

Alkali-silicareactie (ASR)

Alkali-silicareactie (ASR) is een in Nederland jarenlang nauwelijks onderkend schade-mechanisme. Bij de reactie van alkaliën, water en reactief silica uit toeslagmateriaal wordt een expansief gel gevormd. Het gevolg hiervan is dat het beton van binnenuit kapot wordt gedrukt.

Wat is ASR

ASR is een reactie tussen de in het poriewater van beton aanwezige alkaliën en bepaalde, reactief silica bevattende bestanddelen van het toeslagmateriaal. Door de reactie wordt alkali-silicagel gevormd, dat veel water absorbeert en daardoor zwelt. In 'wetenschappelijke' zin zal ASR in vrijwel alle beton optreden. Immers de daarvoor benodigde alkaliën en reactief silica zijn in bijna alle betonsamenstellingen aanwezig. We spreken van een schadelijke ASR als dit proces een zodanige omvang heeft dat door dit zwellen het beton van binnenuit kapot wordt gedrukt. Dit heeft een ongunstig invloed op het draagvermogen en daarmee de constructieve veiligheid van de betonconstructie. Het tijdig onderkennen van de aanwezigheid van een schadelijke ASR in beton is daarmee van groot belang.

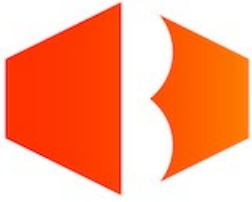
Schadelijke ASR kan alleen optreden als ten minste aan drie voorwaarden gelijktijdig wordt voldaan:

- het toeslagmateriaal moet ASR-gevoelig zijn (voldoende reactieve silica bevatten);
- er moeten voldoende alkaliën in het beton beschikbaar zijn;
- er moet periodiek of blijvend voldoende vocht in het beton aanwezig zijn.

ASR kan zich op twee manieren manifesteren:

- primair: constructieve schade (scheurvorming) ontstaat door (schadelijke) ASR ;
- secundair: ASR ontwikkelt zich in reeds bestaande scheuren.

Het vaststellen van oorzaak en gevolg kan de diagnose van het schadegeval soms bemoeilijken.



Alkali-silicareactie

Sommige toeslagmaterialen die worden toegepast in beton, blijken expansieve reacties te kunnen veroorzaken met alkaliën (natrium- en kaliumionen). Reactieve vormen van silica zijn chalcedoon, opaal, poreuze vuursteen en sommige soorten zandsteen. De mate van reactiviteit hangt af van de kristalstructuur van de vrije silica (SiO_2) die in het toeslagmateriaal aanwezig is. Heeft het materiaal een glasachtige ofwel een amorfe structuur, dan is het reactief. Hoe beter de kristalstructuur geordend is, des te geringer is de reactiviteit van de silica. In CUR-Aanbeveling 89 staat aangegeven hoe de reactiviteit van toeslagmateriaal moet worden beoordeeld.

(Portland)cement is de voornaamste bron van alkaliën. Echter, ook in vulstoffen en hulpstoffen kunnen alkaliën voorkomen. Ook kunnen ze in het poriewater van het beton terechtkomen via dooizouten, zeewater, alkalische vloeistoffen of in het toeslagmateriaal zelf al aanwezig zijn. Daar het hier gaat om een chemische reactie tussen de alkaliën en het reactieve silica in het toeslagmateriaal, wordt gesproken van alkali-silicareacties. Het reactieproduct is zogenoemd silicagel, dat bij opname van vocht enorm in volume toeneemt.

De alkali-silicareactie verloopt als volgt:

- eerst reageren alkaliën met water tot alkalihydroxide: $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH}$
- daarna reageert het reactief silica met de alkalihydroxide tot alkali-silicaathydraat, dat zeer veel water aan zich kan binden: $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot (n+1)\text{H}_2\text{O}$

De reactie verloopt uitermate langzaam en de eerste schade wordt pas na jaren zichtbaar. Uiterlijk kenmerkt de schade zich door een scheurpatroon dat het meest lijkt op grootschalige craquelé.

