

Docentenhandleiding

Zelfherstellend Beton

De module in vogelvlucht

Over de verschillende samenstellingen van beton, de kwaliteitscontrole van de grondstof water, de microstructuur en het zelfherstellend vermogen van beton.



Mopje over cement:

Er liggen twee cementzakken buiten en dan begint het te regenen. Zegt de een: "Kom we gaan naar binnen". „Ach", zegt de ander, „daar word je hard van".

Leden ontwikkelteam Zelfherstellend beton:

Jannie Manders, Peellandcollege, Deurne

Karin Visser-Spaben, Regionale scholengemeenschap „t Rijks, Bergen op Zoom

Eveline Wijbenga, Het Baken Trinitas gymnasium, Almere

Leo Kwakernaat, Willem de Zwijgercollege, Papendrecht

Coach: **Jan de Gruijter**, Fontys Lerarenopleiding Tilburg

Projectleider: **Pauline Sloet tot Everlo**, Stichting Communicatie Centrum Chemie (C3),

Deskundige: Prof. dr. **Sybrand van der Zwaag**, TU Delft

ScheikundeInBedrijf.nl | Postbus 158, 2260 AD Leidschendam | T +31 (0)70 337 87 88, F +31 (0)70 337 87 89 | info@scheikundeinbedrijf.nl

Inhoudsopgave

Zelfherstellend beton

Docentenhandleiding

Begrippenlijst	4
Hoofdstuk 1: Oriëntatie beton	6
Hoofdstuk 2: Kwaliteitscontrole van de grondstof water	9
Hoofdstuk 3: De toepassing bepaalt de samenstelling	13
Hoofdstuk 4: Oriëntatie zelfherstellend beton	15
Hoofdstuk 5: Zelfherstellend vermogen beton	19
Hoofdstuk 6: Onderzoek	21
Hoofdstuk 7: Theorieblad zouten	30
Hoofdstuk 8: Theorieblad mol	32

Begrippenlijst

Hoofdstuk 1

· Formules

Calciumsilicaat CaSiO_3

Calciumaluminaat $\text{Ca}_3(\text{AlO}_3)_2$

Calciumsulfaat CaSO_4

Calciumcarbonaat CaCO_3

- Kristallijn is een aanduiding voor een stof die kristallen vormt.
- De chemische reactie waarbij een zoutkristal water opneemt, is een vorm van hydratatie.
- Kristalwater is het water dat in vaste hoeveelheden in sommige kristallijne verbindingen aanwezig is.
- De kristallijne verbinding noemt men ook wel een zouthydraat.
- Een exotherm proces is een proces waarbij warmte vrijkomt.

Hoofdstuk 2

Nog aanvullen

Zoutvorming

Welke zoutformules?

Welke neerslagreacties?

Etc.

Hoofdstuk 3

De samenstelling van beton wordt bepaald door veel factoren, afhankelijk waarvoor het beton gebruikt gaat worden. Dus eerst moet de vraag beantwoord worden: waar gaat het beton voor gebruikt worden?

Dan wordt de samenstelling bepaald, die is afhankelijk van:

- a. Sterkteklasse
- b. Milieuklasse
- c. Verwerkbaarheid
- d. Cementsoort
- e. Toevoegingen en hulpstoffen
- f. Korrelgrootte
- g. Chlorideklasse

Deze groepen hoef je niet allemaal uit je hoofd te weten, maar aan de hand van de gegevens moet de samenstelling bepaald kunnen worden.

Hoofdstuk 4

-Viscositeit, de mate waarin een vloeistof vloeibaarheid vertoont. Hoe gemakkelijker de vloeistof vloeit des te lager is de viscositeit, hoe stroperiger des te hoger de viscositeit.

- Zelfherstellende werking, de mogelijkheid van beton (of een ander materiaal) om

ontstane beschadigingen of scheuren na enige tijd te herstellen zonder dat er een specifieke behandeling nodig is. Bij beton betekent dat, dat bij het ontstaan van een microscheur, het ter plekke aanwezige water met het ongereageerde calciumoxide weer een hydraat vormt, waardoor de scheur wordt opgevuld en het beton niet te veel van de oorspronkelijke sterkte verliest.

Hoofdstuk 5

Microstructuur van beton.

Kennis van de microstructuur van beton is nodig om enig inzicht te krijgen in de zelfherstellende werking van beton. De microstructuur is niet homogeen, behalve dat er zand en ander vulmateriaal (bijv. grind) in beton aanwezig is, vormt zich tijdens de hydratatie cementsteen en calciumhydroxide. Cementsteen heeft een draderige kristallijne structuur en calciumhydroxide heeft een zeshoekige kristalstructuur. De harde vaste bestanddelen van beton en de kristallijne delen zijn random verdeeld over het beton.

De zelfherstellende werking is het grootst daar waar nog ongereageerd calciumoxide aanwezig is. Als het beton vochtig wordt, verzamelt zich het water gemakkelijk in een scheurtje, al waar de hydratatie kan plaatsvinden en de scheur wordt gedicht. Bij die reactie ontstaan cementsteen en calciumhydroxide.

Antwoorden

Opdracht 1.1

- a. De balkons stortten in omdat de ondersteuningskolom van de balkons niet meer op de fundering rustten.
- b. *Beton* is een composiet van cementsteen, grind en zand en *mortel* is een mengsel van cement, zand en water (soms met kalk).
Bij de structuurtekeningen is het belangrijkste verschil dat bij beton wel grind en geen water aanwezig is en bij mortel wel water en geen grind. Mortel moet nog uitharden. Uitgeharden mortel is minder sterk dan beton omdat er geen grind in zit.
- c. De watercementfactor (wcf) is de gewichtsverhouding tussen de hoeveelheid water en de die van cement in de betonspecie. Door toevoegingen van allerlei hulpstoffen zijn betontechnologen erin geslaagd beton met een lage wcf te maken (bijv. 0,4) daardoor ontstaat een sterk beton. Wcf van 0,8 is veel te hoog. Zoveel water is niet nodig voor de hydratatie waardoor de dichtheid van het beton wordt verlaagd, de sterkte wordt verminderd en de duurzaamheid van het beton niet ten goede komt. Immers als het water niet wordt gebruikt voor de hydratatie zit het op de plaats waar eventueel cementsteen gevormd had kunnen worden.
- d. Als er geen mortel was gebruikt maar beton en dan liefst gewapend beton, was de kans veel groter geweest dat er geen problemen waren opgetreden. Uiteindelijk was het nog veel beter geweest als de aannemer de constructie niet had aangepast.
- e. Bij het onder eigen woorden brengen van beton is het belangrijk dat grind en zand blijven genoemd en dat de gehydrateerde betonspecie (cementsteen) wordt genoemd. Het woord composiet hoeft niet per se genoemd te worden, maar wel dat beton een heterogeen mengsel is.

Proef 1 *Hydratatie van cement.*

Waarnemingen:

Bij deel 1 blijft de temperatuur constant en bij deel 2 stijgt de temperatuur meer dan 5 °C

Conclusie: - De hydratatie van cement is een chemisch proces en niet het mengen van stoffen.

