het een reviewer al snel een volle werk-week kost om alle met elkaar in verband gebrachte onderzoeken goed te combineren. Daarom benaderen wij de carbonatatie van beton (en cement) van een hele andere kant. Daaruit volgt een realistische schatting dat 1% van de bij productie uitgestoten CO<sub>2</sub> opnieuw kan worden gebonden door het beton. Aanzienlijk minder dus dan de genoemde 50%. Een toelichting.

## CO<sub>2</sub>-OPNAME CHEMISCH TOEGELICHT

Het carbonateren van beton is een chemische reactie in het cement waarbij koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) reageert met calciumhydroxide Ca(OH)<sub>2</sub> en waarbij calciumcarbonaat (CaCO<sub>3</sub>) wordt gevormd (zie voor terminologie het kader 'Terminologie'):



Opvallend hierbij is dat ook water (H<sub>2</sub>O) nodig is bij carbonatatie, waarover later meer.

Een positief effect van carbonatatie is dus dat CO<sub>2</sub> uit de lucht wordt opgenomen. Overigens wordt carbonatatie over het algemeen juist gezien als probleem. Het verlaagt immers de pH van het beton, wat ertoe kan leiden dat de bescherming van de wapening tegen roesten niet meer is gewaarborgd. Maar in dit artikel richten we ons alleen op het positieve aspect, de CO<sub>2</sub>-opname.

### UITSTOOT VERSUS OPNAME

Bij de productie van cement komt CO<sub>2</sub> vrij. Deels wordt dat veroorzaakt door de chemische reactie bij het maken van cement, deels door de energie die nodig is bij de productie. Internationaal gezien schommelt de uitstoot tussen 0,9 en 1,15 ton CO<sub>2</sub> per ton cement (CEM I). Globaal kun je dus stellen dat de verhouding cement en CO<sub>2</sub> ongeveer 1:1 is. Hoewel het artikel in Nature Geoscience alleen rekent met de CO<sub>2</sub> uitstoot als gevolg van de calcinatie, vinden wij dat je moet kijken naar het totale CO<sub>2</sub> offer voor het maken van cement.

Om te bepalen welk percentage van deze uitstoot weer wordt opgenomen, wordt een berekening gemaakt van een denkbeeldig cement. Daartoe wordt eerst het aandeel Ca(OH)<sub>2</sub> in dat cement bepaald, omdat die bepalend is voor de mate waarin beton carbonateert.

### HOEVEELHEID BESCHIKBARE Ca(OH)<sub>2</sub> EN AFGEVANGEN CO<sub>2</sub>

Ca(OH)<sub>2</sub> ontstaat bij de reactie van mineralen uit cement met water (hydratatie). De hoeveelheid mineralen in het cement is dus belangrijk. We gaan in deze beschouwing uit van portlandcement (CEM I, zie kader 'Portlandcement versus hoogovencement'). De mineralogische samenstelling van cement, o.a. gebaseerd op het tijdbestek 1930 – 2013 is:

- 55% C<sub>3</sub>S
- 15% C<sub>2</sub>S
- 10% C<sub>4</sub>AF
- 20% overige mineralen

De mineralen C<sub>3</sub>S en C<sub>2</sub>S reageren met water tot Ca(OH)<sub>2</sub> (naast calciumsilicaat-hydraten, ofwel C-S-H). Ten opzichte van deze cementmineralen ontstaat hierbij 40% respectievelijk 18% Ca(OH)<sub>2</sub>, gerekend in massa [4]. Ook de reactie van C<sub>4</sub>AF met water heeft invloed op de hoeveelheid Ca(OH)<sub>2</sub>. Hierbij komt echter geen Ca(OH)<sub>2</sub> vrij, maar wordt ca 30% Ca(OH)<sub>2</sub> in de mineraalstructuur opgenomen en dus uit de 'te carbonateren voorraad' Ca(OH)<sub>2</sub> onttrokken [4].

In totaal komt dit dus neer op de volgende hoeveelheid Ca(OH)<sub>2</sub>:

55% C <sub>3</sub> S	x 40% Ca(OH) <sub>2</sub> na hydratatie	= 22% in cementsteen
15% C <sub>2</sub> S	x 18% Ca(OH) <sub>2</sub> na hydratatie	= 3% in cementsteen
10% C <sub>4</sub> AF	x -30% Ca(OH) <sub>2</sub> na hydratatie	= -3% in cementsteen
20% overige mineralen		
Totaal beschikbaar Ca(OH) <sub>2</sub> voor carbonatatie		= 22% in cementsteen

Bij volledige hydratatie van cement zal dus 22% Ca(OH)<sub>2</sub> vrijkomen. Omdat je met 1 mol Ca(OH)<sub>2</sub> 1 mol CO<sub>2</sub> kunt binden (zie eerder genoemde reactie) en de molaire

massaverhouding tussen  $\text{Ca(OH)}_2$  en  $\text{CO}_2$  74: 44 (59%) bedraagt, kan er uit de  $\text{Ca(OH)}_2$  dus 59%  $\text{CO}_2$  worden gebonden. In totaal is dat dus  $22 \times 59 = 13\%$ .

