

SCHIPHOL ZUIVERT AFVALWATER MET ALGEN EN CO₂

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Reactievergelijkingen, rendabel proces
Vaardigheidsvraag	Informatiebewerkingsvraag

<http://www.engineeringnet.nl>, 4 juni 2015

Testcase: Schiphol zuivert afvalwater met algen en CO₂



Bij het de-icen van vliegtuigen komt glycolhoudend afvalwater vrij. Schiphol, Tata Steel en IMARES hebben een business case ontwikkeld om dit water te zuiveren met algen en CO₂.

ENGINEERINGNET.NL - Schiphol deed in 2009 en 2010 al een pilot. De luchthaven toonde toen aan dat het mogelijk is om glycolhoudend afvalwater op een duurzame manier te zuiveren met algen.

Het lukte toen echter niet om een rendabele business case te bouwen rond deze methode.

Deze proef krijgt nu een vervolg. Schiphol heeft daarvoor een samenwerking opgezet met metaalgigant Tata Steel en onderzoeksinstituut IMARES.

Tijdens de nieuwe proef wordt behalve glycolhoudend water van Schiphol ook de CO₂ gebruikt, die bij Tata Steel vrijkomt tijdens de productie van staal.

Het onderzoek wordt uitgevoerd door onderzoeksinstituut IMARES, dat onderdeel is van Wageningen UR.

Uit onderzoek van IMARES bleek dat de algen die met behulp van de afvalstromen worden gekweekt, geschikt zijn als voer voor schelpdieren en jonge visjes

Op Schiphol komt veel glycolhoudend afvalwater vrij. De stof glycol wordt op luchthavens gebruikt voor het ijsvrij maken, 'de-icing', van vliegtuigen.

- 1 Leg uit waarom vliegtuigen ijsvrij gemaakt moeten worden.

Het vrijkomende afvalwater wil men reinigen. Een eerdere proef met reiniging door algen is in 2013 gestopt.

Schiphol stopt met algen

Schiphol had de proef enkele jaren geleden opgezet samen met het bedrijf Aqua Phyto. In het bassin werd het regen- en smeltwater dat vervuild was met glycol verwerkt. Met spuitwagens worden in de winter vleugels en het staartstuk ingespoten. Maar die vloeistof komt ook op het platform en de landingsbanen. Het middel wordt op een natuurlijke wijze afgebroken met als enige nadeel dat het zuurstof uit sloten verdwijnt en daardoor vissen doodgaan. Dat leverde Schiphol in het verleden forse boetes op van het Hoogheemraadschap Rijnland. (...)

<http://www.noordhollandsdagblad.nl>, 21 november 2013

Als glycol in de natuur wordt afgebroken, reageert het met zuurstof tot koolstofdioxide en water.

De molecuulformule van glycol is: $C_2H_6O_2$.

- 2 Noteer de reactievergelijking voor de natuurlijke afbraak van glycol.

Het artikel in het Noord Hollands Dagblad meldde ook "Algen bleken dol te zijn op dit goedje en groeiden snel." Algen zetten glycol met behulp van zuurstof om in onder andere glucose.

- 3 Noteer de reactievergelijking voor de vorming van glucose uit glycol.

In het artikel van www.engineeringnet.nl staat dat het project indertijd niet rendabel was.

- 4 Geef een reden waarom het project indertijd niet rendabel was.

Bij de nieuwe proef die nu start bij Schiphol voert men aan de algenbaden ook CO_2 toe, dat van Tata Steel komt. Algen leggen de CO_2 vast via de fotosynthesereactie.

- 5 Noteer de reactievergelijking van de fotosynthese.
- 6 Leg uit waarom het project nu een grotere kans heeft om rendabel te zijn.
- 7 Voor welk probleem zal men met een oplossing moeten komen?

Schiphol zuivert afvalwater met algen en CO₂

- 1 De bewegende delen van een vliegtuig (kleppen op de vleugels en het staartstuk) mogen niet vastvriezen. Ijsafzetting zorgt er ook voor dat het vliegtuig zwaarder wordt.
- 2 $2 \text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
- 3 $6 \text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{H}_2\text{O}$
- 4 Alleen in de winter bij temperaturen onder 0 °C gebruikt men glycol. Je hebt dus niet het hele jaar voedingsstoffen voor de algen. Daardoor is het proces niet rendabel.
- 5 $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$
- 6 Als er geen aanvoer van glycol is heeft men wel aanvoer van CO₂.
- 7 De CO₂ moet van Tata Steel naar Schiphol getransporteerd worden.

Volledige artikelen:

http://www.engineeringnet.nl/detail_nederland.asp?Id=14590&category=research&Week=23&herkomst=netkrantvrijdag&titel=Testcase:%20Schiphol%20zuivert%20afvalwater%20met%20algen%20en%20CO2
<http://www.noordhollandsdagblad.nl/stadstreek/metropool/article25821053.ece>

ZESRING KOPIEERT ZICHZELF

Klas	5,6 v
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Bindingen
Trefwoorden	Halfreactie, evenwichtsverschuiving, DNA, waterstofbruggen, ionbinding, vanderwaalsbinding
Vaardigheidsvraag	Informatiebewerkingsvraag

www.c2w.nl, 18 juni 2015

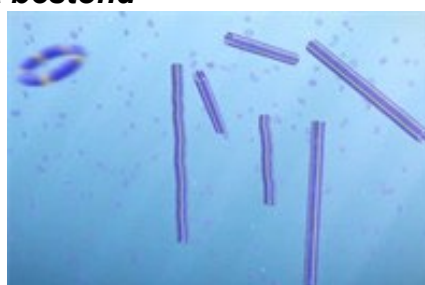
Zesring kopieert zichzelf

Synthetische chemie voor toen er nog geen DNA bestond

Arjen Dijkgraaf

Via zelfassemblage van fragiele vezels kun je een moleculair systeem bouwen dat zichzelf kopieert. Zoiets als DNA maar lang niet zo ingewikkeld, suggereren Groningse onderzoekers in *Nature Communications*.

