

# Chemische aantasting van beton

In de betonvoorschriften, NEN-EN 206, zijn zes milieuklassen gedefinieerd, evenals een groot aantal subklassen. De milieuklassen bepalen welke betontechnologische maatregelen genomen moeten worden om de duurzaamheid te waarborgen.

Eén van de zes klassen, milieuklasse XA, richt zich specifiek op de chemische aantasting van beton als gevolg van agressieve stoffen in de natuurlijke bodem en/of grondwater. De systematiek van milieuklasse XA is ook toepasbaar in andere omstandigheden, zoals in de chemische en agrarische industrie. Hoe kunnen we de agressiviteit van verschillende chemische stoffen beoordelen en welke maatregelen worden aanbevolen om aantasting te voorkomen of te beperken?

## Milieuklasse XA

Dit document behandelt de milieuklasse XA, die verwijst naar de chemische aantasting van beton door grondwater, grond of chemisch agressieve stoffen. Deze milieuklasse is verder onderverdeeld in licht, matig of sterk agressief op basis van de pH en/of concentratie van specifieke stoffen. Het is belangrijk op te merken dat bij het gebruik van NEN-EN 206 een geochemisch advies vereist is voor de ontwerper/betonconstructeur om zo met behulp van tabel 1 de juiste milieuklasse XA te bepalen. Er moet ook worden onderzocht of de betonconstructie in contact kan komen met chemisch agressieve stoffen en/of wordt blootgesteld aan ongunstige omstandigheden zoals temperaturen boven de 25 °C, snelstromend water of een combinatie van meerdere agressieve stoffen.

In dit artikel worden eerst de mechanismen besproken die leiden tot chemische aantasting van beton, evenals de factoren die deze aantasting beïnvloeden. Vervolgens zal de milieuklasse XA in meer detail worden behandeld.

## Aantastingsmechanismen

Voor de aantasting van beton zijn er drie soorten chemische reacties:

- oplossingsreacties door zuren en zacht water<sup>1)</sup>;
- uitwisselingsreacties door zouten;
- expansieve reacties met sulfaten en de alkali-silicareactie.

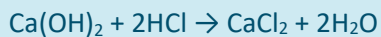
*<sup>1)</sup> Zacht water heeft een totale hardheid van minder dan 0,55 mmol/l, zoals vastgesteld volgens de NEN 6441. De mate van agressiviteit onder werkelijke omstandigheden wordt beïnvloed door factoren als concentratie, pH-waarde, temperatuur en frequentie van verversing.*

### Oplossingsreacties door zuren en zacht water

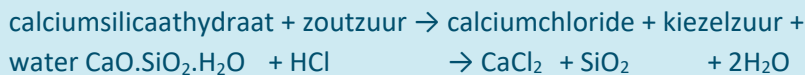
Cementsteen bestaat uit een verbinding van calciumoxide (CaO), siliciumoxide (SiO<sub>2</sub>) en water (H<sub>2</sub>O), wat resulteert in calciumsilicaathydraat (CaO.SiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O), ook wel CSH genoemd. De poriën van de cementsteen zijn gevuld met een verzadigde oplossing van calciumhydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>). Wanneer een zuur reageert met de calciumhydroxide, zal het uiteindelijk het calcium uit de cementsteen oplossen, zoals te zien is in het voorbeeld hieronder waarin CSH oplost door contact met zuur. Door deze processen gaat de samenhang van de cementsteen verloren, wat leidt tot verlies van sterkte. Het ene zuur kan agressiever zijn dan het andere. Soms kan er een onoplosbaar calciumzout ontstaan, dat zich afzet in de poriën en reacties vertraagt of zelfs stopzet. In het informatieblad 'Aantasting door zuren' is meer informatie te vinden over beton en zuren.

#### Voorbeeld: het oplossen van CSH door een zuur

omzetten Ca(OH)<sub>2</sub> :



oplossen CSH (principe):



Zoutzuur is een sterk zuur, het reageert met calciumsilicaathydraat tot het calciumzout van het sterkere zuur (calciumchloride) en kieselzuur.

### Uitwisselingsreacties door zouten

Zouten zijn de reactieproducten van een zuur en een base. Sommige zouten vormen graag nieuwe combinaties (zie kader Voorbeeld uitwisselingsreactie, pag. 3). Cementsteen kan ook worden beschouwd als een zout. Enkele zouten waarmee cementsteen gemakkelijk nieuwe verbindingen vormt, zijn bijvoorbeeld ammonium- en magnesiumzouten (zie tabel 4).

