

Zelfherstellend Beton

De module in vogelvlucht

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

Leden ontwikkelteam Zelfherstellend beton:

Jannie Manders, Peellandcollege, Deurne

Karin Visser-Spapen, Regionale scholengemeenschap 't Rijks, Bergen op Zoom

Eveline Wijbenga, 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),

Deskundigen: Prof. dr. Sybrand van der Zwaag, TU Delft en medewerkers van Betonson, Son.

Met dank aan: IOP Self Healing Materials

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

Hoofdstuk 1: Oriëntatie beton	4
Proef 1: Hydratatie van cement	5
Proef 2: Zichtbaar maken van binding met water.....	6
Proef 3: Beton maken.....	7
Hoofdstuk 2: Kwaliteitscontrole van de grondstof water	10
Proef 4: Zouten, het aantonen van de ionsoorten Cl^- en SO_4^{2-} in aanmaakwater	12
Hoofdstuk 3: De toepassing bepaalt de samenstelling	14
Hoofdstuk 4: Oriëntatie zelfherstellend beton	20
Proef 5: Chemische tuin	22
Proef 6: Kristalgroei.....	23
Proef 7: Bevat soda kristalwater?	25
Proef 8: Hoeveel mol water bevat kristalsoda?	26
Hoofdstuk 5: Zelfherstellend vermogen van beton	30
Proef 9: Zelfherstellende materialen	30
Proef 10: Zelfherstellende werking van beton	33
Hoofdstuk 6: Onderzoek	38
Hoofdstuk 7: Theorieblad zouten	39
Hoofdstuk 8: Theorieblad Mol	47
Kenniskaart - Hoofdstuk 1: Oriëntatie beton (Chemische feitelijkheden)	52
Kenniskaart - Hoofdstuk 2: Kwaliteitscontrole van de grondstof water	54
Kenniskaart - Hoofdstuk 3: De toepassing bepaalt de samenstelling	56
Kenniskaart - Hoofdstuk 4: Oriëntatie zelfherstellend beton	57
Kenniskaart - Hoofdstuk 5: Zelfherstellend vermogen van beton	59
Kenniskaart - Hoofdstuk 7: Theorieblad zouten	60
Kenniskaart - Hoofdstuk 8: Mol	63
Kanjerkaart - Beton: de grondstof water	65
Kanjerkaart - Extra opdrachten	66
Kanjerkaart - Zelfherstellend beton	67
Wist je dat?	68
Instructies drukpers	70

Hoofdstuk 1: Oriëntatie beton

Beton zie je overal. Kijk maar eens om je heen dan vind je veel producten die van beton zijn gemaakt. Bijvoorbeeld huizen, flats, monumenten, bruggen, wegen en tunnels. Maar beton is er ook als je het niet kunt zien. Bijvoorbeeld heipalen, funderingsbalken en riolering. Het is duidelijk dat beton niet meer uit onze hedendaagse maatschappij is weg te denken.



Figuur 1.1: Voor de snepbrug bij Gent zijn 54 van deze brugliggers ontworpen.

Bekijk eerst de PowerPointpresentatie 'introductie zelfherstellend beton (ZHBeton)'.

Lees het artikel ' Chemische feitelijkheden beton'.

Opdracht 1.1

In april 2003 stortten in Maastricht vijf balkons in van een appartementengebouw.

- Wat was de oorzaak van deze instorting waarbij twee mensen zijn omgekomen?
- Maak twee structuurtekeningen waarin duidelijk het verschil tussen beton en mortel is aangegeven. Benoem daarin ook de basisgrondstoffen.

De aannemer in Maastricht heeft de volgende grondstoffen gebruikt: Portlandcement, zand met korrelgrootteverdeling van 0-4mm, kalk en water. De water-cementfactor was 0,80.

- Leg uit wat onder de water-cementfactor wordt verstaan en wat is het probleem als deze zo hoog is (0,80)?
- Ontwerp zelf twee verschillende samenstellingen van beton die beter zijn dan de aannemer destijds in Maastricht heeft gebruikt. Geef bij iedere grondstof aan waarom deze betere

eigenschappen heeft. Tevens moet de samenstelling een aantal hulpstoffen bevatten en er moet bij iedere samenstelling een water-cementfactor zijn gegeven.

e) Beschrijf in eigen woorden wat je nu verstaat onder beton.

Door het uitvoeren van proeven 1,2 en 3 ga je zelf ervaring opdoen met beton.

Proef 1: Hydratatie van cement

Benodigheden

- 2 plastic bekertjes
- roerstaaf
- 10 mL maatcilinder
- thermometer
- weegschaal
- 25 g snelcement
- 25 g metselzand
- 20 mL leidingwater

Handelingen

Deel 1: Het maken van zand & water- mengsel

Weeg met de weegschaal ca. 25 g zand af en doe dit in een plastic bekertje. Meet daarna met de maatcilinder ca. 10 mL leidingwater af. Meet de temperatuur van het leidingwater en noteer deze in de tabel. Voeg daarna het water bij het zand en roer het mengsel rustig door met de roerstaaf. Lees na ongeveer 2 minuten opnieuw de temperatuur af en noteer deze.

Deel 2: Het maken van een cement & water- mengsel

Herhaal bovenstaande proef, maar vervang het zand door evenveel snelcement.

Veiligheid: Weeg het snelcement af in de zuurkast.

Waarnemingen

Noteer de waarnemingen.

Resultaten

Neem onderstaande tabel over en noteer de resultaten.

	Deel 1. Zand en water	Deel 2. Cement en water
Begintemperatuur		
Temperatuur na 2 minuten		

Conclusie

Noteer de conclusie.

Proef 2: Zichtbaar maken van binding met water

Benodigheden

- 2 plastic bekertjes
- roerstaaf
- 25 mL maatcilinder
- weegschaal
- 2 plastic boterhamzakjes
- 50 g snelcement
- 50 g metselzand
- 40 mL leidingwater

Handelingen

Deel 1: Het maken van zand & water-mengsel

Weeg met de weegschaal ca. 50 g zand af en doe dit in een plastic bekertje. Meet daarna met de maatcilinder ca. 20 mL water af. Voeg nu het water bij het zand en roer het mengsel rustig door met de roerstaaf. Bind daarna het bakje af met het plastic zakje. Zorg er voor dat het zakje goed dicht is.

Deel 2: Het maken van een cement & water-mengsel

Herhaal bovenstaande proef, maar vervang het zand door evenveel cement.

Laat beide bakjes ongeveer een week staan.

Waarnemingen

Noteer de waarnemingen.

Resultaten

Noteer de resultaten.

Conclusie

Noteer de conclusie.

Proef 3: Beton maken

Deze proef bestaat uit twee delen:

Deel 1: mengsels maken

Deel 2: beton breken

Benodigheden per groepje

- mengbak of emmer
- 500 mL bekerglas
- 200 mL bekerglas
- frikadellenbakjes
- boterhamzakje
- grote lepel of plamuurmes
- druppelpipet
- markeerstift
- plateau
- plastic bekertje
- 1000 g Beamix (is een mengsel van cement, zand en grind)

Extra benodigheden per groepje

groep 3: 500 g zand

groep 4: 15 g suiker

groep 5: 3 druppels afwasmiddel

groep 6: volièregaas/kippengaas

Handelingen

Deel 1: mengsels maken

In totaal ga je met je klas 6 verschillende soorten beton maken. Verdeel onderstaande 6 mengsels dus over de groepjes in de klas. In de onderstaande tabel staan de stoffen die je per groep moet mengen.

Markeer de frikadellenbakjes met je naam en nummer!!

Mengsel	Samenstelling
1 (standaard)	1000 gram Beamix en 100 mL water
2 (extra water)	1000 gram Beamix en 200 mL water
3 (met zand)	500 gram Beamix en 500 gram zand en 100 mL water
4 (met suiker)	1000 gram Beamix en 100 mL water en 15 gram suiker
5 (met afwasmiddel)	1000 gram Beamix en 100 mL water en 3 druppels afwasmiddel
6 (met volièregaas)	1000 gram Beamix en 100 mL water en het volièregaas/kippengaas

Het mengsel maken:

- Weeg de stoffen af die jouw groep nodig heeft.

Veiligheid: Weeg de Beamix af in de zuurkast.

- Voeg de Beamix en het water bij elkaar

Let op: giet het water er voorzichtig bij, want het cement zal omhoog stuiven!

- Je moet ongeveer een minuut lang goed roeren om te zorgen dat alles gemengd is.
- Vul twee frikadellenbakjes tot de rand.

De kans is groot dat er nog luchtbellens in het mengsel zitten. Wil je de luchtbellens eruit halen, dan kan je het de lucht eruit 'kloppen'. Doe dat als volgt:

- Laat het bakje zachtjes een paar keer op de tafel vallen. Zo verdeelt al het materiaal zich goed in het bakje.
- Zet de frikadellenbakjes op plek waar ze minimaal twee dagen kunnen 'drogen'. Het mengsel gaat nu hydrateren, er ontstaat beton!

Extra handeling mengsel 6:

- *Knip het volièregaas/kippengaas zodat het in het frikadellenbakje past. Giet het frikadellenbakje voor de helft vol met het mengsel. Leg het gaas erop en druk dit goed aan. Giet vervolgens het bakje verder vol.*

- Doe de rest van het mengsel in een plastic bekertje. Keer het plastic bekertje om op een door de docent aangewezen plek. (behalve mengsel 6)



Waarnemingen

Plastic bekertje	
Mengsel	Hoe ziet het eruit? Te denken valt aan: droog, vochtig, korrelig, glad, ingezakt etc.
1 (standaard)	
2 (extra water)	
3 (met zand)	
4 (met suiker)	
5 (met afwasmiddel)	

Resultaten

Beschrijf hoe het beton er uitziet na uitharden.

Conclusies deel 1

De hoeveelheid water dat in beton verwerkt wordt heeft grote invloed op de consistentie (verwerkbaarheid). Hoe meer water des te vloeibaarder de specie. Meer water betekent ook dat het beton minder sterk wordt. De verwerkbaarheid wordt onderverdeeld in 6 consistentieclassen:

- 0 = droog (bijna geen vocht zichtbaar)
- 1 = aardvochtig (beetje vochtig)
- 2 = halfplastisch (specie is sterk vochtig)
- 3 = plastisch (specie kan matig uitlopen)
- 4 = zeer plastisch (specie kan redelijk goed uitlopen)
- 5 = zeer vloeibaar (specie vloeit zeer goed)

Welke consistentieklasse heeft elk mengsel uit de plastic bekertjes? Gebruik hierbij de waarnemingen uit de tabel.

Plastic bekertje	
Mengsel	consistentieklasse
1 (standaard)	
2 (extra water)	
3 (met zand)	
4 (met suiker)	
5 (met afwasmiddel)	

Deel 2: beton breken

Na minimaal twee dagen is het beton nog lang niet 'uitgehard', dit duurt namelijk 28 dagen. Toch is het voldoende uitgehard om verschil in sterkte te kunnen meten tussen de mengsels.

Handelingen

- Volg de instructies bij de pers (deze liggen bij de pers en anders te vinden achter in dit boek op pagina 67).
- Breek beide beton staven en noteer beide waardes in de tabel en bereken het gemiddelde.

Vul met de hele klas de tabel verder in.

Resultaten

Mengsel	Staaf 1	Staaf 2	Gemiddelde
1 (standaard)			
2 (extra water)			
3 (met zand)			
4 (met suiker)			
5 (met afwasmiddel)			
6 (met volièregaas)			

Conclusies deel 2

Welk mengsel levert het sterkste beton? En leg uit waarom.

Hoofdstuk 2: Kwaliteitscontrole van de grondstof water

Nog niet eerder met zouten gewerkt? Bestudeer dan eerst het 'Hoofdstuk 7: Theorieblad zouten' te vinden op pagina 39 t/m 46 en maak de bijbehorende oefenopgaven. Al wel eerder met zouten gewerkt? Ga dan hieronder verder.

Voor het maken van beton is water nodig. In dit hoofdstuk gaan we deze grondstof nader bekijken.

In hoofdstuk 1 zijn de grondstoffen voor beton aan bod gekomen, te weten water, cement, zand, grind en toeslagmaterialen. In deze les wordt aandacht besteed aan de kwaliteit van het gebruikte water, dat hier verder aanmaakwater genoemd wordt. Aanmaakwater speelt een grote rol bij de productie van beton; zonder aanmaakwater kan er immers geen hydratatie van cement plaatsvinden. Als aanmaakwater komen verschillende soorten water in aanmerking. Hierbij wordt er wel een aantal kwaliteitseisen aan het water gesteld. Rioolwater is bijvoorbeeld niet geschikt als aanmaakwater voor beton. Drinkwater is wel heel geschikt om als aanmaakwater te gebruiken, maar heeft als nadeel dat het relatief duur is.

Hieronder volgen enkele voorbeelden van verschillende soorten water die als aanmaakwater gebruikt kunnen worden:

- drinkwater;
- oppervlaktewater;
- bronwater;
- industrieel water;
- spoelwater;
- zeewater (alleen voor ongewapend beton).

Kwaliteitseisen

De gebruikte soort aanmaakwater mag absoluut geen negatieve invloed hebben op zowel het hydratatieproces van het cement als op de duurzaamheid van het beton. Daarom is er van een aantal stoffen eisen gesteld aan de maximale toegestane hoeveelheid, die in het aanmaakwater aanwezig mag zijn.

Het gaat hier o.a. om de volgende stoffen of groepen van stoffen:

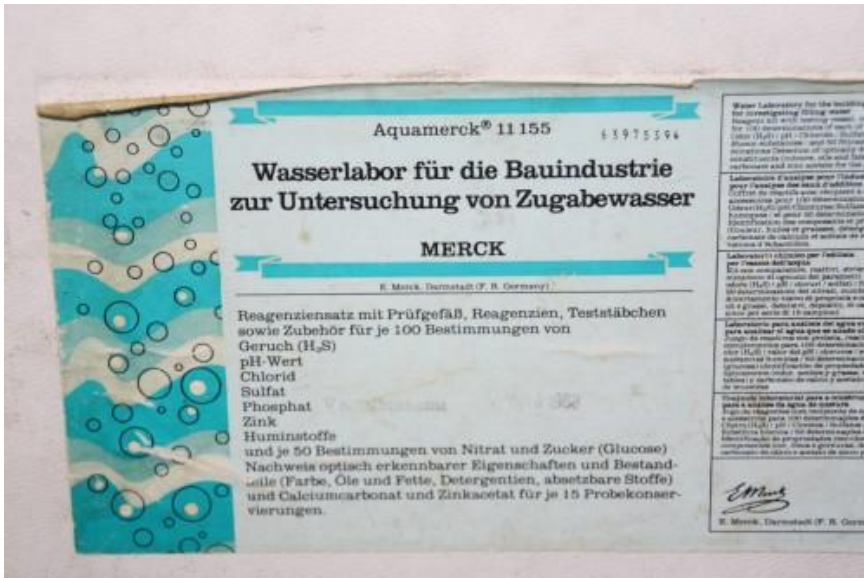
- chloriden;
- nitraten;
- fosfaten;
- sulfaten;
- suikers;
- zinkverbindingen;
- zuren (gemeten als pH).

Het onderzoek naar de kwaliteit van het aanmaakwater is vooral van belang als er geen gebruik gemaakt wordt van drinkwater als aanmaakwater.

Onderzoek en analyse gebeuren vaak op basis van normen. Deze normen zijn verkrijgbaar bij de organisatie NEN in Delft. Het uitgangspunt voor onderzoek naar het aanmaakwater van beton is de **Nederlandse norm NEN-EN 1008**.

Analysemonster

Aangezien het onmogelijk is om al het aanwezige aanmaakwater te onderzoeken, wordt er een gedeelte van het beschikbare water onderzocht. Dit deel wordt een analysemonster genoemd. Dit analysemonster moet natuurlijk wel representatief zijn voor al het beschikbare aanmaakwater. Volgens NEN-EN 1008 moet er van het aanmaakwater een monster van minimaal 5 liter genomen worden. Vervolgens moet het analysemonster binnen twee weken onderzocht zijn.

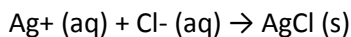


Figuur 2.1: Als geen kraanwater wordt gebruikt is controle van de waterkwaliteit noodzakelijk.

Analyse

Met uitzondering van gedestilleerd water zijn er in water altijd wel ionen aanwezig. Met behulp van een neerslagreactie is kwalitatief na te gaan of deze ionen aanwezig zijn in het gebruikte aanmaakwater.

Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om chloride-ionen aan te tonen met behulp van een oplossing van zilvernitraat. Aangezien zilverchloride een slecht oplosbaar zout is, zal bij aanwezigheid van chloride-ionen de volgende neerslagreactie volgens BINAS tabel 45A optreden:



Maar het is ook mogelijk dat het neerslag gevormd wordt door bijvoorbeeld de aanwezigheid van fosfaat- en/of sulfaat-ionen. Volgens BINAS tabel 45A is zilverfosfaat een matig oplosbaar zout, terwijl zilverfosfaat slecht oplosbaar is in water. Een gedeelte van de oplosbaarheidstabel ziet er als volgt uit.