Adjunct-hoogleraar systeemchemie Sijbren Otto en collega's speculeren dat de allervroegste vormen van 'prebiotisch' leven wellicht op vergelijkbare wijze informatie doorgaven, lang voordat RNA of DNA als dragermateriaal ontstond.



Het onderliggende idee is in wezen hetzelfde als dat van DNA. Uit een aantal losse bouwstenen laat je een molecuul ontstaan, dat dient als mal voor het ontstaan van een identiek tweede exemplaar dat er bovenop komt te liggen. Vervolgens gaan ze uit elkaar en kan op allebei een nieuwe kopie ontstaan.

In de praktijk is alleen dat uit elkaar gaan een probleempje: de binding tussen origineel en kopie is weliswaar niet-covalent, maar gewoonlijk toch sterk genoeg om het replicatieproces sterk af te remmen. Exponentiële groei wordt het zo in elk geval niet.

Otto presenteert daar nu een simpele oplossing voor. Hij stapelt veel meer dan twee lagen, zodat je supramoleculaire vezels in een oplossing krijgt. Tegelijk schudt hij die oplossing. Als de vezels een bepaalde lengte bereiken, breken ze door de mechanische belasting vanzelf in tweeën en kunnen elk afzonderlijk doorgroeien.

Als basismolecuul gebruiken de Groningers een benzeenring waar op twee plekken zwavelkernen aan hangen, en op de derde plaats een korte aminozuurketen. Via een zwavel-zwavelbinding kunnen ze dimeriseren, en als dat een paar keer gebeurt vormen ze vanzelf een gesloten ring.

In eerste instantie krijg je dan voornamelijk ringen van 3 of 4 moleculen, maar er zitten ook grotere tussen. En alleen de hexameren (dus met 6 moleculen) blijken zich te gaan stapelen, als gevolg van interacties tussen de aminozuurketens. Zodra je gaat schudden en de vezels zichzelf beginnen te vermenigvuldigen, worden die hexameren aan het systeem onttrokken. En omdat de ringvorming een evenwichtsreactie is, groeien de kleinere ringen dan vanzelf ook tot hexameren uit.

Een filmpje op de website van de vakgroep laat zien hoe het werkt:

(<https://www.youtube.com/watch?v=w2lqZL153JE>)

Uit een combinatie van experimenten en computersimulaties leiden de Groningers af dat het aantal vezels op deze manier wél exponentieel toeneemt, of daar heel dicht tegenaan zit.

Bekijk na het lezen van het artikel eerst het filmpje dat vermeld staat in het artikel.

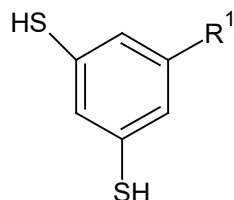
In Groningen is een systeem bedacht waarbij 'vezels' zichzelf kopiëren .

De vorming van de 'vezels' verloopt in een aantal stappen:

Stap 1 vanuit het basismolecuul, een benzeenring met drie zijgroepen, worden ringvormige structuren gevormd

Stap 2 de ringvormige structuren stapelen tot een 'vezel'.

De vereenvoudigde structuurformule van het basismolecuul staat weergegeven in figuur 1.

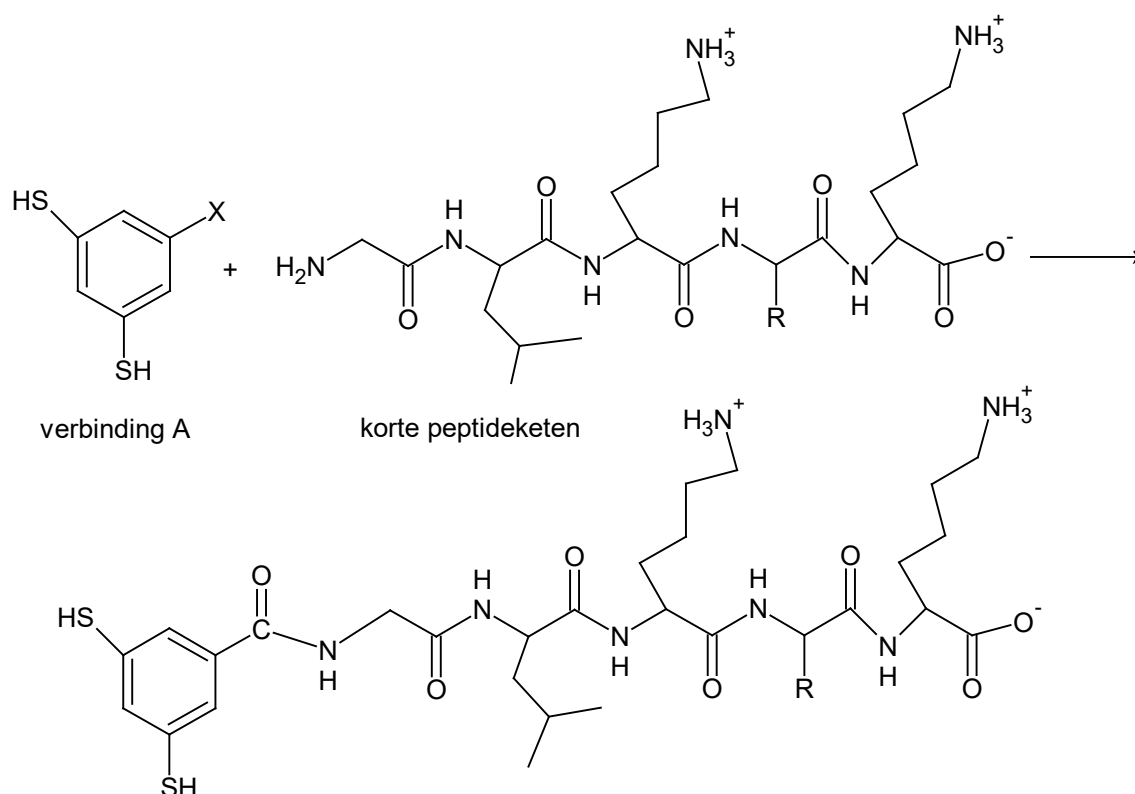


met R¹ een korte aminozuurketen (peptideketen)

Figuur 1

Vorming basismolecuul

In figuur 2 staat weergegeven hoe het basismolecuul gevormd wordt door verbinding A met een korte peptideketen te laten reageren. In verbinding A is de groep die reageert met de korte peptideketen weergegeven als X.