N.B. Nooit cement door de gootsteen spoelen Altijd in de prullenbak weggooien.

Proef 2 *Zichtbaar maken van binding met water*

Conclusie: Al het water wordt gebruikt bij de verharding. Er is geen water over of verdampt

Proef 3 Beton maken

Werkwijze:



Deel 1: mengsels maken

De klas wordt verdeeld in groepjes van ieder 4 leerlingen. Ieder groepje leerlingen maakt een kilo beton van een andere samenstelling. De samenstellingen zijn in tabel 1 weergegeven. Je kunt zelf natuurlijk nog meer variatie aanbrengen Maar zorg voor minimaal 3 staafjes per variatie omdat je de treksterkte van de staafjes onderling gaat vergelijken.

Betonstaaf 1 *standaard*

Betonstaaf 2 *twee keer zoveel water*

Veel water gebruiken: het beton moet in een waterdichte vorm gegoten worden. Het voordeel is wel dat het beton in alle hoeken en gaten gaat zitten: er ontstaat veel detail in het oppervlak van het beton. Het nadeel is dat het beton minder sterk wordt, want zoveel water is voor de hydratatie (de uitharding van cement) niet nodig. Het beton wordt minder sterk.

Betonstaaf 3 *de helft cement de andere helft metselzand.*

Het beton wordt meer korrelig en brosser

Betonstaaf 4 *met suiker*

Suiker vertraagt de bindingstijd; het beton wordt niet zo hard.

Betonstaaf 5 *met afwasmiddel*

Afwasmiddel is een plastificeerder.

Dit zijn hulpstoffen die de eigenschappen bezitten de verwerkbaarheid van de betonspecie te verbeteren zonder dat hiervoor meer water moet worden toegevoegd.

Betonstaaf 6 *met volièregaas*

Volièregaas werkt als bewapening en maakt het beton steviger.

Deel 2: Beton breken

	Verwerkbaarheid van beton.	Treksterkte:
StAAF 1	droog aardvochtig 1-2	4.9
StAAF 2	zeer vloeibaar 6	4.0
StAAF 3	Droog 0	1.5
StAAF 4	Vloeibaar 5	2.1
StAAF 5	plastische zie foto 3	5.7
StAAF 6		7.5

Foto's van gebruikte materialen en grondstoffen:



metselzand



snelcement



het resultaat

Hoofdstuk 2: Kwaliteitscontrole van de grondstof water

Toelichting

In dit hoofdstuk wordt er van uitgegaan dat de leerlingen enige voorkennis hebben over:

- Atoombouw
- Atoommodel van Rutherford
- Ionen
- Periodiek Systeem der elementen
- Metalen en niet-metalen

Proef 4 Zouten, het aantonen van de consoorten Cl^- en SO_4^{2-} in aanmaakwater.

Aanmaakwater

Voor het bereiden van het aanmaakwater wordt gebruik gemaakt van (synthetisch) (oppervlakte)-water. Controleer het aanmaakwater op de aanwezigheid van chloriden en sulfaten.

Uiteindelijk zal het synthetische monster aanmaakwater alleen sulfaat-ionen moeten bevatten in een concentratie van 0,10 M. Weeg hiertoe 14,2 g natriumsulfaat af in 1000 ml water.

Tip

Zorg voorafgaand aan de proef voor druppelflesjes met zoutoplossingen in een concentratie van 0,10 M.

Veiligheid

Inventariseer en evalueer de risico's voorafgaand aan de proef (RI&E).

Vermijd contact van de zilvernitraatoplossing met de huid. Na eventueel huidcontact direct de huid spoelen met ruim water.

Een veiligheidsbril, beschermende kleding en latex-handschoenen zijn nodig tijdens de uitvoering van de proef. Na afloop van de proef dienen de handen met water en zeep gewassen te worden.

Verder gelden de algemene veiligheidsregels tijdens practicum.

Milieu

Alle resten kunnen na afloop van de proef ingeleverd worden bij de Technisch Onderwijsassistent (TOA).

Punt 2: Het ligt voor de hand dat de leerling hier kiest voor het aantonen van het sulfaat-ion. Volgens tabel 45A is er immers geen positief ion dat enkel en alleen een neerslag geeft met chloride-ionen.

Een mogelijk positief ion volgens BINAS tabel 45A is dan het Ba²⁺ -ion.

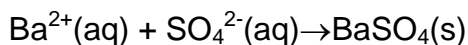
De oplosbaarheidstabel ziet er dan als volgt uit:

Negatief ion →	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Positief ion ↓		
Ba ²⁺	s	g

Punt 3: Voeg ongeveer 3 mL van een oplossing van bariumnitraat toe aan het (eventueel gefiltreerde) aanmaakwater.

Er zijn nu twee mogelijkheden:

- Er ontstaat een neerslag door de (mogelijke) aanwezigheid van sulfaat-ionen in het aanmaakwater.



- Er ontstaat geen neerslag, in het aanmaakwater zijn dus geen-ionen aanwezig (niet van toepassing)

Waarneming: Er ontstaat een neerslag

Conclusie: In het aanmaakwater zijn dus sulfaat-ionen aanwezig

Opmerking: Het ontstaan van een neerslag zou in theorie ook door andere negatieve ionen in het aanmaakwater veroorzaakt kunnen worden, zoals door fosfaat-ionen. De conclusie 'In het aanmaakwater zijn dus sulfaat-ionen aanwezig' is wellicht voorbarig. Het zou beter zijn om te spreken over de *mogelijke* aanwezigheid van sulfaat-ionen in het aanmaakwater.

Het is goed om de leerlingen bij de nabespreking van proef 5 hier op te wijzen. Een specifiekere analyse op de aanwezigheid van sulfaten test zou uitsluitend moeten kunnen geven. Een mogelijke analyse hiervoor staat vermeld in de kanjerkaart van hoofdstuk 2.

Overigens is het gestelde bij deze opmerking eventueel te omzeilen door aan het begin van de proef te stellen dat in het aanmaakwater alleen sulfaat- en chloride-ionen mogelijk aanwezig zijn. Hierbij worden dan eventueel overige aanwezige negatieve ionen genegeerd.

Punt 4: Filtratiestap moet hier uitgevoerd worden.

Formeel zou de leerling hier moeten controleren of bij punt 3 alle sulfaat-ionen neergeslagen zijn om een eventueel vals-positief resultaat bij het aantonen van de chloride-ionen te voorkomen.

Het is goed om de leerlingen bij de nabespreking van proef 5 hier op te wijzen.

Punt 5: Een mogelijk positief ion volgens BINAS tabel 45A is het Ag^+ -ion.
De oplosbaarheidstabel ziet er dan als volgt uit:

Negatief ion →	Cl^-
Positief ion ↓	
Ag^+	s

Punt 6: Voeg ongeveer 3 mL van een oplossing van zilvernitraat toe aan het (eventueel gefiltreerde)

aanmaakwater. Er zijn nu twee

mogelijkheden:

- Er ontstaat een neerslag door de aanwezigheid van-ionen in het aanmaakwater (niet van toepassing)
..... + →
- Er ontstaat geen neerslag, in het aanmaakwater zijn dus geen chloride-ionen aanwezig.

