

# Aantasting door zuren

Zuren zijn agressief voor beton. Aantasting door zwakke en matig sterke zuren kan gedurende lange tijd worden voorkomen. Bij sterke zuren helpen de gebruikelijke betontechnologische maatregelen onvoldoende. Blootstelling van beton aan zuren komt regelmatig voor in agrarische toepassingen, en in de chemische en voedingsmiddelen industrie. Een specifieke vorm van zuuraantasting komt voor in riolen, namelijk de biogene zwavelzuuraantasting. Welke factoren zijn van invloed op de snelheid van aantasting? Welke maatregelen tegen zuuraantasting worden aanbevolen?

## Wat is zuur?

De scheikunde definieert een zuur als 'een stof met één of meer waterstofatomen die door metalen vervangbaar zijn'. Bovendien is een zuur pas zuur als deze stof in water is opgelost. Of iets zuur is, is te proeven. Zo smaakt azijn zuur. Om gezondheidsredenen zijn niet alle zuren te proeven. Indicatoren, zoals lakmoes, bieden hier de oplossing. Indicatoren zijn stoffen die in een zure oplossing een andere kleur geven dan in een niet-zure oplossing. Niet alle zuren zijn even zuur. De mate van zuur wordt weergegeven als zuurgraad en wordt uitgedrukt als de pH-waarde. De pH-waarde is gelijk aan de negatieve logaritme van de waterstof-ionenconcentratie ( $\text{pH} = -\log \text{H}^+$ ). Voor een neutrale oplossing is de  $\text{pH} = 7$ . Voor een zure oplossing is de  $\text{pH} < 7$ . Als de  $\text{pH} > 7$  is, wordt de oplossing basisch genoemd. Bij zuren worden sterke zuren en zwakke zuren onderscheiden (tabel 1).

Tabel 1  
Indeling zuren

Indeling zuren	anorganische zuren	organische zuren
sterke zuren	salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ) waterstofbromide ( $\text{HBr}$ ) waterstoffluoride ( $\text{HF}$ ) waterstofjodide ( $\text{HJ}$ ) zoutzuur ( $\text{HCl}$ ) zwavelzuur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	
zwakke zuren	boorzuur ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (zacht) water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) koolzuur ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) fosforzuur ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) zwavelwaterstof ( $\text{H}_2\text{S}$ )	azijnzuur ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ) boterzuur ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{-COOH}$ ) carbolzuur (fenol) ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) citroenzuur ( $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_5\text{-COOH}$ ) humuszuur ( $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ ) melkzuur ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{O-COOH}$ ) mierenzuur ( $\text{H-COOH}$ ) oxaalzuur ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ ) tannine ( $\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{46}$ ) wijnsteenzuur ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ )

Vughterweg 47P  
5211 CK 's-Hertogenbosch  
Postbus 3532  
5203 DM 's-Hertogenbosch

(073) 203 204 8

info@cementenbeton.nl  
www.cementenbeton.nl

Sterke zuren zijn in oplossing volledig gesplitst in een H<sup>+</sup>-ion en een zuurrest-ion. Zwakke zuren zijn in oplossing gedeeltelijk gesplitst. Verhoging van de concentratie van het zuur zal dan niet automatisch leiden tot een verlaging van de pH, omdat het evenwicht in de oplossing bepaalt hoeveel van het zuur in oplossing gaat.

Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen anorganische (minerale) zuren en organische zuren. Anorganische zuren zijn kleine moleculen die geen koolwaterstofatomen bevatten. De sterke zuren zijn anorganisch. Organische zuren hebben één of meer koolstofatomen gebonden. Het zijn vaak grote moleculen met complexe atoomverbindingen. Organische zuren behoren meestal tot de zwakke zuren.

### Bronnen van zuuraantasting

Zuuraantasting van beton komt veelal voor in:

- > *agrarische sector*  
Bekend is de aantasting door melkzuur en azijnzuur bij kuilvoerplaatsen. Deze zuren ontstaan na anaërobe afbraak van de in de mest aanwezige vetzuren tijdens de opslag.
- > *industrie*  
De bij de industrie vrijkomende zwavel- en stikstofverbindingen reageren met zuurstof en vocht tot de sterke zuren zwavelzuur en salpeterzuur.
- > *rioleringen*  
Hier kan een specifieke vorm van zwavelzuuraantasting optreden.