	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Ag ⁺	s	m	s

Opdracht 2.1

Geef de vergelijking van de neerslagreactie tussen zilver-ionen en fosfaat-ionen. Vermeld daarbij ook de toestandsaanduidingen.

..... + →

Om een uitspraak te kunnen doen over de eventuele aanwezigheid van sulfaat- en chloride-ionen in het aanmaakwater, wordt gebruik gemaakt van een combinatie van zoutoplossingen met verschillende positieve ionen.

Om de kwaliteit van het aanmaakwater te onderzoeken wordt het volgende practicum uitgevoerd: Zouten, het aantonen van de ionsoorten Cl^- en SO_4^{2-} in aanmaakwater.

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

Benodigdheden

- analysemonster aanmaakwater
- reageerbuis
- reageerbuisrekje
- druppelflesjes met diverse zoutoplossingen 0,1 M
- trechter
- filtreerpapier

Handelingen

Zoek een positieve ionsoort die slechts met één van de twee negatieve ionsoorten een neerslag vormt. Noteer dit bij je waarnemingen.

- Vul een reageerbuis met ongeveer 3 mL aanmaakwater.
- Voeg ongeveer 3 mL van de door jou gekozen oplossing toe aan het aanmaakwater in de reageerbuis.

Er zijn nu twee mogelijkheden: of er ontstaat een neerslag of niet.

- Filtreer, indien nodig, het ontstane neerslag af.
- In het geval er geen neerslag is ontstaan, vul dan een nieuwe reageerbuis met ongeveer 3 mL aanmaakwater.

Zoek nu een positieve ionsoort die met de overgebleven negatieve ionsoort een neerslag vormt.

- Voeg ongeveer 3 mL van de door jou gekozen oplossing toe aan het (eventueel gefiltreerde) aanmaakwater.

Waarnemingen

Noteer alle waarnemingen.

Resultaten

Geef de vergelijking(en) van de neerslagreactie(s).

Conclusies

Geef antwoord op de vraag: zijn de ionsoorten Cl^- en SO_4^{2-} aanwezig in het aanmaakwater? Motiveer je antwoord.

Opdrachten bij proef 4

Opdracht 2.2

Nitraten staan ook op de eerste pagina bij het rijtje stoffen, die in niet al te hoge concentraties mogen voorkomen in het aanmaakwater.

Leg uit of het mogelijk is om met behulp van een neerslagreactie de aanwezigheid van nitraten aan te tonen.

Opdracht 2.3

Wat is de invloed van een te hoog gehalte aan chloride- en sulfaationen op de duurzaamheid van het beton?

Bij het formuleren van je antwoord kun je gebruik maken van informatie die o.a. te vinden is op de volgende websites:

<http://www.cementenbeton.nl/lexicon-links/>

<http://www.ervas.nl/?id=259>

Hoofdstuk 3: De toepassing bepaalt de samenstelling

Welke samenstelling moet beton hebben?

De basiselementen zijn: cement, zand, grind, water en vulstoffen en soms superplastificeerders.



Figuur 3.1: Zand en grind liggen klaar om met cement en water in de 'molen' gemengd te worden.

Maar de verhouding, de samenstelling hangt af waar het beton voor gebruikt gaat worden. Dus moet er eerst antwoord worden gegeven op de vraag:

Waar wordt het beton voor gebruikt?

Afhankelijk van dat antwoord wordt de samenstelling van beton aangepast. Het beton moet ook voldoen aan de Nederlandse norm (NEN): hierin staan de eisen beschreven waar beton aan moet voldoen voor de wet.

Allereerst moet er worden bepaald aan welke eisen het beton moet voldoen. Dat wordt bepaald aan de hand van onderstaande zeven stappen:

Stap 1 sterkteklasse

De sterkteklasse is een maat voor de sterkte van het beton en wordt bepaald door de constructeur:

- Gebaseerd op de 28-daagse druksterkte, uitgedrukt in N/mm^2 .
- Sterkteklassen lopen uiteen van C 12/15 t/m C 100/115.

Stap 2 milieuklasse

De milieuklassen zijn verdeeld in 6 hoofdgroepen die gebaseerd zijn op verschillende aantasting van het beton zelf:

	code	risico
Geen aantasting	1 XO	Geen risico op corrosie of aantasting (zero = O) aantasting
Aantasting wapening	2 XC	Corrosie ingeleid door Carbonatie
	3 XD	Corrosie ingeleid door chloriden anders dan uit zeewater (Deicing salts)
	4 XS	Corrosie ingeleid door chloriden (Seawater)
Aantasting beton	5 XF	Aantasting door vorst/ dooiwisselingen (Frost)
	6 XA	Chemische aantasting (Agressief)

Stap 3 verwerkbaarheid (consistentieklasse)

De consistentieklasse is een maat voor de verwerkbaarheid van beton. De hoeveelheid water dat in beton verwerkt wordt, heeft grote invloed op de consistentie. Hoe meer water hoe vloeibaarder de specie. Meer water betekent ook wel dat het beton minder sterk wordt. Hierin worden 7 consistentiegebieden onderscheiden:

- 0 droog
- 1 aardvochtig
- 2 halfplastisch
- 3 plastisch
- 4 zeer plastisch
- 5 vloeibaar
- 6 zeer vloeibaar

Stap 4 korrelgrootte

Hier gaat het om de grootte van de grindkorrel, om andere grondstoffen te kunnen besparen als er veel betonoppervlak is. De keuze van de grindkorrel wordt bepaald door de dikte van het beton: de regel is dat de grindkorrel minstens drie keer in de breedte past. De korrelgrootte is ook van belang voor de verwerkbaarheid van de betonspecie.

Stap 5 chlorideklasse

Chloriden kunnen de bewapening aantasten. Er zijn drie chlorideklassen, voor beton zonder bewapening, voor beton met bewapening en ingestort metaal en voor beton met voorspanningswapening.

Stap 6 gewenste cementsoort

Er zijn verschillende soorten cement te verkrijgen. Ook is het mogelijk een vulstof toe te voegen, bijvoorbeeld vliegas, voor onderwaterbeton of zelfverdichtendbeton.

- Portlandcement bevat gemalen klinker en gips; gips regelt de binding in cement;
- Hoogovencement bestaat naast klinker ook uit gemalen hoogovenslak. Dit verhardt minder snel;
- Portlandvliegascement bevat extra vliegas.

Stap 7 overige toevoegingen en/of bijzonderheden

Het toevoegen van hulpstoffen:

- Vertragers: om het verharderen van de betonspecie uit te stellen;
- Luchtbelvormers: zorgen voor kleine luchtbelletjes in het beton, waardoor het beter bestand is tegen vorst en dooizouten;
- Plastificeerders: zorgen voor een hogere vloeibaarheid en daarom een betere verwerkbaarheid;
- Superplastificeerders: hebben een groter effect dan plastificeerders;
- Pigmenten: om het beton een kleur te geven;
- Vliegas: draagt bij aan de sterkte van het beton omdat die ook met water reageert;
- Silica: heel fijne deeltjes, die bijzonder vloeibare mengsels mogelijk maken waardoor sterk en dicht beton ontstaat;
- Kalksteenmeel: toevoeging voor zelfverdichtendbeton.

Nadat alle stappen door de constructeur doorlopen en bepaald zijn, kan de bestelling voor die specifieke opdracht doorgegeven worden aan de betonfabrikant.

Maak nu de onderstaande opdrachten.

Opdracht 3.1

- a) Bij het bepalen van de samenstelling van beton moet eerst de vraag beantwoord worden waarvoor het beton gebruikt gaat worden. Waarom is het zo belangrijk eerst deze vraag te beantwoorden?
- b) Waarom zijn de normen voor goed beton vastgesteld in de Nederlandse norm (NEN)?
- c) Om de samenstelling te bepalen worden er 7 stappen doorgelopen worden. Welke 7 stappen moeten beoordeeld worden om de samenstelling van beton te bepalen?
- d) Waarom is het zo belangrijk om van te voren goed die aspecten te bepalen?
- e) De druksterkte van beton wordt pas na 28 dagen bepaald. Leg uit waarom de druksterkte niet eerder goed bepaald kan worden.
- f) Om goed te kunnen gieten is vloeibaar beton makkelijker te verwerken dan droog beton. Leg uit wat het nadeel is van te nat beton.
- g) Waarom wordt er grind toegevoegd aan beton?
- h) Als men grind gebruikt van 16 mm, hoe dik moet de muur dan minimaal worden?
- i) Wat is het voordeel van de nieuwe polymeer vezelmaterialen die gebruikt worden in plaats van ijzervezels?
- j) Wat is de functie van cement in beton?
- k) Er zijn verschillende hulpstoffen die toegevoegd worden in beton. Kies drie hulpstoffen uit en beschrijf de functie van alle drie.

Opdracht 3.2

Dit is een stukje bouwtekening van een architect met aangeven de milieuklasse.

De specificatie van het kelderdek zijn anders dan die van de borstwering.

De uitvoerder, dit is de man/vrouw die het woongebouw gaat bouwen, vraagt zich af waarom.

Geef de uitvoerder antwoord met behulp van tabel 1 en tabel 2 op bladzijde 19 en 20.

Voorbeeld milieuklassen in een woongebouw

Dit overzicht is een voorbeeld waaraan geen rechten kunnen worden ontleend.

Balkon, galerij^o
XC4, XD3, XF4

Borstwering
XC4, XF1

kelderwand^h
XC4, XF1

kelderdek
XC4, XD3, XF4

vloeren, wanden (binnen)
XC1

gevel
XC4, XF1

kelderwand^h
XC4, XF1

beganegrondvloer (onderzijde)
XC3

keldervloer^o (bovenzijde)
XC3, XD1

binnenwater

keldervloer (onderzijde) XC2

a) Gebruik van dooizouten
b) Constructie onder en boven variërend grondwaterpeil
c) Dooizouten meegenomen door voertuigen.
Voor openbare parkeergarages: XC4, XD3

Voorbeeld specificaties kelderdek	
Sterkteklasse	C20/25
Milieuklasse	XC4, XD3, XF4
Consistentieklasse	F4

Opdracht 3.3

- De firma Kroon heeft heel veel last van de autosnelweg die vlak langs het kantoorpand loopt. Firma Kroon vraagt aan de gemeente of zij een geluidswal kunnen plaatsen. Noem twee eigenschappen waar het beton van een geluidswal aan moet voldoen.
- Een tunnel van Frankrijk naar Engeland moet aan veel eisen voldoen. Ook het beton waarvan de tunnel gemaakt wordt, moet de juiste eigenschappen hebben. Noem 4 van deze eigenschappen waar het beton aan moet voldoen.
- Bij het bouwen van een bunker, waarin de komende honderden jaren radioactief afval moet worden opgeslagen, moet het beton ook een aantal belangrijke eigenschappen hebben. Noem 5 eigenschappen waar deze bunker aan moet voldoen.

Opdracht 3.4

Bepaal de milieuklassen voor en de codering van de bovenstaande projecten. Maak daarbij gebruik van Tabel 1 en 2 op de volgende pagina's. (Er zijn meerdere coderingen per project mogelijk.)

- Code voor de geluidswal;
- Code voor de tunnel;
- Code voor de bunker.

Tabel 1

Stappenplan bepaling milieuklassen per bouwdeel*					
Stap 1	Bepaal situering en vochtigheid omgeving				
	Bij ongelijke omstandigheden (binnen/buiten, boven/onder) beide zijden van het bouwdeel afzonderlijk beoordelen				
	Binnen		Buiten		
	Droog	Vochtig	Nat	Wisselend nat en droog	
	Binnen verwarmde gebouwen met lage luchtvochtigheid	Buiten, beschermt tegen regen of binnen (onverwarmde) gebouwen met hoge luchtvochtigheid	Langdurig in contact met water, bijvoorbeeld fun-ringen onder laagste grondwaterpeil	Buiten, niet beschermt tegen regen of niet blijvend onder water	
Stap 2	Kies aantastingsmechanismen die van toepassing zijn (ga verder in gekozen kolom uit stap 1)				
Aantastingsmechanismen	Meerdere aantastingsmechanismen/milieuklassen per bouwdeel mogelijk				
Gewapend beton, kies altijd	XC1	XC3	XC2 ¹⁾	XC4	
• Carbonatatie (XC)					
Dooizouten of chloriden, kies	-	XDI	XD2	XD3	
• (Dooil)zouten (XD)					
Locatie aan de kust, kies	-	XSI	XS2	XS3	
• Zeewater (XS)					
Bouwdeel buiten ²⁾ , kies	-	binnen	XF3	verticaal	
• Vorst zonder doozouten (XF)					-
• Vorst met doozouten (XF)	-	-	XF4	XF2	XF3
				XF4	
Stap 3	In geval van agressieve omgeving, kies de mate van aantasting				
	(Zie tabel 2, hoofdstuk 4 van NEN-EN 206-1 en keuzeschema Bijlage A, tabel A1 van NEN 8005)				
Agressief (XA)	XAI / XA2 / XA3	XAI / XA2 / XA3	XAI / XA2 / XA3	XAI / XA2 / XA3	

1) Bij constructies permanent onder water zoals bij waterbouwconstructies: XC1.

2) Ook voor constructies minder dan 0,6 m onder maaiveld.

* Stappenplan geldt alleen voor gangbare constructies en niet voor bijzondere gevallen.
Aan dit stappenplan kunnen geen rechten worden ontleend.

Tabel 2

Tabel 2a: Milieuklassen voor de wapening

Aantastingsmechanisme	Klasse	Beschrijving omgeving	Voorbeelden
XO Geen aantasting	XO	Geen risico op corrosie of aantasting	Ongewapende werkvloer en funderingen, onderwaterbeton Beton binnen gebouwen met een zeer lage luchtvochtigheid
XC Corrosie ten gevolge van carbonatatie Beton met wapening blootgesteld aan lucht en vocht	XC1	Droog of continu onder water	Beton binnen gebouwen met lage luchtvochtigheid Beton blijvend onder water
	XC2	Nat, zelden droog	Beton langdurig in contact met water, o.a. fundaties
	XC3	Matige vochtigheid	Beton binnen met matige of hoge luchtvochtigheid Beton buiten, beschermt tegen regen
	XC4	Wisselend nat en droog	Beton in contact met water, niet vallende onder XC2 Beton buiten onbeschermt
XD Dooizouten, chloriden	XD1	Matige vochtigheid	Beton blootgesteld aan chloride uit de lucht (geen zeewind)
	XD2	Nat, zelden droog	Beton blootgesteld aan chloride houdend industriewater, zwembaden
	XD3	Wisselend nat en droog	Beton blootgesteld aan chloride houdend spatwater, betonverhardingen, parkeerdekken
XS Zeewater	XS1	Zouthoudende lucht	Beton bij of aan de kust
	XS2	Blijvend onder zeewater	Betondelen in zee
	XS3	Getijde, spat-en stuifzone	Betondelen in zee

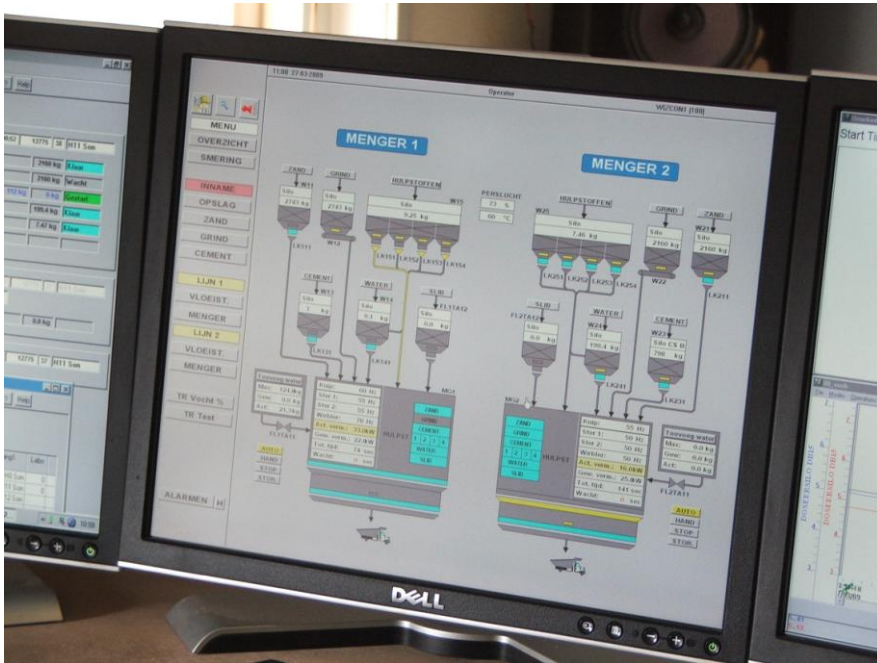
Tabel 2b: Milieuklassen voor het beton

Aantastingsmechanisme	Klasse	Beschrijving omgeving	Voorbeelden
XF Vorst, met of zonder doozouten	XF 1	Niet-volledig verzadigd met water, Zonder doozouten	Verticale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
	XF 2	Niet-volledig verzadigd met water. Met doozouten	Verticale betonoppervlakken van wegconstructies blootgesteld aan vorst en doozouten (uit de lucht)
	XF 3	Verzadigd met water Zonder doozouten	Horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
	XF 4	Verzadigd met water Met doozouten of zeewater	Betonoppervlakken blootgesteld aan direct gesproeiide doozouten en vorst . Wegen en brugdekken blootgesteld aan doozouten en vorst. Spatzone van betonconstructies in zee blootgesteld aan vorst.
XA Agressief	XA1	Zwak agressief chemische omgeving	Funderingsbalken. Bedrijfsvloeren in zuivelindustrie
	XA2	Matig agressief chemische omgeving	Vloeistofdichte beton, funderingspalen, beton in de land- en tuinbouw. Calamiteitenbakken in chemische industrie
	XA3	Sterk agressief chemische omgeving	Rioleringsystemen en rioolwaterzuiveringsinstallaties

Hoofdstuk 4: Oriëntatie zelfherstellend beton

Nog niet eerder met de mol gewerkt, bestudeer dan eerst het ' Hoofdstuk 8: Theorieblad de mol' te vinden op pagina 47 t/m 51 en maak de bijbehorende opdrachten. Al eerder met de mol gewerkt? Ga dan hieronder verder.