Waarneming: Er ontstaat geen neerslag

Conclusie: In het aanmaakwater zijn geen chloride-ionen aanwezig

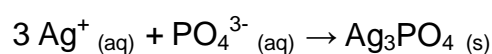
Opmerking: Een eventueel lichte troebeling wordt vermoedelijk veroorzaakt door het gestelde bij punt 4.

Conclusies:

Ionsoort	Aanwezig in het onderzochte aanmaakwater	
	Ja	Nee
SO_4^{2-}	Ja	
Cl^-		Nee

Antwoorden op de vragen bij Proef 5

Opdracht 2.1



Opdracht 2.2

Met behulp van een neerslagreactie is het niet mogelijk om nitraat-ionen aan te tonen. Volgens BINAS tabel 45A is er geen enkel positief ion dat een slecht oplosbaar zout geeft met NO_3^- .

Opdracht 2.3

Door de chemische reactie tussen sulfaten en cementsteen kan beton aangetast worden. Hierbij is er sprake van een expansieve reactie met scheurvorming en sterkteverlies tot gevolg.

Het chloride-gehalte is met name van belang bij gewapend beton. Bij een te hoge concentratie aan chloride kan de wapening aangetast worden.

Hoofdstuk 3: De toepassing bepaalt de samenstelling

Antwoorden

Opdracht 3.1: De samenstelling van beton

- a. Het is belangrijk dat eerst bekeken wordt waar het beton voor gebruikt gaat worden. Afhankelijk daarvan moet worden bepaald hoe sterk het beton moet zijn, hoeveel krachten erop komen te staan. Gebeurt dat niet dan gebeuren er ongelukken.
- b. De NEN normen zijn de normen van de wet, hier moet aan voldaan worden, anders kan je aansprakelijk worden gesteld wanneer er een ongeluk gebeurt.
- c. De zeven stappen zijn:
 - a. Sterkteklasse
 - b. Milieuklasse,
 - c. Verwerkbaarheid
 - d. Cementsoort
 - e. Toevoegingen en hulpstoffen
 - f. Korrelgrootte
 - g. Chlorideklasse
- d. De zeven stappen zijn de aspecten waarmee bepaald wordt onder welke omstandigheden het beton moet functioneren.
- e. Na 28 dagen heeft de chemische reactie die plaatsvindt tijdens het uitharden van beton voor een belangrijk deel plaatsgevonden. De afspraak is dat dan wordt bepaald hoe sterk het beton is geworden.
- f. Te nat beton bevat teveel water, het teveel aan water moet dan verdampen en dan ontstaan er luchtbellens in het beton, het beton wordt daardoor poreuzer en dus minder sterk.
- g. Grind is een opvulmateriaal, en daarnaast zorgt het ook voor een bepaalde sterkte.
- h. De grindkorrel moet drie keer in de breedte passen: dus $3 \cdot 18 \text{ mm} = 54 \text{ mm}$ dik beton.
- i. IJzer is een metaal dat makkelijk kan roesten. Het voordeel van polymeervezels is dat ze ook heel erg sterk zijn, en het is een kunststof, dus het roest niet.
- j. Cement is de 'lijm' in beton, het cement wordt door een chemische reactie omgezet in cementsteen en dat houdt de andere ingrediënten bij elkaar.

- k. Zie stap 7 in het leerlingenboekje. Daar staan 8 voorbeelden van hulpstoffen en hun functies.

Opdracht 3.2

Het kelderdak heeft de specificaties: XC4, XD3 en XF4.

De borstwering heeft de specificaties: XC4 en XF1.

Uit tabel 1:

In de kelder zal het wisselend nat en droog zijn, meer dan bij de borstwering.

De kelder komt ook in aanraking met dooizouten via de grond, de borstwering niet, en met grondwater omdat het beton in de grond gestort wordt. Ook zal de kelder met grondvorst in aanraking komen, vandaar het verschil tussen XF4 voor in de kelder en XF1 voor de borstwering. De laatste zit veel hoger in het gebouw, dus komt niet in aanraking met de grond.

Uit tabel 2:

Beide XC4 omdat het beton in beide gevallen aan de buitenkant van het gebouw zit, en wisselend nat en droog is, en in de kelder ook nog die dooizouten dus daarom XD3.

Opdracht 3.3

Antwoord a) Een geluidswal moet geluid tegenhouden, of absorberen, en het beton moet goed tegen water en dooizouten kunnen.

Antwoord b)

De sterkte van het beton moet bepaald worden omdat het een lang stuk is waar veel druk op komt te staan (eigenschap 1). Verder moet het beton tegen chloriden uit zeewater bestand zijn (eigenschap 2), dus daarom zeker code XS, tegen corrosie bestand zijn (eigenschap 3) en het moet vloeistofdicht beton zijn (eigenschap 4).

Antwoord c) Het beton moet radioactieve straling tegenhouden (eigenschap 1) . Het beton moet honderden jaren meegaan, dus het mag ook niet poreus worden (eigenschap 2), de bewapening mag niet gaan corroderen (eigenschap 3); er is gevaar voor betonrot dus die moet worden tegengegaan (eigenschap 4) en het moet duurzaam zijn en niet op den duur langzamerhand afgebroken worden (eigenschap 5).

Opdracht 3.4

1. Code voor de geluidswal: XC4, XD3, XF4
2. Code voor de tunnel: XS2, XD2, XF4
3. Code voor de bunker: XC4, XD3, XF3, XA3

Hoofdstuk 4: Oriëntatie zelfherstellend beton

Opdracht 4.1

a) Kalksteen of mergel is hoofdzakelijk CaCO_3 . b)



Opdracht 4.2

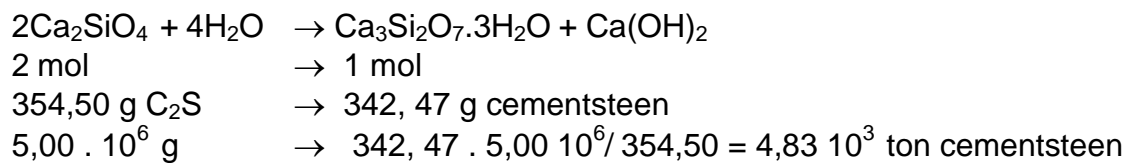
a) Ca_3SiO_5



Opdracht 4.3

C_2S heeft als formule Ca_2SiO_4 .

De reactie van de vorming van cementsteen is (zie opdracht 4.2)



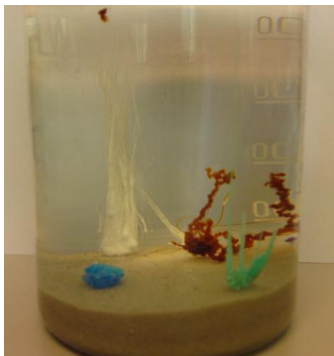
Opdracht 4.4

Het gat de betontechnoloog om de hoeveelheid beton en niet om de hoeveelheid van cementsteen, een onderdeel van beton.