### Soorten zuuraantasting

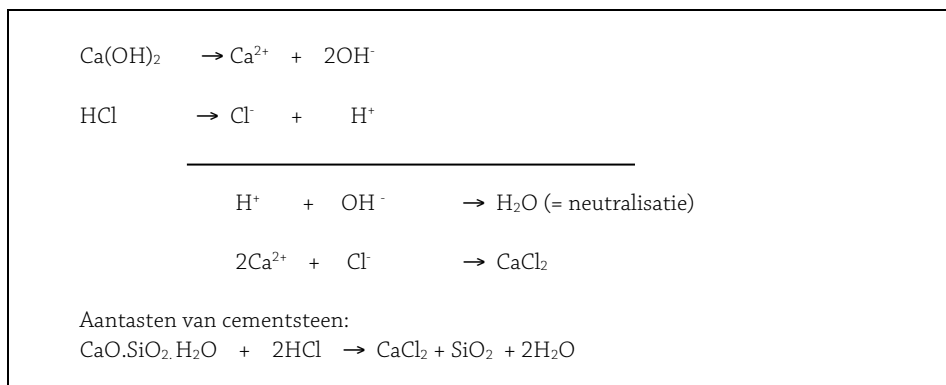
Per definitie is beton een steenachtig toeslagmateriaal dat bij elkaar wordt gehouden door cementsteen, dat gevormd is door de chemische reactie tussen cement en water. Cement en water verhardten samen tot calciumsilicaathydraat, CaO.SiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O, ook wel CSH genoemd. De cementsteen bestaat naast calciumsilicaathydraat ook uit ongehydrateerd cement, calciumhydroxide en water. Het calciumhydroxide zorgt voor een pH-waarde van het poriewater van meer dan 12,5. In beton neemt cementsteen circa 1/3 deel van het volume in. Het toeslagmateriaal vormt het grootste volumedeel. Het in Nederland gebruikte toeslagmateriaal bestaat voor een belangrijk deel uit kiezelzuur (SiO<sub>2</sub>).

Bij de zuuraantasting van beton kan onderscheid worden gemaakt in aantasting door uitloging en door oplossing.

- > Uitloging ontstaat doordat concentraties van bepaalde ionen (bijvoorbeeld calcium- en hydroxide-ionen) in het poriewater hoger zijn dan in de omgeving. Door de concentratieverschillen ontstaat er een transport van de ionen vanuit het beton naar de omgeving. Hoewel uitloging niet alleen bij zuuraantasting plaatsheeft (ook voor pH-neutrale of basische oplossingen kan uitloging optreden), treedt uitloging wel bijna altijd gelijktijdig op met zuuraantasting.
- > Oplossing ontstaat doordat het chemisch evenwicht tussen de vaste stof en de omringende (porie)vloeistof is verbroken; hierdoor gaat de vaste stof in oplossing.

### Aantasting door zuren

De algemene reactie van het beton bij contact met een zuur, bijvoorbeeld zoutzuur, is dat in eerste reactie de zuur-ionen reageren met de hydroxide-ionen (zie kader).