De productie van beton start met het ontwerpen van de samenstelling ervan. Voor de juiste samenstelling houdt de betontechnoloog rekening met de gewenste eigenschappen van het verharde beton. Ook de omstandigheden voor het verwerken van de betonspecie zijn van belang. Als de gewenste samenstelling bekend is, kan de productie opgestart worden.



Figuur 4.1: De molenbaas regelt computergestuurd de kwaliteit van de betonmortel in de mengers.

Een belangrijke grondstof van beton is portlandcement dat vooral uit cementmineralen bestaat. Deze cementmineralen ontstaan door de reactie van calciumoxide met silicium(IV)oxide, aluminiumoxide en ijzer(III)oxide bij een temperatuur van ongeveer 1600 °C. Het calciumoxide is afkomstig van kalksteen en/of mergel. Zand en klei zijn de leveranciers van silicium(IV)oxide en aluminiumoxide. Door middel van een ijzerhoudende toeslag wordt ijzer(III)oxide aan het geheel toegevoegd.

Opdracht 4.1

De cementindustrie levert een belangrijke bijdrage tot de CO₂-uitstoot vanwege de vorming van cement.

- Zoek de chemische formule van kalksteen of mergel op.
- Geef de reactievergelijking van de vorming van calciumoxide uit kalksteen.

In onderstaande tabel staat een overzicht van de formules van de gevormde cementmineralen.

Formule	Alternatieve notatie	Gebruikte afkorting in de cementindustrie
Ca_3SiO_5	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Ca_2SiO_4	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Tabel 4.1: Overzicht formules van cementmineralen.

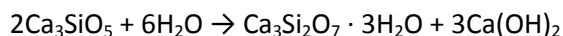
Tijdens het aanmaken van het beton vormen cement, zand en grind met water een plastische massa. Hierdoor is het mengsel goed te verwerken. Vervolgens reageren de zouten (de cementmineralen) uit het cement met het water tot zouthydraten. Zouthydraten zijn zouten die water kunnen opnemen in hun kristalrooster. Dit leidt uiteindelijk tot kristalroosters met een grote hardheid. Dit verklaart tevens de hardheid van het gevormde beton.

Bij de reactie van de cementmineralen uit tabel 4.1 met water ontstaan dus hydratatieproducten. Hierbij ontstaat er ook calciumhydroxide (gebluste kalk).

Het reactieschema ziet er als volgt uit:

cement + water \rightarrow cementsteen + calciumhydroxide

De bijbehorende reactievergelijking in het geval van de hydratatie van C_3S is:



Opdracht 4.2

- Wat is de chemische formule van C_3S ?
- Stel de reactievergelijking op van de hydratatie van C_2S . Hierbij mag je ervan uitgaan dat er cementsteen van dezelfde chemische samenstelling zal ontstaan als bij de hydratatie van C_3S .

Reactievergelijkingen zijn belangrijk in de chemie omdat we kunnen zien welke stoffen met elkaar reageren en welke producten daarbij ontstaan.

Bij de vergelijking van de reactie tussen cement en water denkt een chemicus aan de grijze cement die met water reageert tot een vaste harde massa, de cementsteen, en het calciumhydroxide. Maar hij denkt ook aan atomen die door de reactie op een andere manier met elkaar worden gebonden. De massa van atomen en verbindingen is uiterst gering. Bij de overgang van die uiterst geringe hoeveelheden naar op gewone weegschalen af te wegen hoeveelheden, maakt de chemicus gebruik van de mol. De mol is de eenheid van de chemische hoeveelheid stof.

Aan de hand van de reactievergelijking van de hydratatie van cement is bijvoorbeeld te berekenen hoeveel cementsteen er maximaal gevormd kan worden uitgaande van een bepaalde hoeveelheid van dat cement.

Opdracht 4.3

Bij de hydratatie van portlandcement ontstaan verschillende vormen cementsteen als hydratatieproduct. Stel dat portlandcement voor 100% uit het cementmineraal C_2S bestaat.

Bereken hoeveel ton cementsteen met formule $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ er maximaal kan ontstaan bij de hydratatie van 5,00 ton portlandcement.

Opdracht 4.4

Een dergelijke berekening zul je in de betonindustrie niet gauw tegenkomen. Geef aan waarom niet.

Bij de reactie tussen cement en water ontstaan zouten en zouthydraten die uit kristallen bestaan. Kristallen zijn kleine brokstukjes van het vaste zout. Elk zout heeft een karakteristieke kristalvorm. De kristallen van keukenzout hebben de vorm van een kubus terwijl de kristalstructuur van bijvoorbeeld koper(II)sulfaatpentahydraat triklien is. De kristalstructuur van calciumhydroxide is hexagonaal.

Opdracht 4.5

Teken de zeven verschillende kristalstelsels over van de volgende website:

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

Kristalvorming & Beton

Wat hebben kristalvorming en beton gemeen?

Door de volgende proeven krijg je een beter beeld over wat kristallen zijn en wat kristalvorming is.

Op deze manier kun je beter begrijpen welke reacties er optreden bij de vorming van beton.

Proef 5: Chemische tuin

Benodigheden

- calciumchloride of magnesiumchloride
- ijzer(III)chloride
- koper(II)sulfaat
- koper(II)chloride
- natriumsilicaatoplossing (waterglas)(15%)
- zilverzand
- filtreerpapier
- hoog bekeerglas 250 mL
- spatel
- pincet

Handelingen

- Breng op de bodem van het bekeerglas een laagje zand van 1 cm aan.
- Leg op het laagje zand een filtreerpapier (knip dat zo groot dat het zand juist wordt bedekt, maar er geen opstaande rand is ontstaan).
- Giet daarop 100 mL van de natriumsilicaatoplossing.
- Verwijder het filtreerpapier met een pincet.
- Neem een spatelpuntje van elk zout en leg het voorzichtig op het zand. Zorg ervoor dat de verschillende zouten over het zand zijn verspreid.

Kijk goed wat er gebeurt en bewonder de gevormde chemische tuin. Maak een filmpje of een fotoreeks van de chemische tuin (duur ongeveer 10-15 min).

Waarnemingen

Noteer je waarnemingen.

Resultaten

Noteer de formules van de zouten. Geef ook de notatie van de natriumsilicaatoplossing

Conclusie

Welke verklaring geef je aan wat er gebeurt?

Proef 6: Kristalgroei

Bij de vorige proef, de chemische tuin, was er veel waar te nemen. Die waarnemingen hebben te maken met kristalgroei. Daar gaan we verder op in.

In tegenstelling tot de vorige proef gaan we nu één zout gebruiken: blauw koper(II)sulfaat.

De bedoeling is dat je een zo groot mogelijk kristal van dit zout gaat vormen.

Je tegenstanders zijn je klasgenoten.

Benodigheden

- blauw koper(II)sulfaat
- hoog bekersglas 150 / 250 mL
- staafje (bijv. van glas) dat over het bekersglas kan liggen
- draadje
- filtreerpapier
- trechter

Handelingen

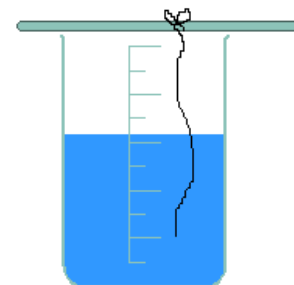
Zoek in Binas op wat de oplosbaarheid van blauw koper(II)sulfaat-pentahydraat is.

- Maak een verzadigde koper(II)sulfaatoplossing (verwarm daartoe de oplossing eventueel voorzichtig).
- Hang dan het draadje in de oplossing (zie hiernaast).
- Zet de oplossing op een plaats waar het ongeveer twee dagen kan staan. De oplossing moet je niet afdekken.

Na twee dagen:

- Filtreer de oplossing.
- Schenk het filtraat terug in een schoon bekersglas en hang het touwtje waarop enkele kristallen zitten in de gefiltreerde oplossing.

Herhaal deze handelingen om de twee dagen gedurende maximaal 2 weken.



Waarnemingen

ZHBeton 19-08-2010

Noteer de waarnemingen.

Resultaten

Meet na de laatste dag het kristal op. Noteer de diameter.

Conclusie

Wie heeft het grootste kristal? Wie heeft er gewonnen?

Hydraten

Er bestaat wit koper(II)sulfaat en blauw koper(II)sulfaat. Als er op het eerste zout wat water komt, wordt het blauw. Wit koper(II)sulfaat is een reagens op water.

Blauw koper(II)sulfaat is een hydraat. Een hydraat kan in het kristal water chemisch binden. Dit is ook af te lezen aan de formule. Let op: de stof is ondanks het water nog steeds een vaste stof!

Wit koper(II)sulfaat CuSO_4 (s)

Blauw koper(II)sulfaat: $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ (s)

Wit koper(II)sulfaat bindt per mol, 5 mol kristalwater.

Door blauw koper(II)sulfaat te gaan verwarmen, verdampst het water en er ontstaat wit koper(II)sulfaat. Doe je daar weer water bij, dan wordt het wit koper(II)sulfaat weer blauw enz... enz...

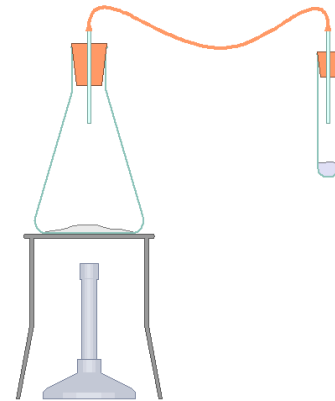
Opdracht 4.6

- Noteer de vergelijking van de reactie van het verwarmen van blauw kopersulfaat.
- Noteer ook de vergelijking van de reactie van wit kopersulfaat met water.
- Welke reactie is endotherm en welke reactie is dan exotherm?

Proef 7: Bevat soda kristalwater?

Benodigheden

- wit kopersulfaat
- kristalsoda
- erlenmeyer
- reageerbuis
- stop met een gat erin, die past op de erlenmeyer
- stop met twee (!) gaten die past op de reageerbuis
- slangetje die in het gat van de stop past
- bunsenbrander
- driepoot
- lucifers
- houten reageerbuis houder



Handelingen

- Bouw de opstelling van hiernaast.
- Breng in de erlenmeyer ongeveer 5 gram kristalsoda.
- In de reageerbuis doe je een schep wit koper(II)sulfaat.
- Doe daarna beide doorboorde stoppen met de slang op de erlenmeyer en de reageerbuis.
- Houd de reageerbuis vast met een reageerbuis houder, zodat je je vingers niet kunt branden.
- Verwarm nu voorzichtig de soda.

Tip: Het handigste is om de brander voorzichtig heen en weer te bewegen onder de erlenmeyer. Verwarm minimaal gedurende 10 minuten de erlenmeyer met de.

Waarnemingen

Noteer de waarnemingen.

Resultaten

Zoek de formule van kristalsoda op en schrijf deze op.

Conclusie

Zit in soda kristalwater? Leg uit waarom en hoe je dit hebt aangetoond.

Proef 8: Hoeveel mol water bevat kristalsoda?

Benodigheden

- 10 g kristalsoda
- petrischaaltje
- kroezentang
- weegschaal
- oven

Handelingen

- Noteer op het petrischaaltje je naam en klas.
- Weeg het lege petrischaaltje en noteer het gewicht (maak een schema/tabel om je resultaten in te noteren).
- Leg ongeveer 10,0 gram soda op het petrischaaltje.
- Weeg het petrischaaltje met de soda. En noteer het gewicht.
- Zet het petrischaaltje met de soda 30 minuten in de oven (ongeveer 100 - 120 °C).

Na 30 min:

- Haal met een kroezentang het petrischaaltje met de soda uit de oven.

Let op: Warm!

- Weeg het petrischaaltje met soda en noteer de massa.
- Zet daarna het petrischaaltje weer terug in de oven.

Na 10 min:

- Haal het petrischaaltje opnieuw uit de oven.
- Noteer weer de massa.

Herhaal de laatste handeling totdat de massa nagenoeg gelijk blijft.

Waarnemingen

Noteer de waarnemingen

Resultaten

Noteer de tabel met de massa's.

Zoek de chemische formule op van soda. Uit welke ionen bestaat soda?

Wat is de molaire massa van soda?

Bereken hoeveel mol H₂O kristalsoda per mol bevat.

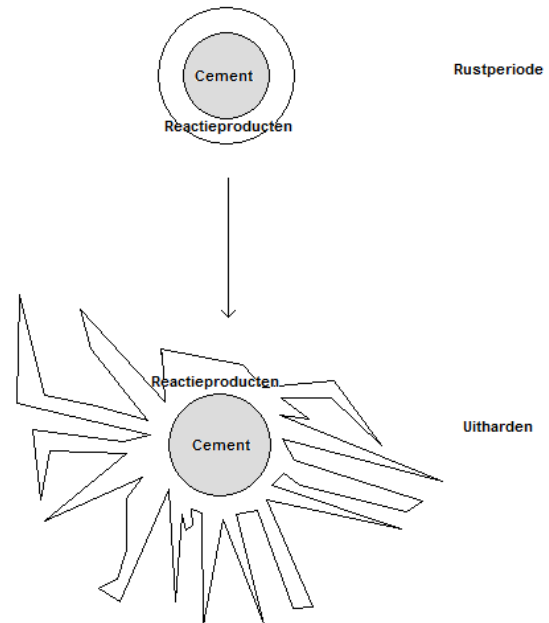
Conclusie

Vergelijk het aantal mol H₂O in kristalsoda met de chemische formule van soda. Noteer de conclusie.

De relatie tussen hydraten en beton

Het is nu duidelijk hoe kristallen gevormd worden en wat hydraten zijn. Die kennis gaan we terugkoppelen naar beton.

Bij het uitharden van beton wordt het calciumsilicaat (Ca_3SiO_5) en kalk (CaO) omgezet in calciumsilicaathydraat ($\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) en calciumhydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Daarbij ontstaan grote kristallen, met een draderige structuur. Door de vorm kunnen deze kristallen veel water binden, want de kristallen hebben een grote oppervlakte/inhoud verhouding. Daardoor ontstaat de sterke structuur zoals we die van beton kennen.



Opdracht 4.7

- Waarom moet er voldoende water aanwezig zijn bij de hydratatie van cement?
- Welk verband heeft de chemische tuin met de uitharding van beton?
- Op welke punten heeft het met elkaar te maken?

Microstructuur van beton

De reactie tussen cement en water resulteert in het ontstaan van calcium-silicaathydraat (afkorting CSH met als algemene formule $\text{Ca}_x\text{Si}_y\text{O}_z \cdot a\text{H}_2\text{O}$). Dit levert grote kristallen op met een draderige structuur.

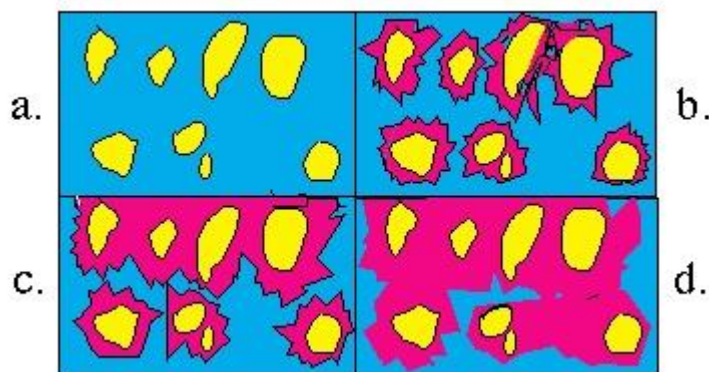


Figuur 4.2: Vezels van C_sH , opgenomen met een elektronenmicroscop
(bron **Beton**technologie voor Onderwijs & Praktijk, publicatie van de Betonvereniging en het Cement & Beton Centrum i.o.)

De C_5H -vezels in figuur 4.2 hebben een diameter die kleiner is dan $1\ \mu\text{m}$ (duizend maal kleiner dan 1 millimeter). De vezels zijn met een gewone microscoop niet te zien.

Het cementsteen bestaat naast C_5H verder ook nog uit ongereageerd cement, calciumhydroxide en water. En als we spreken over beton dan is er sprake van een steenachtig toeslagmateriaal dat bij elkaar gehouden wordt door cementsteen.