Opdracht 4.5

Zie <http://nl.wikipedia.org/wiki/Kristalstructuur>

Proef 5 Chemische tuin



Voor het maken van de chemische tuin is het handig dat je de oplossing niet hoeft te maken. Deze is verkregen via de apotheek. Die is daarna vermengd met water.

Je neemt een bekersglas en giet daarin het waterglas. Daarna zijn 4 verschillende zouten in de oplossing gebracht. Het ene kristal lost gemakkelijker op dan het andere. Daarom zijn er verschillen in groeisnelheid. Je ziet de kristallen daadwerkelijk groeien. Hopelijk vragen leerlingen zich af hoe dat gebeurt.

Verklaring

Het natriumsilicaat is eigenlijk een soort membraan. Het zout lost voor een gedeelte op waardoor een verzadigde zoutoplossing

ontstaat in een soort van bel. De ionen kunnen niet uit die bel (door het membraan van natriumsilicaat).

Omdat er een verzadigde oplossing van het zout ontstaat, gaat het zout weer uitkristalliseren. Aan een kristal groeien nieuwe kristallen in diverse richtingen. Als je goed kijkt, zie je het kristal ook daadwerkelijk groeien. De concentratie wordt weer minder, hierdoor lost weer een beetje zout op. Er ontstaat weer een verzadigde oplossing... etc... het begint weer van vooraf aan.

Deze verklaring geldt voor alle zouten.

Bij cement worden ook kristallen gevormd, zowel het cementsteen als calciumhydroxide. Ook daar spelen silicaten een rol. De snelheid van de vorming van kristallen zal zeker anders zijn, vanwege het andere medium.

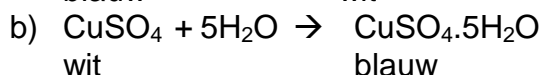
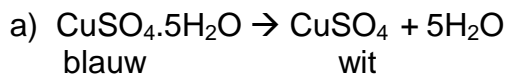
Proef 6 Kristalgroei



Kristalgroei is een leuke proef, maar deze heeft veel tijd nodig. Tijdens het maken van de oplossing waren er geen problemen. Na een paar dagen begonnen er kristallen te groeien rond het touwtje en op de bodem. Zodra er op de bodem kristallen ontstaan moet de oplossing gefiltreerd worden, anders groeien de kristallen op de bodem verder. Dan zal het uitkristalliseren vooral rond het touwtje gebeuren, waardoor grotere kristallen ontstaan.

Dit had ik niet gedaan, waardoor zich een groot cirkelvormig kristal ging vormen. Er ontstaan heel mooie, helderblauwe kristallen.

Opdracht 4.6



c) De vorming van wit kopersulfaat gaat onder verhitten, dus deze reactie is endotherm. Bij de reactie van wit kopersulfaat met water komt warmte vrij.

Proef 7 Bevat soda kristalwater?

Met de opstelling die zo in het practicumvoorschrift staat is het goed te doen. Alleen het verwarmen duurt vrij lang, doordat het water goed moet verdampen. Als het water in het kleine buisje komt, gaat het weer condenseren. Het heeft z'n tijd nodig. Maar je kunt mooi aantonen dat in kristalsoda kristalwater zit. Want na een tijdje komen er enkele druppels vloeistof op het wit koper(II)sulfaat. Deze kleurt blauw, dus het is water. Een heel simpele proef, maar geeft wel de terugkoppeling dat het daadwerkelijk water is.

Proef 8 *Hoeveel mol water bevat kristalwater?*

Kristalwater in kristalsoda

<i>Massa begin (g)</i>	<i>Massa eind (g)</i>
42,07	35,49

Molecuulformule soda: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$

Vergelijking: soda · water → soda + water

In formules: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + x \text{H}_2\text{O}$

Molaire massa: $(106,0 + 18,02x) \rightarrow 106,0 + x \cdot 18,02$

Eigen massa's: 10,28 g → 3,70 g + 6,58 g

Je weet de massa van de kristalsoda voordat het in de oven ging. Door het afwegen nadat het uit de oven komt weet je de massa van de soda (zonder kristalwater). Met behulp van verhoudingen kun je uitrekenen welke waarde x heeft.

$$\frac{10,28 \cdot 106,0}{106 + 18,02x} = 3,70$$

Uitwerking hiervan geeft het volgende:

$$3,70(106 + 18,02) = 1089,68$$

$$392,2 + 66,674x = 1089,68$$

$$66,674x = 697,48$$

$$x = 10,5$$

We kiezen voor $x = 10$, dus $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$. Dit komt overeen met de formule (decahydraat). Mijn bevinding ligt redelijk bij de theoretische waarde. De proef is één keer uitgevoerd. Voor een hele klas levert de gemiddelde waarde een nauwkeuriger

beeld.

Deze berekening is ook goed te doen voor een havo 4 leerling. Ze moeten dan wel goed nadenken, maar aan de hand van het werkblad is het goed te doen.

Opdracht 4.7

- a) Voor de hydratatie is water nodig. Als er te weinig water aanwezig is, kan er ook te weinig cementsteen ontstaan, waardoor het beton niet sterk genoeg wordt.
- b) Het uitharden van beton is de vorming van cementsteen, een silicaat en tevens een hydraat. Bij de chemische tuin vormt het zout ook een silicaat en een hydraat.
- c) Zie ook b) en verder ontstaat er in beide gevallen een vezelachtige structuur.

Opdracht 4.8

Belangrijk bij de tekening is dat calciumhydroxide en cementsteen zichtbaar zijn gemaakt. Afhankelijk van de mate van inzoomen is er wel of geen vezelachtige structuur van cementsteen zichtbaar.

Keur een tekening niet te gauw af. Vul liever aan, want het is erg lastig een fraaie tekening te maken. Uiteindelijk is beton een heterogeen materiaal.

Opdracht 4.9

- a) Zand maar zeker grind is vergeleken met cementsteen zo groot, dat die beter buiten beschouwing kunnen worden gelaten.
- b) Het water reageert met cement. Als er bij het maken van de betonspecie niet te veel water wordt gebruikt zal praktisch al het water reageren. Er kan wat water achterblijven, maar op den duur verdampt het water en dan blijven er kleine luchtbelletjes over.

Hoofdstuk 5: Zelfherstellend vermogen beton

Proef 9 Zelfherstellende materialen

Deel 1: Grootmoeders wijze

Het borstplaat is goed te maken als het voorschrift goed wordt gevolgd.

De krassen in het borstplaat blijven bestaan.

Deel 2: Zelfherstellende materialen is lastiger.

Het koken tot de gewenste concentratie (dikte) is erg belangrijk. De vlam moet daarbij niet te hoog zijn, anders wordt het borstplaat te bruin. Geduld is belangrijk.

De krassen in het borstplaat verdwijnen op den duur. Borstplaat gemaakt met azijn heeft zelfherstellende eigenschappen.

Proef 10 Zelfherstellende werking van beton

Bij de proef is het belangrijk van te voren na te gaan welke tijd nodig is om de betonstaven te breken en daarna weer aan elkaar te bevestigen met post-elastiek.

Na ca. twee dagen moet de staaf weer aan elkaar vastzitten.

