

Chemische aantasting

In de betonvoorschriften, NEN-EN 206-1, zijn 5 milieuklassen gedefinieerd, plus een groot aantal sub-klassen. De milieuklassen zijn bepalend voor betontechnologische maatregelen in het belang van de duurzaamheid. Eén van de vijf klassen, milieuklasse XA, is specifiek gericht op chemische aantasting van beton als gevolg van agressieve stoffen in de natuurlijke bodem en/of grondwater. De systematiek van milieuklasse XA is ook bruikbaar voor andere omstandigheden, zoals in de chemische en agrarische industrie. Hoe kan de agressiviteit van de diverse chemische stoffen worden beoordeeld en welke maatregelen worden aanbevolen om aantasting te voorkomen of beperken?

Milieuklassen XA

Dit informatieblad behandelt de milieuklassen XA: de chemische aantasting van beton door grondwater, grond of chemisch agressieve stoffen. Deze milieuklasse is onderverdeeld in licht, matig of sterk agressief, afhankelijk van de pH en/of de concentratie van bepaalde stoffen. Daarbij wordt opgemerkt dat de ontwerper/betonconstructeur bij toepassing van NEN-EN 206-1 ook een geochemisch advies nodig heeft waarmee met behulp van tabel 1 de betreffende milieuklasse XA kan worden bepaald. Ook zal moeten worden nagegaan of de betonconstructie in aanraking kan komen met chemisch agressieve stoffen en/of wordt blootgesteld aan ongunstige condities zoals temperaturen hoger dan 25°C, snelstromend water of een combinatie van meerdere agressieve stoffen.

De mechanismen voor de chemische aantasting van beton en de aspecten die de chemische aantasting beïnvloeden komen nu eerst aan bod. Vervolgens wordt de milieuklasse XA nader uitgediept.

Aantastingsmechanismen

Voor de aantasting van beton bestaan drie soorten chemische reacties :

- oplossingsreacties door zuren en zacht water;
- uitwisselingsreacties door zouten;
- expansieve reacties met sulfaten en de alkali-silicareactie.

Oplossingsreacties door zuren

Cementsteen bestaat uit een verbinding van calciumoxide, CaO, siliciumoxide SiO₂ en water, H₂O: calciumsilicaathydraat: xCaO.ySiO₂.zH₂O, ook wel CSH genoemd. De poriën van de cementsteen zijn gevuld met een verzadigde oplossing van calciumhydroxide, Ca(OH)₂. Een zuur reageert eerst met calciumhydroxide en daarna zal het calcium uit de cementsteen in oplossing gaan (zie kader). Daardoor gaat de samenhang van de cementsteen verloren, hetgeen sterkteverlies tot gevolg heeft. Het ene zuur is agressiever dan het andere. Soms kan een onoplosbaar calciumzout worden gevormd, dat neerslaat in de poriën met als gevolg dat reacties vertraagd en zelfs tot stilstand kunnen komen. In het informatieblad 'Bestandheid van beton tegen zuren' is meer te vinden over beton en zuren.

Gebouw Cementrum
Sint Teunislaan 1
5231 BS 's-Hertogenbosch
Postbus 3532
5203 DM 's-Hertogenbosch

t. 073 640 12 31

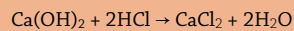
f. 073 640 12 84

info@cementenbeton.nl

www.cementenbeton.nl

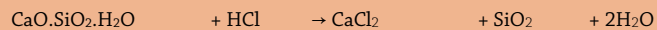
Voorbeeld: het oplossen van CSH door een zuur

omzetten $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



oplossen CSH (principe):

calciumsilicaathydraat + zoutzuur \rightarrow calciumchloride + kiezelzuur + water