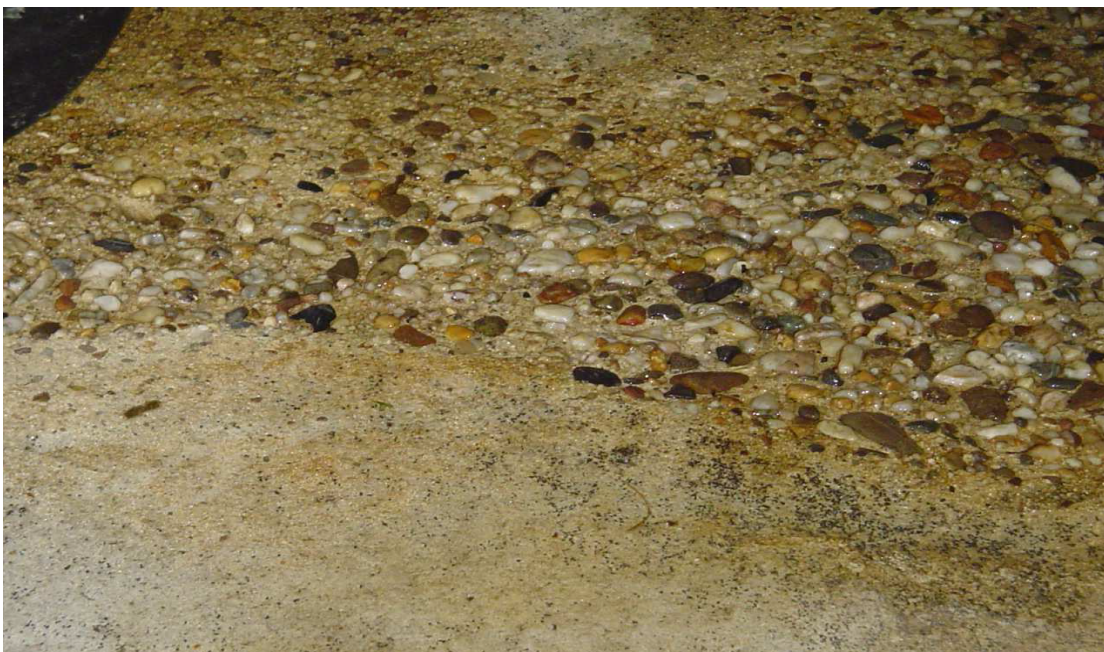
Hierbij worden watermoleculen gevormd door de reactie van de hydroxide-ionen en de waterstofionen. Dit proces noemt men neutralisatie. Hierdoor neemt de zuurgraad van het zuur af.

Tevens neemt de pH van het beton af. Bij de reactie met zoutzuur wordt ook calciumchloride gevormd.

Om de chemische stabiliteit van de cementsteen te behouden, gaat calciumhydroxide in oplossing. Zolang de pH van de zuuroplossing niet gelijk is aan de (basische) pH (van 12,5 of meer) die nodig is om de cementsteen (calciumsilicaathydraten =  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{CSH}$ ) stabiel te houden, blijft er calciumhydroxide in oplossing gaan. Hierdoor neemt de porositeit en daarmee ook de permeabiliteit van de cementsteen toe en heeft de indringing van het zuur nog sneller plaats. Wanneer de voorraad calciumhydroxide is uitgeput, heeft aantasting van het CSH plaats. Hierbij blijft een gel over die geen bindende werking heeft.

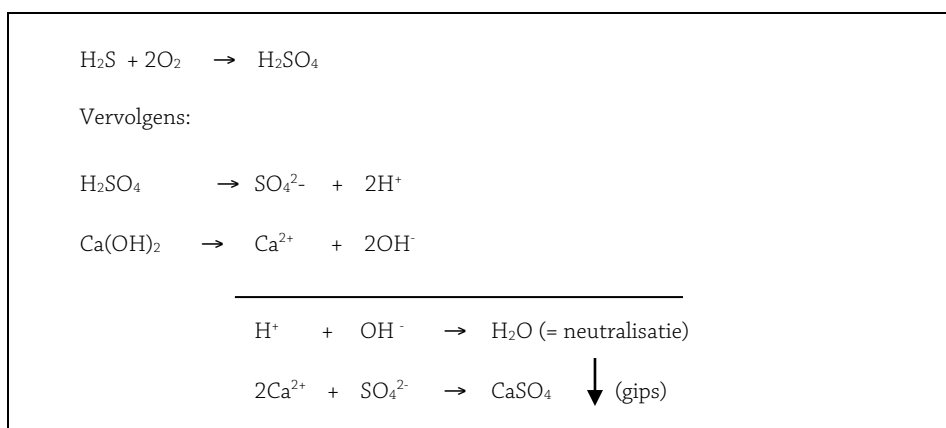
Twee specifieke vormen van zuuraantasting zijn biogene zwavelzuuraantasting en aantasting door zacht water.