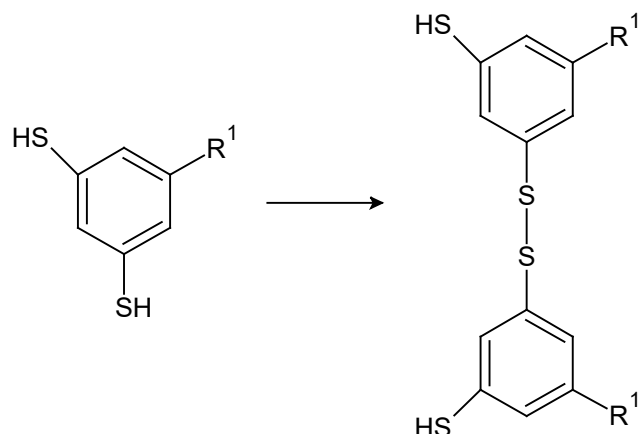
Figuur 2

1 Teken de structuurformule van verbinding A.

Ringvorming

Om de ringen te laten ontstaan, moeten de basismoleculen met elkaar reageren, zoals weergegeven in figuur 2. Dit gebeurt door zuurstof en water toe te voegen aan een oplossing

van basismoleculen. Er treedt dan een redoxreactie op. In figuur 3 staat de onvolledige halfreactie van de koppeling van twee basismoleculen.

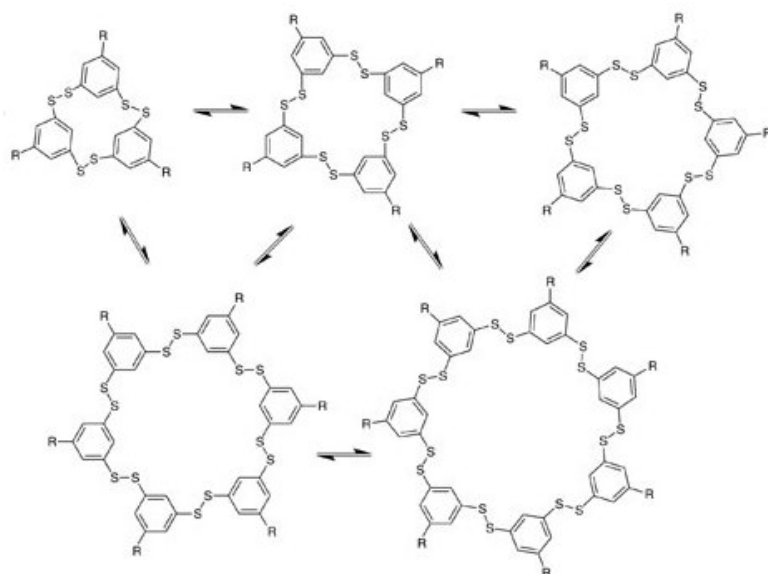


Figuur 3

- 2 Neem de onvolledige halfreactie over en maak hem kloppend.
- 3 Noteer de andere halfreactie die optreedt.

Vorming grote ringen

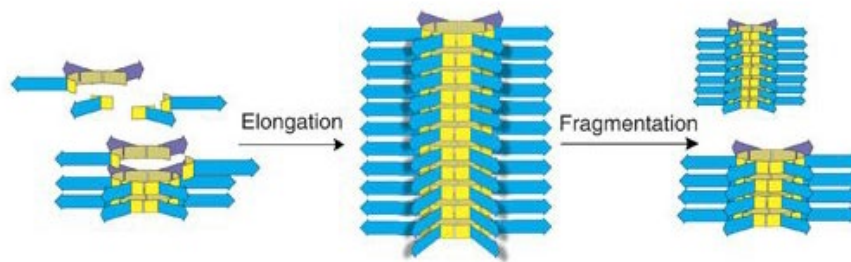
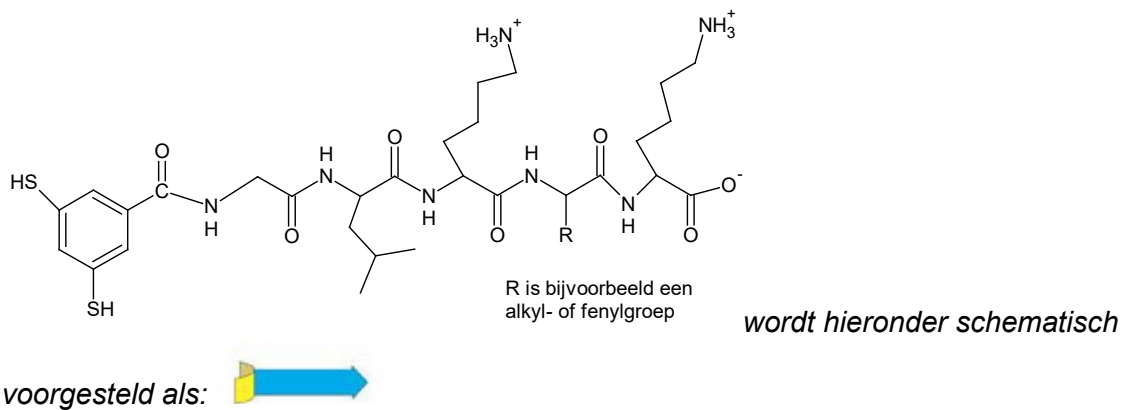
In de oplossing ontstaan vanuit de basismoleculen drie-, vier-, vijf-, zes- en zevenringen die met elkaar in evenwicht zijn (figuur 4)



Figuur 4

Het blijkt dat bij het in figuur 2 getekende peptide in de zijketen met name de zesringen door stapelen kunnen groeien tot een 'vezel' (figuur 5). In de oplossing zijn voornamelijk drie- en vierringen aanwezig.