ASR in een viaduct, zichtbaar als craquelé



Regelgeving voor ASR

Na de eerste diagnose van betonschade door ASR in Nederland (1992) is dergelijke schade intussen geconstateerd in zo'n vijftig betonconstructies. In veel gevallen betreft het civiele bouwwerken zoals bruggen en sluizen, en zijn het allemaal oudere constructies gemaakt met portlandcement.

Ter voorkoming van ASR is CUR-Aanbeveling 89 opgesteld. Op basis van ervaring en uitgebreid onderzoek in binnen- en buitenland is vastgesteld dat als cement een minimumgehalte aan hoogovenslak dan wel poederkoolvliegias bevat, het risico van een schadelijke ASR nihil is. In Nederland worden in betonconstructies waar een schadelijke ASR zich vanwege de expositieomstandigheden kan ontwikkelen, vrijwel uitsluitend hoogovencementen (CEM III/A en CEM III/B) toegepast. Daarmee neemt de kans dat schadelijke ASR zich in de toekomst nog voordoet, steeds verder af.

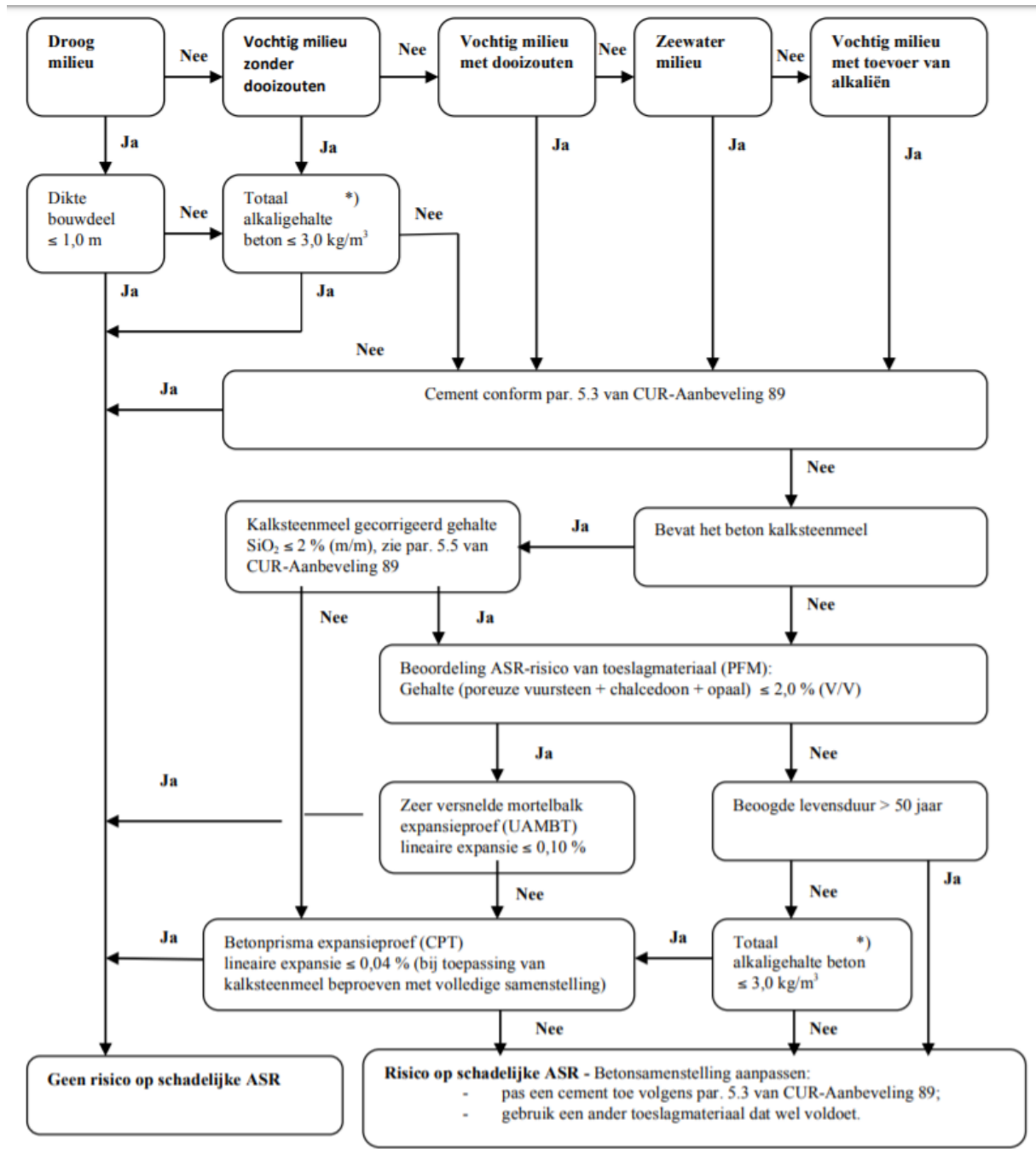
CUR-Aanbeveling 89

Het uitgangspunt van CUR-Aanbeveling 89 is als volgt (zie ook stroomschema, figuur 1, pag. 4):

1. Het risico van schadelijke ASR is primair afhankelijk gesteld van de betreffende vochtregime:
 - droog milieu
 - vochtig milieu
 - vochtig milieu met dooizouten, zeewater milieu of vochtig milieu met toevoer van alkaliën.
2. Afhankelijk van de betreffende vochtregime moet de hoeveelheid alkaliën worden beperkt:
 - droog milieu: geen beperking als het bouwdeel door en door droog is, wat geacht wordt te kunnen optreden bij een dikte tot 1 m;
 - vochtig milieu: totaal alkaligehalte beton $\leq 3,0 \text{ kg/m}^3$