*Aantasting beton door organische zuren, zoals melkzuur, azijnzuur en boterzuur*



#### *Biogene zwavelzuuraantasting*

Onder invloed van bacteriën kan het zwavelwaterstof ( $\text{H}_2\text{S}$ ) in de gaszone van rioolbuizen worden geoxideerd tot het veel sterkere zwavelzuur dat een destructieve invloed heeft (zie kader).



Hierbij zijn de volgende processen te onderscheiden:

1. omzetting van zwavelverbindingen in het rioolwater naar sulfiden door anaërobe bacteriën;
2. ontgassing van het rioolwater, waarbij de overdracht plaatsheeft van de sulfideverbindingen die in het water zijn opgelost naar gasvorm in de riool atmosfeer;
3. omzetting van sulfiden naar zwavelzuur door aërobe bacteriën, die zich op de vochtige wanden van de buis boven het gemiddelde waterpeil bevinden;
4. aantasting van de cementsteen door het geconcentreerde zwavelzuur bij een pH-waarde die beneden 1 kan dalen. De uiteindelijke aantasting van de cementsteen heeft plaats door oplossing. Aan het oppervlak wordt gips gevormd dat vaak als een korst op het oppervlak achterblijft. Deze korst heeft een bufferende werking voor verdere aantasting.

#### *Biogene zwavelzuuraantasting van een rioolbuis*



#### *Microbiologische salpeterzuuraantasting*

Bij koeltorens heeft het betonoppervlak (20.000-100.000 m<sup>2</sup>) aan de binnenzijde een vrijwel constante temperatuur van 30 °C bij een RV van 95-100%. Dit is een ideaal leefklimaat voor algen die een voedingsbodem vormen voor salpeterzuurvormende bacteriën (nitrificanten).

De rookgassen in de koeltorens bevatten geringe hoeveelheden ammoniakgas (NH<sub>3</sub>) die door de bacteriën op het betonoppervlak worden omgezet in salpeterzuur. De aantasting van het betonoppervlak door het zeer agressieve salpeterzuur heeft afzanden en afvallen van betonschollen tot gevolg.

#### *Aantasting door zacht water*

Zacht water is water dat weinig of geen kalk (CaO) bevat. De definitie luidt: water met een totale hardheid kleiner dan 0,55 mmol/l (circa 30 mg CaO per liter), bepaald volgens NEN 6441.

In dit water kan de (vrije) kalk uit de cementsteen gemakkelijk oplossen. Zacht water is matig agressief. Volgens bijlage A van NEN 8005 is milieuklasse XA2 van toepassing.

#### *Aantasting door koolzuurhoudend water*

De agressiviteit van water wordt versterkt als daarin kooldioxide CO<sub>2</sub> is opgelost. Hierdoor ontstaat koolzuurhoudend water (pH = 5,7).

Een aantal opeenvolgende reacties resulteert in de vorming van het gemakkelijk oplosbare calciumbicarbonaat.

#### *Aantasting van beton na 30 weken blootgesteld te zijn aan een pH = 1 (links) en een pH = 0 (rechts)*



### Factoren die van invloed zijn op de snelheid van aantasting

De mate van aantasting door een zuur hangt af van de aard en de concentratie van het zuur.

Sterke zuren zoals zoutzuur, salpeterzuur en zwavelzuur zijn destructief. Maar ook zwakke zuren, zoals melkzuur (voorkomend in bijvoorbeeld melkfabrieken), kunnen destructief zijn. Koolzuur vertoont als zwak zuur een minder destructieve werking doordat de bij de reactie gevormde calciumcarbonaat, dat slecht oplosbaar is, de poriën verstopt.

De snelheid waarmee en de mate waarin beton door zuur wordt aangetast, worden bepaald door de volgende factoren:

#### *Agressiviteit van de oplossing*

De mate van aantasting wordt bepaald door de pH-waarde van de zure vloeistof. NEN-EN 206 heeft voor zuren in grondwater daarom de milieuklassen XA gedefinieerd op basis van de pH-waarde en voor grond op basis van het zuurgehalte (tabel 2). Voor betonconstructies die bij het gebruik in aanraking komen met zuren is in bijlage AA van NEN 8005 een tabel opgenomen met daarin o.a. de meest voorkomende zuren (tabel 3) en een keuzeschema opgenomen voor de bepaling van de van toepassing zijnde milieuklasse XA.