Het is belangrijk om te controleren of de nieuw gevormde zouten oplosbaar zijn of neerslaan. Zouten die niet oplosbaar zijn, kunnen de poriën blokkeren en zo het proces van aantasting stoppen. Oplosbare zouten daarentegen kunnen zich met het water in de poriën verplaatsen naar buiten, waardoor de reactie kan blijven doorgaan.

Ook door uitwisselingsreacties gaat de samenhang van cementsteen verloren, wat leidt tot sterkteverlies.

### Voorbeeld uitwisselingsreactie

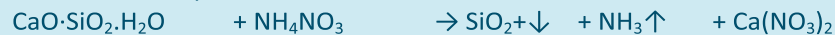
Zouten van een zwakke base en een sterk zuur reageren met de zouten van een sterke base en een zwak zuur tot een zout van een sterke base en een sterk zuur.

Cementsteen ( $x\text{CaO}\cdot y\text{SiO}_2\cdot z\text{H}_2\text{O}$ ) kan gezien worden als het zout van een sterke base ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en een zwak zuur ( $\text{SiO}_2$ ).

De agressiviteit van het zout van een zwakke base en een sterk zuur is vergelijkbaar met de agressiviteit van het betreffende vrije zuur.

Uitwisselen CSH (principe):

calciumsilicaathydraat + ammoniumnitraat  $\rightarrow$  kiezelzuur $\downarrow$  + ammoniak $\uparrow$  + calciumnitraat.



Calciumnitraat is een goed oplosbaar zout, dat kan worden afgevoerd.

Kiezelzuur heeft geen mechanische sterkte. Deze reactie is extra agressief omdat het  $\text{NH}_3$ , ammoniak, een gas is dat uit het beton kan ontsnappen, waardoor het evenwicht van bovenstaande reactievergelijking naar rechts verplaatst.

### *Expansieve reacties*

Bij een expansieve reactie is het volume van de reactieproducten groter dan dat van de oorspronkelijke bestanddelen. Door een expansieve reactie kan beton inwendig uit elkaar worden gedrukt. Het bekendste voorbeeld hiervan is het roesten van wapening: ijzeroxide neemt meer ruimte in dan ijzer en zuurstof samen.

In cementsteen kunnen sulfaten en alkaliverbindingen leiden tot expansieve reacties. In beide gevallen wordt water opgenomen in de reactieproducten, wat kan leiden tot destructieve zwellings. In de artikelen 'Aantasting van beton door sulfaten' en 'Alkali-silicareactie in beton' worden deze specifieke fenomenen nader beschreven.

Tabel 1 Grenswaarden van de milieuklassen voor chemische aantasting door grondwater en grond volgens NEN-EN 206

		Milieuklasse XA		
Chemische bestandelen	Referentie beproevingsmethoden	XA1 licht	XA2 matig	XA3 sterk
<b>Grondwater</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NEN-EN 196-2	200 - 600	600 - 3000	3000 - 6000
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
NH <sup>4+</sup> mg/l	ISO 7150-1 of 2	15 - 30	30 - 60	60 - 100
Mg <sup>2+</sup> mg/l	ISO 7980	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
<b>Grond</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l <sup>1</sup>	EN 196-2 <sup>2</sup>	2000 - 3000	3000 <sup>3</sup> - 12000	12000 - 14000
zuurgraad (ml/kg)	DIN 4030-2	> 200		

<sup>1</sup> Kleigrond met een doorlaatbaarheid kleiner dan 10<sup>-5</sup> m/s mag worden ingedeeld in een lagere klasse.;

<sup>2</sup> De beproevingsmethode schrijft voor dat SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> wordt geëxtraheerd met zoutzuur. Als alternatief mag ook water worden gebruikt voor de extractie, mits er ervaring beschikbaar is op de locatie waar het beton wordt toegepast.

<sup>3</sup> De grens van 3000 mg/kg moet worden verlaagd naar 2000 mg/kg als er gevaar bestaat voor opeenhoping van sulfaationen in het beton, door nat/droog-wisselingen of capillaire opzuiging.

## Factoren die chemische aantasting in belangrijke mate kunnen beïnvloeden

De volgende factoren spelen een belangrijke rol bij de duurzaamheid in een agressieve omgeving:

- omstandigheden zoals vochtigheid, temperatuur, concentratie en verversingsgraad van agressieve stoffen;
- de permeabiliteit van het beton.