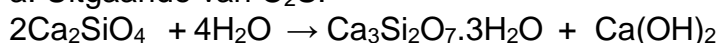
Als dat niet het geval is (temperatuur en vochtigheid zijn hierbij erg belangrijk) dezelfde proef met meerdere betonstaafjes uitvoeren en na tussen 3, 4, 5 en 6 uur de staven breken en na twee dagen controleren bij welke tijd de staven aan elkaar zijn gebleven

Deze proef is discutabel. De hydratatie van het cement heeft nog maar kort plaatsgevonden. Als je dan een breuk maakt is het begrijpelijk dat de kans redelijk groot is dat de staven weer aan elkaar „groeien”. Toch lijkt deze situatie op die waarbij een (micro)scheur in uitgehard beton ontstaat. In deze staven zit nog veel ongereageerd cement. Dat kan verder reageren en de staven zitten weer (weliswaar zwakker gebonden) aan elkaar.

Bij het maken van microscheuren zijn opnames met de elektronenmicroscop wel zo te maken dat de zelfherstellende werking zichtbaar is, maar de ontwikkelaars wilden graag een proef die het principe van de zelfherstellende werking het duidelijkst zou laten zien.

Opdracht 5.1

a. Uitgaande van C_2S :



en vanuit C_3S :



b. In afbeelding 5b (onderdeel 6 en 7).

c. Na het ontstaan van een microscheur kan er als het beton nat wordt gemakkelijk water komen op de plaats van de scheur. Daar kan nog aanwezig ongereageerd cement met water weer gewoon cementsteen geven (reactie zie a.).

d. Op die plaatsen waar een microscheur is ontstaan en vervolgens is hersteld zal een volgende keer minder ongereageerd cement aanwezig zijn (of misschien wel helemaal niet meer). Dus op den duur verdwijnt de zelfherstellende werking.

Opdracht 5.2 Webquest

Een vijftal links naar websites die iets van doen hebben met zelfherstellend beton:

http://www.rijkertknoppers.nl/RKT_Technisch_weekbl.5.html

http://agrabeton.cementenbeton.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=122&Itemid=9

<http://www.citg.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=d6b29f69-f453-40e6-b6cb-01714077ed69&lang=nl>

<http://www.kennislink.nl/web/show?id=135593>

http://www.delftcluster.nl/website/files/CT05_2007_DC_LR.pdf

Eventueel kan het artikel beoordeeld worden met een cijfer, al dan niet in combinatie met het vak Nederlands.

Hoofdstuk 6: Onderzoek

6.1 De olifanten van beton

Een olifant heeft ongeveer een volume van 690 cm bij 1100 cm bij 690 cm, dus dat is 523 m³. Vermenigvuldigen met de dichtheid van beton: 523 * 2500 = 1309275 kg, is 1.3* 10⁶ kg. Volgens Wikipedia weegt één olifant ongeveer 4,0*10⁴ kg. Dat scheelt dus nogal!

Dat komt omdat ze gemaakt zijn van spuitbeton. **Spuitbeton** of **Shotcrete** is een vorm van beton dat in vloeibare, natte verschijning spuitbaar aangebracht kan worden. Het wordt veel gebruikt bij de aanleg van tunnels, en kunstwerken. Het cement wordt van tevoren gemengd met water en door de slang geleid, waarbij alleen lucht onder hoge druk toegevoegd wordt. Voordeel van de natte methode is minder stofontwikkeling en snellere hechting aan het te spuiten oppervlak. De olifanten zijn dus eerst gemaakt van kippengaas en piepschuim, dat ook nog eens in de fik gestaan heeft tijdens het maken van het kunstwerk, met daaroverheen een dunlaagje spuitbeton.

Bekijk ook de site van de kunstenaar.

<http://www.tomclaassen.com/?page=works&id=0106&sub=2>

Olifanten



Tom Claassen, Olifanten, 1999, foto Patrick Post

Wat: Hoewel ze geen slagstanden hebben, niet de typerende nagels aan hun voeten en nergens huidplooien, zijn ze toch onmiddellijk herkenbaar als olifanten. *Vijf grote knuffels* langs de snelweg. Gemaakt van stalen balken, staaldraad, piepschuim en spuitbeton. En toch aaibaar, lijkt het.

Volgens Claassen zelf zijn het 'dingen die op afstand aan een olifant doen denken', maar dat is wel erg zwak uitgedrukt. Niemand zal ook maar één moment aan iets anders denken dan aan een kudde olifanten, als hij langs dit grijze vijftal rijdt.

Doordat ze allemaal in een andere richting gedraaid staan, laten ze zich van alle kanten bekijken.

Claassen maakte modellen van 50 cm lang en liet de beelden vervolgens uitvoeren door een aannemer. Zeven meter hoog, zeven meter breed en elf meter lang zijn de maten - per dier. Het project was begroot op acht ton, maar werd een tikkie duurder door een ongelukkige brand in de werkruimte waar de beelden werden gemaakt. Het

piepschuim waarmee de vormen werden opgebouwd, vloog in brand en twee

olifanten raakten ernstig beschadigd. Nu staan ze dan veilig in beton gegoten, brengen kinderen in verrukking en volwassenen in verwarring.

Beeldhouwer Tom Claassen heeft meer abstracties van dieren in de openbare ruimte neergezet. Hij kiest vaak voor vriendelijke, soms wat karikaturale beesten. Op een dak in Haarlem zitten bijvoorbeeld vier kolossale mussen met parelkettingen om. Ook in Utrecht maakte hij speciaal voor de expositie Panorama 2000 -kunst vanaf de Domtoren- een mus van zo'n vijf bij acht bij vier meter, die op het dak van een huis aan de voet van de toren zat. Geen dieren, maar al even aimabele figuren maakte Claassen voor de vertrekhal van Schiphol, waar twee reusachtige poppen als verloren kinderspeelgoed wachten op een eerlijke vinder.

Waar: Knooppunt A27/A6

Wie: Tom Claassen (1964). Meer werk is o.a. te zien in Haarlem (mussen), in Utrecht op het slachthuisterrein (paard), in de vertrekhal van Schiphol (twee poppen) en in een sluis bij IJburg (nijlpaard).

Karin van Munster

<http://www.cultuurwijs.nl/cultuurwijs.nl/cultuurwijs.nl/i000775.html>

6.2 *Een betonnen boot*

Belangrijk is dat het bootje blijft drijven. Het bedenken van een binnen mal en een buitenmal is nog best lastig. Leerlingen hebben vaak creatieve ideeën en beoordeel per idee de haalbaarheid van het project. Het is het verstandigst om met snelcement te gaan werken en niet met beton aan de slag te gaan. Let er wel op dat de dunne wandjes snel kunnen breken en dat er zeker gebruik gemaakt moet worden van kippengaas.

De berekeningen kunnen stap voor stap gevolgd worden.