 - vochtig milieu met dooizouten, zeewatermilieu of vochtig milieu met toevoer van alkaliën: cementkeuze moet voldoen aan par.5.3 van CUR-Aanbeveling 89.
3. Er zijn geen verdere preventieve maatregelen nodig als in het betonmengsel een cement of combinatie van cement met poederkoolvliegias wordt toegepast dat voldoet aan par. 5.3 van CUR-Aanbeveling 89.
4. Als niet aan de onder punt 2 genoemde voorwaarden kan worden voldaan, moet de hoeveelheid reactief silica in het toeslagmateriaal worden beperkt:
 - gehalte poreuze vuursteen + chalcedoon + opaal $\leq 2\%$ (V/V);
 - toetsing door middel van een 'zeer versnelde mortelbalk expansieproef' waarbij de lineaire expansie $\leq 0,10\%$ moet zijn;

Bovengenoemde voorwaarden gelden als het beton geen kalksteenmeel bevat of als, indien wel kalksteenmeel aanwezig is, het gehalte SiO_2 onder de grenswaarde ligt (zie stroomschema, fig. 1).

Figuur 1 Beoordeling van het risico van schadelijke ASR volgens CUR- Aanbeveling 89



*) Toelichting stroomschema

In 'droog milieu' met een 'dikte bouwdeel ≤ 1 m' treedt geen expansie van eventuele ASR-gel op. Verdere beoordeling van het risico op schadelijke ASR is derhalve niet noodzakelijk. In de milieus

‘droog met dikte bouwdeel > 1 m’ en ‘vochtig zonder dooizouten’ wordt er van uit gegaan dat er geen risico bestaat voor toevoer van alkaliën van buitenaf. Bij een voldoende laag alkaligehalte van het beton bestaat er derhalve geen risico op schadelijke ASR. Is het alkaligehalte van het betonmengsel wel hoger dan 3,0 kg/m³, dan dient de procedure volgens het stroomschema te worden doorlopen.