### *Vocht (water)*

Aantasting van beton treedt alleen op in een vochtige omgeving. De bestanddelen van cementsteen reageren alleen met stoffen die in oplossing zijn. Een stof kan in oplossing sterk agressief met cementsteen reageren en geen aantasting veroorzaken in droge vorm. Bijvoorbeeld kunstmest bevat het voor beton agressieve ammoniumnitraat. Met droge korrels vindt er geen reactie plaats, maar uit natte korrels kan het opgeloste nitraat het beton binnendringen en daar met cementsteen reageren. In droge omstandigheden blijft milieuklasse X0 van toepassing. Droog moet wel echt droog zijn, materiaal dat ergens in opslag ligt kan plaatselijk nat worden door bijvoorbeeld condensatie van vocht op een koude vloer of wand.

### *Temperatuur*

Temperatuur is een factor die de snelheid van een chemische reactie kan beïnvloeden. Over het algemeen verlopen chemische reacties sneller bij hogere temperaturen. Beton wordt meestal blootgesteld aan omgevingstemperaturen tussen 5 °C en 25 °C

Tabel 1 is alleen van toepassing op dit temperatuurbereik. Bij lagere temperaturen zijn de milieuklassen met vorst bepalend. Bij hogere temperaturen, zoals bij zuur afvalwater met een temperatuur boven 25 °C, moet een milieuklasse hoger worden gekozen dan enkel op basis van de pH is voorgeschreven.

### *Concentratie en verversingsgraad*

Bij hoge concentraties of verse aanvoer van agressieve stoffen kan de aantasting langer blijven voortduren. In tabel 1 (pagina 4) is te zien dat bij hogere concentraties een hogere milieuklasse hoort. Bij de indeling in milieuklassen is alleen rekening gehouden met het continu beschikbaar zijn van de vermelde agressieve stoffen.

### *Opslag in een kuilvoersilo's*



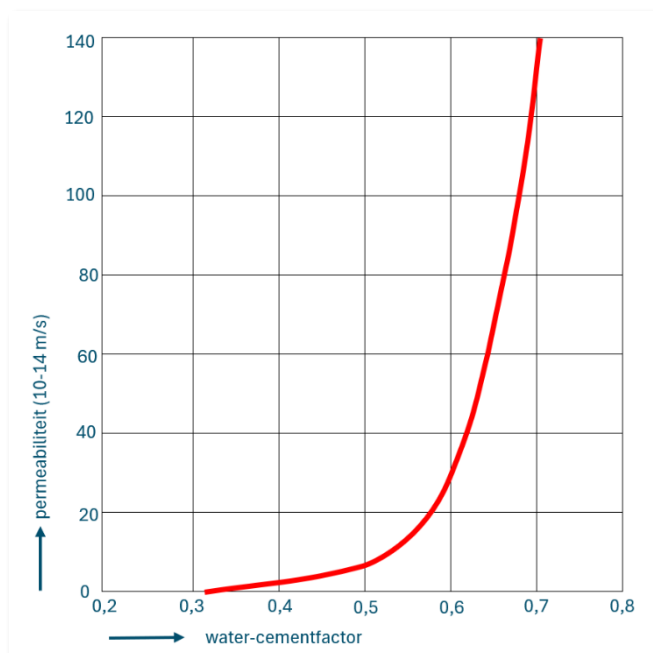
Het maakt een groot verschil of de stof incidenteel aanwezig is, regelmatig wordt ververst of in concentratie toeneemt door optrekkend vocht en verdamping. Incidentele blootstelling met hoge concentraties in kleine hoeveelheden hoeft geen probleem te zijn. Bij het morsen van bijvoorbeeld een kleine hoeveelheid sterk zuur zal de reactie stoppen zodra het zuur met de kalk uit de cementsteen heeft gereageerd, het is dan geneutraliseerd. In geval van regelmatig, onvermijdelijk morsen is de situatie geheel anders: er vindt dan een constante verversing plaats van de agressieve stof. In dit geval kan er sprake zijn van 'de druppel die de steen uitholt'. Alleen aanvullende beschermende maatregelen kunnen dan voorkomen dat er aantasting optreedt.