In geval van beton in contact met grond en/of grondwater wordt aanbevolen om grond en grondwater te laten onderzoeken (geochemisch onderzoek) op de parameters zoals genoemd in tabel 2 van NEN-EN 206. Als de agressiviteit zo sterk is dat milieuklasse XA3 niet meer van toepassing is dan heeft u de volgende mogelijkheden:

- > pas beton toe in milieuklasse XA3, maar accepteer aantasting;
- > pas een opofferingsdekking toe of breng een beschermlaag aan.

Tabel 2

*Grenswaarden van de milieuklassen voor chemische aantasting door zuren in grondwater en grond volgens NEN-EN 206. Het agressieve chemische milieu, zoals in deze tabel is ingedeeld, is gebaseerd op natuurlijke grond en grondwater met een water-/grondtemperatuur tussen 5 °C en 25 °C en een zo lage watersnelheid dat een statische situatie wordt benaderd*

Milieuklasse XA				
Chemische bestanddelen	Referentie beproevingsmethoden	XA1 licht	XA2 matig	XA3 sterk
<b>grondwater</b>				
pH	ISO 4316	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	4,5 - 4,0
CO <sub>2</sub> mg/l agressief	PrEN 13577	15 - 40	40 - 100	>100
<b>grond</b>				
zuurgraad (ml/kg)	DIN 4030-2	>200		

Tabel 3  
Overzicht zuren met een globale indicatie van de agressiviteit voor beton, conform bijlage AA van NEN 8005

Naam	Reactie <sup>1</sup>	Aggressiviteit <sup>2</sup>
azijnzuur	O	3-4
boorzuur	O	2
carbolzuur (fenol)	O/U	2-3
citroenzuur	O	4
fosforzuur	O	4
humuszuur	O	4
melkzuur	O	3
mierenzuur	O	3
oxaalzuur	O	1
salpeterzuur	O	5
tannine (looistof)	O	1-2
waterstoffluoride	O	5
wijnsteenzuur	O	1
zoutzuur	O/C	5
zwavelzuurstof	O	2
zwavelzuur	O/E	5
zacht water	O	3

<sup>1)</sup> **Reactietype:**  
 O = oplossing  
 U = uitwisseling  
 E = expansie  
 C = corrosie wapening

<sup>2)</sup> **Agressiviteit:**  
 1 = onschadelijk  
 2 = licht agressief  
 3 = matig agressief  
 4 = sterk agressief  
 5 = zeer sterk agressief