In alle overige milieus bestaat het risico op toevoer van alkaliën van buitenaf. Het risico op schadelijke ASR is dus niet te beperken door alleen het alkaligehalte van het beton te beperken. Hier moet het stroomschema worden gevolgd om na te gaan of maatregelen genomen moeten worden.

Nadere toelichting CUR- Aanbeveling 89

Cementkeuze

Bij de juiste cement- of bindmiddelkeuze is er geen risico voor schadelijke ASR, omdat daarbij de hoeveelheid voor ASR beschikbare alkaliën wordt beperkt. In veel gevallen zal dit in Nederland de eenvoudigste preventieve maatregel zijn om ASR te voorkomen. Op basis van ervaring en uitgebreid onderzoek in binnen- en buitenland is vastgesteld dat als het cement een bepaald minimumgehalte aan slak, dan wel poederkoolvliegias bevat, het risico op schadelijke ASR tot een minimum wordt beperkt (zie kader).

Cementkeuze en beschikbare alkaliën

Uit zowel de praktijk als uit divers wereldwijd onderzoek is bekend dat zowel hoogovenslak als poederkoolvliegias de hoeveelheid alkaliën die beschikbaar zijn voor de alkali-silicareactie, sterk verminderen. De slak- en vliegiasdeeltjes houden als het ware de alkaliën vast. Dit betekent ten minste dat de bijdrage van alkaliën aan de ASR-reactie uit slak en vliegias veel lager is dan uit portlandcement.

Om praktische redenen is ervoor gekozen de eisen aan effectieve alkaligehaltes van beton met portlandcement, hoogovenslak en/of poederkoolvliegias te vertalen naar grenswaarden voor het totale alkaligehalte van de cementen. Hierbij wordt uitgegaan van een bepaalde bijdrage vanuit de ‘overige bestanddelen’ (zand, grind, water en hulpstof), een (voor Nederland) realistische waarde voor het alkaligehalte van de poederkoolvliegias en een bepaalde binding van alkaliën door hoogovenslak en poederkoolvliegias. De verschillende grenswaarden zijn gegeven in tabel 1.

In Nederland liggen de gebruikelijke waarden voor cement normaliter v^{er} onder deze grenswaarden.

Er zijn geen verdere preventieve maatregelen nodig als gewerkt wordt met hoogovencement (CEM III/B) of een cementmengsel met minimaal 50% hoogovenslak of met portlandvliegiascement (CEM II/B-V) die voldoen aan tabel 1. Met deze cementen wordt een beton verkregen, dat alkaliën van buitenaf nauwelijks kunnen binnendringen.

Tabel 1 Eisen aan cementen met preventieve werking ten aanzien van ASR volgens CUR-Aanbeveling 89

Cement	CEMII/B-V			CEM III/A	CEM III/B
Cement met gehalte poederkoolvliegias of slak [% (m/m)]	≥ 25		≥ 30	≥ 50	≥ 66
Na ₂ O _e poederkoolvliegias in cement [% (m/m)]	1 ≤ x ≤ 2	2 < x ≤ 3	3 < x ≤ 4,5	n.v.t.	n.v.t.
	Maximum alkaligehalte cement [1% (m/m)]				
indien alkalibijdrage overige bestanddelen ≤ 0,6 kg/m ³ ³⁾	1,1	1,3	1,6	1,1	1,5
indien alkalibijdrage overige bestanddelen 0,6 < y ≤ 1,2 kg/m ³ ^{1),3)}	0,9	1,1	1,5	0,9	1,3
indien alkalibijdrage overige bestanddelen 1,2 < y ≤ 1,6 kg/m ³ ^{2),3)}	0,9	1,1	1,5	0,9	1,3

1. Indien wordt aangetoond dat de alkalibijdrage van de hulp- en vulstoffen, anders dan vliegias, < 0,1 kg/m³ is, mag voor de alkalibijdrage van de overige bestanddelen worden uitgegaan van maximaal 1,2 kg/m³;
2. Indien niet wordt voldaan aan de eis: alkalibijdrage overige bestanddelen ≤ 1,6 kg/m³ dan moet het alkaligehalte worden berekend volgens Bijlage G van CUR-Aanbeveling 89;
3. Onder 'overige bestanddelen' wordt verstaan: alle grondstoffen in het beton, behalve cement en poederkoolvliegias.