- 4 Leg uit dat uiteindelijk alle aanwezige basismoleculen toch omgezet worden in zesringen



Figuur 5

- 5 Leg uit welk type krachten tussen de peptideketens van de basismoleculen in de stapeling aanwezig zijn.
- 6 Leg uit hoe je aankijkt tegen de grootte van deze krachten.

In tabel 1 staat de gemiddelde lengte van de vezels weergegeven als functie van de roersnelheid van de oplossing. Naarmate er harder geroerd wordt, neemt de lengte van de vezels af

Tabel 1, bron Colomb-Delsuc, M. et al. (2015) Exponential self-replication enabled through a fibre elongation/breakage mechanism. Nat. Commun. 6,7427.

Roersnelheid (omwentelingen/min)	Gemiddelde lengte (nm)	Aantal metingen
200	745	37
400	690	35
800	404	38
1000	155	77
1500	97	30

- 7 Leg uit waardoor de lengte van de vezels afneemt naarmate er harder geroerd wordt.

Bij de experimenten zijn Otto en zijn medewerkers uitgegaan van 0,50 mL 3,8 mM basisstof (bestaande uit basismoleculen) 1 mol stof bevat $6,02 \cdot 10^{23}$ moleculen van die stof.

- 8 Bereken hoeveel zeringen maximaal uit 0,50 mL 3,8 mM basisstof kunnen ontstaan.

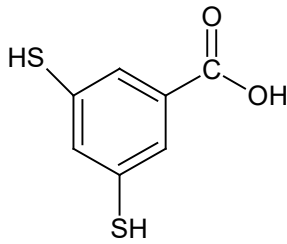
Het systeem dat Otto en zijn medewerkers hebben ontwikkeld is volgens het artikel “Zoiets als DNA maar lang niet zo ingewikkeld”.

- 9 Zijn er overeenkomsten tussen de replicatie van DNA en het door Otto ontwikkelde systeem? Licht je antwoord toe.
- 10 Leg uit welk(e) verschil(len) er zijn tussen de replicatie van DNA en het door Otto ontwikkelde systeem.

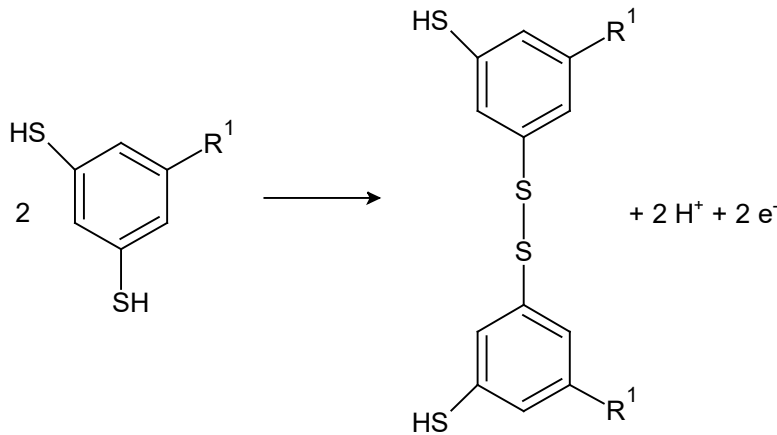
- 11 Leg uit of je de titel van het artikel “Zesring kopieert zichzelf” toepasselijk vindt voor het onderzoek dat men gedaan heeft.

Zesring kopieert zichzelf

1



2



3 $\text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ e}^- \rightarrow 4 \text{ OH}^-$; of $\text{O}_2 + 4 \text{ H}^+ + 4 \text{ e}^- \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$

4 Alle ringen zijn in evenwicht met elkaar, als de zesring stapelt tot een 'vezel' wordt hij onttrokken aan de evenwichten. Hierdoor zullen die evenwichten verschuiven naar de kant van de zesring, zolang tot alle andere ringen zijn omgezet

5 Door de NH groepen en C=O groepen, zijn waterstofbruggen mogelijk, door de positieve en negatieve ladingen treedt ionbinding op. Tussen de uitstekende alkyl en fenyngroepen treedt vanderwaalsbinding op.

6 Door roeren, toevoer van mechanische energie, wordt soms de stapeling tussen de basismoleculen verbroken. Dit betekent dat de krachten niet extreem groot zijn.

7 Een grotere roersnelheid zorgt ervoor dat de zesringen niet de kans krijgen om de krachten tussen de zesringen tot stand te laten komen om zo tot stapeling te komen.

8 $0,50 \text{ mL } 3,8 \text{ mM basisstof} \equiv 0,50 \text{ mL} \times 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ M} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ mmol}$. Dit komt overeen met $1,9 \cdot 10^{-6} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 1,1 \cdot 10^{18}$ basismoleculen.

9 In beide situaties komen waterstofbruggen voor die zorgen voor de samenhang.

10 Bij de replicatie van DNA heb je te maken met een lange dubbele streng die bestaat uit een coderende en niet coderende streng, die uiteen ritst waarna replicatie plaats vindt. Bij DNA gaat het om een lange streng waarbij alle bouwstenen via atoombindingen aan elkaar vast zitten. Bij DNA is het meer een lange paperclipketting; bij de vezel van Otto kun je het geheel als gestapelde legosteentjes voorstellen.

11 De zesring wordt niet gekopieerd vanuit een andere zesring maar gevormd uit de andere ringen.

Opmerking: in het artikel wordt het woord vezel gebruikt voor de stapeling. Ons lijkt de stapeling nog niet een vezel te zijn, we hebben daarom het woord vezel tussen aanhalingstekens gezet.

<https://www.youtube.com/watch?v=w2lqZL153JE>: een filmpje op de website van de vakgroep laat zien hoe het werkt.