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

Uitwisselingsreacties door zouten

Zouten zijn het reactieproduct van een zuur en een base. Sommige zouten vormen graag nieuwe combinaties (zie kader). Cementsteen kan ook gezien worden als een zout. Enkele zouten waar cementsteen gemakkelijk nieuwe verbindingen mee vormt zijn bijvoorbeeld ammonium- en magnesiumzouten (zie tabel 4). Het is van belang of de nieuw gevormde zouten oplosbaar zijn of neerslaan. Zouten die niet oplosbaar zijn kunnen de poriën verstopten, waardoor ook de aantasting stopt. Oplosbare zouten kunnen zich met het poriewater naar buiten verplaatsen, waardoor de reactie kan blijven verlopen. Ook door uitwisselingsreacties gaat de samenhang van cementsteen verloren en ontstaat 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 (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 NH_3 , ammoniak, een gas is dat uit het beton kan ontwijken, waardoor het evenwicht van bovenstaande reactievergelijking naar rechts verplaatst.

Expansieve reacties

Bij een expansieve reactie is het volume van de reactieproducten groter dan van de oorspronkelijke bestanddelen. Door een expansieve reactie kan beton inwendig uit elkaar worden gedrukt. Het bekendste voorbeeld is het roesten van wapening: ijzeroxide neemt meer ruimte in dan ijzer en zuurstof bij elkaar. In cementsteen kunnen sulfaten en alkaliverbindingen tot expansieve reacties leiden. In beide gevallen wordt in de reactieproducten water opgenomen, wat tot een destructieve zwelling kan leiden. In de informatiebladen 'Bestandheid van beton tegen sulfaten' en 'Bestandheid van beton tegen alkalisilicareactie' worden beide fenomenen uitgebreid beschreven.

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

		Milieuklasse XA		
chemische bestanddelen	referentie beproevingsmethoden	XA1 licht	XA2 matig	XA3 sterk
grondwater				
SO ₄ ²⁻ 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 ₂ mg/l agressief	PrEN 13577	15 - 40	40 - 100	>100
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1 of 2	15 - 30	30 - 60	60 - 100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	300 - 1000	1000 - 3000	>3000
grond				
SO ₄ ²⁻ mg/l ¹	EN 196-2 ²	2000 - 3000	3000 ³ - 12000	12000 - 14000
zuurgraad (ml/kg)	DIN 4030-2	>200		

¹ Kleigrond met een doorlaatbaarheid kleiner dan 10⁻⁵ m/s mag in een lagere klasse worden geplaatst

² De beproevingsmethode schrijft de extractie voor van SO₄²⁻ door middel van zoutzuur. Als alternatief mag de extractie met behulp van water worden toegepast, als op de plaats van het gebruik van het beton ervaring beschikbaar is

³ de grens van 3000 mg/kg moet worden verlaagd tot 2000 mg/kg indien gevaar bestaat voor opeenhoping van sulfaationen in het beton, ten gevolge van nat/droog-wisselingen of capillaire opzuiging.

Factoren die chemische aantasting in belangrijke mate kunnen beïnvloeden

De volgende factoren bepalen in belangrijke mate 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 in droge vorm geen aantasting veroorzaken. Kunstmest bijvoorbeeld, bevat het voor beton agressieve ammoniumnitraat. Met droge korrels heeft geen reactie plaats, 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 mate waarin een chemische reactie verloopt, kan versnellen of vertragen. Voor alle chemische reacties geldt dat ze bij een hogere temperatuur sneller verlopen. Gewoonlijk zal beton zich bevinden in een omgeving met een temperatuur tussen 5 °C en 25 °C.

Tabel 1 heeft alleen betrekking op dit temperatuurgebied. Bij lagere temperaturen zijn de milieuklassen met vorst bepalend.

Bij hogere temperaturen, bijvoorbeeld in het geval van zuur afvalwater met een temperatuur boven 25 °C, moet een milieuklasse hoger worden gekozen dan alleen op basis van de pH is voorgeschreven.

