

Bacteriën vullen betonscheuren

Beton wordt gemaakt uit cement, water, zand en grind. Het cement gaat een reactie aan met water, waardoor onder andere calciumhydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ontstaat. Er ontstaat een hard materiaal. Door een overmaat aan water bevat beton ook met water gevulde poriën. De poriën in beton bevatten onder andere een verzadigde oplossing van calciumhydroxide. Er stelt zich het volgende evenwicht in:



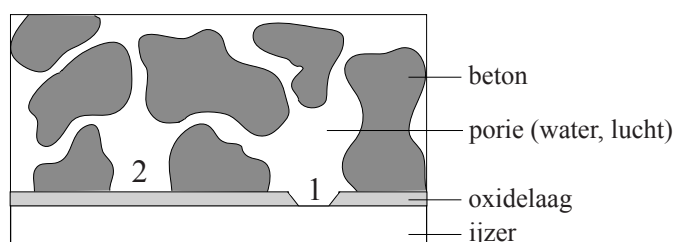
- 2p **22** Geef de evenwichtsvoorwaarde van evenwicht 1.
- 3p **23** Bereken de pH van dit poriewater ($T = 298 \text{ K}$). Neem aan dat alleen het opgeloste calciumhydroxide de pH bepaalt. Gebruik Binas-tabel 46; de onder K_s gegeven waarden zijn de waarden voor de betreffende evenwichtsconstanten.

Beton wordt meestal voorzien van een wapening. Dat is een netwerk van ijzeren staven. Bij gewapend beton kunnen kleine scheuren in het materiaal al snel negatieve gevolgen hebben. Via deze kleine scheuren kan namelijk lucht binnendringen. Uit lucht afkomstig CO_2 reageert met de oplossing van $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tot onder andere calciumcarbonaat. Deze vorming van calciumcarbonaat wordt carbonatatie genoemd.

- 3p **24** Geef de reactievergelijking voor carbonatatie.

De ijzeren staven in de wapening zijn aan de buitenzijde omgeven door een oxidelaag. Bij hoge pH beschermt deze oxidelaag de ijzeren staven tegen roest. Doordat CO_2 door beton wordt opgenomen kan plaatselijk de pH dalen tot onder $\text{pH} = 8$. Bij deze omstandigheden is de beschermende oxidelaag niet meer stabiel en begint de corrosie van het betonijzer. In figuur 1 is schematisch een stuk gewapend beton weergegeven. Als de oxidelaag van een staaf is aangetast, komt het ijzer in contact met het poriewater. Door de aanwezigheid van zuurstof en water in de poriën ontstaat dan een elektrochemische cel. In figuur 1 zijn met 1 en 2 de plaatsen aangegeven waar de halfreacties van de elektrochemische cel verlopen.

figuur 1



De oxidelaag is doorlaatbaar voor elektronen, maar niet voor ionen.

- 2p 25 Geef de vergelijkingen van de beide halfreacties die plaatsvinden wanneer het ijzer van de wapening reageert met water en zuurstof.
- 2p 26 Geef aan welke halfreactie(s) verloopt (verlopen) bij 1 en welke bij 2 in figuur 1. Licht je antwoord toe.

De dichtheid van de producten van de aantasting van de wapening is lager dan de dichtheid van ijzer. Hierdoor zet de wapening uit en worden de kleine scheuren in het beton groter. Het beton verliest dan snel zijn sterkte. Om verlies van sterkte van het beton te voorkomen, moeten betonscheuren worden opgevuld. Het beton verkrijgt daarmee weer de oorspronkelijke sterkte.

Een onderzoeksteam uit Gent onderzoekt of bacteriën die calciumcarbonaat produceren deze scheuren kunnen vullen.

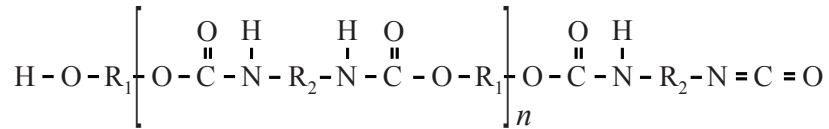
In het beton worden glazen reparatiebuisjes verwerkt. De busjes zijn in groepjes van drie aan elkaar gelijmd. Ze bevatten elk andere stoffen:

- 1 busje 1 bevat een oplossing van bacteriën in water;
- 2 busje 2 bevat een prepolymeer, dit is een polymeer met korte ketens;
- 3 busje 3 bevat een polymerisatie-versneller en een oplossing van ureum en $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ in water.

Als ergens een scheur in het beton ontstaat, breken de busjes open. Het prepolymeer komt zo in contact met de polymerisatie-versneller en water. Het prepolymeer polymeriseert waarbij een schuim wordt gevormd dat de bacteriën beschermt tegen de hoge pH van het beton. De bacteriën voeden zich met het ureum en scheiden carbonaationen uit. Deze carbonaationen vormen samen met de calciumionen uit het derde busje calciumcarbonaat. Een scheur wordt op deze wijze opgevuld met calciumcarbonaat.

In figuur 2 is een molecuul van het gebruikte prepolymer weergegeven. In de structuurformule worden met R_1 en R_2 koolwaterstofketens aangeduid.

figuur 2



Het prepolymer is een ketenpolymeer en wordt gevormd door polyadditie van een stof X en een stof met twee alcoholgroepen.

- 2p **27** Geef de structuurformule van stof X.
Maak gebruik van de notatie R_1 en/of R_2 .

Als het prepolymer reageert met water wordt eerst aan de moleculen van het prepolymer één $\sim NH_2$ groep gevormd aan het rechter uiteinde van elk molecuul (zie figuur 2). Tevens komt hierbij een stof Y vrij.

Door vervolgreacties wordt uiteindelijk een netwerkpolymeer gevormd. Er vormt zich een luchtig polymeerschuim dat de scheuren in het beton opvult. De bacteriën vullen vervolgens de holtes van het gevormde schuim met calciumcarbonaat.

- 2p **28** Geef de formule van stof Y en leg uit waarom stof Y zorgt voor de vorming van een schuim.
- 2p **29** Leg uit waarom minimaal drie buisjes gebruikt moeten worden.