ZINK LEIDT TOT NIERSTENEN

Klas	5,6 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Zouten, zuur-base reacties, redoxreacties
Trefwoorden	Nierstenen, kristalvorming, gezondheid
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag, onderzoekvaardigheidsvraag

www.c2w.nl, 2 juni 2015

Zink leidt tot nierstenen

Onbekende factor bij kristallisatie calciumoxalaat

Zink lijkt een onverwacht belangrijke rol te spelen bij het ontstaan van nierstenen. Wellicht zit hierin een manier verstopt om iets tegen die stenen te doen, opperen Marshall Stoller en collega's van de University of California (San Francisco) in *PLOS One*.



Nierstenen.

(....) De meeste nierstenen zijn calciumoxalaatkristallen, $\text{Ca}(\text{COO})_2$, waar op het eerste gezicht geen zink in zit. Waarom ze precies uitkristalliseren (of niet, bij mensen die geen last hebben van nierstenen) is eigenlijk een raadsel, maar tot nu toe werd algemeen aangenomen dat calciumhydroxyapatiet, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, de meest gebruikelijke kiem is.

Maar in Californië hebben ze nu een aantal operatief verwijderde nierstenen nog eens goed doorgelicht, onder meer met röntgenfluorescentie (microXRF). Daar kwam uit dat er wel degelijk vrij veel zink in zit. Het geldt zowel voor de stenen zelf als voor de zogeheten Randall's plaques, calciumophopingen in de nieren die als voorstadium worden beschouwd.

Voor de rest van het onderzoek bleken fruitvliegjes te kunnen dienen als diemodel. Bij hen kunnen steentjes ontstaan in de buizen van Malpighi, de insectenversie van het afvoersysteem. Dat gebeurt vooral als je het gen saboteert voor xanthinedehydrogenase, het enzym dat xanthine omzet in urinezuur. Tot nu toe werd aangenomen dat dit dus heel andere steentjes zijn die vrijwel geheel uit xanthine bestaan. Een type steen dat bij mensen ook voorkomt als gevolg van xanthinurie type 1, een erfelijke aandoening.

Maar analyse van die fruitvliegjessteentjes met laat nu zien dat er wel degelijk calcium, hydroxyapatiet én zink in zit. Voor de onderzoekers aanleiding om aan te nemen dat ze althans gedeeltelijk op dezelfde manier worden gevormd als menselijke stenen.

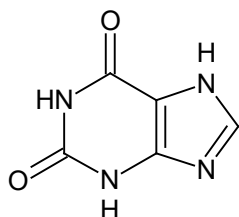
Dus als bij die vliegjes de steenvorming blijkt te worden onderdrukt als je minder zink in hun eten doet, een medicijn toedient dat zink verwijdert via chelatie of genen uitschakelt die te maken hebben met het inwendige zinktransport, dan zal dat bij mensen ook wel zo werken. Waarom dat zink nu precies kristallisatie in de hand werkt, blijft onduidelijk. Maar Stoller en collega's speculeren nu al hardop dat het bij andere kristallisatieprocessen, zoals aderverkalking, ook wel eens een rol zou kunnen spelen.

Nierstenen kunnen voorkomen in alle delen van de urinewegen en bij mensen van alle leeftijden. Er zijn dan onoplosbare kristallen ontstaan, die voornamelijk uit calciumoxalaat bestaan. De concentratie van de ionen, het volume en de pH van de urine spelen hierbij een rol. Uit de formule van calciumoxalaat kun je de molecuulformule én structuurformule van oxaalzuur afleiden. Oxaalzuur is een zwak tweewaardig zuur.

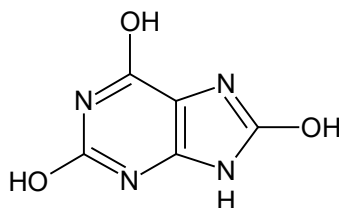
- 1 Leid de molecuulformule én structuurformule van oxaalzuur af.
- 2 Geef de systematische naam van oxaalzuur.
- 3 Leg uit of je meer kans hebt op nierstenen bij een hoge of bij een lage pH.

Het ontstaan van nierstenen kan ook gestimuleerd worden wanneer bepaalde enzymen hun werk niet goed doen, waardoor er te hoge concentraties van bepaalde stoffen in de nieren achter blijven. In het artikel wordt de sabotage van de omzetting van xanthine tot urinezuur genoemd.

Hieronder staan de structuurformules van xanthine en urinezuur.



Xanthine



Urinezuur

- 4 Geef de molecuulformules van xanthine en urinezuur.

De omzetting van xanthine in urinezuur kun je met een halfreactie weergeven.

- 5 Geef deze omzetting in een halfreactie met molecuulformules weer.

De vorming van steentjes werd verder bij fruitvliegjes onderzocht. Bij de fruitvliegjes werd door het verhinderen van de omzetting uit vraag 5 aangenomen dat de steentjes, die dan ontstaan, bijna geheel uit xanthine zouden bestaan. De pH van urine na een maaltijd stijgt meestal tot ca. 8. De oplosbaarheid van urinezuur neemt na de maaltijd toe. De oplosbaarheid van xanthine neemt niet toe na de maaltijd.

- 6 Leg uit wat dit betekent voor de zuursterkte van respectievelijk xanthine en urinezuur. Gebruik eventueel de molecuulformules om dit uit te leggen.

De onderzochte steentjes bleken veel meer stoffen te bevatten.

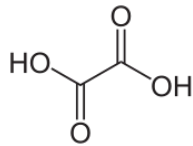
- 7 Welke stoffen/ionen zijn in de 'nierstenen' die zich in de fruitvliegjes vormden, aangetoond?
- 8 Leg uit waarom de onderzoekers vinden dat het gedane onderzoek bij de fruitvliegjes ook voor mensen zal gelden.