Indien bij gebruik van CEM II/B-V het alkaligehalte van het hierin toegepaste poederkoolvliegias niet bekend is, moet van het Na₂O_e gehalte van 1,0 ≤ x ≤ 2,0% (m/m) worden uitgegaan.

Voor de combinatie van cementen al dan niet in combinatie met poederkoolvliegias zijn in par.5.3 van CUR- Aanbeveling 89 ook richtlijnen opgenomen voor het maximale alkaligehalte van het cement of bindmiddel. Hierbij zijn de maximale alkaligehalten afhankelijk van de alkalibijdrage van de overige bestanddelen, d.w.z. alle bestanddelen behalve cement (bindmiddel) en poederkoolvliegias (tabel 2).

Tabel 2 Eisen aan combinaties van cementen, al dan niet met toevoeging van poederkoolvliegias met preventieve werking ten aanzien van ASR volgens CUR-Aanbeveling 89

Type cement	CEM I met vliegias	CEM II met vliegias	CEM III/B en CEM I zonder poederkoolvliegias	CEM III/A of B en CEM I met poederkoolvliegias
Bindmiddel met gehalte slak [% (m/m)]	n.v.t.	n.v.t.	≥ 50	Zie noot 4)
Poederkoolvliegias:				
- gehalte [% (m/m)]	≥ 25	≥ 30	n.v.t.	
- Na ₂ O _e [% (m/m)]	≤ 3,0	> 3,0 x ≤ 4,5	n.v.t.	
	Maximum alkaligehalte cement [% (m/m)]			
Indien alkalibijdrage overige b 0,6 kg/m ³ ³⁾	0,9	0,9	1,1	Zie noot 4)
Indien alkalibijdrage overige b < γ ≤ 1,2 kg/m ³ ^{1),3)}	0,7	0,7	0,9	
Indien alkalibijdrage overige b < γ ≤ 1,6 kg/m ³ ^{2),3)}	0,6	0,6	0,8	

- 1) Indien wordt aangetoond dat de alkalibijdrage van de hulp- en vulstoffen, anders dan poederkoolvliegias, < 0,1 kg/m³ is, mag voor de alkalibijdrage van de overige bestanddelen worden uitgegaan van maximaal 1,2 kg/m³;
- 2) Indien niet aan deze eis wordt voldaan, dan moet het alkaligehalte worden berekend volgens bijlage G van CUR- Aanbeveling 89;
- 3) Onder 'overige bestanddelen' wordt verstaan: alle grondstoffen in het beton behalve cement en poederkoolvliegias;
- 4) Een mengsel wordt gemaakt van CEM I met poederkoolvliegias dat voldoet aan de eisen voor 'Beton op basis van CEM I met poederkoolvliegias' (tabel 2) én CEM III/A of CEM III/B dat voldoet aan de eisen uit tabel 1.

Indien een cement of bindmiddel wordt toegepast dat niet voldoet aan paragraaf 5.3 van de CUR-Aanbeveling 89, moet het toeslagmateriaal voldoen aan de eisen van de CUR-Aanbeveling (figuur 1, pag. 4).