### Permeabiliteit

De permeabiliteit van beton is een maat voor de mate waarin stoffen kunnen doordringen. Een lagere permeabiliteit betekent dat het moeilijker is voor stoffen om het beton binnen te dringen en te reageren met cementsteen.

De belangrijkste manier om beton dicht te maken is door een lage water-cementfactor toe te passen (figuur 1). Door het gebruik van hoogovencement in combinatie met een goede nabehandeling, krijgt het beton een compacte structuur en daardoor een lagere permeabiliteit. Een langdurige nabehandeling zorgt altijd voor een lagere permeabiliteit, omdat er dan meer tijd, onder gunstige omstandigheden, is voor de reactie tussen cement en water. Hoe langer de nabehandeling duurt, des te dichter het betonoppervlak wordt. In zeer agressieve omstandigheden kan het noodzakelijk zijn om beton te voorzien van een beschermende laag om indringing te voorkomen.

Figuur 1 Relatie water-cementfactor-permeabiliteit



## De indeling in milieuklassen XA

De norm NEN-EN 206 kent milieuklassen XA1, XA2 en XA3 voor chemische aantasting. Deze klassen hebben betrekking op de mate van chemische aantasting in natuurlijke bodem en grondwater. Afhankelijk van de pH-waarde en/of de concentratie van bepaalde stoffen kan een omgeving licht (XA1), matig (XA2) of sterk (XA3) agressief zijn (zie tabel 1, pagina 4).

Voor een nauwkeurige bepaling van de agressiviteit van beton is apart onderzoek noodzakelijk. In kolom 2 worden de normen vermeld die relevant zijn voor de bepaling van de pH-waarde en de concentratie van de belangrijkste voor beton agressieve stoffen.

In tabel 1 wordt vermeld dat deze specifiek van toepassing is op beton in contact met grondwater en natuurlijke bodem. Echter, deze classificatie kan ook relevant zijn voor pH-waarden en concentraties die voorkomen in andere omstandigheden, zoals in de chemische industrie of de agrarische sector. In de volgende omstandigheden is nader onderzoek noodzakelijk:

- bij overschrijden van de grenswaarden uit tabel 1
- bij aanwezigheid van andere agressieve chemicaliën
- in chemisch verontreinigde bodem of verontreinigd grondwater
- bij hoge stroomsnelheden in combinatie met de vermelde stoffen

Het 'Keuzeschema voor de beoordeling van chemische agressiviteit' (pagina 9) is een nuttig hulpmiddel bij het uitvoeren van dit verdere onderzoek.

### *Overschrijden grenswaarden*

Als de concentraties van agressieve stoffen hoger zijn dan vermeld in tabel 1, voldoet milieuklasse XA3 niet meer. Er is nader onderzoek nodig om een geschikte beschermlaag te vinden of om een bepaalde mate van aantasting te accepteren en de snelheid van aantasting in te schatten.

### *Aanwezigheid van andere agressieve chemicaliën*

Tabel 4 geeft een overzicht van stoffen met een indicatie van hun agressiviteit. Het is belangrijk op te merken dat deze tabel slechts indicatief is, aangezien ook factoren zoals concentratie, verversing en temperatuur de werkelijke mate van aantasting bepalen. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of stoffen die als 'licht agressief' worden gekwalificeerd kunnen worden ingedeeld in milieuklasse XA1, 'matig agressief' in XA2 en 'sterk agressief' in XA3.

### *Chemisch verontreinigde bodem of verontreinigd grondwater*

Ook in dit geval is aanvullend onderzoek voorgeschreven volgens NEN-EN 206. Vaak zijn de resultaten van een milieuhygiënisch onderzoek beschikbaar. Dit is een opsomming van verschillende stoffen die schadelijk zijn voor de gezondheid of het milieu. Een dergelijk overzicht is meestal niet geschikt om de agressiviteit voor beton te bepalen. Vaak tasten de genoemde stoffen het beton niet aan, of is de concentratie te laag om het beton aan te tasten. In tabel 1 wordt aangegeven welke stoffen agressief zijn en met welke methoden de concentraties of pH-waarden moeten worden bepaald.

*Heipalen kunnen in contact komen met verontreinigde bodem of verontreinigd grondwater*



Als de chemische verontreiniging tot gevolg heeft dat de omstandigheden vergelijkbaar zijn met die vermeld in tabel 1, dan is die tabel uiteraard van toepassing.