1. Bootje blijft niet drijven. Er wordt niet voldaan aan de voorwaarde:

$$\begin{aligned}1,5R^2l &\leq 2,5 r^2s \\1,5 * 4,5^2 * 11,5 &\leq 2,5 * 3,3^2 * 9,5 \\349 &\leq 258 \\&\text{en dat klopt niet}\end{aligned}$$

2. Deze blijft wel drijven:

$$\begin{aligned}1,5R^2l &\leq 2,5 r^2s \\1,5 * 10^2 * 23 &\leq 2,5 * 9^2 * 21 \\3450 &\leq 4253 \\&\text{En dat klopt wel.}\end{aligned}$$

3. Nee, dat brokkelt heel snel kapot. De randen moeten echt versterkt worden met kippengaas.

6.3 Zelfherstellend beton

Met enkele onderzoeken is enige ervaring opgedaan. De opzet van deze onderzoeken en de resultaten ervan staan hieronder beschreven.

Er is een aantal factoren dat mogelijk van invloed kan zijn op het zelfherstellend vermogen van het beton.

Hierbij is praktisch onderzoek gedaan naar de:

1. Invloed van de hoeveelheid cementpoeder op het zelfherstellend vermogen;
2. Invloed van de aanwezigheid van CO₂ op het zelfherstellend vermogen.

Ad. 1

Meer cementpoeder zal leiden tot meer ongehydrateerde cementkorrels. Dit leidt tot de volgende hypothese:

Naarmate de betonspecie in verhouding meer cementpoeder zal bevatten, zal het zelfherstellende vermogen van het beton toenemen.

Ad.2

De aanwezigheid van opgelost koolstofdioxide in water leidt tot een reactie tussen het in het poriewater aanwezige calciumhydroxide en koolzuur waarbij calciumcarbonaat en water ontstaat. Door deze neutralisatiereactie wordt de pH van beton verlaagd.

Wat precies de gevolgen hiervan zijn voor het zelfherstellend vermogen van het beton is moeilijk aan te geven, maar met behulp van dit experiment is dit proefondervindelijk vast te stellen.

Het experiment wordt uitgevoerd met twee verschillende soorten mineraalwater, namelijk koolzuurvrij en koolzuurhoudend mineraalwater.

Onderzoeksvraag 'Op welke wijze is het zelfherstellend vermogen van beton te vergroten?'

Inleiding

Het onderzoek richt zich op de invloed van de hoeveelheid cementpoeder en de aanwezigheid van CO₂ op het zelfherstellend vermogen van beton.

Voor het onderzoek moeten er betonblokjes gemaakt worden.

De standaard werkwijze voor het maken van de betonblokjes is als volgt:

1. Weeg 500 gram betonmortel af in een oude pan;
2. Voeg 100 mL leidingwater toe;
3. Roer het mengsel totdat er een homogene brij is ontstaan;
4. Giet het mengsel over in een frikadellenbakje;
5. Laat het geheel nu minimaal twee dagen drogen aan de lucht.

6. Maak m.b.v. een spijker een kras (lengte 5 cm, breedte 1 mm, diepte 1 mm) in het betonnen blokje;
 7. Maak m.b.v. een spijker nog een kras in het betonnen blokje, maar nu zeer oppervlakkig, met een lengte van 5 cm
 8. Maak een foto van het blokje;
 9. Plaats het blokje in een bak met leidingwater waarbij het blokje volledig onder water moet liggen;
10. Volg het zelfherstellend proces van het beton gedurende minimaal één week, maak hierbij, indien mogelijk gebruik van een binoculair of digitale microscoop en maak foto's.
11. Meet, indien mogelijk, de kras op.

Opmerking: Indien nodig kunnen de dimensies van de kras uit punt 6 bijgesteld worden.

Het uitgangsmateriaal voor het praktisch onderzoek is de betonmortel 100 van het merk Beamix van de fabrikant Maxit.

Eventuele conclusies van het onderzoek zullen gebaseerd zijn op de snelheid waarmee het beton zich herstelt. Met andere woorden, in welke van de geteste situaties is de kras het snelst verdwenen en daardoor niet meer zichtbaar. Hierbij gelden de volgende randvoorwaarden:

- De krassen van de verschillende betonblokjes moeten zoveel mogelijk gelijke dimensies hebben wat betreft punt 6 en 7 van de werkwijze van deel 1 van het onderzoek;
- De verschillende betonblokjes moeten op hetzelfde tijdstip ingezet worden wat betreft punt 9 van de werkwijze van deel 1 van het onderzoek;
- Het onderzoek wordt in duplo uitgevoerd.

Resultaten van het praktisch onderzoek

1. Onderzoek naar de invloed van de hoeveelheid cementpoeder op het zelfherstellend vermogen van beton

In dit onderzoek zijn er betonblokjes gemaakt waarbij er aan de betonmortel naar verhouding steeds meer cementpoeder is toegevoegd. In tabel 1 staan per betonblokje de verhouding betonmortel/cementpoeder vermeld.

Tabel 1: Overzicht van de verschillende mengverhoudingen betonmortel/cementpoeder

Code betonblokje	Mengverhouding betonmortel/cementpoeder in gram
5	500 / 0

4	400 / 100
3	300 / 200
2	200 / 300

Dit deel van het onderzoek heeft veertien dagen geduurd. In totaal zijn er veertien keer visuele waarnemingen uitgevoerd.

Uit de resultaten van de oppervlakkige kras blijkt het volgende:

- Bij de twee betonblokjes die alleen van betonmortel zijn gemaakt, is er nauwelijks sprake van een zelfherstellend effect. Blijkbaar heeft al het aanwezige cementpoeder gereageerd met water tijdens het hydratatieproces;
- Min of meer hetzelfde geldt voor de betonblokjes waaraan 400 gram betonmortel 100 gram cementpoeder toegevoegd is;
- De betonblokjes met samenstelling 300 gram betonmortel en 200 gram cementpoeder geven na drie dagen al redelijk herstel te zien, na tien dagen zijn de krassen bijna helemaal verdwenen;
- Min of meer hetzelfde geldt voor de betonblokjes waaraan 200 gram betonmortel 300 gram cementpoeder toegevoegd is, na vier dagen zijn de krassen bijna helemaal verdwenen;
- De diepere krassen zijn in alle betonblokjes nauwelijks hersteld.

Conclusie

De betonblokjes die gemaakt zijn op basis van 200 gram betonmortel en 300 gram cementpoeder laten het snelste herstel van de krassen zien. Een volledig herstel is echter in de onderzoeksperiode niet waargenomen.

Discussie

Voor een volledig herstel van de krassen is waarschijnlijk meer tijd nodig. Op basis van de resultaten van het zelfherstellende vermogen zou voor het onderzoek naar de invloed van CO₂ op het zelfherstellend vermogen van beton eigenlijk verder gewerkt moeten worden met de samenstelling van 200 gram betonmortel en 300 gram cementpoeder, maar in de praktijk was dit mengsel toch ook al wel lastig te verwerken op basis van 100 mL water. Daarom is besloten om voor het vervolgonderzoek gebruik te maken van de samenstelling 300 gram betonmortel en 200 gram cementpoeder. Dit betekent wel dat de experimenten minimaal 10 dagen moeten duren.