**Tussentijdse conclusie: als al het portlandcement (100%) hydrateert, zal in het gunstige geval maar 13%  $\text{CO}_2$  worden afgevangen van de ongeveer 100% die bij de productie werd uitgestoten (uitgaande van  $\text{CO}_2$ -uitstoot versus massa cement van 1:1).**

## VOCHTFRONT

Carbonatatie verloopt uitsluitend bij aanwezigheid van een kleine hoeveelheid water (<50%). Droog beton carbonateert niet omdat water ontbreekt, nat beton carbonateert niet omdat  $\text{CO}_2$  in dat geval niet door de met water gevulde poriën kan dringen.

Beton kan dus uitsluitend op het vochtfront, de scheidingslijn tussen nat en droog in een cementporie, kortstondig een klein beetje carbonateren.

Volledige carbonatatie van beton (waarbij dus alle 22%  $\text{Ca(OH)}_2$  reageert) is dan ook het resultaat van veelvuldige vochtfrontbewegingen in de cementporiën, door het beton oppervlak wisselend (voor langere tijd) te bevochtigen dan wel uit te drogen. Dit herhaalde uitdrogen en opnieuw met water verzadigen kan worden gezien als het herhaald verversen van de lucht ( $\text{CO}_2$ ) in de poriën.

Voorbeelden van dergelijke betonoppervlakken zijn onderkanten van galerijplaten. Bij betonoppervlakken die regelmatig nat worden/beregenen komt het uitdrogingsfront nooit verder dan een enkele mm het beton in. Binnenshuis beton droogt eenmalig volledig uit, waarbij eenmalig een te verwaarlozen kleine hoeveelheid  $\text{Ca(OH)}_2$  carbonateert.

Overigens kan bij verdergaande carbonatatie van het beton ook de C-S-H-matrix carbonateren. Deze reactie vindt uitsluitend plaats in de buitenste schil bij calciumarme cementen zoals hoogovencement. Bij portlandcement komt deze vorm van carbonatatie eigenlijk nooit voor [6].

## MINDER DAN 13%

Hierboven werd aangegeven dat cement slechts 13% van het 100%  $\text{CO}_2$  offer, dat bij de productie werd uitgestoten weer kan opnemen. In de praktijk zal dat nog veel lager liggen. Daarvoor zijn twee redenen.

### REDEN 1: HYDRATATIEGRAAD

De berekende waarde van 13% gaat uit van 100% hydratatie. Omdat beton zelden een hogere water-cementfactor heeft dan 0,55, zal beton zelden of nooit een hogere hydratatiegraad hebben dan 60% voor een portlandcement CEM I 32,5 en circa 80% voor een CEM I 42,5 [grafiek 4 uit 7]. Omdat het onderzoek meerdere decennia behelst (1930 – 2013) gaan we uit van een hydratatiegraad van 60%. De 40% ongehydrateerd cement kan niet carbonateren.

Dit betekent dat van eerder genoemde 13% er slechts 8%  $\text{CO}_2$  wordt opgenomen.

### REDEN 2: CARBONATATIEDIEPTE

Beton zal nooit over de volledige doorsnede carbonateren, ook al bevindt het zich in voor carbonatatie gunstige omstandigheden.

Locher rapporteerde in [5]:

*Maximale carbonatatie diepte van beton na (geschat) 30 jaar in een industriële omgeving beschermd tegen neerslag in Duisburg-Rheinhausen (Duitsland) bedraagt voor een B15 tot 30 mm en voor een B45 tot 3 mm carbonatatie diepte.*

Ook andere auteurs en onderzoekers komen tot vergelijkbare voorspellingen en testresultaten.

Dit betekent dus dat lang niet al het beton carbonateert, ook niet onder deze voor carbonatatie gunstige omstandigheden.

We gaan uit van een carbonatatie diepte van 20% van de betondikte. Dit komt bijvoorbeeld overeen met 30 mm carbonatatie diepte bij een wanddikte van 150 mm, of 120 mm carbonatatie diepte bij 600 mm wanddikte.

### **REDEN 3: LOCATIE BETON**

Zoals gezegd carbonateert beton niet onder alle omstandigheden maar vooral als oppervlakten “buiten beschut” zijn. Niet alle betonoppervlakken bevinden zich in die omstandigheden. Maar omdat ook andere oppervlakken altijd wel enige carbonatatie vertonen, doen we een ruimte inschatting dat 50% van al het oppervlak carbonateert.

## **CONCLUSIE**

Als we deze drie effecten samen nemen, dus 60% gemiddelde hydratatie (reden 1), 20% carbonatatie diepte (reden 2) en 50% carbonateerbaar oppervlak (reden 3), bij een maximaal theoretische CO<sub>2</sub> binding van 13%, is slechts ongeveer 0,8% van het totale CO<sub>2</sub> offer te binden. Aanzienlijk minder dan de in [1 en 2] genoemde 50%.