### Hoge stroomsnelheden

Bij hoge stroomsnelheden kan de aantasting toenemen door verschillende versterkende factoren, zoals een hoge verversingsgraad, het continu verwijderen van reactieproducten of de slijtende werking van snelstromend water, eventueel met schurend materiaal (erosie). Net als bij temperaturen hoger dan 25 °C moet er een hogere milieuklasse worden gekozen.

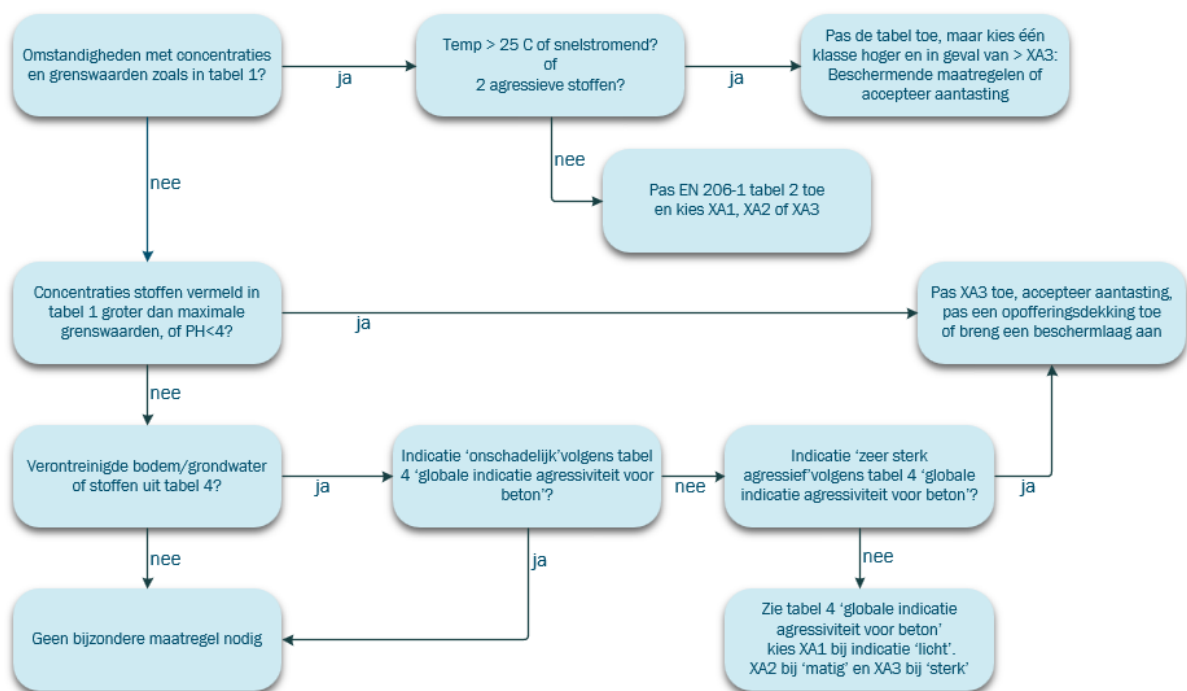
### Verskillende agressieve stoffen

Wanneer twee of meer agressieve eigenschappen tot indeling in dezelfde klasse leiden, moet een hogere klasse worden gekozen, tenzij uit verder onderzoek blijkt dat dit niet nodig is in het specifieke geval.

### Zure bodem

Zure grond wordt ingedeeld in klasse XA1, omdat in een bodem met langzaam stromend zuur grondwater de reactieproducten van de zure aantasting niet worden verwijderd en een beschermende laag om het beton vormen. Een vergelijkbare situatie kan zich voordoen in betonnen leidingen met langzaam stromend agressief afvalwater, wanneer de reactieproducten een beschermende slijtlaag vormen.

Figuur 2, Keuzeschema beoordeling agressiviteit



## Maatregelen ter voorkoming of beperking

### *Verlagen water-cementfactor*

Het verlagen van de water-cementfactor resulteert in duurzamer beton; daarom wordt bij hogere agressiviteit een lagere water-cementfactor voorgeschreven.

Op NEN-EN 206 geldt in Nederland als aanvulling NEN 8005. Tabel D van deze norm vermeldt de eisen voor de betonsamenstelling afhankelijk van de milieuklasse (tabel 2).