Ontdekt werd dat zink een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van de steentjes. Bij het verhinderen van het transport van zink in de fruitvliegjes werden er significant minder stenen gevormd. De conclusie die uit het onderzoek is getrokken is dat het zink ervoor zorgt dat de binding van allerlei andere stoffen of ionen aan kleine kristalletjes calciumhydroxy-apatiet sneller verloopt. Dit wordt zowel gevonden bij de nierstenen die voornamelijk uit calciumoxalaat bestaan als de nierstenen die veel xanthine bevatten. De onderzoekers voorzien door deze conclusie een belangrijk vervolgonderzoek.

- 9 Leg uit welk vervolgonderzoek volgens de onderzoekers hierna denkbaar is.

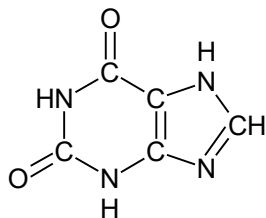
Zink leidt tot nierstenen

- 1 Het calciumion is Ca^{2+} . Het oxalaat ion is dus $2-$. Oxaalzuur is tweewaardig, dus $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$. De structuurformule is:

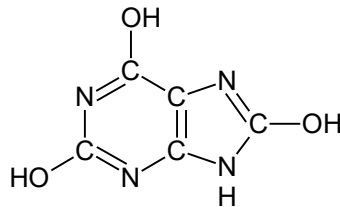


- 2 Ethaandizuur.
3 Bij een lage pH is het molecuul als ongesplitst oxaalzuur aanwezig. Er zijn dan weinig oxalaationen. Dus bij een lage pH weinig kans op nierstenen, bij een hoge pH meer oxalaationen, dus meer kans op nierstenen.
4 Xanthine: $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2$
Urinezuur: $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$
5 $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$
6 Urinezuur moet in staat zijn om H^+ -ionen af te staan, waarbij er ook negatieve ionen ontstaan. Dit maakt de stof beter oplosbaar in water. De H^+ -ionen komen waarschijnlijk van de OH-groepen in het molecuul. Xanthine bezit deze groepen niet en is dus een zwakker zuur met lagere waarde van de zuursterkte.
7 Xanthine, calcium-ionen, hydroxyapatietionen en zinkionen.
8 Aangezien de niersteentjes in de fruitvliegjes dezelfde samenstelling hebben als bij mensen, nemen de onderzoekers aan dat je het onderzoek op de fruitvliegjes kunt projecteren op de mens.
9 Op andere plekken in het lichaam zoals in de aderen vinden ook ongewenste calciumhoudende-afzettingen plaats. Het is dus nuttig om te onderzoeken of zinktransport daar ook een rol speelt.

Eventueel kunt u de figuur voor vraag 4 vervangen door:



Xanthine



Urinezuur

EUROPIUM SLAAT NEER

Klas	6v
Subdomein	Deeltjesmodellen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Elektronenstructuur, valentie-elektronen
Trefwoorden	Zeldzame aardmetalen, fosforen, recyclen
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

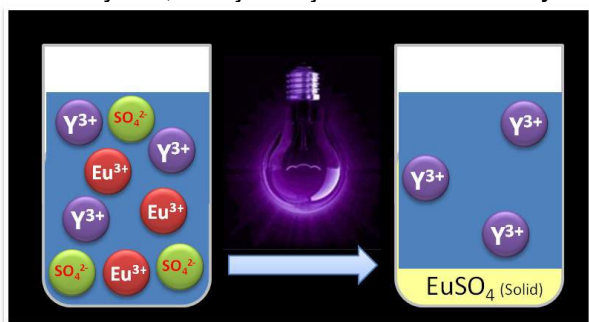
www.c2w.nl, 12 mei 2015

EUROPIUM SLAAT NEER

Fotochemische recycling van aardmetaal ontwikkeld

Renée Moezelaar

In België hebben ze een manier gevonden om europium te scheiden van andere zeldzame aardmetalen. Tom van Gerven en zijn collega's van de KU Leuven willen het met deze methode beter recyclen, schrijven zij in *Green Chemistry*.



Schematische weergave van het proces (Copyright: KU Leuven)

Europium kun je gebruiken om fosfor voor rode lampen te produceren. De afvalstroom van dit proces bevat ook yttrium, en die twee elementen hebben vergelijkbare eigenschappen dus ze zijn moeilijk te scheiden. Eerdere technieken binden het europium aan oxaalzuur, maar dit proces is in de praktijk niet geschikt omdat het alleen goed werkt met een constante concentratie europium.

De oplossing blijkt heel makkelijk. De onderzoekers gebruiken een kwiklamp om selectief het europium in de afvalstroom te reduceren, terwijl het yttrium bij deze golflengte niet reageert. Tijdens dit proces gebruiken ze isopropanol als radicaalvanger. Vervolgens voegen ze ammoniumsulfaat toe, waardoor er europiumsulfaat ontstaat dat neerslaat. Binnen zes uur is 90 % van het europium in de oplossing neergeslagen.

Het product bleek maximaal 2 % yttrium te bevatten, en was dus puur genoeg om opnieuw te gebruiken. De reactie werkte bij verschillende verhoudingen europium:yttrium, hoewel hoge concentraties yttrium de reactie wel wat vertraagden. De onderzoekers denken dat dit komt omdat yttrium met sulfaat kan coördineren, waardoor er minder sulfaat overblijft om te reageren.

De reactie is ook getest met een mengsel van europium en gadolinium, maar dat product was niet zo puur. Daarom richten de onderzoekers zich eerst op het efficiënter maken en opschalen van de reactie met yttrium, zodat het geïmplementeerd kan worden in de fosforproductie voor rode lampen.

Bij het produceren van 'fosfor' voor rode lampen wordt het element europium gebruikt. Men wil uit de afvalstroom 'europium' terug winnen. Europium behoort tot de zeldzame aardmetalen. De zeldzame aardmetalen zijn de elementen met atoomnummer 58 tot en met 71. De zeldzame aardmetalen lijken in vele opzichten op elkaar. Dit heeft te maken met de elektronenstructuur van de atomen van de zeldzame aardmetalen.