Concentratie en verversingsgraad

Bij hoge concentraties of verse aanvoer van agressieve stoffen kan de aantasting langer blijven verlopen. In tabel 1 is te zien dat bij hogere concentraties een hogere milieuklasse hoort. Bij de indeling in milieuklassen is alleen rekening gehouden met het voortdurend beschikbaar zijn van de vermelde agressieve stoffen. Het maakt

een groot verschil of de stof alleen 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 als 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 is dan sprake van een regelmatige verversing van de agressieve stof. Hier kan sprake zijn van 'de druppel die de steen uitholt'. Alleen aanvullende beschermende maatregelen zijn dan afdoende om aantasting te voorkomen.

Maisopslag in een kuilvoersilo

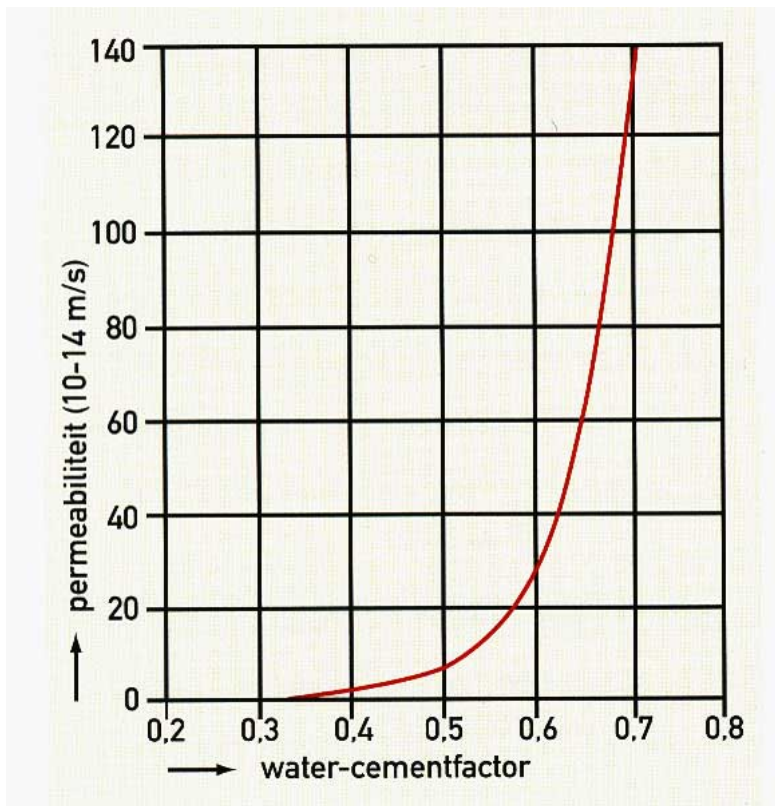


Permeabiliteit

De permeabiliteit van beton is een maat voor de indringing van stoffen er in. Hoe lager de permeabiliteit, hoe moeilijker stoffen het beton kunnen indringen en reageren met cementsteen.

De belangrijkste manier om beton dicht te maken is het toepassen van een lage water-cementfactor (figuur 1). Door een hoogovencement te kiezen in combinatie met een goede nabehandeling, verkrijgt het beton een dichte structuur en dus een lagere permeabiliteit. Een langere nabehandeling is altijd goed voor een lage permeabiliteit, omdat er dan langer gunstige omstandigheden zijn waarbij cement met water reageert. Hoe langer de nabehandeling, hoe dichter het betonoppervlak. In zeer agressieve omstandigheden kan het nodig zijn beton met een beschermende laag af te dichten, om elke vorm van indringing te voorkomen.

Figuur 1 Relatie water-cementfactor-permeabiliteit



De indeling in milieuklassen XA

De norm NEN-EN 206-1 kent milieuklassen XA1, XA2 en XA3 voor chemische aantasting. Deze klassen hebben betrekking op chemische aantasting in natuurlijke bodem en grondwater. Afhankelijk van de pH en/of de concentratie van bepaalde stoffen is een omgeving licht(XA1), matig (XA2) of sterk (XA3) agressief (tabel 1). Voor een goede bepaling van de agressiviteit voor beton moet apart onderzoek worden gedaan. In kolom 2 staan de normen vermeld die van toepassing zijn voor de bepaling van de pH en de concentratie van de belangrijkste voor beton agressieve stoffen.