*Tabel 2, Milieuklassen volgens NEN-EN 206 en de daarbij behorende eisen volgens NEN 8005*

NEN 8005		NEN-EN 206
maximum wcf / wbf	minimum cement-gehalte (kg/m <sup>3</sup> )	chemische aantasting
0,70	200	
0,65	260	
0,60	280	
0,55	280	
0,55	300	XA1
0,50	300	
0,50	320	XA2
0,45	300	
0,45	320	
0,45	340	XA3

### Nabehandeling

Een langere nabehandeling vermindert de permeabiliteit aan het oppervlak en verbetert de duurzaamheid (zie tabel 3).

Tabel 3, Aanbevolen verlengde duur van nabehandeling voor beton in milieuklassen XA

Milieuklasse	Nabehandeling <sup>1)</sup>
XA1	minimum tijdsduur volgens bijlage B NEN 6722 + 2 dagen
XA2	minimum tijdsduur volgens bijlage B NEN 6722 + 3 dagen
XA3	minimum tijdsduur volgens bijlage B NEN 6722 + 4 dagen

- 1) EN 6722 Uitvoering van betonconstructies (door NEN ingetrokken, maar voor de onderdelen die ontbreken in NEN 13670 is tekst de basis zolang NEN 8670 nog niet definitief is) NEN-EN 13670, Het vervaardigen van betonconstructies en NEN 8670 Ontw. nl, Aanvullende voorschriften bij NEN-EN 13670

### Cementsoort

In veel gevallen kan het gebruik van hoogovencement met een hoog slakgehalte (> 65%) ook een effectieve maatregel zijn, aangezien beton dat met dit cement wordt geproduceerd over het algemeen een dichtere structuur heeft en dus een lage permeabiliteit vertoont. Om expansieve reacties door sulfaataantasting en alkali-silica-reacties te voorkomen, is het belangrijk om het sulfaat- en alkaligehalte van de grondstoffen te beperken en vooral om hoogovencement met een hoog slakgehalte toe te passen.

### Overige maatregelen

Deze maatregelen zijn van toepassing wanneer de agressiviteit hoger is dan milieuklasse XA3. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als men door een combinatie van omstandigheden gedwongen wordt te kiezen voor een klasse hoger dan XA3. Betontechnologisch gezien is deze klasse niet beschikbaar, maar men kan overwegen een van de volgende drie maatregelen te nemen:

- Aanbrengen van een beschermlaag  
Breng een beschermlaag aan die bestand is tegen agressieve stoffen of zuren, zoals zuurbestendige tegels, kunststof bekleding of een coating. Wanneer de beschermlaag het beton volledig beschermt, kan er worden gekozen voor een lagere milieuklasse.
- Accepteren van aantasting  
Vervaardig het beton in milieuklasse XA3 en accepteer een bepaalde mate van aantasting. Verhoog de dekking (opofferingsdekking) en voer een langere nabehandeling uit. Inspecteer de constructie regelmatig en breng indien nodig pas een laag spuitbeton of een geschikte beschermlaag aan.

- Reinigen van het oppervlak of aanpassen van het productieproces  
Een locatie waar regelmatig agressieve stoffen worden gemorst, moet worden ingedeeld in categorie XA3 vanwege de frequentie van morsingen. Het is aan te bevelen om deze locatie direct schoon te maken (spoelen). Als er agressieve stoffen op het riool worden geloosd, kan ook worden gekeken naar mogelijke aanpassingen in het productieproces om deze lozingen te voorkomen of de agressiviteit van het afvalwater te verminderen.

#### Opvangbakken voor calamiteiten

Om te voorkomen dat bij een calamiteit chemicaliën zich ongecontroleerd kunnen verspreiden, worden in de chemische industrie opvangbakken gebruikt. Deze opvangbakken worden vaak van beton gemaakt omdat beton door de meeste chemicaliën niet of slechts beperkt wordt aangetast. De meeste oplosmiddelen vallen bijvoorbeeld in een hoge gevarenklasse en lossen veel kunststoffen zeer snel op, maar reageren niet met cementsteen.

In het geval van mogelijke opvang van voor beton agressieve stoffen, kan worden gekozen voor milieuklasse XA3. Door de korte expositieduur blijft de aantasting beperkt en kan het enkel een visueel probleem zijn.