Resultaten van het praktisch onderzoek

2. Onderzoek naar de invloed van CO₂ op het zelfherstellend vermogen van beton

In totaal zijn er vijf betonblokjes gestort op basis van het mengsel 300 gram betonmortel en 200 gram cementpoeder. Eén blokje dient als referentie en is niet in contact geweest met water. Twee blokjes

hebben gedurende 10 dagen in koolzuurvrij mineraalwater gelegen. De overige twee blokjes zijn in contact geweest met koolzuurhoudend mineraalwater. Het experiment is uitgevoerd zonder contact met de buitenlucht. Per blokje zijn er nu vier krassen gezet, twee oppervlakkige en twee diepere.

In totaal zijn er vijf keer visuele waarnemingen uitgevoerd. Verder herstel van de oppervlakkige krassen was niet meer waarneembaar.

Uit de resultaten van de twee oppervlakkige krassen blijkt het volgende:

- Bij de twee betonblokjes die in contact met het koolzuurvrije mineraalwater zijn geweest, zijn de oppervlakkige krassen na drie dagen bijna helemaal verdwenen;
- Na een periode van 10 dagen hebben deze krassen zich niet meer verder weten te herstellen;
- De diepere krassen bij deze blokjes zijn na tien dagen nog wel gedeeltelijk te zien;
- De twee betonblokjes die in het koolzuurhoudende mineraalwater hebben gelegen, zijn de krassen na drie dagen deels wel en deels niet meer waarneembaar;
- Ook voor deze blokjes geldt dat na een periode van tien dagen het herstel niet verder meer waarneembaar is;
- Wat verder nog wel van belang is, is dat de blokjes na contact met koolzuurhoudend mineraalwater na enkele uren drogen behoorlijk wit zijn uitgeslagen.

Extra: Er zijn ook monsters genomen van het mineraalwater waarin de betonblokjes liggen.

Van deze monsters zijn met behulp van een analoge pH-meter de pH-waardes na 5 dagen bepaald. De resultaten zijn opgenomen in tabel 2. De kolom 'pH-waarde (volgens etiket)' heeft betrekking op de pH-waarde van het mineraalwater dat niet in contact is geweest met de betonblokjes. Deze waardes zijn overgenomen van het etiket op de fles.

Een controlemeting van de pH van het koolzuurhoudende mineraalwater direct uit de fles levert een pH-waarde van 5.6 op.

Tabel 2: pH-waardes van het mineraalwater waarin de blokjes hebben gelegen

Soort mineraalwater	pH-waarde (volgens etiket)	pH-waarde gemeten na 5 dagen contact met betonblokjes
Koolzuurvrij	7.5	11.5
Koolzuurhoudend	5.5	6.9

Conclusie

De snelheid waarmee de oppervlakkige krassen zich herstellen in koolzuurvrij mineraalwater is redelijk vergelijkbaar met leidingwater. Bij de blokjes in koolzuurhoudend mineraalwater duurt het herstel wat langer.

Discussie

Het waarnemen van het herstel van de krassen bij het koolzuurhoudend mineraalwater wordt bemoeilijkt door een witte uitslag van het beton. Deze witte uitslag wordt veroorzaakt door calciumcarbonaat als gevolg van carbonatatie. Door de aanwezigheid van CO₂ ontstaat er koolzuur. Het in het beton aanwezige calciumhydroxide reageert met koolzuur tot calciumcarbonaat. Daarnaast heeft deze reactie tot gevolg dat de pH van het koolzuurhoudende mineraalwater minder sterk stijgt dan de pH van het koolzuurvrije mineraalwater.

Algehele conclusie

Terugkomend op de onderzoeksvraag 'Op welke wijze is het zelfherstellend vermogen van beton te vergroten?' is het mogelijk om uit de onderzoeksresultaten een aantal conclusies te trekken.

Door het toevoegen van relatief veel cementpoeder aan het mengsel, waarvan het beton uiteindelijk wordt gemaakt, is het mogelijk om het zelfherstellende vermogen van het beton te vergroten.

Nader onderzoek zal moeten uitwijzen wat de invloed op de sterkte van het beton is bij het gebruik van extra cementpoeder.

Als beschadigd beton in contact komt met koolzuurvrij mineraalwater is het herstellend vermogen van beton vergelijkbaar met leidingwater. Koolzuurhoudend mineraalwater lijkt een nadelig effect op het zelfherstellend vermogen van beton te hebben. Eventueel vervolgonderzoek kan zich richten op de invloed van regenwater. De praktijk is namelijk dat eventueel beschadigd beton eerder in contact komt met regenwater dan met leiding- of mineraalwater.

Veiligheid

Inventariseer en evalueer de risico's voorafgaand aan de proef (RI&E).

Een veiligheidsbril en beschermende kleding zijn nodig tijdens de uitvoering van de experimenten.

De werkzaamheden ten aanzien van het maken van de betonblokjes (het afwegen van het cementpoeder, het toevoegen van water, roeren) dienen in een zuurkast te plaats te vinden. Hierbij is het dragen van latex-handschoenen nodig.

Na afloop van de experimenten dienen de handen met water en zeep gewassen te worden.

Verder gelden de algemene veiligheidsregels tijdens practicum.

Milieu

Alle resten kunnen na afloop van de proef ingeleverd worden bij de Technisch Onderwijsassistent (TOA).

Visuele beoordeling zelfherstellend vermogen

Onderzoek naar de invloed van
op het zelfherstellend vermogen van beton

Datum van bekrassing betonblokjes en onder water
zetten: Datum:
Tijd :

Code beton	Oppervlakkige kras	Diepere kras

Kras nog volledig te zien : -
- Kras nog gedeeltelijk te zien : -
Kras wel of niet te zien : ±
Kras bijna helemaal verdwenen : +
Kras volledig verdwenen :
++

Het uitgangsmateriaal is de betonmortel 100 van het merk Beamix van de fabrikant Maxit.

Voor het cementpoeder is gebruik gemaakt van cement 800 van het merk Beamix van de fabrikant Maxit.

6.4 Verhitten van beton

Een gebouw dat uit beton bestaat kan in brand vliegen vanwege andere materialen die brandbaar zijn.

Welk effect heeft een brand op beton?

Allereerst kan er water ontsnappen in de poriën van beton en daarna kunnen

de hydraten water afgeven. Afgifte van water kan de sterkte van beton beïnvloeden. Er kan daarom onderzoek gedaan worden naar waterafgifte van beton.

En verder onderzoek naar de invloed van brand op de sterkte van beton.

Hierover hebben wij geen gegevens.

6.5 Minder kant-en-klare opdrachten

Het in de kanjerkaart genoemde literatuuronderzoek naar het versnellen van het zelfherstellende vermogen van beton met bacteriën is zeer aan te bevelen. Het betreft hier een actueel onderzoek aan o.a. de Technische Universiteit Delft.