Bij tabel 1 wordt vermeld dat deze alleen van toepassing is voor beton in contact met grondwater en natuurlijke bodem. Deze indeling is ook toepasbaar bij pH-waarden en concentraties die voorkomen in andere omstandigheden, bijvoorbeeld in de chemische industrie of de agrarische sector. In de volgende omstandigheden is nader onderzoek vereist:

- 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' is een hulpmiddel bij dit nader onderzoek.

Overschrijden grenswaarden

Zijn de concentraties van agressieve stoffen hoger dan vermeld in tabel 1, dan voldoet milieuklasse XA3 niet meer. Nader onderzoek is nodig naar een geschikte bescherm laag of om een zekere mate van aantasting te accepteren en een inschatting te maken van de snelheid van aantasting.

Aanwezigheid van andere agressieve chemicaliën

Tabel 4 vermeldt stoffen met een indicatie van de mate van agressiviteit. Deze tabel is indicatief omdat ook concentratie, verversing en temperatuur bepalend zijn voor de werkelijke mate van aantasting. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of voor een stof met de indicatie 'licht agressief' volstaan kan worden met de indeling in milieuklasse XA1, met indicatie 'matig' voor XA2 en met indicatie 'sterk' voor XA3.

Heipalen kunnen in contact komen met agressieve bodem of grondwater



Chemisch verontreinigde bodem of verontreinigd grondwater

Ook in dit geval is in NEN-EN 206-1 aanvullend onderzoek voorgeschreven. Vaak zijn wel uitkomsten van een milieuhygiënisch onderzoek beschikbaar. Dat is dan een opsomming van allerlei stoffen die slecht zijn voor de gezondheid of het milieu. Zo'n overzicht is meestal niet geschikt voor het bepalen van de agressiviteit voor beton. Veelal tasten de vermelde stoffen beton niet aan of is de concentratie te laag om beton aan te tasten. In tabel 1 is aangegeven welke stoffen agressief zijn en met welke methoden de concentraties of de pH moeten worden bepaald. 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 aantasting toenemen door elkaar versterkende factoren: hoge verversingsgraad, het voortdurend verwijderen van reactieproducten of de slijpende werking van snel stromend water, eventueel met slijpend materiaal (erosie). Evenals bij een hogere temperatuur dan 25 °C moet een hogere milieuklasse worden gekozen.