- 1 Welke schillen zijn bij de zeldzame aardmetalen geheel gevuld?
- 2 Welke schil wordt bij de opeenvolgende zeldzame aarden vanaf cerium (met atoomnummer 58) verder gevuld?
- 3 Verklaar met behulp van de elektronenstructuur van de atomen van de zeldzame aardmetalen waarom ze in vele opzichten op elkaar lijken.

In veel elektronica worden zeldzame aardmetalen gebruikt. In het artikel staat: 'Europium kun je gebruiken om fosfor voor rode lampen te produceren'.

- 4 Leg uit dat het onmogelijk is om uit europium 'fosfor' te produceren.

Ze bedoelen in het artikel dat het europiumion en het yttriumion worden gebruikt in een luminescerend poeder, een mengsel van stoffen met zeldzame aardmetaal-ionen dat rood licht kan geven, wanneer er ultraviolet licht op valt. Het 'fosfor' voor rood licht bestaat uit yttriumoxide, Y_2O_3 , dat een bepaald percentage Eu^{3+} ionen bevat.

- 5 Herschrijf de zin uit het artikel zó dat het duidelijker is wat er bedoeld wordt.

Aangezien europium van de zeldzame aardmetalen één van de minst voorkomende is, is het verstandig om het te recyclen. Het europium kan uit de lampen worden teruggewonnen doordat Eu^{3+} omgezet kan worden in Eu^{2+} .

- 6 Leg met behulp van een eigenschap van het yttriumatoom uit, waarom dit bij yttrium niet kan gebeuren.

Om het europium terug te winnen, wordt het 'fosfor' voor rood licht eerst opgelost in een zure oplossing met een lage pH. Hierbij ontstaat een oplossing waarin zich van alle aanwezige metalen de ionen bevinden.

- 7 Geef de vergelijking voor de reactie van yttriumoxide in een zure oplossing met lage pH. Gebruik voor de zure oplossing H_3O^+ .

Het omzetten van Eu^{3+} in Eu^{2+} kun je vervolgens op drie manieren doen. De eerste manier is chemisch, bij voorbeeld met behulp van zinkpoeder.

- 8 Geef met behulp van halfreacties de reactievergelijking voor de omzetting van Eu^{3+} met zinkpoeder.

Bij de methode met zink zijn er twee nadelen: de verontreiniging van de oplossing van zeldzame aardmetaal-ionen met Zn^{2+} ionen en de verontreiniging van het geheel met kwikamalgaam. Kwik, dat voorkomt in de lampen, kan mengen met zink. Hierbij ontstaat een legering van kwik en zink.

- 9 Leg uit waarom het nadelen zijn.

De tweede methode van het omzetten van Eu^{3+} is met behulp van een elektrochemische methode. Het Eu^{3+} ion wordt dan aan één van de elektroden omgezet in Eu^{2+} .

10 Leg uit aan welke elektrode het Eu^{3+} ion moet reageren.

De elektrochemische methode heeft maar een laag rendement, omdat er ook veel H^+ reageert aan dezelfde elektrode.

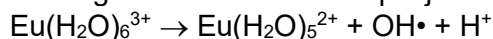
11 Leg uit wat dit betekent voor de oxidatorsterkte van Eu^{3+} in vergelijking met die van H^+ .

Om de nadelen van beide genoemde methodes te vermijden, is de fotochemische omzetting geïntroduceerd. Door een lichtbron worden fotonen door de oplossing gestuurd, die helpen bij de opname van een elektron door Eu^{3+} vanuit het oplosmiddel. Een goede golflengte hiervoor is 188 nm. Kwiklampen stralen licht uit van deze golflengte. Dit licht werkt dan selectief op de omzetting van Eu^{3+} ionen.

12 Leg uit met behulp van de elektronenstructuren van zeldzame aard ionen dat de golflengte die nodig is voor ieder element verschillend zal zijn.

Het europium ion komt in waterige oplossingen voor als $\text{Eu}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$

De volgende reactie treedt op bij de fotochemische omzetting:



13 Leg uit waarom het gebruik van een radicaalvanger noodzakelijk is.

Men verwijdert vervolgens de Eu^{2+} -ionen uit de oplossing door ze neer te laten slaan met SO_4^{2-} ionen. De oplosbaarheid van EuSO_4 is 0,001 g/100 g H_2O , de oplosbaarheid van $\text{Eu}_2(\text{SO}_4)_3$ is 2,10 g per 100 g H_2O en de oplosbaarheid van yttriumsulfaat bedraagt 7,47 g per 100 g H_2O . De concentratie van de sulfaationen is belangrijk wanneer je alleen europium(II)sulfaat wilt laten neerslaan.

14 Leg uit of het mogelijk is om al het aanwezige europium te recyclen.

15 Leg uit waarom de concentratie van de sulfaationen belangrijk is als je zoveel mogelijk zuiver europium(II)sulfaat wilt laten neerslaan.

In het artikel staat: "omdat yttrium met sulfaat kan coördineren".

16 Leg uit wat hier waarschijnlijk wordt bedoeld.

Het recycleproces levert een mengsel van europiumionen met yttriumionen op.

17 Is dit een bezwaar? Licht je antwoord toe.

Het recyclingproces van europium is in het artikel in een plaatje schematisch weergegeven.