Beton in droog milieu

In beton in een droog milieu is geen vocht beschikbaar en is dus ongeacht de betonsamenstelling en de keuze van de verschillende grondstoffen géén risico voor schadelijke ASR. We zagen al eerder dat in veel beton alkaliën in enige mate reageren met silica in toeslagmateriaal, waardoor in 'wetenschappelijke' zin sprake is van een alkali-silicareactie. Dit kan ook in droog milieu. Echter, de schade die door ASR wordt veroorzaakt treedt op doordat reactieproducten water opnemen, waardoor hun volume sterk toeneemt. Deze zwelling veroorzaakt spanningen in het beton die leiden tot schade in de vorm scheurvorming, zowel inwendig als aan het betonoppervlak. Indien er geen of onvoldoende vocht aanwezig is, zullen de reactieproducten niet zwellen en zal geen schade optreden. In een droge omgeving is derhalve geen extra preventieve maatregel vereist. Hierbij valt wel één kanttekening te maken. Onduidelijk is in hoeverre in het hart van zeer grote, dikke betonconstructies voldoende 'eigen vocht' kan worden aangetrokken om toch zwelling te vormen. Daarom is een beperking gesteld aan de dikte van betonelementen waarbij de afwezigheid van vocht van buiten als preventieve maatregel geldt. Deze dikte is vastgesteld op 1 m. Bij grotere afmetingen moet het risico op schadelijke ASR worden beoordeeld volgens de regels die gelden voor beton in een vochtig milieu zonder dooizouten (zie figuur 1, pag. 4).

ASR-schade aan trap



Beton in vochtig milieu zonder dooizouten

Nu is wel vocht beschikbaar, wat betekent dat in dit milieu één van de 'andere' voorwaarden voor het mogelijk optreden van schadelijke ASR moet worden uitgeschakeld. Nu de zwelling niet kan worden beperkt door de beschikbaarheid van het vocht uit te

sluiten, moet ervoor worden gezorgd dat vanuit de samenstelling onvoldoende alkaliën beschikbaar zijn. Uit ervaring en onderzoek is gebleken dat de limiet voor het alkaligehalte van $3,0 \text{ kg/m}^3$, uitgedrukt in natriumequivalent $\text{Na}_2\text{O}_e (= \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O})$ van het beton, een veilige grenswaarde is. Met de meeste betonsamenstellingen kan eenvoudig aan deze eis worden voldaan. Om het alkaligehalte te kunnen berekenen, moet uiteraard wél het alkaligehalte van alle gebruikte grondstoffen bekend zijn (zie kader). Indien niet aan de limiet voor het alkaligehalte kan worden voldaan, gelden de eisen behorende bij een vochtig milieu met toevoer van alkaliën uit dooizouten, zeewater of andere bron.

Voorbeeld van de berekening van het totaal alkaligehalte van beton

Grondstof	Alkaligehalte (% (m/m))	Betonsamenstelling (kg/m^3)	Totaal alkaligehalte (kg/m^3)	
CEM I	0,70	290		2,0
Poederkoolvliegias	1,8	100		1,8
<i>Overige bestanddelen beton</i>				
Zand	0,012	760	0,091	0,262
Grind	0,010	1070	0,11	
Water	0,001	128	0,001	
Hulpstof	2,0	3,0	0,060	
Totaal alkaligehalte beton				4,1

Het 'totaal alkaligehalte' van dit betonmengsel is hoger dan $3,0 \text{ kg/m}^3$ en moet dus getoetst worden aan de randvoorwaarden volgens paragraaf 5.3 van CUR-Aanbeveling 89. Volgens paragraaf 5.3.2 moet (bij minimaal 25% (m/m) poederkoolvliegias ten opzichte van de combinatie van cement en poederkoolvliegias) het alkaligehalte van het cement lager zijn dan 0,9% (m/m). Het bovenstaande betonmengsel voldoet dus wel aan CUR-Aanbeveling 89. De reden hiervoor is dat indien voldaan wordt aan paragraaf 5.3 van de CUR-Aanbeveling, uitgegaan wordt van het effectieve alkaligehalte. Dat wil zeggen van de alkaliën die via het poriewater voor de ASR beschikbaar zijn.