Tabel 4, Overzicht chemicaliën met globale indicatie van de agressiviteit voor beton, conform bijlage A van NEN 8005

Naam	Reactie	Agressiviteit	Naam	Reactie	Agressiviteit
<b>zuren</b>					
azijnzuur	O	3-4	oxaalzuur	O	1
boorzuur	O	2	salpeterzuur	O	5
carbolzuur (fenol)	O/U	2-3	tannine (looistof)	O	1-2
citroenzuur	O	4	waterstoffluoride	O	5
fosforzuur	O	4	wijnsteenzuur	O	1
humuszuur	O	4	zoutzuur	O/C	5
melkzuur	O	3	zwavelwaterstof	O	2
mierenzuur	O	3	zwavelzuur	O/E	5
<b>zouten en alkaliën</b>					
<i>carbonaten van</i>			<i>fluoriden</i>		
ammonium	U	2	ammonium	U	4
kalium	E	2			
natrium (soda)	E	2	<i>hydroxyden van</i>		
			ammonium		1
<i>chloriden van</i>			calcium		1
aluminium	C	3	kalium (loog)	E	2
ammonium (salmiak)	U/C	3	natrium (loog)	E	2
calcium	C	3			
kalium	C/E	3	<i>nitraten van</i>		
koper	C	3	ammonium	U	5
kwik	C	3	calcium		1
magnesium	U/C	3	kalium (salpeter)	U/E	3
natrium (pekkel, zout)	C/E	3	magnesium	E	3
ijzer	C	3	natrium	U/E	3
zink	C	3			
<b>sulfaten van</b>					
aluminium	E	4	magnesium	U/E	5
ammonium	U/E	5	natrium	E	4
calcium	E	4	nikkel	E	4
kalium	E	4	ijzer	E	4
koper	E	4	zink	E	4
mangaan	E	4			

Naam	Reactie	Agressiviteit	Naam	Reactie	Agressiviteit
<b>petroleumdestillaten</b>					
benzine		1	lichte olie > 35		1
kerosine		1	zware olie < 35		1
naftaleen		1	dieselolie		1
petroleum		1			
<b>koolteerdestillaten</b>					
anthraceen		1	parafine		1
benzeen		1	teer		1
cumeen		1	tolueen		1
kreosoot (olie)	U	2	xyleen		1
kresol	U	2			
<b>plantaardige oliën</b>					
amandelolie	U	3	pinda-olie	U	3
chinese houtolie	U	3	raapolie	U	3
katoenzaadolie	U	3	ricinusolie	U	3
kokosolie	U	3	soyaboonolie	U	3
lijnolie	U	3	terpentijn	U	3
maanzaadolie	U	3	walnootolie	U	3
olijfolie	U	3			
<b>dierlijk vet en vetzuren</b>					
beenderolie	O	2	visolie	O	2
varkensvet	O	2	slachtafval	O	3

Naam	Reactie	Agressiviteit	Naam	Reactie	Agressiviteit
<b>diversen</b>					
alcohol		1	kuilvoer (silage)	O	5
aceton		1	lood		1
ammoniak (water)		1	looistoffen		1
bier	O	2	melasse, suikerstroop	U	3
bleekwater	C	2	melk		2
borax		1	mest	O/U	4
caustic soda		1	suiker: droog		1
cider, appelwijn	O	4	suikeroplossing	U	3
ether		1	tetra		1
etherische olie		1	tolueen		1
fenol	U	3	tri (chloorethyleen)		1
formaldehyde	U	3	ureum		1
glucose	U	3	urine	O/U	3
glycerine	U	2	vaseline		1
honing		1	vruchtensap	O	4
houtpap, houtslip		1	waterglas		1
kaliumpermanganaat		1	wei	O	3
kalk		1	wijn		1
karnemelk	O	3	zeep		1
koolzuurgas		1	zwavel		1

**Reactietype:**

O = oplossing

U = uitwisseling

E = expansie

C = corrosie wapening

**Agressiviteit:**

1 = onschadelijk

2 = licht agressief

3 = matig agressief

4 = sterk agressief

5 = zeer sterk agressief

**Milieuklasse:**

nvt

XA1

XA2

XA3

Beton beschermen

## Literatuur

[Betoniek 5/13, Chemische invloeden op beton](#)

[Betoniek 15/16 Beton in XA](#)

NEN-EN 206, Beton + NEN 8005, Nederlandse invulling van NEN-EN 206

NEN-EN 13670, Het vervaardigen van betonconstructies + NEN 8670:2018 Ontw. NI Aanvullende voorschriften bij NEN-EN 13670