**Milieuklasse:**  
 nvt  
 XA1  
 XA2  
 XA3  
 Beton beschermen

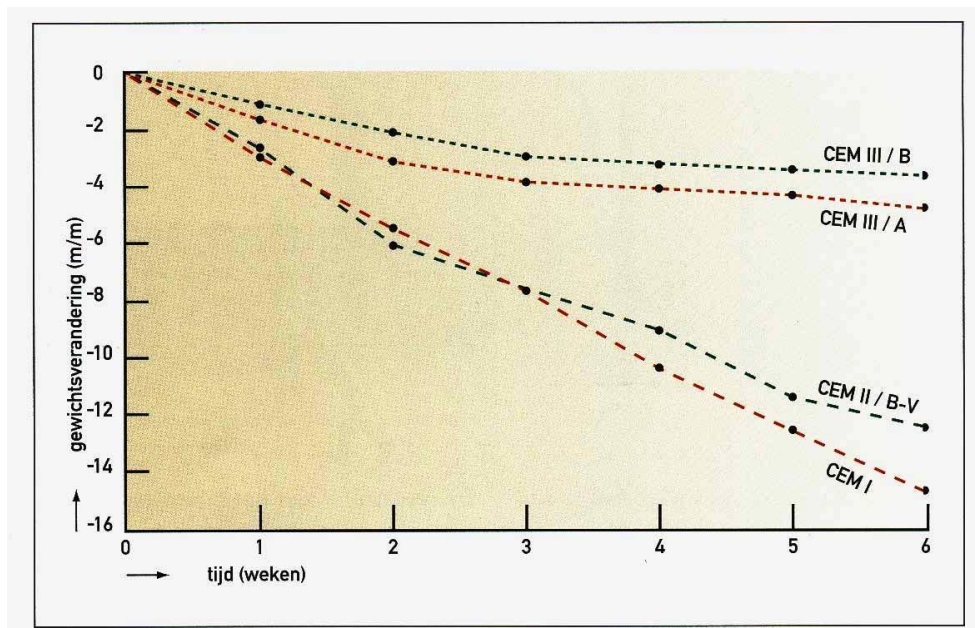
*Mate waarin het zuur wordt ververst*

Bepalend voor de snelheid van aantasting is vooral de mate waarin het zuur wordt ververst. Het gevolg van de aantasting is dat het zuur wordt geneutraliseerd. Wil het zijn werking blijven doen, dan zal dus opnieuw vers zuur moeten worden aangevuld.

### Weerstand van beton tegen aantasting

Zoals uit tabel 2 blijkt wordt beton reeds aangetast vanaf een pH < 6,5. Vanaf een pH < 4 is sprake van een zeer sterke mate van agressiviteit. Bij een sterk zuur milieu met een pH = 2 is nog een duidelijke invloed van de cementsoort op de mate van aantasting (figuur 1). Beton samengesteld met hoogovencement (met een hoog slakgehalte) wordt minder aangetast dan beton op basis van portlandcement. Hier is blijkbaar de hogere dichtheid van de cementsteen van hoogovencement de reden voor de hogere zuurbestandheid van het beton.