## **MODERN CEMENT**

In ons voorbeeld cement zijn we van een ingeschatte gemiddelde mineralogisch samenstelling uitgegaan in de periode 1930 – 2013. Hoe zit dat met een modern cement?

Een cement van ENCI Maastricht bevat gemiddeld 63% C<sub>3</sub>S, 13% C<sub>2</sub>S en 9% C<sub>4</sub>AF. Voor alle cementen (CEM I 32,5 t/m 52,5) zal de cementsteen bij 100% hydratatie voor 24,6% uit Ca(OH)<sub>2</sub> bestaan. Door deze 24,6% Ca(OH)<sub>2</sub> is dan 14,6% CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer te herbinden.

Stel verder dat de hydratatie geen 60% maar 80% bedraagt (reden 1) en dat reden 2 onveranderd blijft. Dan zal er hooguit 1,2% van de bij productie vrij gekomen CO<sub>2</sub> door de levensduur van beton herbonden worden.

## **BETON NIET CO<sub>2</sub>-NEGATIEF**

Het is wat ons betreft evident dat cement nooit de in [1] en [2] genoemde hoeveelheden CO<sub>2</sub> kan opnemen, hoe je er ook aan rekent. Wij verwachten dan ook geen CO<sub>2</sub>-negatief beton.

### **PORTLANDCEMENT VERSUS HOOGOVENCEMENT**

Hoogovencement reageert net als portlandcement met water tot cementsteen. Omdat hoogovencement maar voor een deel uit portlandcementklinker

bestaat, zal het CO<sub>2</sub>-bindend vermogen ook aanzienlijk minder zijn. Daarbij komt dat globaal gezien hoogoven cement maar enkele procenten omvat van alle toegepaste cement, zeker gezien de onderzochte periode 1930 – 2013. Om deze reden zijn deze cementen niet verder in deze notitie vermeld/

## LITERATUUR

1. Zhu Liu e.a., Substantial global carbon uptake by cement carbonation, *Nature Geoscience* 9, 880–883, 2016.
2. [Vermeulen, E.M.M., CO<sub>2</sub>-footprint beton veel lager dan gedacht](#), *Cementonline.nl*, november 2016.
3. Neville, A.M., Brooks, J.J., *Properties of Concrete*. Pearson Education Limited, 1963.
4. Czernin, W., *Cement chemistry and physics for civil engineering*. Chemical Publishing Company, 1962.
5. Locher, F.W., *Cement, principles of production and use*. Verlag Bau und Technik, 2006.
6. [Rooij, M.R. de. Cementsteen](#). Aeneas Media, 2010.
7. [Hoe poreus is beton, \*Betoniek\* 6/3](#). Aeneas Media, maart 1983.

## NOOT VAN DE REDACTIE

De redactie van *Betoniek* heeft kennisgenomen van dit artikel en heeft twijfels over de inhoudelijke juistheid. Schippers en Schenk menen dat de het artikel van Nature Geoscience er met de conclusie t.a.v. CO<sub>2</sub>-opname bij carbonatie een factor 50 tot 60 naast zit. Dat terwijl diverse technische commissies zich over het artikel in Nature Geoscience hebben gebogen en hebben geconcludeerd dat het in grote lijnen geen nieuwe informatie en inzichten geeft. De methodiek is grotendeels in lijn met EN 16757 (Duurzaamheid van bouwwerkzaamheden) en andere publicaties.

Vooraf dit aanzienlijke verschil van inzicht roept vraagtekens op.

Een deel van de bezwaren bij het artikel van Schippers en Schenk betreft de inschatting van het percentage van het beton dat carbonateert. Schippers en Schenk gaan in de stap van 13% naar 1% alleen uit van beton in de gebruiksfase. Mortels en de recyclingfase worden buiten beschouwing gelaten. En juist mortels en de recyclingfase nemen een aanzienlijk deel van de CO<sub>2</sub>-opname voor hun rekening.

Verder relateren Schippers en Schenk de CO<sub>2</sub>-opname van beton aan de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot, dus als gevolg van zowel de calcinatie als de energie die wordt gebruikt bij de cementproductie (volgens hun circa 1 ton CO<sub>2</sub> per ton cement). Het artikel in Nature Geoscience baseert zich alleen op CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van calcinatie, die ongeveer 50% van het totaal bedraagt.

De redactie is evenwel van mening dat een discussie over dit onderwerp waardevol is. Daarom vinden we dat we ruimte moeten bieden aan de inzichten van Schippers en Schenk. Als u wilt reageren op dit artikel, stuur dan een mail aan [betoniek@aeneas.nl](mailto:betoniek@aeneas.nl) en [info@slimbreker.nl](mailto:info@slimbreker.nl).

*De redactie*