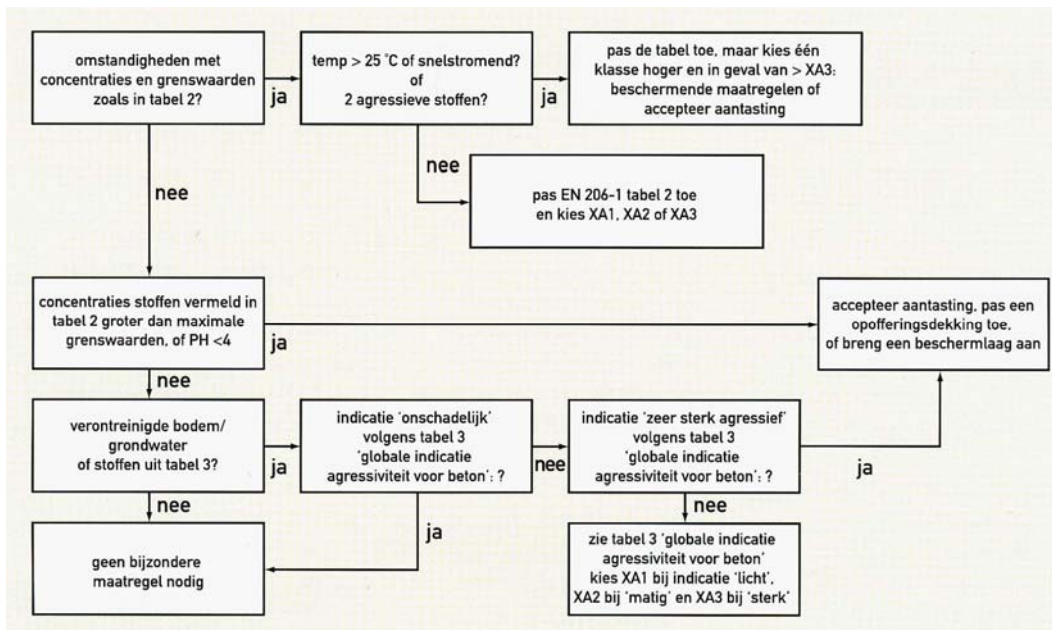
Verschillende agressieve stoffen

Als twee of meer agressieve kenmerken tot indeling in dezelfde klasse leiden, moet een klasse hoger worden gekozen, tenzij op basis van nader onderzoek kan worden aangetoond dat dit in dit specifieke geval niet nodig is.

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 dergelijke situatie kan ook voorkomen in betonnen leidingen met langzaam stromend agressief afvalwater, als de reactieproducten een beschermende slijm laag vormen.

Figuur 2 Keuzeschema beoordeling agressiviteit



Maatregelen om aantasting te voorkomen of te beperken

Verlagen water-cementfactor

Verlagen van de water-cementfactor leidt tot een duurzamer beton; daarom wordt in geval van een hogere agressiviteit een lagere water-cementfactor voorgeschreven.

In Nederland geldt als aanvulling op NEN-EN 206: NEN 8005. Tabel E van deze norm vermeldt de eisen voor de betonsamenstelling afhankelijk van de milieuklasse (tabel 2).

Tabel 2 Milieuklassen volgens NEN-EN 206-1 en de daarbij behorende eisen volgens NEN 8005 en NEN 6720, wijzigingsbladA3:2004

NEN 8005		NEN-EN 206
maximum wcf / wbf	minimum cement-gehalte (kg/m ³)	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
NEN 6720, tabel 44 ¹		Betondekking c ¹ (mm)
plaat, wand		30
balk, poer, console		35
kolom		40
NEN 6720, tabel 2		scheurwijdte w (mm)
zonder voorspanstaal		0,2
met voorspanstaal		0,1

¹ Op de minimale betondekking is een toeslag van 5 mm van toepassing in geval van:
 een nabewerkt oppervlak
 een oncontroleerbaar oppervlak
 beton met een karakteristieke druksterkte $f_{ck} < 25 \text{ N/mm}^2$
 Indien deze gevallen zich tegelijkertijd voordoen, moeten de toeslagen worden gesuperponeerd.

Nabehandeling

Een langere nabehandeling verlaagt de permeabiliteit aan het oppervlak en verhoogt de duurzaamheid (tabel 3).

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

milieuklasse	nabehandeling ¹
XA1	minimum tijdsduur volgens bijlage B NEN 6722 + 2 dagen
XA2	minimum tijdsduur volgens bijlage B NEN 6722 + 3dagen
XA3	minimum tijdsduur volgens bijlage B NEN 6722 + 4dagen

¹⁾ VBU: NEN 6722 Voorschriften Beton Uitvoering, bijlage B Nabehandelen en beschermen

Cementsoort

In veel gevallen is het toepassen van hoogovencement met hoog slakgehalte (> 65%) ook een zinvolle maatregel, omdat beton met dit cement in het algemeen een dichtere structuur, dus een lage permeabiliteit heeft. Expansieve reacties door sulfaataantasting en alkali-silicareacties zijn te voorkomen door beperken van het sulfaat- en alkaligehalte van de grondstoffen, maar vooral door het toepassen van hoogovencement met een hoog slakgehalte.

Overige maatregelen

Deze maatregelen zijn van toepassing als de agressiviteit groter is dan milieuklasse XA3. Dit kan bijvoorbeeld ook het geval zijn als men door een combinatie van omstandigheden gedwongen is te kiezen voor een klasse hoger dan XA3.

Betontechnologisch is deze klasse niet aanwezig. Wel kan men een van de volgende drie maatregelen overwegen.