Beton in vochtig milieu met dooizouten of toevoer van alkaliën uit andere bron en maritiem milieu

Ten aanzien van het alkaligehalte is de situatie in deze vochtregimes enigszins anders dan in beton in vochtig milieu zonder dooizouten. Hier bestaat, in principe, de mogelijkheid dat van buitenaf alkaliën in het beton dringen, bijvoorbeeld door dooizouten of zeewater. Hoewel onderzoek heeft aangetoond dat de indringing van alkaliën van buitenaf in het algemeen minimaal is, is dit onder deze omstandigheden niet geheel uit te sluiten. Hierdoor zou het alkaligehalte van het beton boven de kritische grens van $3,0 \text{ kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O}_e$ kunnen komen. Onder deze omstandigheden is dus sprake van én vocht én het risico van buitenaf indringen van alkaliën. Voor deze milieus geldt dat het risico op schadelijke ASR moet worden beperkt door de juiste cement- of bindmiddelkeuze conform par. 5.3 van CUR-Aanbeveling 89.

ASR-gevoelig toeslagmateriaal

Als de toegepaste cement of cement-vulstofcombinatie voldoet aan de criteria zoals omschreven in CUR-Aanbeveling 89, behoeven géén aanvullende eisen te worden gesteld aan het te gebruiken toeslagmateriaal. Dat betekent dat alle toeslagmaterialen die voldoen aan de norm voor toeslagmaterialen NEN-EN 12620, altijd mogen worden gebruikt. Er moet wel aan de overige eisen in de vigerende betonvoorschriften (normen en CUR-Aanbevelingen) worden voldaan!

Als het niet mogelijk is één van de hiervoor beschreven maatregelen uit te voeren, moet toeslagmateriaal worden toegepast waarvan door middel van één of meer expansieproeven is aangetoond dat het niet gevoelig is voor ASR. De procedure om die gevoeligheid te bepalen is beschreven in CUR-Aanbeveling 89.

Als eerste stap wordt het gehalte aan potentieel reactieve materialen in het toeslagmateriaal bepaald met PFM microscopie (polarisatie-en-fluorescentiemicroscopie). De mate van reactiviteit hangt af van de kristalstructuur van de vrije silica, SiO₂ die in het toeslagmateriaal aanwezig is. Hoe beter de kristalstructuur geordend is, des te lager is de oplosbaarheid van silica en des te geringer is de reactiviteit van de silica. Kwarts is bijvoorbeeld SiO₂ met een goed geordende (volledig kristallijne) kristalstructuur. Voorbeelden van silica met een slecht geordende (men spreekt ook wel van amorfe of glasachtige) structuur zijn poreuze vuursteen, chalcedoon en opaal (zie figuur 2). Deze materialen worden beschouwd als reactief. Indien het gehalte aan deze materialen groter is dan 2% (V/V) wordt het toeslagmateriaal beschouwd als potentieel ASR-gevoelig.

Het blijkt vaak moeilijk om op grond van een oordeel over individuele korrels te komen tot een oordeel over de ASR- gevoeligheid van samengestelde materialen zoals rivierzand en -grind en zeezand en -grind. De mineralogische samenstelling van deze toeslagmaterialen bevat vaak een variëteit aan mineralen en de kristalstructuur bevat vele (overgangs)vormen.

Materiaal dat minder dan 2% (V/V) poreuze vuursteen + chalcedoon + opaal bevat, kan veelal als ongevoelig voor de alkali-silicareactie worden beschouwd. Er kunnen echter nog wel geringe hoeveelheden ander reactief silica aanwezig zijn. Om dit risico te ondervangen moet het materiaal, na beoordeling op grond van de PFM-resultaten, ook worden onderworpen aan een expansietest. Hierbij bestaat de keuze uit de 'zeer versnelde mortelbalk-expansietest' (UAMBT), die veertien dagen duurt, of de 'betonprisma-expansietest' (CPT), die één jaar duurt. Beide beproevingsmethoden zijn beschreven in CUR-Aanbeveling 89. De maximaal toelaatbare expansie volgens beide beproevingen is 0,10% respectievelijk 0,04%.