Figuur 1  
Massaverandering bij 6 weken blootstelling aan pH = 2

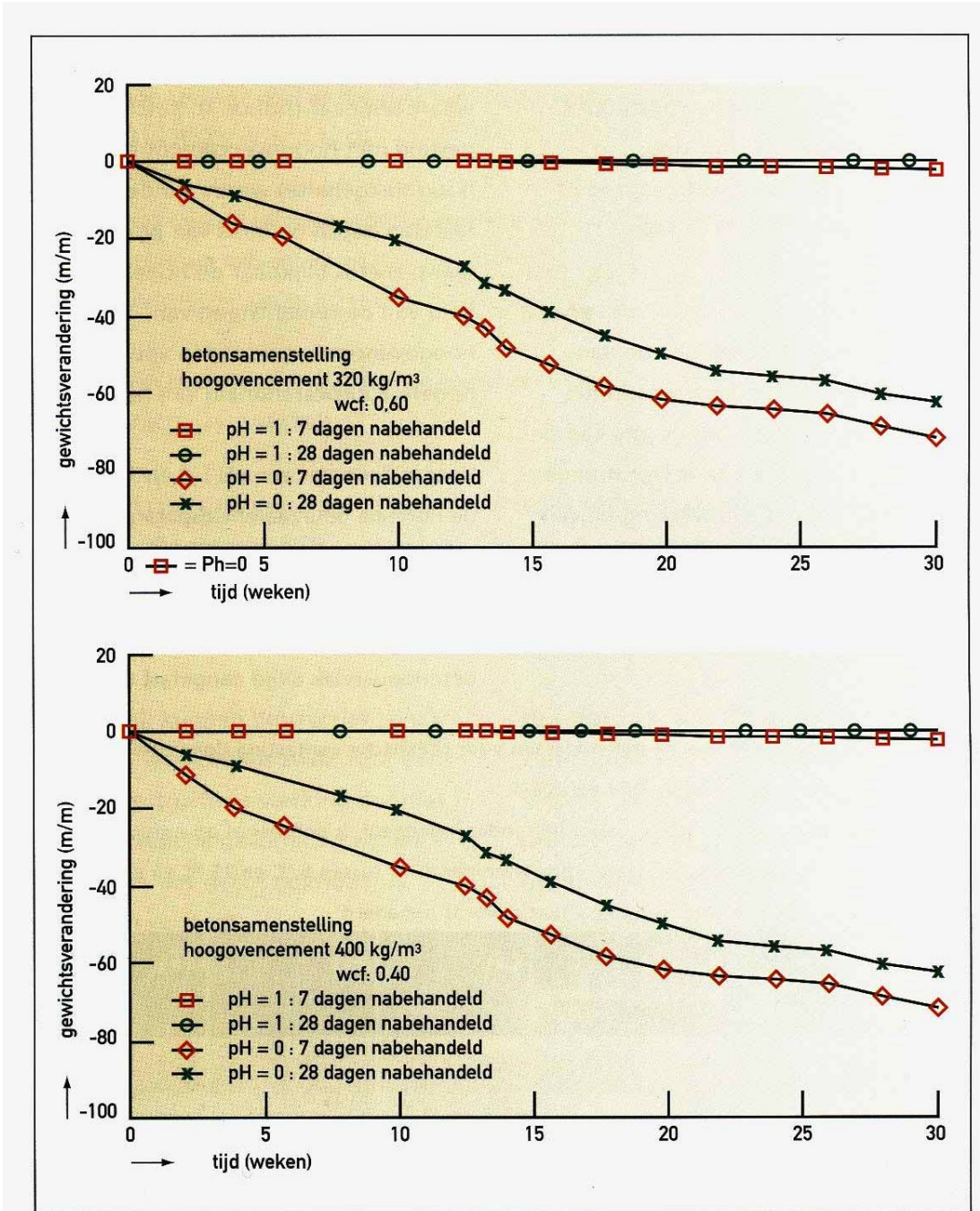


Voor milieus met een pH = 0 en 1 blijken de normale duurzaamheidsparameters voor beton zoals de water-cementfactor, cementsoort en nabehandeling, niet meer te gelden. In deze milieus wordt het betonoppervlak altijd aangetast (figuur 2, pag. 8).

### Preventieve maatregelen

Beton is niet bestand tegen langdurige belasting met zuur. Bij een minder sterk agressief milieu (pH > 4) kan de aantasting lange tijd worden uitgesteld door te zorgen voor een dicht beton. Dit kan door de juiste keuze van de cementsoort (hoogovencement), een voldoende lage water-cementfactor en een goede nabehandeling. Bij een zeer sterk agressief milieu (pH < 4) helpen de gebruikelijke betontechnologische duurzaamheidsparameters onvoldoende. Een oplossing is het aanbrengen van extra dekking als opofferingslaag. Een andere oplossing is het beton te voorzien van een coating, een impregneermiddel (op basis van epoxy) of een stevig slagvast kunststofmateriaal. Dit is vaak duurder en minder betrouwbaar dan het aanbrengen van extra betondekking (als opofferingslaag).

Figuur 2  
Vergelijking massaverandering bij pH = 0 en pH = 1 tussen beton met wcf = 0,60 en wcf = 0,40





## Literatuur

1. Betoniek 3/3, Chemisch aantasting van beton, maart 1974
2. Betoniek 5/1, Zwavelzuuraantasting, januari 1980
3. Betoniek 5/11, Beton en regenwater, januari 1981
4. Betoniek 5/13, Chemische invloeden op beton, maart 1981
5. Betoniek 11/1, 't Is zuur, januari 1998
6. Betoniek 15/16, Beton in XA, juli 2011
7. Braam, C.R., Aantasting van beton door zuur. Agrabeton nr.2, 1997
8. CUR-rapport 96, Beton en afvalwater. CUR, Gouda, 1979
9. CUR-rapport 167 / IMAG-DLO rapport 93-17, Duurzaamheid van beton in agrarische milieus. Gouda/Wageningen, 1993
10. NEN-EN 206, Beton: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit. NEN, Delft, 2014
11. NEN 8005, Nederlandse aanvulling op NEN-EN 206, Beton: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit. NEN, Delft, 2014
12. NEN 6441, Water: Bepaling van de totale hardheid en van het gehalte aan calcium- en magnesiumionen. NEN, Delft, 1979