Figuur 4.3 is een modelvoorstelling van de groei van cementsteen. Bij a is er nog geen sprake van enige groei, er is grind, zand, cement en water. Het water (blauw) en het grind (geel) zijn alleen weergegeven. Bij b is er reactie van cement met water. Houd er rekening mee dat niet alle cement met water heeft gereageerd, want cementsteen is minder poreus dan de omgeving die nog niet heeft gereageerd. Het water moet door het minder poreuze cementsteen opgenomen worden om ongereageerd cement alsnog te laten reageren. Bij c gaat de groei van cementsteen nog verder; de lege plaatsen (blauw) bevat water met daarin opgelost calciumhydroxide, een reactieproduct bij de hydratatie; en bij d is het beton zo ongeveer uitgeregereerd. Daar waar geen water meer is (of een te hoge concentratie) zal het calciumhydroxide uitkristalliseren. Calciumhydroxide vormt hexagonale kristallen.



Figuur 4.3: De groei van cementsteen.

(bron - http://911research.wtc7.net/cache/wtc/evidence/principles_portlandcement.html)

Bekijk de film op de website: http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20031208_01_01hetero

In het filmpje is te zien hoe beton gemaakt wordt en hoe het er vervolgens uitziet. Als beton sterk uitvergroten wordt met behulp van een elektronenmicroscoop ontstaan plaatjes die te zien op de volgende websites:

<http://www.cmc-concrete.com/microstructurephotos.htm>

<http://ciks.cbt.nist.gov/~garboz/appendix1/node5.html>

Opdracht 4.8

Teken een model van cementsteen op micro-niveau. Hierbij gelden de volgende randvoorwaarden met betrekking tot de kleuren van de verschillende bestanddelen:

Ongereageerd cement: lichtgrijs

Cementsteen: donkergrijs

Calciumhydroxide: wit

Houd in je tekening zoveel mogelijk rekening met de vorm van de kristalstructuur.

De tekeningen kun je digitaal opsturen naar het volgende e-mailadres: p.sloet@c3.nl

Een jury zal de tekeningen beoordelen en laat de mooiste tekeningen op de website

www.scheikundeinbedrijf.nl plaatsen.

Opdracht 4.9

- a) Bij het tekenen van het model van het cementsteen hoef je de toeslagmaterialen niet in te tekenen. Leg uit waarom dat niet hoeft.
- b) Waarom hoeft er in de tekening ook geen water getekend te worden?

Hoofdstuk 5: Zelfherstellend vermogen van beton

Proef 9: Zelfherstellende materialen

Deze proef bestaat uit twee delen:

Deel 1: Grootmoeders wijze

Deel 2: zelfherstellende materialen

Deel 1: Grootmoeders wijze

Benodigheden

- Borstplaat op grootmoeders wijze
- Mes of scherp voorwerp

Handelingen

Van je docent krijg je een stuk borstplaat gemaakt op grootmoeders wijze.

- Pak een mes of ander scherp voorwerp en maak een kras in je borstplaat. Probeer dit een aantal keren.

Na 5 min:

Bekijk wat er gebeurt met de sneden in grootmoeders borstplaat.

Waarnemingen

Noteer de waarnemingen.

Resultaten

Wat gebeurt er met grootmoeders borstplaat als je er met een mes in snijdt?

Wat gebeurde er met deze krassen? Wat zegt dit over de borstplaat?

Conclusie

Zijn de krassen verdwenen? Met andere woorden is grootmoeders borstplaat een zelfherstellend materiaal?

Deel 2: zelfherstellende materialen

Vraag aan je docent of je de zelfherstellende borstplaat zelf maakt of dat je er één krijgt.

Krijg je er één van je docent, ga verder met de handeling vanaf 'experimenten met borstplaat'. Maak je de borstplaat zelf, ga verder hieronder.

Benodigdheden

- bunsenbrander
- lucifers
- 200 mL bekeerglazen
- 250 mL maatcilinder
- 10 mL maatcilinder
- petrischaal
- mes of ander scherp voorwerp
- weegschaal
- 225 g suiker
- 10 mL huishoudazijn (4 massa %)
- water

Handelingen

- Doe in een bekeerglas 115 ml water.
- Voeg 10 ml azijn aan toe.
- Los hierin 225 gram suiker op.
- Roer zo lang tot er geen suikerkristallen meer te zien zijn.
- Verwarm het mengsel voorzichtig.

Je gaat nu het mengsel inkoken tot een stroperige massa. Zorg er voor dat het mengsel aan de kook komt, maar pas op dat je het niet te hard verwarmt (de suiker karameliseert dan/er ontstaat een bruine oplossing).

Na ongeveer 20 minuten:

Het mengsel is nu stroperig.

- Controleer of het stroperig genoeg is door met een lepel wat van het stroperige mengsel in een bekeerglas met water te gooien. Als het mengsel stroperig genoeg is zakt het als een klont naar de bodem.
- Als het niet stroperig genoeg is, dan nog even verwarmen en opnieuw controleren.
- Giet het mengsel in een petrischaal.

Laat de stroperige massa afkoelen en opstijven. Je hebt nu je borstplaat.

Experimenteren met borstplaat

- Pak een mes of ander scherp voorwerp en maak een kras in de borstplaat.
- Doe dit een aantal keer.

Na 5 min:

Bekijk wat er gebeurt met de sneden in de zelfherstellende borstplaat.

Waarnemingen

Noteer je waarnemingen.

Resultaten

Wat gebeurt er met de zelfherstellende borstplaat als je er met een mes in snijdt?

Wat gebeurde er met deze krassen? Wat zegt dit over de borstplaat?

Conclusie

Zijn de krassen verdwenen? Met andere woorden is deze borstplaat een zelfherstellend materiaal?

Conclusie deel 1 en 2

Beschrijf in eigen woorden wat een zelfherstellend materiaal is.

Proef 10: Zelfherstellende werking van beton

Achtergrondinformatie

Als beton wordt gemaakt, zijn er heel veel aspecten waarop gelet moet worden. Behalve het soort materiaal, cement, zand, grind en water, dat gebruikt wordt, moet ook gelet worden op de vochtigheid van de omgeving of de temperatuur. Zal de omgeving in de woestijn te droog zijn? Zou het op de Noordpool te koud zijn? Je gaat nu onderzoeken wat goede omstandigheden zijn voor cement om uit te harden.

Benodigheden per groep

- 500 mL bekersglas
- emmer of mengbak
- 5 frikadellenbakjes
- plastic boterhamzakjes
- lepel of plamuurmes
- elastieken
- cement
- zand
- water

Handelingen

Er zijn twee soorten mengsels die gemaakt kunnen worden, de docent beslist welke jouw groep gaat doen.

Mengsel	samenstelling
A	700 gram cement, 370 gram zand en 200 ml water
B	720 gram cement, 380 gram zand en 200 ml water

- Schrijf op het frikadellenbakjes mengsel A of B en jullie namen.
- Weeg de stoffen af.

Veiligheid: Weeg het cement af in de zuurkast.

- Voeg de stoffen samen en meng goed.
- Verdeel het mengsel over de 5 frikadellenbakjes.
- Zet 2 van de 5 bakjes in een boterhamzakje.
- Zet 2 van de 5 bakjes in de open lucht.
- Zet 1 bakje in de koelkast.

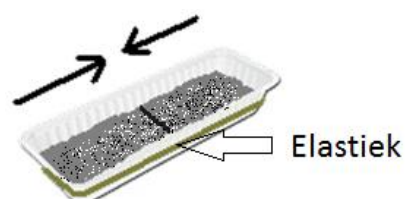
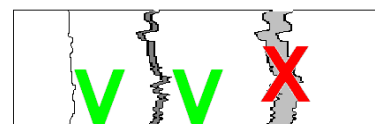
Laat de mengsels 3,5 - 4 uur laten hydrateren. Als de mengsels nog te nat en dus niet echt breekbaar zijn, laat ze dan iets langer staan.

Na ca. 4 uur:

- Let op: Breek de betonstaven in het bakje.
- Voeg bij alle 5 de betonstaven een klein beetje water toe.

Zorg dat het water voornamelijk in het breukvlak komt.

- Doe een elastiek om het frikadellenbakje
- Laat de betonstaven een week rusten/reageren.



Waarnemingen

Bekijk welke betonstaven zijn hersteld van de breuk, en welke nog steeds gebroken zijn.

Resultaten

Is de samenstelling belangrijk om beton 'zelfherstellend' te maken?

Heeft zelfherstellend beton een bepaalde hardingstemperatuur nodig?

Heeft zelfherstellend beton een bepaalde vochtigheid nodig tijdens het harden?

Is de breukgrootte belangrijk?

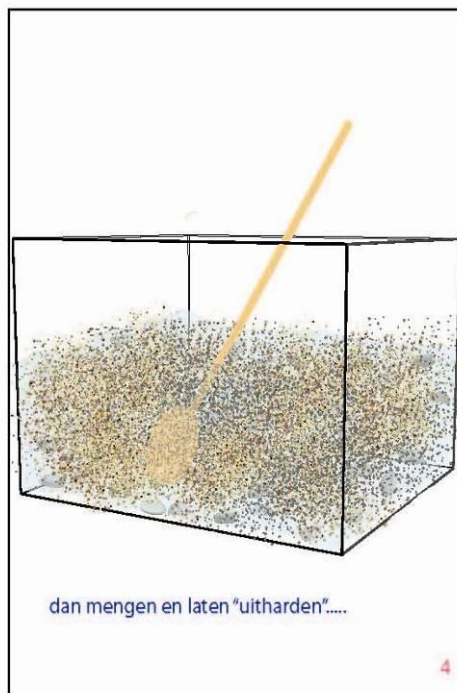
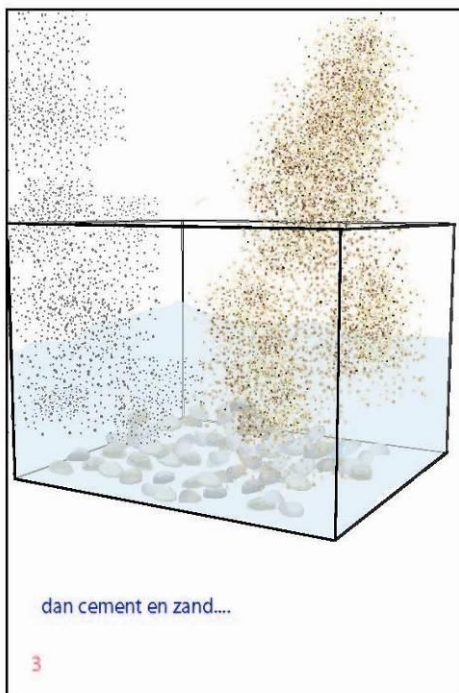
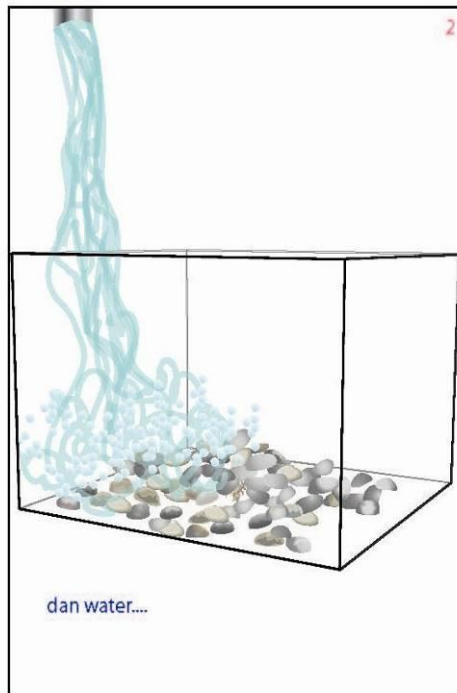
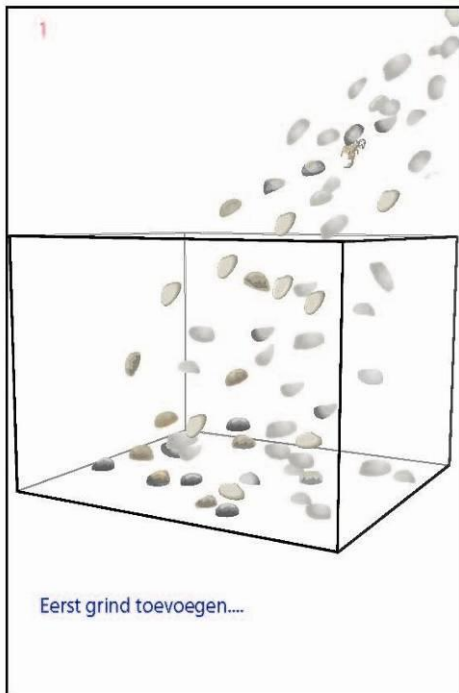
Wat zijn de beste omstandigheden om zelfherstellend beton te maken?

Conclusie

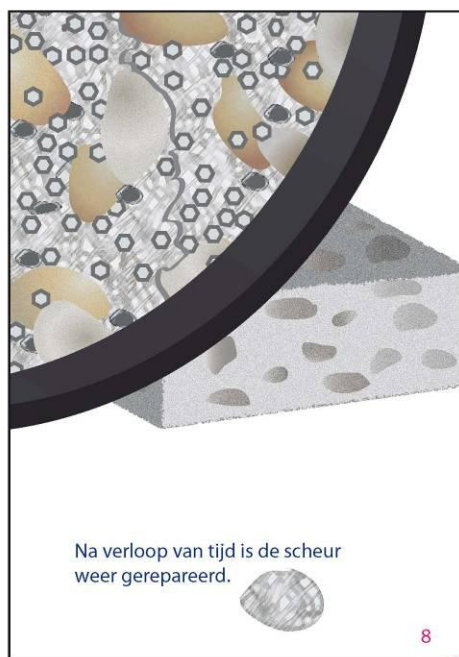
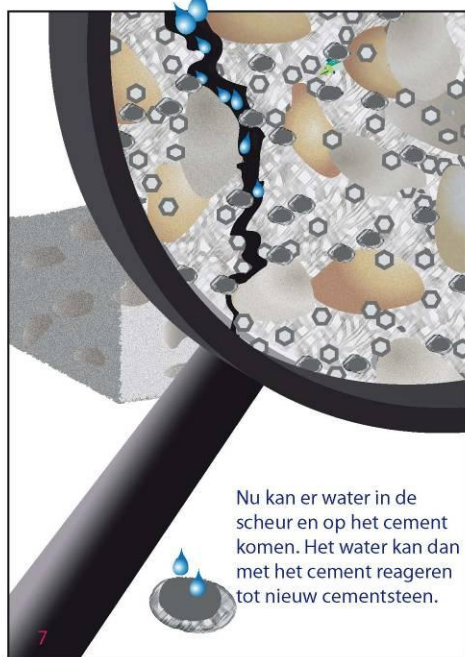
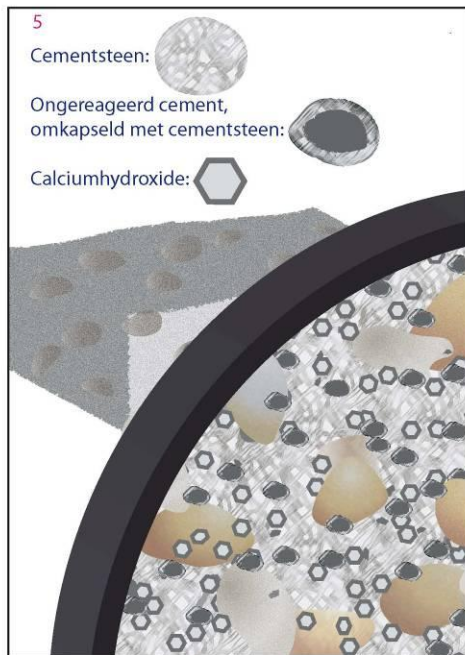
Sommige breuken zijn hersteld ander waarschijnlijk niet. Dat maakt niet uit, je wilt immers weten welke omstandigheden wel en welke niet ideaal zijn om zelfherstellend beton te maken.

Geef nu in eigen woorden weer wat de beste omstandigheden zijn om zelfherstellend beton te maken.

Afbeelding 5a



Afbeelding 5b



Bekijk afbeelding 5a en 5b en beantwoord onderstaande opdrachten.

Opdracht 5.1

- a) In afbeelding 5a vindt een chemische reactie plaats, de vorming van cementsteen. De reactievergelijking heb je al een keer eerder opgeschreven. Schrijf die opnieuw op.
- b) In welke afbeelding vindt er nog meer een reactie plaats?
- c) Leg uit hoe na het ontstaan van een microscheur in het beton de reactie van de vorming van cementsteen opnieuw kan plaatsvinden.
- d) Neemt de zelfherstellende werking van beton toe of af naarmate de tijd vordert? Motiveer je antwoord.

Opdracht 5.2

Maak een webquest op de manier zoals hieronder beschreven is.

WebQuest zelfherstellend beton

Aan de hand van deze opdracht is het de bedoeling dat je een beeld krijgt van de ontwikkelingen op het gebied van zelfherstellend beton.

Zoek op internet naar websites die informatie geven over:

- zelfherstellend beton;
- ontwikkelingen op het gebied van zelfherstellend beton.