Voor materiaal dat meer dan 2% (V/V) poreuze vuursteen + chalcedoon + opaal bevat, is de situatie ingewikkelder. De zeer versnelde mortelbalk-expansietest is niet geschikt voor materialen met een hoog gehalte aan poreuze vuursteen. Als beproevingsmethode voor deze materialen resteert derhalve in principe alleen de betonprisma-expansietest. Dit lijkt de meest betrouwbare beproevingsmethode. Het blijft echter moeilijk om bij het ontwerpen van constructies voor een zeer lange levensduur ieder risico op het optreden van schadelijke ASR uit te sluiten.

Daarom is in CUR-Aanbeveling 89 gekozen voor de volgende tweedeling:

- voor constructies met een beoogde levensduur van 50 jaar of minder en een alkaligehalte van het beton van $\leq 3,0 \text{ kg/m}^3$ moet de ASR-gevoeligheid van het toeslagmateriaal bepaald worden door middel van de betonprisma- expansietest;
- voor constructies met een beoogde levensduur van minder dan 50 jaar én een alkaligehalte van het beton dat hoger is dan $3,0 \text{ kg/ m}^3$, moet om het risico van schadelijke ASR te minimaliseren de betonsamenstelling worden aangepast.
- voor constructies met een beoogde levensduur van meer dan 50 jaar, moet om het risico van schadelijke ASR te minimaliseren de betonsamenstelling worden aangepast.

Aanpassing van de betonsamenstelling kan bestaan uit:

- het toepassen van een cement of bindmiddel dat voldoet aan par. 5.3 van CUR-Aanbeveling 89;
- het toepassen van een ander toeslagmateriaal dat wel voldoet.

Reactiviteit van het toeslagmateriaal

De ASR-gevoeligheid van toeslagmateriaal hangt fundamenteel af van de kristalstructuur van de vrije silica, SiO_2 , die in het toeslagmateriaal aanwezig is. Hoe beter de kristalstructuur geordend is, des te lager is de oplosbaarheid van silica en des te geringer is de hoeveelheid silica beschikbaar voor ASR. Een maat voor deze ordening is de kristalliniteit. De kristalliniteit wordt bepaald door middel van Röntgen-diffractieanalyse. De kristalliniteit wordt uitgedrukt op een schaal van 1 tot 10. De hoogste waarde (10) staat voor volledig kristallijn, de laagste waarde voor 'totaal ongeordend'. Voor gewone kwartskorrels (kiezels) is de kristalliniteit 9 à 10, maar bij verschillende soorten vuursteen kan dit teruglopen tot minder dan 1.

De ASR-gevoeligheid van toeslagmateriaal is echter niet alleen afhankelijk van de kristalliniteit. De korrels moeten ook toegankelijk zijn voor vloeistoffen om op te lossen. Poreuze vuursteen en zeer fijnkorrelige zandstenen zijn in de regel reactiever dan dichte vuursteen en meer grofkorrelige zandstenen.

Conclusie

Voor beton in alle milieus is het mogelijk om maatregelen te nemen om schade door ASR te voorkomen. Schadelijk ASR treedt alléén op als aan alle drie genoemde essentiële voorwaarden (aanwezigheid van vocht, alkaliën en ASR-gevoelig toeslagmateriaal) gelijktijdig wordt voldaan.

Literatuur

[CUR-Aanbeveling 89, Maatregelen ter voorkoming van betonschade door alkali-silicareactie \(ASR\)](#)

[Betoniek 15/2, ASR-verzekering](#)

[Betoniek 13/4, ASR in beeld](#)

[Betoniek 12/19, Voorkomen van ASR](#)

[Betoniek 11/3, Petrografie](#)

[Betoniek 9/25, Alkali-silicareactie](#)

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

NEN-EN 12620, Toeslagmateriaal voor beton