- Breng een beschermlaag aan
Breng een beschermlaag aan die bestand is tegen de agressieve stof of het zuur. Voorbeelden hiervan zijn: zuurbestendige tegels, een kunststof bekleding, een coating enz. Als de beschermlaag het beton voor 100% beschermt, kan een lagere milieuklasse worden gekozen.
- Accepteer aantasting
Vervaardig het beton in milieuklasse XA3 en accepteer een zekere mate van aantasting. Vergroot de dekking (opofferingsdekking) en behandel langer na. Inspecteer de constructie regelmatig en breng pas als dit nodig blijkt een laag spuitbeton of een adequate beschermlaag aan.
- Tijdig reinigen of aanpassen van het productieproces
Een locatie waar regelmatig agressieve stoffen worden gemorst, zou vanwege de verversingsgraad ingedeeld moeten worden in XA3, het is te overwegen in plaats daarvan direct te reinigen (spoelen). Indien ergens agressieve stoffen op het riool worden geloosd, kan ook worden gezocht naar aanpassingen in het productieproces die deze lozingen voorkomen of de agressiviteit van het afvalwater 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 in beton uitgevoerd omdat beton door de meeste chemicaliën niet, of beperkt wordt aangetast. De meeste oplosmiddelen bijvoorbeeld, vallen in een hoge gevarenklasse en lossen veel kunststoffen bijzonder snel op, maar reageren niet met cementsteen.

In het geval van mogelijke opvang van voor beton agressieve stoffen kan worden gekozen voor milieuklasse XA3. De expositieduur is kort, waardoor de aantasting beperkt blijft en alleen visueel een probleem kan 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
zuren					
			oxaalzuur	O	1
azijnzuur	O	3-4	salpeterzuur	O	5
boorzuur	O	2	tannine (looistof)	O	1-2
carbolzuur (fenol)	O/U	2-3	waterstoffluoride	O	5
citroenzuur	O	4	wijnsteenzuur	O	1
fosforzuur	O	4	zoutzuur	O/C	5
humuszuur	O	4	zwavelwaterstof	O	2
melkzuur	O	3	zwavelzuur	O/E	5
mierenzuur	O	3			
zouten en alkaliën					
<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			
sulfaten van					
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
petroleumdestillaten					
benzine		1	lichte olie > 35		1
kerosine		1	zware olie < 35		1
naftaleen		1	dieselolie		1
petroleum		1			
koolteerdestillaten					
anthraceen		1	parafine		1
benzeen		1	teer		1
cumeen		1	tolueen		1
kreosoot (olie)	U	2	xyleen		1
kresol	U	2			
plantaardige oliën					
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			
dierlijk vet en vetzuren					
beenderolie	O	2	visolie	O	2
varkensvet	O	2	slachtafval	O	3

Naam	Reactie	Agressiviteit	Naam	Reactie	Agressiviteit
diversen					
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	waterglass		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

¹⁾ Zacht water is water met een totale hardheid kleiner dan 0,55 mmol/l, bepaald volgens NEN 6441

De agressiviteit in werkelijke omstandigheden wordt bepaald door de concentratie, pH, temperatuur en mate van verversing.

Literatuur

1. Betoniek 5/13, Chemische invloeden op beton, maart 1981
2. CUR-rapport 96, Beton en afvalwater. CUR, Gouda, 1979
3. Effects of substances on concrete and guide to protective treatments. Portland Cement Association, 2001
4. NEN-EN 206-1, Beton Deel 1: Specificatie, eigenschappen vervaardiging en conformiteit, mei 2001
5. NEN 8005, Nederlandse aanvulling op NEN-EN 206-1, Beton-Deel 1: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit. NEN, Delft, oktober 2004
6. NEN 6722, Voorschriften Beton - Uitvoering. NEN, Delft, 2002
7. NEN 6441, Water - Bepaling van de totale hardheid en van het gehalte aan calcium- en magnesiumionen. NEN, Delft, 1979