De gevonden informatie ga je verwerken in één van de volgende presentatievormen:

- PowerPointpresentatie (eventueel in combinatie met een filmpje)
- Poster
- Artikel voor in de schoolkrant

Je kunt je presentatievorm ook opsturen naar de projectleider Zelfherstellend beton Mevr. Drs. P. Sloet tot Everlo van Stichting C3 te Den Haag; email-adres: psloet@c3.nl

Een jury zal de presentaties beoordelen en laat de beste hiervan op de website www.scheikundeinbedrijf.nl plaatsen.

Hoofdstuk 6: Onderzoek

Inmiddels is bij de bereiding van beton veel kennis van de zelfherstellende werking opgedaan. Dit laatste hoofdstuk bevat extra opdrachten met beton. De opdrachten zijn uitgebreider te vinden op de site www.scheikundeinbedrijf.nl.

6.1. De olifanten van beton

Doe onderzoek naar het kunstwerk van de betonnen olifanten bij de kruising tussen de A27 en de A6 bij Almere Buiten. In de zoektocht moeten onder andere de volgende vragen aan de orde komen: hoe zijn ze gemaakt, zijn ze volledig van beton of niet, waar moet een kunstenaar rekening mee houden, als hij een kunstwerk van beton maakt?

6.2. De betonnen boot

Wat is een eis van een boot? Juist, dat deze blijft drijven.

Nu zijn er heel wat betonnen boten in de vaart. Hoe kan dat dan?

De dichtheid van beton $2,5 \text{ kg/dm}^3$, en van water is dat $1,0 \text{ kg/dm}^3$, dus dat blijft zeker niet drijven.

6.3. Zelfherstellend beton

Het zelfherstellende vermogen van beton is van vele factoren afhankelijk, namelijk de hoeveelheid water, temperatuur, pH en de omgeving waar je het beton maakt. En kan dus worden beïnvloed door een van deze factoren aan te passen.

6.4. Verhitten van beton

Bij het verhitten van beton treden afhankelijk van de temperatuur veranderingen in beton op.

Allereerst ontsnapt er water dat in de poriën van het beton is opgesloten. Bij verdere verhitting kan het kristalwater dat in de kristalstructuur van cementsteen is opgenomen ontsnappen.

6.5. Minder kant-en-klare opdrachten

Kiezen uit de vele mogelijkheden van onderzoek: zie kanjerkaart hoofdstuk 6.

Bij deze mogelijkheden maak je zelf je onderzoeksplan.

Hoofdstuk 7: Theorieblad zouten

Zouten zijn verbindingen die gevormd worden uit metalen en niet-metalen. Voorbeelden hiervan zijn:

natrium + chloor → natriumchloride

aluminium + zuurstof → aluminiumoxide

In zijn algemeenheid geldt: metaal + niet-metaal → zout

Een zout is opgebouwd uit ionen, een combinatie van positieve ionen met negatieve ionen die samen het ionrooster vormen.

Een ion is een atoom of atoomgroep met een elektrische lading, die zowel positief als negatief kan zijn. Deze lading wordt ook wel (elektro)valentie genoemd.

Metaalatomen kunnen uitsluitend positieve ionen vormen door één of meer elektronen af te staan.

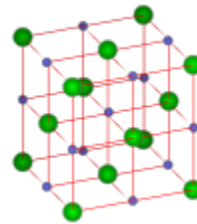
Een positief ion is dus een deeltje dat minder elektronen dan protonen bevat.

Atomen van niet-metalen vormen bijna altijd negatieve ionen door één of meer elektronen op te nemen. Een negatief ion is een deeltje dat meer elektronen dan protonen bevat.

Het ionrooster bestaat dus uit ionen die aan elkaar gebonden zijn door de ionbinding. Een ionbinding ontstaat door de elektrische aantrekking tussen tegengesteld geladen deeltjes. Ionbindingen zijn sterke bindingen, sterker dan bijvoorbeeld molecuulbindingen.

Binnen het ionrooster kunnen de ionen zich niet verplaatsen.

Hiernaast een voorbeeld van het ionrooster van natriumchloride.



Enkele eigenschappen van zouten zijn:

- relatief hoge smelt- en kookpunten;
- hard;
- bros;
- elektrisch neutraal;
- stroomgeleiding in zowel vloeibare fase als opgelost in (gedestilleerd) water;
- geen stroomgeleiding in vaste fase.

Deze eigenschappen volgen direct uit het feit dat een zout opgebouwd is uit ionen die geordend zijn in een ionrooster.

Bekende praktijkvoorbeelden van zouten zijn keukenzout, roest en gips.

Verhoudingsformule en naamgeving

Een zout is elektrisch neutraal. Dat betekent dat de verhouding tussen de aantallen positieve ionen en de aantallen negatieve ionen zodanig moet zijn dat de netto-lading van het zout gelijk is aan 0.

De formule van een zout is daarom een verhoudingsformule. Hierbij dient de verhouding tussen de positieve en de negatieve ionen zo klein mogelijk te zijn.

In de formule staat het symbool van het positieve ion altijd vooraan, gevolgd door het symbool van het negatieve ion.

In de naam van het zout staat de naam van de formule van het positieve ion altijd vooraan, gevolgd door de naam van de formule van het negatieve ion.

Voorbeeld:

NaCl is opgebouwd uit Na⁺-ionen en Cl⁻-ionen in de verhouding 1:1.

Dit zout heet natriumchloride.

Al₂O₃ is opgebouwd uit Al³⁺-ionen en O²⁻-ionen in de verhouding 2:3.

Dit zout heet aluminiumoxide.

Veel voorkomende enkelvoudige positieve ionen van metalen zijn vermeld in tabel 1.

Tabel 1: Veel voorkomende enkelvoudige positieve ionen

Naam ion	Formule	Naam ion	Formule
lithium	Li ⁺	koper(I)	Cu ⁺
natrium	Na ⁺	koper(II)	Cu ²⁺
kalium	K ⁺	kwik(I)	Hg ⁺
magnesium	Mg ²⁺	kwik(II)	Hg ²⁺
calcium	Ca ²⁺	lood(II)	Pb ²⁺
strontium	Sr ²⁺	lood(IV)	Pb ⁴⁺
barium	Ba ²⁺	mangaan(II)	Mn ²⁺
aluminium	Al ³⁺	mangaan(IV)	Mn ⁴⁺
chroom(II)	Cr ²⁺	nikkel	Ni ²⁺
chroom(III)	Cr ³⁺	tin(II)	Sn ²⁺
chroom(IV)	Cr ⁴⁺	tin(IV)	Sn ⁴⁺
chroom(VI)	Cr ⁶⁺	zilver	Ag ⁺
ijzer(II)	Fe ²⁺	zink	Zn ²⁺
ijzer(III)	Fe ³⁺		

Bij sommige metalen zijn er meerdere ionen mogelijk, bijvoorbeeld Cu⁺ en Cu²⁺. Om deze ionen van elkaar te onderscheiden wordt er gebruik gemaakt van Romeinse cijfers.

CuCl heet dan koper(I)chloride;

CuCl₂ heet dan koper(II)chloride.

Formule	Naam
O ²⁻	oxide
S ²⁻	sulfide
F ⁻	fluoride
Cl ⁻	chloride

Br^-	bromide
I^-	jodide

Tabel 2: Veel voorkomende enkelvoudige negatieve ionen

Naast enkelvoudige ionen bestaan er ook samengestelde ionen. Dit zijn ionen die uit twee of meer atoomsoorten zijn opgebouwd. Veel voorkomende enkelvoudige negatieve ionen van niet-metalen zijn vermeld in tabel 3.

Formule	Naam
CH_3COO^-	acetaat
CO_3^{2-}	carbonaat
PO_4^{3-}	fosfaat
OH^-	hydroxide
NO_3^-	nitraat
NO_2^-	nitriet
SO_4^{2-}	sulfaat
SO_3^{2-}	sulfiet
HCO_3^-	waterstofcarbonaat
SiO_3^{2-}	silicaat

Tabel 3: Veel voorkomende samengestelde negatieve ionen

Naast de genoemde voorbeelden van positieve ionen in tabel 1 bestaat er ook het positief geladen samengestelde ammoniumion met als formule NH_4^+ . Ammoniumverbindingen behoren ook tot de groep van de zouten.

Zouthydraten

Naast het voorkomen van zouten zijn er ook zouten die water in hun kristallen kunnen opnemen. Dit zijn de zouthydraten. Een voorbeeld van een zouthydraat is gips met als formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. De naam hiervan is calciumsulfaatdihydraat. Het opgenomen water heet kristalwater.

Dubbelzouten

Bij een dubbelzout is er sprake van een combinatie van twee positieve ionen met één negatief ion. Het omgekeerde kan ook waarbij twee negatieve ionen een zout vormen met één positief ion.

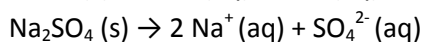
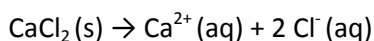
Voorbeelden hiervan zijn mineralen zoals:

Chalcopyriet, CuFeS_2

Hydrozinciet, $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$

Zouten in water

Een aantal zouten is vrij goed oplosbaar in water. Met behulp van een oplosvergelijking is dit oplossen weer te geven. Ter illustratie staan hieronder de oplosvergelijkingen van calciumchloride en natriumsulfaat in water weergegeven.



In tabel 45A van BINAS is terug te vinden welke zouten goed, matig of slecht oplosbaar zijn in water.

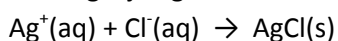
Neerslagreacties

Wanneer oplossingen van bijvoorbeeld natriumchloride en zilvernitraat bij elkaar gevoegd worden, ontstaat er een neerslag van zilverchloride volgens een deel van de oplosbaarheidstabel (m.b.v.

BINAS tabel 45A):

	$\text{Cl}^{-}(\text{aq})$	$\text{NO}_3^{-}(\text{aq})$
$\text{Na}^{+}(\text{aq})$	g	g
$\text{Ag}^{+}(\text{aq})$	s	g

De vergelijking van de neerslagreactie ziet er als volgt uit:



Toepassingen van neerslagreacties

Met behulp van een neerslagreactie is het mogelijk om:

- Een ionsoort aan te tonen als verontreiniging in een heldere oplossing

Hierbij wordt er aan de oplossing een zoutoplossing toegevoegd waarbij alleen de eventuele verontreiniging een neerslag vormt met de toegevoegde zoutoplossing.

- Een ionsoort als verontreiniging te verwijderen uit een heldere oplossing

Hierbij wordt er aan de oplossing een zoutoplossing toegevoegd waarbij alleen de verontreiniging een neerslag vormt met de toegevoegde zoutoplossing. Vervolgens wordt de ontstane suspensie gefiltreerd.

- Een zout te maken

Het uitgangspunt hierbij is een tweetal zoutoplossingen. De ene zoutoplossing bevat de positieve ionsoort van het te maken zout, de andere zoutoplossing bevat de negatieve ionsoort van het te maken zout. Voorwaarde hierbij is dat de combinatie van de gezochte positieve ionsoort en de negatieve ionsoort hierbij een neerslag moet geven volgens BINAS tabel 45A.

Door de twee zoutoplossingen samen te voegen ontstaat het gewenste neerslag. Vervolgens wordt de ontstane suspensie gefiltreerd.

Beeldmateriaal

Onderstaand beeldmateriaal is te vinden op de website van Schooltv Beeldbank.



Uit twee zeer gevaarlijke stoffen kun je ongevaarlijk keukenzout maken.

Uit het metaal natrium en het gas chloor kun je de witte vaste stof natriumchloride maken. Zo'n reactie heet een vormingsreactie.

http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20031208_12_02vormen

Oefenopgaven

Opdracht 7.1

Geef de formules van de volgende ionen:

- a) barium-ion
- b) magnesium-ion
- c) fluoride-ion
- d) hydroxide-ion
- e) aluminium-ion

Opdracht 7.2

Geef de formules van de volgende zouten:

- a) calciumsulfide
- b) tin(IV)bromide
- c) ammoniumfosfaat
- d) zilverjodide
- e) ijzer(III)sulfaat

Opdracht 7.3

Geef de naam van de volgende stoffen:

- a) MgO
- b) Na₂SO₄
- c) CaBr₂
- d) KOH
- e) Pb(NO₃)₂

Opdracht 7.4

Geef de vergelijkingen van de volgende processen:

- a) Het oplossen van Na₂CO₃ in water
- b) Het oplossen van ammoniumchloride in water

Opdracht 7.5

Geef de vergelijking van de mogelijke reacties die kunnen plaatsvinden als oplossingen van de volgende zouten worden samengevoegd:

- a) ZnBr₂ en K₂S
- b) bariumhydroxide en aluminiumsulfaat

Opdracht 7.6

Pyromorfiet is een loodverbinding die in de aardkorst voorkomt. De formule van pyromorfiet is Pb₅Cl(PO₄)_n. In deze verbinding komen loodionen uitsluitend als Pb²⁺-ionen voor. Leg uit welke waarde *n* in de formule van Pyromorfiet heeft.

Opdracht 7.7

De voorraadpot met zinknitraat is mogelijk verontreinigd met lood(II)nitraat.

- Geef de formules van beide stoffen.
- Beschrijf zo volledig mogelijk je plan van aanpak om aan te tonen of zinknitraat wel of niet verontreinigd is met lood(II)nitraat. Geef hierbij duidelijk aan welke stoffen je gaat gebruiken en welke handelingen je gaat verrichten. Vermeld hierbij ook een kleine oplosbaarheidstabel.

Opdracht 7.8

Het komt wel eens voor dat je een bepaald zout wilt maken. Bijvoorbeeld omdat de voorraadpot van dat zout net leeg is. In ons geval is het zout magnesiumfosfaat op.

- Geef de formules van magnesiumfosfaat.
- Beschrijf zo volledig mogelijk je plan van aanpak om het zout magnesiumfosfaat te maken. Geef hierbij duidelijk aan welke stoffen je gaat gebruiken en welke handelingen je gaat verrichten. Vermeld hierbij ook een kleine oplosbaarheidstabel.
- Geef de vergelijking van de reactie die plaatsvindt.

Opdracht 7.9

Er staan vier reageerbuisjes klaar met daarin de vaste stoffen ijzer(III)fosfaat, zilvernitraat, calciumchloride en magnesiumsulfaat.

Ieder buisje bevat maar één stof. Beschrijf zo volledig mogelijk je plan van aanpak om uit te zoeken welke stof in welk buisje zit.

Opdracht 7.10

Beton is een veelgebruikt bouw materiaal. Het is een mengsel van voornamelijk cementpoeder, zand, grind en water.

Cementpoeder wordt gemaakt van mergel en klei dat na drogen en mengen sterk verhit wordt tot ongeveer 1600 °C. Het gevormde product wordt klinker genoemd. De klinker wordt gemalen. Het bevat o.a. de elementen calcium, silicium, aluminium, zuurstof en ijzer.

Tijdens het verhitten treden diverse reacties op waarbij een kristallijn mengsel ontstaat dat o.a. de stoffen calciumsilicaat en calciumaluminaat bevat.

- Geef de formules van calciumsilicaat.
Calciumaluminaat heeft als formule $\text{Ca}_3(\text{AlO}_3)_2$.
- Geef de formules van het aluminaat-ion.

Na toevoegen van gipspoeder aan het kristallijne mengsel wordt het geheel vermalen. Het zo verkregen product is het zogeheten Portlandcementpoeder.

Tabel 4: Overzicht formules van cementmineralen

Formule	Alternatieve notatie	Gebruikte afkorting in de cementindustrie
Ca_3SiO_5	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Ca_2SiO_4	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Tijdens het aanmaken van het beton vormen cement, zand en grind met water een plastische massa. Hierdoor is het mengsel goed te verwerken. Vervolgens reageren de zouten (de cementmineralen) uit het cement met het water tot zouthydraten. Zouthydraten zijn zouten die water kunnen opnemen in hun kristalrooster. Het opgenomen water heet kristalwater. Het hydratatieproces leidt uiteindelijk tot kristalroosters met een grote hardheid. Dit verklaart tevens de hardheid van het gevormde beton.

Een willekeurig voorbeeld van een zouthydraat is ijzer(II)chloridetetrahydraat. De formule is $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$

Een ander veelgebruikt bouw materiaal naast beton is gips. De officiële naam is calciumsulfaatdihydraat.

c) Geef de formule van gips.

Bij de reactie van de cementmineralen uit tabel 1 met water ontstaan hydratatieproducten. Hierbij ontstaat ook calciumhydroxide (gebluste kalk).

Het reactieschema ziet er als volgt uit:
cement + water \rightarrow cementsteen + calciumhydroxide

De bijbehorende reactievergelijking in het geval van de hydratatie van C_3S is:
 $2 \text{Ca}_3\text{SiO}_5 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{Ca}(\text{OH})_2$

d) Stel de reactievergelijking op van de hydratatie van C_2S . Hierbij mag je ervan uitgaan dat er cementsteen van dezelfde chemische samenstelling zal ontstaan als bij de hydratatie van C_3S .

Hoofdstuk 8: Theorieblad Mol

Een nieuwe eenheid voor de chemische hoeveelheid, de mol.