Opdracht 7.1

- Ba^{2+}
- Mg^{2+}
- F^-
- OH^-
- Al^{3+}

Opdracht 7.2

- CaS
- SnBr₄
- (NH₄)₃ PO₄
- AgI
- Fe₂(SO₄)₃

Opdracht 7.3

- magnesiumoxide
- natriumsulfaat
- calciumbromide
- kaliumhydroxide
- lood(II)nitraat

Opdracht 7.4

- $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$
- $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s}) \rightarrow 2\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$

Opdracht 7.5

- $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{S}^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{ZnS}(\text{s})$
- $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{Al}^{3+}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaSO}_4(\text{s}) + \text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$

Opdracht 7.6

Pyromorfiet heeft als formule $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_n$; Pb is 2+ dus totaal 10 positieve ladingen en daar moeten tien negatieve ladingen tegenover staan: bij n = 3 heb je 9 negatieve ladingen van fosfaat en een van chloride, dus totaal 10.

[polymorfiet kan opgevat worden als een mengsel van de zouten PbCl₂ en Pb₃(PO₄)₂ in de verhouding 1 : 3. Samen krijg je dan: Pb₁₀Cl₂(PO₄)₆ of gedeeld door 2 : Pb₅Cl(PO₄)₃].

Opdracht 7.7

- Zinknitraat: Zn(NO₃)₂ en lood(II)nitraat : Pb(NO₃)₂
- Zoek een ion (of samengesteld ion) dat met lood-ionen wel een neerslag geeft maar met zink-ionen niet.

Naam ion	I ⁻ (aq)	SO ₄ ²⁻ (aq)
Zn ²⁺	g	g
Pb ²⁺	s	s

Opdracht 7.8

- a. $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$
- b. Los magnesiumnitraat op in water; doe hetzelfde met natriumfosfaat. Voeg beide oplossingen bij elkaar; er slaat magnesiumfosfaat neer. Filtreer het neerslag over een filter en droog het. Er is magnesiumfosfaat verkregen.
- c. $3\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{PO}_4^{3-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s})$

Opdracht 7.9

Potjes met de zouten: FePO_4 , AgNO_3 , CaCl_2 , MgSO_4 .

Neem vier reageerbuizen en merk de cijfers 1 t/m 4. Neem van ieder zout een beetje en breng dat over in een van de reageerbuizen. Voeg aan ieder zout wat water toe en los zo mogelijk op. Een van de vier zouten lost niet op in water, namelijk FePO_4 .

Voeg aan de overgebleven buizen een oplossing van natriumchloride in water toe.

Slechts bij een ontstaat een neerslag, namelijk bij AgNO_3 .

Nu slechts onderscheid maken tussen CaCl_2 en MgSO_4 .

Los beide zouten op in water en voeg wat van een oplossing van bariumchloride in water toe. De oplossing van magnesiumsulfaat geeft een neerslag van bariumsulfaat.

De buis die niet reageert bevatte dus CaCl_2 .

Opdracht 7.10

- a. CaSiO_3
- b. AlO_3^{3-}
- c. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- d. $2\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$

Hoofdstuk 8: Theorieblad mol

Opdracht 8.1

- $5,00 : 1,43 = 3,49$ gram koper reageert er met 1,00g zwavel, dus $3,39 \times 5,00 = 17,48$ g koper reageert er met 5,00g zwavel.
- $5,00\text{g} + 17,48 = 22,48\text{g}$ (wet van massabehoud)

Opdracht 8.2

- $2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$
- Massa voor de pijl : $2 \times (12,01 + 16,00) + 2 \times 16,00 = 88,02\text{g}$
Massa na de pijl : $2 \times (12,01 + 2 \times 16,00) = 88,02\text{g}$
Massa voor de pijl gelijk aan massa na de pijl, dus ja in overeenstemming met de wet van massabehoud. (wet van massabehoud zegt niets over het aantal mol, maar over de massa)
- 2 : 1 : 2
- $2 \times (12,01 + 16,00) : 2 \times 16,00 : 2 \times (12,01 + 2 \times 16,00)$
56,02 : 32 : 88,02
- Zie antwoord b.

Opdracht 8.3

- $\text{Cl}_2 + \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{ ClH}$
- 1 : 1 : 2
-
- 70,90gram : 2,016 gram : 72,92 gram
- $70,90/2,90 : 2,016/0,08 : 72,92/1,49$
24,4 : 24,6 : 48,9
- Alles delen door 24,4 geeft
1 : 1 : 2
klopt (als dit niet het geval is, overleg met je docent)

Opdracht 8.4

- $25 \text{ g} / 12,01 = 2,08 \text{ mol}$
- $0,02 \times 2,016 \times 1000 = 40,32 \text{ mg}$
- $30 / 1000 \times 55,85 = 1,68\text{g}$
- $5,00 / 20,18 = 0,248 \text{ mol}$, dus $0,248 \times 6 \times 10^{23} = 1,47 \times 10^{23}$

Opdracht 8.5

- CaSiO_3
- $40,08 + 28,09 + 3 \times 16,00 = 116,17 \text{ g/mol}$
-

Opdracht 8.6 havo

- $40,08 + 2 \times (16,00 + 1,008) = 74,096 \text{ g/mol}$
- $2 \times 228,33 \text{ g} + 6 \times 18,016 \text{ g} \rightarrow 342,468 \text{ g} + 3 \times 74,096$
 $456,66 + 108,096 = 342,468 + 222,288$
Voor de pijl en na de pijl beide totaal massa's 564,746g, dus ja het klopt
- 1 kg = 1000g, dus $1000 : 342,468 \times 108,096 = 315,6 \text{ g}$

Opdracht 8.6 vwo

- a. $3 \times 40,08 + 2 \times 28,09 + 7 \times 16,00 + 3 \times (2 \times 1,008 + 16,00) = 342,468 \text{ g/mol}$
- b. $2 \times 228,33 \text{ g} + 6 \times 18,016 \text{ g} \rightarrow 342,468 \text{ g} + 3 \times 74,096$
 $456,66 + 108,096 = 342,468 + 222,288$
- Voor de pijl en na de pijl beide totaal massa's 564,746g, dus ja het klopt
- c. $1 \text{ kg} = 1000\text{g}$, dus $1000:342,468 \times 108,096 = 315,6 \text{ g}$

Opdracht 8.7

- a) Een exotherm proces, want er komt warmte vrij.
- b) $172,25 \text{ g/mol}$
- c) Een hydraat is een kristallijne verbinding waarbij in het kristal water is opgenomen, het zogenaamde kristalwater.

Opdracht 8.8

- a) $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ molaire massa is $4 \cdot 40,08 + 4 \cdot 16,00 + 2 \cdot 26,98 + 3 \cdot 16,00 + 2 \cdot 55,85 + 3 \cdot 16,00 = 485,98 \text{ g/mol}$
- b) $10,26 \text{ g}$ gips bevat $8,11 \text{ gram CaSO}_4$ en dat is $8,11 / (40,08 + 32,06 + 4 \cdot 16,00) = 5,96 \cdot 10^{-2} \text{ mol CaSO}_4$.
- c) $2,15 \text{ g}$ water is $2,15 / 18,016 = 0,12 \text{ mol}$
- d) $5,96 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ calciumsulfaat en $0,12 \text{ mol}$ water dus p[er mol calciumsulfaat is er $0,12 / 5,96 \cdot 10^{-2} = 1,99 \text{ mol}$; afgerond 2 mol .
- e) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- f) Calciumsulfaatdihydraat.