Bij de reactie tussen koper en zwavel ontstaat er kopersulfide:

koper + zwavel \rightarrow kopersulfide

Op grond van experimenteel onderzoek is bekend hoeveel gram koper met hoeveel gram zwavel reageert: de zogenoemde massaverhouding. Daarmee kun je uitrekenen hoeveel gram nieuwe stof ontstaat. De wet die je dan toepast heet de *wet van massabehoud* (ontdekt door Lavoisier), deze wet zegt 'massa gaat nooit verloren, of de massa van de stoffen vóór de reactie is gelijk aan de massa van de stoffen na de reactie'.

Voorbeeld:

5,00 gram koper reageert met precies 1,43 gram zwavel. Op grond van de wet van massabehoud geldt dat er 6,43 gram kopersulfide ontstaat. Een andere wet is de *wet van Proust* (spreek uit als Proest), deze wet zegt: 'Stoffen reageren altijd in een vaste massaverhouding'. Dus wanneer je twee keer zoveel koper wilt laten verdwijnen, zal er ook tweemaal zoveel zwavel verdwijnen en de massa van het kopersulfide zal dus ook twee keer zoveel zijn. Met de wet van Proust is het mogelijk om uit te rekenen hoeveel gram koper nodig is om 5,00 gram zwavel geheel te laten reageren.

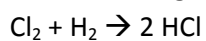
Opdracht 8.1 Oefenen met de wet van massabehoud en de wet van Proust

- Bereken hoeveel gram koper reageert met 5,00 gram zwavel.
- Bereken hoeveel gram kopersulfide er ontstaat wanneer je 5,00 g zwavel laat reageren met de hoeveelheid koper die je berekend hebt bij a.

Er is nog een andere manier om de verhouding te bepalen waarmee stoffen met elkaar reageren.

Voorbeeld:

Als chloor reageert met waterstof ontstaat er waterstofchloride. De vergelijking in formules luidt:



Voor zowel Cl_2 als voor H_2 kun je een 1 plaatsen, maar gemakshalve laten we die weg. Uit de reactievergelijking blijkt dat 1 molecuul chloor (Cl_2) reageert met 1 molecuul waterstof. Daarbij ontstaan twee moleculen waterstofchloride (2 HCl). Vervolgens is met BINAS-tabel 25 uit te rekenen wat de massa van elk molecuul is. In de tabel staat van elk element de massa uitgedrukt in u. Let op *1 u is gelijk is aan $1,66 \cdot 10^{-24}$ gram*.

Stap 1	Zoek de atoommassa's op in Binas.	Cl = 35,45	H = 1,008	H = 1,008 Cl = 35,45
Stap 2	Bereken de molecuulmassa in u.	Cl ₂ : 2*35,45 = 70,90 u	H ₂ : 2*1,008 = 2,016 u	HCl: 1,008 + 35,45 = 36,46 u
Stap 3	Hoeveel moleculen staan er in de reactievergelijking?	1 molecuul Cl ₂ : 70,90 u	1 molecuul H ₂ : = 2,016 u	2 moleculen HCl: 2*36,46 = 72,92 u
stap 4	Bereken het aantal gram (* 1,66*10 ⁻²⁴)	70,90*1,66*10 ⁻²⁴ = 117,7 *10 ⁻²⁴ g	2,016*1,66*10 ⁻²⁴ = 3,347*10 ⁻²⁴ g	72,92*1,66*10 ⁻²⁴ = 121,0*10 ⁻²⁴ g

Uit deze berekeningen blijkt dat de massa van een chloormolecuul samen met die van een waterstofmolecuul ($117,7 \cdot 10^{-24} + 3,347 \cdot 10^{-24} = 121,047 \cdot 10^{-24}$ gram) evenveel is als twee moleculen waterstofchloride. Nu zijn dit wel erg kleine getallen om mee te werken en dat is niet erg handig. Avogadro heeft in het jaar 1811 ontdekt dat een bepaald volume aan gas steeds hetzelfde aantal deeltjes bevat, namelijk $6,02 \cdot 10^{23}$, ongeacht welk gas (alle gassen moeten wel dezelfde temperatuur en druk hebben). Dus 1 liter waterstofgas bevat evenveel deeltjes als 1 liter chloorgas. Natuurlijk zijn de *massa's* wel verschillend.

Vergelijk het maar als volgt:

Als je een groot feest houdt en je hebt 60 flessen cola nodig dan pak je geen 60 losse flessen. Nee, je neemt dan 5 kratten cola, want elk krat bevat 12 flessen. Zoals het makkelijker is over een krat te praten dan over 12 flessen. Of een voetbal elftal bestaat altijd uit elf spelers. Het ene elftal bestaat uit volwassenen, en het andere elftal bestaat uit kinderen. Het aantal blijft steeds gelijk. Avogadro heeft zo'n nieuwe chemische hoeveelheid geïntroduceerd: de mol. De mol is te vergelijken met het krat, en met het elftal. Eenzelfde hoeveelheid flessen, spelers en deeltjes.

Eén mol stof bevat $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes. Bij elke stof bevat één mol $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes. Dat zijn heel erg veel deeltjes, en het voordeel is dat één mol stof gewogen kan worden op een gewone weegschaal.

Dus:

1 mol H₂ bevat $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes.

1 mol Cl₂ bevat $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes.

Opmerking: Waarom nou $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes? Wel, als je $1,66 \cdot 10^{-24}$ (1 u) vermenigvuldigt met $6,02 \cdot 10^{23}$ krijg je precies 1.

Als je nu in BINAS-tabel 99 de relatieve atoommassa (in u) van de elementen Cl en H opzoekt, vind je de getallen 1,008 bij H en 35,45 bij Cl. Hieruit concluderen we:

Eén mol deeltjes heeft een massa (uitgedrukt in g) die gelijk is aan de massa van één deeltje (uitgedrukt in u).

Voorbeeld: Eén molecuul chloor heeft een massa van 70,90 u en een mol chloor heeft een massa van 70,90 in gram.

In Binas tabel 98 staan de massa's van een aantal stoffen met als eenheid: g mol⁻¹ (gram per mol). We noemen dit ook wel de molaire massa.

Wat kunnen we uit al deze gegevens nog meer concluderen? Uit een kloppende reactievergelijking kun je de massaverhouding uitrekenen die hoort bij de reactie: $1 \text{ Cl}_2 + 1 \text{ H}_2 \rightarrow 2 \text{ HCl}$

Cl₂ : H₂ : HCl = 1 mol : 1 mol : 2 mol = 70,90 gram : 2,016 gram : 72,92 gram
(molverhouding) (massaverhouding)

Opdracht 8.2 Massaverhouding

Koolstofmono-oxide reageert met zuurstof waarbij koolstofdioxide ontstaat.

- Geef de vergelijking van deze reactie.
- Je ziet dat het aantal mol voor de pijl niet gelijk is aan het aantal mol na de pijl. Is dit wel in overeenstemming met de wet van massabehoud?
- Geef de molverhouding van deze reactie.
- Bepaal de massaverhouding.
- Kijk terug naar het antwoord op b. Leg uit of het antwoord klopt.

Je hebt nu de massaverhouding van de reactie van koolstofmono-oxide met zuurstof. Daarvan is de berekende massaverhouding $\text{CO} : \text{O}_2 : \text{CO}_2 = 2 \text{ mol} : 1 \text{ mol} : 2 \text{ mol} = 56,02 \text{ gram} : 32 \text{ gram} : 88,02 \text{ gram}$.

Met de dichtheden (zie tabel 8.1) van deze stoffen is de *volumeverhouding* uit te rekenen.

	beschrijving	CO	O ₂	CO ₂
Stap 1	Bereken het aantal Liter gas= aantal gram : dichtheid	56,02 g / 1,15 g L ⁻¹ = 48,71 Liter	32 g / 1,31 g L ⁻¹ = 24,43 Liter	88,02 g / 1,80 g L ⁻¹ = 48,90 Liter
Stap 2	alle volumes delen door het kleinste getal	48,71/24,43	24,43/24,43	48,90/24,43
Stap 3	Noteren volumeverhouding	2:	1:	2

De volumeverhouding blijkt gelijk te zijn aan de coëfficiënten die voor de stoffen in de reactievergelijking staan.

Opdracht 8.3 Volumeverhouding

Bij de reactie van koolstofmono-oxide en zuurstof hebben wij laten zien dat de molverhouding gelijk is aan de volumeverhouding.

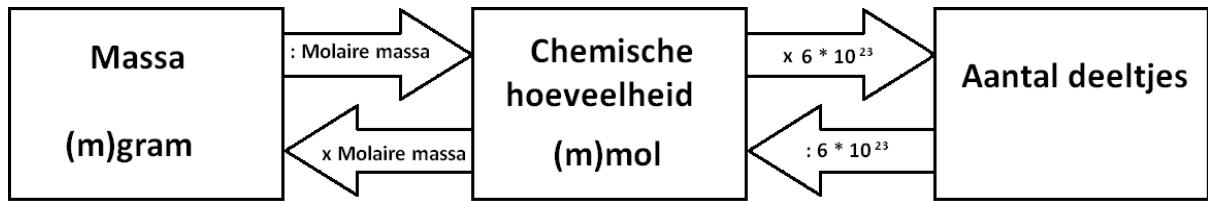
- Geef de reactievergelijking van chloor en waterstof.
- Geef de molverhouding van deze reactie.
- Geef de massaverhouding.
- Bereken uit de massaverhouding de volumeverhouding.
[Let op: bij het uitrekenen van de volumeverhouding moet je de massaverhouding delen door de dichtheid!]
- Deel de volumeverhouding door het kleinste getal en rond af op hele getallen.
- Klopt het dat de volumeverhouding (antwoord e.) gelijk is aan de molverhouding (antwoord b.)?

Stof	g L ⁻¹
Chloor	2,90
waterstofchloride	1,49
Koolstofmono-oxide	1,15
Koolstofdioxide	1,80
Methaan	0,65
Stikstof	1,14
Waterstof	0,082
Zuurstof	1,31

De volumeverhouding is direct af te lezen uit de reactievergelijking aangezien (zie Avogadro) een bepaald volume gelijk is aan een bepaald aantal deeltjes en dus ook aan een bepaalde hoeveelheid mol. Uit de reactievergelijking kan de *molverhouding* afgelezen worden.

In een overzicht betekent dit:

Uit de reactievergelijking kan afgelezen worden in welke molverhouding stoffen reageren die bij de reactie betrokken zijn. Uit die molverhouding kan dan weer de massaverhouding berekend worden.



Opdracht 8.4 Oefenen met bovenstaand schema

- Bereken hoeveel mol 25 gram koolstof is.
- Bereken de massa in mg van 0,02 mol waterstof.
- Bereken de massa in gram van 30 mmol ijzer.
- Uit hoeveel deeltjes bestaat 5 gram neon?

[Tip: bereken eerst het aantal mol, want je weet hoeveel deeltjes 1 mol bevat.]

Tip ter controle van je antwoorden: de getalwaarde van mol is altijd kleiner dan de massa uitgedrukt in gram en andersom is de getalwaarde van de massa in gram altijd groter dan het aantal mol van de stof.

Rekenen met mol

Als je kijkt in BINAS zie je dat niet voor alle stoffen de molmassa gegeven is.

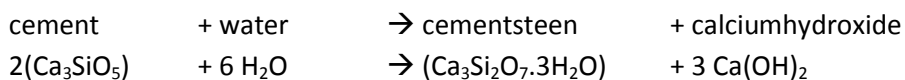
In Hoofdstuk 1: Oriëntatie beton ben je bij de begrippen ook formules tegengekomen.

Opdracht 8.5 Bereken molaire massa

- Geef de molecuulformule van calciumsilicaat.
 - Bereken de molaire massa van deze stof.
- Overleg met je docent of je antwoord op b goed is.
- Wat is het resultaat van het overleg?

Ook kun je met behulp van de kloppende reactievergelijking en de molaire massa uitrekenen hoeveel gram water en cement je nodig hebt om één kilogram cementsteen te krijgen.

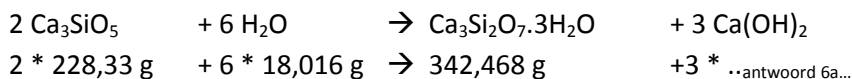
Onderstaande reactie ben je al een keer tegengekomen bij 'reacties zijn afhankelijk van het soort cement'.



let op 8.6 is voor havo en vwo verschillend

Opdracht 8.6 havo

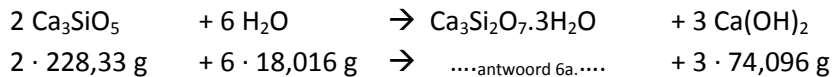
Enkele molaire massa's hebben wij al voor jullie berekend, zie hieronder.



- Bereken zelf de molaire massa van $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Je kunt je antwoord op a. controleren m.b.v. de 'wet van massabehoud'. Klopt je antwoord?
- Bereken hoeveel gram water je nodig hebt om 1 kilogram cementsteen te krijgen.

Opdracht 8.6 vwo

Enkele molaire massa's hebben wij al voor jullie berekend, zie hieronder.



- Bereken zelf de molaire massa van cementsteen $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.
- Je kunt je antwoord op a. controleren m.b.v. de 'wet van massabehoud'. Klopt je antwoord?
- Bereken hoeveel gram water je nodig hebt om 1 kilogram cementsteen te krijgen.

Naam verbinding	Formule
tricalciumsilicaat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
dicalciumsilicaat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
tetracalciumaluminaatferriet	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Tabel 2 Overzicht cementmineralen.

Opdracht 8.7

Portlandcement bestaat uit cementmineralen.

Bij de reactie van dicalciumsilicaat (cementmineraal) met water ontstaan cementsteen en calciumhydroxide. Bij deze reactie komt warmte vrij. Cementsteen is een hydraat



- Leg uit of de reactie dicalciumsilicaat met water een exotherm of endotherm proces is.
- Bereken de molaire massa van dicalciumsilicaat.
- Wat verstaan we onder een hydraat.

Opdracht 8.8

- Bereken de molaire massa van tetracalciumaluminaatferriet.
- Bereken het massa percentage ijzer in tetracalciumaluminaatferriet.

Opdracht 8.9

Beton en cement vallen onder de bouwmaterialen; een stof die daar ook onder valt is gips.

Gips is een zouthydraat: calciumsulfaat dat watermoleculen heeft gebonden.

Men verwarmt 10,26 gram gips in een erlenmeyer totdat er geen waterdamp meer vrijkomt. Na wegeen blijkt de erlenmeyer nog 8,11 gram watervrije gips te bevatten.

- Hoe groot is het massapercentage gebonden water in gips?
- Hoeveel mol calciumsulfaat zit er in 10,26 gram gips?
- Hoeveel mol water zit er in 10,26 gram gips?
- Hoeveel mol water is aanwezig per mol calciumsulfaat?
- Wat is de molecuulformule van gips?
- Hoe luidt de officiële naam van gips?

Kenniskaart - Hoofdstuk 1: Oriëntatie beton (Chemische feitelijkheden)

Wat je moet leren

- Beton is duurzaam, flexibel en goedkoper dan staal of baksteen.
- Beton is een mengsel van cementpoeder, zand, grind en water.
- Romeins beton bevatte kalk als bindmiddel. De formule van kalk is: CaCO_3 . De rationele naam is calciumcarbonaat.
- De Egyptenaren gebruikte gips als bindmiddel. De formule van gips is CaSO_4 . De rationele naam van gips is calciumsulfaat.
- Gips is na het verharden nog steeds oplosbaar in water en wordt vervolgens weggespoeld.
- Cement is de 'lijm' van beton. Cement bestaat uit calciumsilicaten. De formule van cement kan gezien worden als: $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.
- Nadeel van beton is dat er veel kennis voor nodig is, het is dus werk voor specialisten.
- Eigenschappen van beton worden bepaald door de keuze soorten zand, grind, hoeveelheid en soort cement, hoeveelheid water, hoeveelheid en soorten toeslagmateriaal en de temperatuur.
- Het beton moet voldoen aan de wettelijke verplichte NEN-normen.
- Cement vormt na een chemische reactie cementsteen. Cementsteen is een zouthydraat: er zijn bindingen ontstaan tussen de watermoleculen en de ionen van het zout.
- Omdat er dus nieuwe bindingen vormen is het 'uitharden' van beton een chemische reactie, en niet een droog proces.
- Hydratatie is een exotherm proces; er komt dus warmte bij vrij.
- Het vormen van kristalwater is dus altijd een exotherme reactie.
- De nieuwe roosters zijn erg hard, vandaar dat beton hard is.
- Een andere naam voor de moleculen water in een zouthydraat is kristalwater. Dit wordt in de formule aangegeven met een punt vóór H_2O : $\bullet \text{H}_2\text{O}$
- Beton wordt sterker als er vezels aan worden toegevoegd, vaak zijn dat staalvezels.
- Betonrot is wapeningscorrosie, of het roesten van de stalen bewapening.
- Er worden nieuwe onderzoeken uitgevoerd naar verbetering van het beton.

Weetjes

Het zelfherstellend vermogen van beton heeft betrekking op de mate waarin het beton zelf in staat is om eventueel ontstane scheurtjes te herstellen.

Cementpoeder wordt gemaakt van mergel en klei dat na drogen en mengen sterk verhit wordt tot ongeveer 1600°C. Het gevormde product wordt klinker genoemd. De klinker wordt gemalen. Het bevat o.a. de elementen calcium, silicium, aluminium, zuurstof en ijzer.

Tijdens het verhitten treden diverse reacties op waarbij een kristallijn mengsel ontstaat dat o.a. de stoffen calciumsilicaat en calciumaluminaat bevat. Na toevoegen van gipspoeder (calciumsulfaat) aan het mengsel wordt het geheel vermalen. Het zo verkregen product is het zogeheten Portlandcementpoeder.

Joseph Aspdin was een Engelsman, die in 1824 het proces van de bereiding van cementpoeder herontdekt heeft na de val van het Romeinse Rijk. Hij gaf het poeder de naam Portlandcementpoeder mee, want als het cementpoeder gemengd wordt met water ontstaat er een hard gesteente dat qua samenstelling sterk lijkt op het gesteente, dat te vinden is op het eiland van Portland.

Een belangrijke locatie voor de winning van mergel zijn de mergelafzettingen in Zuid-Limburg. Deze mergelafzettingen bestaan nagenoeg volledig uit calciumcarbonaat.

In diverse bouwmaterialen zoals gips en cement is een belangrijke rol weggelegd voor hydratatie, een chemische reactie van het zoutkristal met water. Deze reactie kan zeker wel een maand duren. Tijdens de hydratatie hardt het bouw materiaal uit.

Hydratatie is een exotherm proces; er komt dus warmte bij vrij.

Bij het aanmaken van grote hoeveelheden beton uit cementpoeder, zand, grind en water kan de temperatuur sterk oplopen. Hierdoor is het mogelijk dat er soms verdamping van het water optreedt waardoor de hydratatie niet volledig verloopt.

Kenniskaart - Hoofdstuk 2: Kwaliteitscontrole van de grondstof water

Wat je moet leren

Aanmaakwater

Aanmaakwater speelt een grote rol bij de productie van beton; zonder aanmaakwater kan er immers geen hydratatie van cement plaatsvinden.

Als aanmaakwater komen verschillende soorten water in aanmerking:

- Drinkwater;
- Oppervlaktewater;
- Bronwater;
- Industrieel water;
- Spoelwater;
- Zeewater (alleen voor ongewapend beton).

Kwaliteitseisen

Aan aanmaakwater wordt een aantal kwaliteitseisen gesteld. Rioolwater is niet geschikt. Drinkwater is wel heel geschikt, maar heeft als nadeel dat het relatief duur is.

De gebruikte soort aanmaakwater mag absoluut geen negatieve invloed hebben op zowel het hydratatieproces van het cement als op de duurzaamheid van het beton. Daartoe zijn er van een aantal stoffen eisen gesteld aan de maximale toegestane hoeveelheid die in het aanmaakwater aanwezig mag zijn.

Het gaat hier o.a. om de volgende stoffen of groepen van stoffen:

- Chloriden;
- Fosfaten;
- Nitraten;
- Sulfaten;
- Suikers;
- Zinkverbindingen;
- Zuren (gemeten als pH).

Het onderzoek naar de kwaliteit van het aanmaakwater is met name van belang als er geen gebruik gemaakt wordt van drinkwater als aanmaakwater.

Onderzoek en analyse gebeurt vaak op basis van normen. Deze normen zijn verkrijgbaar bij de organisatie NEN in Delft (www.nen.nl). NEN is de afkorting van NEDerlandse Norm. Het uitgangspunt voor onderzoek naar het aanmaakwater van beton is NEN-EN 1008.

Monstername

ZHBeton 19-08-2010

In zijn algemeenheid is het onmogelijk om al het aanwezige materiaal te onderzoeken en dat geldt dus ook voor aanmaakwater. Daarom wordt er een gedeelte van het beschikbare water onderzocht, het analysemonster. Dit analysemonster moet natuurlijk wel representatief zijn voor al het beschikbare aanmaakwater. Volgens NEN-EN 1008 moet er van het aanmaakwater een monster van minimaal 5 liter genomen worden. Vervolgens moet het analysemonster binnen twee weken onderzocht zijn.

Analyse

Analyse van een monster vindt vaak plaats in een laboratorium waar diverse soorten analyseapparatuur beschikbaar is voor onderzoek. Afhankelijk van het soort onderzoek wordt er een keuze gemaakt voor een bepaalde analysemethode.

Analyse van een monster kan zowel kwalitatief als kwantitatief.

Bij de kwalitatieve analyse wordt bepaald welke stof aanwezig is.

Bij de kwantitatieve analyse wordt tevens de hoeveelheid van deze stof bepaald.

Voorbeelden van analysetechnieken zijn chromatografie, spectrometrie en titraties.

Het is ook mogelijk om met behulp van een neerslagreactie een bepaalde ionsoort kwalitatief in een oplossing aan te tonen.

Hierbij wordt er aan de oplossing een zoutoplossing toegevoegd waarbij alleen de eventuele verontreiniging een neerslag vormt met de toegevoegde zoutoplossing.

Na analyse is er de rapportage van de uitkomsten van het onderzoek. Etiketten van voedingsmiddelen zijn voorbeelden uit het dagelijks leven van dergelijke rapportages.

Een voorbeeld van de uitkomst van een kwantitatieve analyse is de bepaling van het chloride-gehalte in een bepaalde soort bronwater dat 5 mg/l bedraagt.

Chloride-gehalte

Gewapend beton kan onder invloed van chloriden gaan roesten. Door de roestvorming zet het beton uit en kan het barsten of scheuren. De schade aan gewapend beton noemt men betonrot.

Het chloride-gehalte dat in aanmaakwater aanwezig mag zijn bedraagt maximaal 500 mg/l.

Kenniskaart - Hoofdstuk 3: De toepassing bepaalt de samenstelling

Wat je moet leren

Je kunt op grond van de informatie in het artikel: 'De samenstelling van beton' voor verschillende toepassingen van het beton (bijvoorbeeld voor een geluidsscherm, voor opslag van kernafval, voor een tunnel of woonhuis), de diverse samenstellingen weergeven.

Je weet dat 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.

De samenstelling van beton is afhankelijk van de volgende zeven stappen:

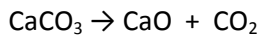
- a. sterkteklasse;
- b. milieuklasse;
- c. verwerkbaarheid;
- d. korrelgrootte;
- e. chlorideklasse;
- f. cementsoort;
- g. toevoegingen en hulpstoffen.

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

Kenniskaart - Hoofdstuk 4: Oriëntatie zelfherstellend beton

Wat je moet leren

Bij de bereiding van cement speelt de reactie van kalksteen tot calciumoxide een belangrijke rol:



Cement bestaat uit een verbinding van calciumoxide en siliciumoxide of uit calciumoxide en aluminiumoxide, eventueel samen met ijzeroxide.

Vanuit de afkortingen C₃S enzovoort moet de alternatieve notatie (3CaO · SiO₂) gegeven worden, als ook de formule Ca₃SiO₅. Zie verder overzicht formules cementmineralen.

In onderstaande tabel staat een overzicht van de formules van de gevormde cementmineralen. Deze hoeft je uiteraard niet uit je hoofd te leren, maar je moet er wel mee kunnen werken.

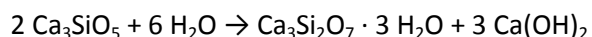
Formule	Alternatieve notatie	Gebruikte afkorting in de cementindustrie
Ca ₃ SiO ₅	3CaO · SiO ₂	C ₃ S
Ca ₂ SiO ₄	2CaO · SiO ₂	C ₂ S
Ca ₃ Al ₂ O ₆	3CaO · Al ₂ O ₃	C ₃ A
Ca ₄ Al ₂ Fe ₂ O ₁₀	4CaO · Al ₂ O ₃ · Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Tabel 4.1: Overzicht formules van cementmineralen

Tijdens het aanmaken van het beton vormen cement, zand en grind met water een plastische massa. Hierdoor is het mengsel goed te verwerken. Vervolgens reageren de zouten (de cementmineralen) uit het cement met het water tot zouthydraten. Zouthydraten zijn zouten die water kunnen opnemen in hun kristalrooster. Dit leidt uiteindelijk tot kristalroosters met een grote hardheid. Dit verklaart tevens de hardheid van het gevormde beton.

Cement reageert met water tot cementsteen en calciumhydroxide (gebluste kalk). De reactie heet de hydratatie van cement.

De bijbehorende reactievergelijking in het geval van de hydratatie van C₃S is:



Bij de reactie tussen cement en water ontstaan zouten en zouthydraten die uit kristallen bestaan. Kristallen zijn kleine brokstukjes van het vaste zout. Elk zout heeft een karakteristieke kristalvorm. De kristallen van keukenzout hebben de vorm van een kubus terwijl de kristalstructuur van bijvoorbeeld koper(II)sulfaatpentahydraat triklien is. De kristalstructuur van calciumhydroxide is hexagonaal.

De proef 'De chemische tuin' toont aan dat kristallen snel gevormd kunnen worden.

De witte poederachtige stof koper(II)sulfaat wordt gebruikt om water aan te tonen. De witte stof wordt blauw; er ontstaat koper(II)sulfaat.5H₂O.

Soda is een ook zout met kristalwater, Na₂CO₃•10H₂O. Na langdurige verwarming van soda bij 100 - 120°C is het verschil in massa een maat voor de hoeveelheid kristalwater. Via een molberekening is het aantal mol kristalwater te bepalen.

Microstructuur van beton:

De reactie tussen cement en water resulteert in het ontstaan van calcium-silicaathydraat, afkorting CSH met als algemene formule Ca_xSi_yO_z • aH₂O. Deze reactie geeft grote kristallen met een draderige structuur.

Het cementsteen bestaat naast CSH verder ook nog uit ongereageerd cement, calciumhydroxide en water.

En als we spreken over beton dan is er sprake van een steenachtig toeslagmateriaal dat bij elkaar gehouden wordt door cementsteen.

De microstructuur van beton moet je ook kunnen tekenen, waarbij een toelichting moet worden gegeven bij de diverse vormen en kristalvormen die zichtbaar zijn.

Kenniskaart - Hoofdstuk 5: Zelfherstellend vermogen van beton

Wat je moet leren

Het zelfherstellend vermogen van beton heeft betrekking op de mate waarin het beton zelf in staat is om eventueel ontstane scheurtjes te herstellen.

Zelfherstellende werking van beton:

Allereerst komt het begrip viscositeit ter sprake, een maat voor de stroperigheid van een vloeistof.

Hoe stroperiger een vloeistof des te hoger de viscositeit.

Daarna dat borstplaat vanwege de aanwezigheid van zuur een zelfherstellende werking heeft. De eenvoudigste verklaring daarvoor is dat het zuur de oppervlaktespanning verlaagt waardoor herstel van het regelmatige systeem mogelijk wordt.

Een zelfherstellend materiaal is een materiaal dat na een geringe beschadiging (een scheur, een kras) uit zichzelf de beschadiging herstelt.

Voor beton geldt dat (micro)scheuren vanwege de aanwezigheid van nog ongereageerd calcium (bedoeld wordt CaO) met aanwezig water reageert tot cementsteen waardoor de scheur wordt opgevuld.

Zolang ongereageerd calcium in beton aanwezig is zal de zelfherstellende werking doorgaan. De hoeveelheid aan ingrediënten van betonmortel is dus van belang en dan specifiek cement, het duurste ingrediënt van beton. Hoe minder ongereageerd cement nog in beton aanwezig is des te geringer is de zelfherstellende werking van het beton.

Kenniskaart - Hoofdstuk 7: Theorieblad zouten

Wat moet je leren

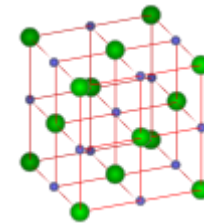
Een zout is opgebouwd uit ionen, een combinatie van positieve ionen met negatieve ionen die samen het ionrooster vormen.

Metaalatomen kunnen uitsluitend positieve ionen vormen door één of meer elektronen af te staan. Een positief ion is dus een deeltje dat minder elektronen dan protonen bevat.

Atomen van niet-metalen vormen bijna altijd negatieve ionen door één of meer elektronen op te nemen. Een negatief ion is een deeltje dat meer elektronen dan protonen bevat. Het ionrooster bestaat dus uit ionen die aan elkaar gebonden zijn door de ionbinding. Een ionbinding ontstaat door de elektrische aantrekking tussen tegengesteld geladen deeltjes. Ionbindingen zijn sterke bindingen, sterker dan bijvoorbeeld molecuulbindingen.

Binnen het ionrooster kunnen de ionen zich niet verplaatsen.

Hiernaast een voorbeeld van het ionrooster van natriumchloride



Enkele eigenschappen van zouten zijn:

- relatief hoge smelt- en kookpunten;
- hard;
- bros;
- elektrisch neutraal;
- stroomgeleiding in zowel vloeibare fase als opgelost in (gedestilleerd) water;
- geen stroomgeleiding in vaste fase.

Bekende praktijkvoorbeelden van zouten zijn keukenzout, roest en gips.

Verhoudingsformule en naamgeving

Een zout is elektrisch neutraal. Dat betekent dat de verhouding tussen de aantallen positieve ionen en de aantallen negatieve ionen zodanig moet zijn dat de netto-lading van het zout gelijk is aan 0.

De formule van een zout is daarom een verhoudingsformule. Hierbij dient de verhouding tussen de positieve en de negatieve ionen zo klein mogelijk te zijn.

In de formule staat het symbool van het positieve ion altijd vooraan, gevolgd door het symbool van het negatieve ion.

In de naam van het zout staat de naam van de formule van het positieve ion altijd vooraan, gevolgd door de naam van de formule van het negatieve ion.

Voorbeeld:

NaCl is opgebouwd uit Na^+ -ionen en Cl^- -ionen in de verhouding 1:1.

Dit zout heet natriumchloride.

Al_2O_3 is opgebouwd uit Al^{3+} -ionen en O^{2-} -ionen in de verhouding 2:3.

Dit zout heet aluminiumoxide.

De volgende ionsoorten moeten uit het hoofd geleerd worden.

natrium	Na^+
kalium	K^+
zilver	Ag^+
ammonium	NH_4^+
aluminium	Al^{3+}
de meeste metaalionen hebben een lading van 2+	
oxide	O^{2-}
sulfide	S^{2-}
fluoride	F^-
chloride	Cl^-
bromide	Br^-
jodide	I^-
acetaat	CH_3COO^-
carbonaat	CO_3^{2-}
fosfaat	PO_4^{3-}
hydroxide	OH^-
nitraat	NO_3^-
sulfaat	SO_4^{2-}
waterstofcarbonaat	HCO_3^-

Zouthydraten

Naast het voorkomen van zouten zijn er ook zouten die water in hun kristallen kunnen opnemen. Dit zijn de zouthydraten. Een voorbeeld van een zouthydraat is gips met als formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. De naam hiervan is calciumsulfaatdihydraat. Het opgenomen water heet kristalwater.

Dubbelzouten

Bij een dubbelzout is er sprake van een combinatie van twee positieve ionen met één negatief ion. Het omgekeerde kan ook waarbij twee negatieve ionen een zout vormen met één positief ion.

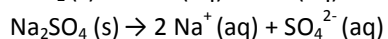
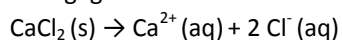
Voorbeelden hiervan zijn mineralen zoals:

Chalcopyriet, CuFeS_2

Hydrozinciet, $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$

Zouten in water

Een aantal zouten zijn vrij goed oplosbaar in water. Met behulp van een oplosvergelijking is dit oplossen weer te geven. Ter illustratie staan hieronder de oplosvergelijkingen van calciumchloride en natriumsulfaat in water weergegeven.



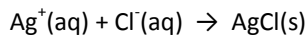
In tabel 45A van BINAS is terug te vinden welke zouten goed, matig of slecht oplosbaar zijn in water.

Neerslagreacties

Wanneer oplossingen van bijvoorbeeld natriumchloride en zilvernitraat bij elkaar gevoegd worden, ontstaat er een neerslag van zilverchloride volgens de volgens een gedeelte van de oplosbaarheidstabel (m.b.v. BINAS tabel 45A):

	Cl ⁻ (aq)	NO ₃ ⁻ (aq)
Na ⁺ (aq)	g	g
Ag ⁺ (aq)	s	g

De vergelijking van de neerslagreactie ziet er als volgt uit:



Toepassingen van neerslagreacties

Met behulp van een neerslagreactie is het mogelijk om:

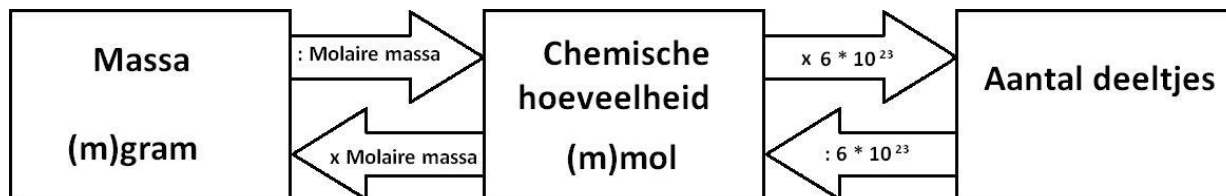
- Een ionsoort aan te tonen als verontreiniging in een heldere oplossing
Hierbij wordt er aan de oplossing een zoutoplossing toegevoegd waarbij alleen de eventuele verontreiniging een neerslag vormt met de toegevoegde zoutoplossing.
- Een ionsoort als verontreiniging te verwijderen uit een heldere oplossing
Hierbij wordt er aan de oplossing een zoutoplossing toegevoegd waarbij alleen de verontreiniging een neerslag vormt met de toegevoegde zoutoplossing. Vervolgens wordt de ontstane suspensie gefiltreerd.
- Een zout te maken
Het uitgangspunt hierbij is een tweetal zoutoplossingen. De ene zoutoplossing bevat de positieve ionsoort van het te maken zout, de andere zoutoplossing bevat de negatieve ionsoort van het te maken zout. Voorwaarde hierbij is dat de combinatie van de gezochte positieve ionsoort en de negatieve ionsoort hierbij een neerslag moet geven volgens BINAS tabel 45A.

Door de twee zoutoplossingen samen te voegen ontstaat het gewenste neerslag. Vervolgens wordt de ontstane suspensie gefiltreerd.

Kenniskaart - Hoofdstuk 8: Mol

Wat je moet leren

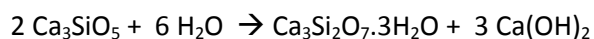
Omgaan met onderstaand rekenschema:



Reactievergelijkingen zijn belangrijk in de chemie omdat we kunnen zien welke stoffen met elkaar reageren en welke producten daarbij ontstaan.

Bijvoorbeeld de reactie van cement met water:

cement + water → cementsteen + calciumhydroxide

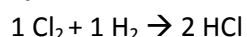


Verder is op grond van de reactievergelijking te berekenen hoeveel cement met water reageert en hoeveel cementsteen en calciumhydroxide daarbij ontstaat.

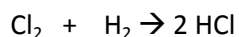
Bij reactievergelijkingen denken chemici aan de grijze cement die met water reageert tot een vaste harde massa, de cementsteen, maar ook aan atomen die door de reactie op een andere manier met elkaar worden gebonden. De massa van atomen en moleculen is uiterst gering. Bij de overgang van die uiterst geringe hoeveelheden naar op gewone weegschalen af te wegen hoeveelheden, maakt de chemicus gebruik van de mol, de chemische hoeveelheid stof.

Een mol is $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes. $6,02 \cdot 10^{23}$ moleculen waterstof is precies 1 mol moleculen waterstof.

Bij de reactie van chloor en waterstof schrijven we de reactievergelijking:



Meestal laten we de coëfficiënt 1 weg, dus staat er:

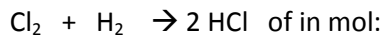


Daarbij bedoelen we dat 1 mol chloormoleculen reageert met 1 mol waterstofmoleculen, waarbij 2 mol waterstofchloride ontstaat.

Van 1 mol moleculen van een bepaalde stof kunnen we – tenminste als het gaat om een zuivere stof, een stof bestaande uit één soort moleculen – de massa uit een tabel halen (zie Binas, tabel 98). In die tabel staat de zogenaamde molaire massa van een aantal stoffen.

We kunnen de molaire massa ook uit de atomaire massa bepalen. In Cl_2 is de massa van een chloormolecuul $2 \cdot 35,45 \text{ u} = 70,90 \text{ u}$. De massa van een mol chloormoleculen is getalsmatig ook 70,90 maar de eenheid die daarbij hoort is de gram. We spreken meestal over molaire massa, de massa van 1 mol. De molaire massa van chloor is dan 70,90 gram/mol.

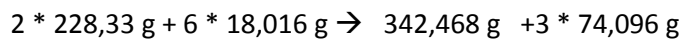
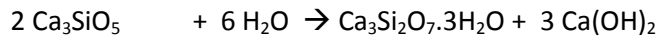
In de reactievergelijking



1 mol chloor + 1 mol waterstof \rightarrow 2 mol waterstofchloride of in massahoeveelheden:

70,90 g chloor + 2,016 g waterstof \rightarrow 72,92 g waterstofchloride

Voor de reactie van cement en water geldt:



Bij berekeningen gaat de chemicus van massa naar mol en van mol naar massa (en soms ook naar het aantal deeltjes), zie onderstaand schema.

Kanjerkaart - Beton: de grondstof water

Opdrachten:

- Als alternatief voor de practicumopdracht 1 is het ook mogelijk om de leerlingen zelf een werkplan te laten opstellen om de verschillende ionsoorten aan te tonen.

- Na het aantonen van een ionsoort kan de leerling een (semi)-kwantitatieve bepaling uitvoeren:
 - o Een teststrip voor chloride en sulfaat.
 - o Een titratie met een oplossing van zilvernitraat om het chloride-gehalte te bepalen.
 - o Een spectrofotometrische bepaling van het gehalte aan sulfaat.

- Wat zijn NEN-EN normen?
Wie gebruikt ze? En waarvoor?

Kanjerkaart - Extra opdrachten

1. Leg uit wat het verschil is tussen cement en beton?
2. Wat is de samenstelling van beton?
3. Hoe wordt een mengsel van beton ook wel genoemd, als het mengsel net gemaakt wordt, dus vóór het 'uitharden', een oplossing, suspensie of emulsie?
4. Geef drie aspecten waar rekening mee gehouden moet worden als het beton gemaakt wordt.
5. Wat is het grote verschil geweest in de samenstelling van beton die de Romeinen hadden en het 'beton' van de Egyptenaren?
6. Beton heeft een zelfherstellend werking. Leg uit hoe dat komt.
7. Wat is de functie van grind in beton?
8. Welke beperking geldt er voor de grootte van grind in beton?
9. Wat is de functie van zand in beton?
10. Waarom moet beton nat gehouden worden in de zomer als het uithard?
11. Waarom wordt er veel gebruik gemaakt van het materiaal beton in de bouw?
12. Geef twee voordelen van beton.
13. Geef ook twee nadelen.
14. Waarom is het belangrijk om van te voren te bepalen waar het beton voor gebruikt gaat worden?

Het maken van beton is duidelijk een chemische reactie.

15. Leg uit wat het verschil is tussen een chemische reactie en een droogproces.
16. Wat is de waarneming bij het uitharden van beton waarop gebaseerd kan worden dat het een chemische reactie is?
17. Geef twee namen voor water dat gebonden is.
18. Kobaltchloride (CoCl_2) is in staat 6 moleculen water te binden. Deze stof wordt ook wel gebruikt in weerpoppetjes, als het regent is het poppetje rood, en als de zon schijnt is het poppetje blauw.
 - a. Geef de vergelijking van het rood worden van het poppetje.
 - b. Geef de vergelijking van het weer blauw worden van het poppetje.
 - c. Leg uit welke reactie, a of b, de exotherme reactie is.
 - d. Wat is de naam van de stof met de rode kleur?
19. Leg uit hoe het komt dat beton zo'n sterk materiaal is.
20. Heb je weleens eerder wat van beton gemaakt? Een kunstwerk of zoiets? Zo ja, wanneer en wat?



Kanjerkaart - Zelfherstellend beton

Opdrachten:

- Literatuuronderzoek naar het versnellen van het zelfherstellende vermogen van beton met bacteriën. Dit literatuuronderzoek resulteert in het schrijven van een artikel waarbij het beste artikel voorgedragen wordt voor publicatie in een plaatselijke of regionale (advertentie)krant.
- Onderzoek naar het optimaliseren van de samenstelling van beton door bijvoorbeeld meer kalk of meer zand toe te voegen. Vervolgens kun je onderzoeken wat de invloed op het zelfherstellende vermogen van het beton hiervan is (andere variabelen dan in de lessen).
- Onderzoek naar de snelheid van het heelproces van beton van een jonge scheur en een oude scheur, gevolgd door een sterkteonderzoek (gebruikelijk is de 28-dagen test om de relatieve sterkte van beton te bepalen) (opmerking: echt door midden breken, maar sterkteonderzoek niet uitvoeren na 28 dagen, maar eerder vanwege de beperkte beschikbare tijd).
- Onderzoek naar het verband tussen de zuurgraad van de betonmortel en het zelfherstellend vermogen van beton (niet te zuur, anders lost het beton op).
- Onderzoek naar de invloed van CO₂ op het zelfherstellende vermogen van beton (bijvoorbeeld door gebruik te maken van bronwater als helend medium). Daarnaast kan de combinatie CO₂ en pH (HCO₃⁻) onderzocht worden.
- Onderzoek naar de invloed van chloride-ionen op het zelfherstellend vermogen van beton.
- Onderzoek naar de invloed van de temperatuur op het zelfherstellend vermogen van beton.
- Onderzoek naar de invloed van de hoeveelheid cementpoeder op het zelfherstellend vermogen van beton.

Wist je dat?

- beton ook gebruikt wordt voor het maken van kunst?



- beton een dichtheid heeft van 2,5 kg/dm³?
- men daarom vaak gebruik maakt van spuitbeton?
- spuitbeton een dun laagje beton is over een constructie heen zodat het veel lichter is?



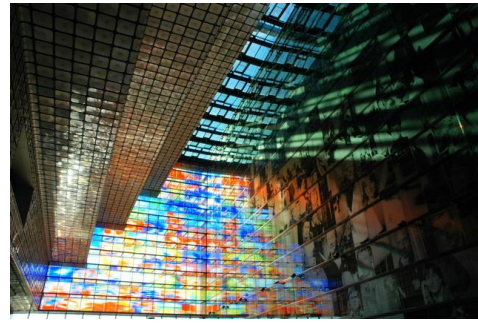
- er een carrière gemaakt kan worden in beton?
- je daarvoor op de site www.werkenmetbeton.nl moet gaan kijken?
- dat daar ook een betontest staat die je kunt doen (en een ipod kan winnen!)?

- Dhr. Meijer héél leuke betonpuzzels maakt www.albertm.nl?



- er ook een betonvereniging in Nederland bestaat?
- ze ook een website hebben: betonvereniging.nl?
- er ook een betonprijs bestaat voor vijf verschillende bouwcategorieën?

- het mediapark een prijs heeft gekregen in 2007 in de categorie utiliteitsbouw?



Nederlands Instituut voor beeld en Geluid

- de brug bij Millau in Frankrijk ook als kunst kan worden beschouwd?

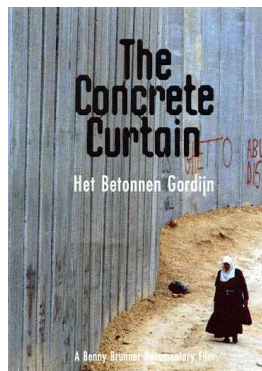


- een bacterie ook voor een zelfherstellende eigenschap in beton kan zorgen?

bouwvak-bacterie nog moeilijk te voeden

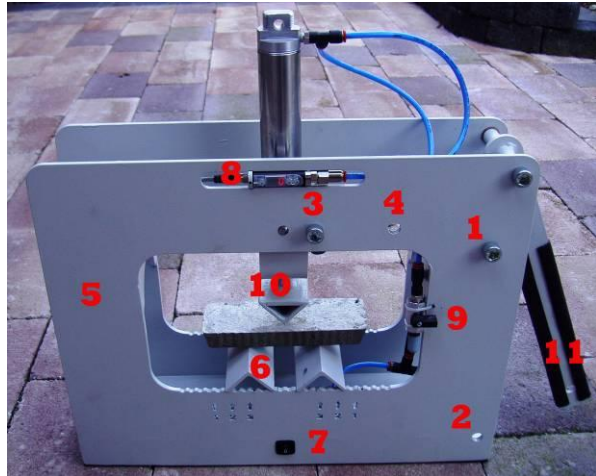
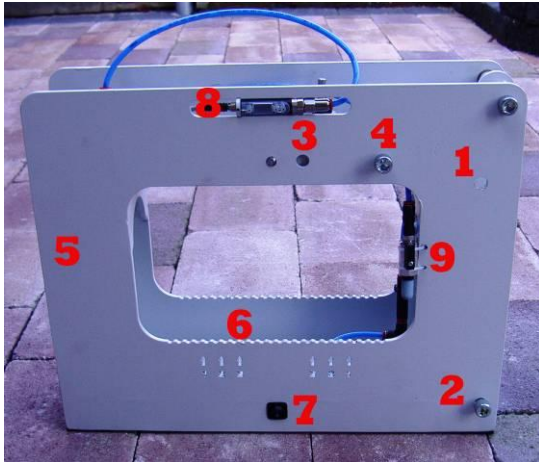


- dat er ook boeken geschreven worden over beton?



- beton dus bijzonder veelzijdig en interessant is!

Instructies drukpers



Gebruik klaar maken van de pers:

- Schroef de bout uit gat 2, trek de hendel omhoog en schroef de bout in gat 1 (de bout fungeert als begrenzer).
- Schroef de bout uit gat 4, draai de cilinder vertikaal en schroef de bout in gat 3 (zorg ervoor dat de bout ook door het gat naast de cilinder gaat).
- Schroef de vleugelmoer los, achter nr. 5, neem de L-profielen van de bout, schroef de vleugelmoer weer vast.
- Zet de L-profielen neer bij nr. 6, zoals weergegeven in de rechter afbeelding. Plaats de L-profielen zo dat het hoekpunt recht boven nummer 3 komt.
- Zet de schakelaar bij nummer 7 op 1 = aan (dit is tevens de resetknop).
- Op de drukmeter (nummer 8) kan het aantal bar worden afgelezen (deze staat op nul, dit omdat altijd het verschil in druk wordt gemeten).
- Zorg dat de schakelaar bij nummer 9 horizontaal staat (schakelaar is gesloten).

De pers is nu gebruiksklaar.

Gebruik van de pers:

- Plaats het betonblokje onder de pers, zie nummer 10. Let op dat het L-profiel bevestigd aan de cilinder mooi recht staat.
- Je kunt nu beginnen met pompen m.b.v. de hendel bij nummer 11.
- Pomp totdat het blokje kapot is (zorg ervoor dat de druk nooit hoger wordt dan 8).
- Zet dan de schakelaar (nr. 9) om (vertikaal) zodat de druk eraf gaat en de cilinder (nr. 10) vanzelf omhoog gaat.
- Wanneer bij de drukmeter (nr. 8) op de toets '>' wordt gedrukt, kan de hoogste druk worden afgelezen.

Korte voorbereiding voor het volgende blokje:

- Verwijder het kapotte betonblokje.
- Zet de schakelaar bij nr. 9 weer horizontaal (er kan weer druk worden opgebouwd).
- Zet de aan/uit knop (nr. 7) uit en weer aan, de drukmeter is nu gereset en er kan weer een 'nieuwe' hoogste druk worden afgelezen.
- Begin weer bij i. om te starten met een meting.

Wat als het beton blokje niet door de midden gaat:

- q. Verzet dan de L-profielen. De hoek was geplaatst boven nummertje 3; zet hem nu boven nummertje 2.
(natuurkunde: je vergroot nu de arm, dus heb je minder kracht nodig)
Denk er wel aan dat wanneer niet alle betonblokjes boven nr. 3 wordt geperst, maar sommige bv. boven 3 en andere boven 2, dat de resultaten niet zomaar met elkaar vergeleken mogen worden (dit kun je natuurkundig wel uitrekenen en daarna vergelijken).
- r. Als ook dit niet genoeg is, kun je hem verzetten naar nummer 1.

Inklappen van de drukpers:

- s. Verwijder de twee L-profielen.
- t. Verwijder al het beton van de pers, ook het gruis. Dit kan door de pers aan één kant iets op te tillen of m.b.v. een kleine veger.
- u. Plaats de twee L-profielen terug bij nummer 5 en zet ze vast met behulp van de vleugelmoer.
- v. Zet de schakelaar bij nummer 9 vertikaal (er kan geen druk worden opgebouwd).
- w. Zet de aan/uit knop (nr. 7) op 0 (drukmeter nr. 8 staat uit).
- x. Draai de bout uit gat 1 en schroef hem in gat 2 (zorg ervoor dat de bout ook door het gat in de hendel gaat).
- y. Draai de bout uit gat 3 en schroef hem in gat 4 (zorg ervoor dat de bout ook door het gat van het L-profiel aan de voorkant van de cilinder gaat).
- z. De pers is nu ingeklapt en klaar voor vervoer.

Wat als er geen druk wordt opgebouwd:

Vraag je begeleider om hulp

- aa. De reden hiervan kan zijn dat de luchtslangen (blauwe slangen) niet goed vast zitten.
- bb. Druk de luchtslangen verder in de opening (ze moeten vast zitten).
- cc. Andere mogelijkheid is dat de moeren niet goed vastgedraaid bij de cilinder(s), de drukmeter of nr. 9 zitten.

Druk wordt wel opgebouwd, maar kan niet worden afgelezen:

- dd. De batterijen zijn mogelijk leeg.
- ee. Deze zijn te vervangen aan de onderkant van de pers. Hier zit een rvs-plaat die te verwijderen is door de schroeven te verwijderen (te vinden aan de linker- en rechterkant van de pers (tussen de voor- en achterkant in).