18 Beschrijf in maximaal 40 woorden waar het proces volgens het plaatje op neer komt.

Europium slaat neer

- 1 De K-, L- en M-schillen van zeldzame aardmetalen zijn geheel gevuld met resp. 2, 8 en 18 elektronen.
- 2 Bij de lanthaniden (de elementen met de atoomnummers 58 t/m 71) zie je dat de N-schil verder wordt opgevuld tot maximaal 32 elektronen ($2n^2$ voor de vierde schil is $2 \times 4^2 = 32$).
- 3 Aangezien een meer naar binnen gelegen schil wordt opgevuld, is de atoomstraal van de atomen niet erg verschillend van elkaar. Ze vormen ook allemaal een $3+$ ion, sommigen ook $2+$. Dit komt omdat ze 3 valentie-elektronen hebben. De 2 elektronen in de zesde schil plus één elektron uit de vijfde schil.
- 4 Zowel europium als 'fosfor' is een element (niet-ontleedbare stof). Europium met atoomnummer 63 en 'fosfor' met atoomnummer 15. Theoretisch kun je een atoomsoort alleen in een ander atoomsoort omzetten met behulp van kernreacties. Dat is hier niet het geval.
- 5 Europium wordt gebruikt om een 'fosfor' voor rood licht te produceren, bestaande uit yttrium- en europiumoxide.
- 6 Yttrium komt als ion alleen voor met lading $3+$.
- 7 $Y_2O_3(s) + 6 H_3O^+(aq) \rightarrow 2 Y^{3+}(aq) + 9 H_2O(l)$
- 8 $Eu^{3+} + e^- \rightarrow Eu^{2+} \quad 2x$
 $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2 e^- \quad 1x$
Totaalvergelijking: $2 Eu^{3+} + Zn \rightarrow 2 Eu^{2+} + Zn^{2+}$
- 9 Kwik is giftig en dat wil je niet in het milieu terecht laten komen. In je mengsel heb je nu ook Zn^{2+} zitten. Je hebt dus extra scheidingen nodig om de stoffen zuiver in handen te krijgen.
- 10 Aan de negatieve elektrode, waar het een elektron op kan nemen.
- 11 H^+ en Eu^{3+} moeten dan ongeveer even sterke oxidatoren zijn, omdat ze gelijktijdig reageren (dit kan in dit geval wel mede bepaald worden door de concentraties van de ionen). Normaal gesproken reageert de sterkste oxidator eerst.
- 12 De ionen hebben elektronen in veel verschillende (sub)schillen zitten. Wanneer een elektron energie opneemt zal het terecht komen in een meer naar buiten gelegen schil. De hoeveelheid energie die het opneemt komt overeen met het energieverval tussen de 'oude' en de 'nieuwe' elektronenstructuur. Deze energieverval verschillen zijn voor ieder ion verschillend en dus kenmerkend.
- 13 Radicalen hebben de neiging om kettingreacties op gang te brengen. Dan weet je niet precies wat er gaat gebeuren. Dus je moet de ontstane radicalen wegvangen.
- 14 Nee, want er zal altijd een beetje (0,001 g/100g H_2O) europium(II)sulfaat opgelost blijven.
- 15 Wanneer de concentratie erg groot is, zal er ook europium(III)- én yttrium(III)sulfaat neer kunnen slaan. Je moet ervoor zorgen dat dat niet gebeurt. Te weinig sulfaationen zorgt ervoor dat niet al het mogelijke europium(II)sulfaat zal neerslaan. Je moet de concentratie dus nauwkeurig in de gaten houden.
- 16 Mogelijk vormen de yttriumionen met sulfaationen stabiele opgeloste deeltjes waardoor de concentratie van de sulfaationen afneemt.
- 17 Nee, met 2 % yttrium is het product 'puur' genoeg om opnieuw te gebruiken.
- 18 In een oplossing met Eu^{3+} -, Y^{3+} - en SO_4^{2-} -ionen worden met behulp van een kwiklamp de Eu^{3+} ionen omgezet in Eu^{2+} ionen. De Eu^{2+} ionen vormen vervolgens met SO_4^{2-} ionen de vaste stof $EuSO_4$, die uitzakt naar de bodem.

EUROPIUM SLAAT NEER II

Klas	5hv
Subdomein	Chemische processen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Redox; neerslagreactie
Trefwoorden	Europium, aardmetaal, scheiding, neerslagreactie
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 5 juni 2015

Europium slaat neer

In Leuven is een manier gevonden om europium te scheiden van andere zeldzame aardmetalen. Met name Y^{3+} , waarmee het als Eu^{3+} vermengd zit in tl-buizen om te zorgen voor de rode component van het licht. Beide driewaardige ionen vertonen vrijwel dezelfde reactiviteit, zodat ze via selectieve extractie nauwelijks zijn te scheiden. In *Green Chemistry* schrijven Tom van Gerven en promovendus Bart Van den Bogaert nu dat je wél eenvoudig selectief die reactiviteit kunt veranderen, met een kwiklamp die via fotochemische reductie Eu^{3+} omzet in Eu^{2+} maar Y^{3+} ongemoeid laat wegens gebrek aan toepasselijke golflengte. Voeg je vervolgens ammoniumsulfaat toe, dan slaat 90 % van het Eu^{2+} neer als $EuSO_4$ terwijl maar een paar procent yttrium meekomt. (...)

Het element europium is zeldzaam en wordt na gebruik terug gewonnen.

1 Leg uit dat europium niet als zuiver metaal voorkomt maar wel als ion.

IN tl-buizen komen de ionen Eu^{3+} en Y^{3+} gemengd voor. Bij recyclen kan via een nieuw proces het europium van het yttrium worden gescheiden. De belangrijkste stap in het nieuwe proces is de omzetting van Eu^{3+} in Eu^{2+} .

2 Welk type reactie treedt daarbij op? Licht je antwoord toe.

3 Geef de (half)reactie van deze omzetting.

4 Leg uit waardoor deze reactie kan verlopen.

In een volgende stap wordt ammoniumsulfaat aan de oplossing toegevoegd.

5 Geef de oplosvergelijking van ammoniumsulfaat.

6 Geef de vergelijking van de neerslagreactie die daarna plaatsvindt.

7 Hoe hoog is het rendement van het nieuwe proces? Licht je antwoord toe.

Europium slaat neer

- 1 Europium is geen edelmetaal dus zal altijd als metaalion voorkomen in een zout.
- 2 Redoxreactie want de lading verandert.
- 3 $\text{Eu}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Eu}^{2+}$.
- 4 Energieopname bij een bepaalde golflengte.
- 5 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{NH}_4^+ + \text{SO}_4^{2-}$.
- 6 $\text{Eu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{EuSO}_4$.
- 7 Er slaat 90% van het Eu^{2+} neer, dus rendement is 90%.

WATERSTOF UIT WINDENERGIE

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-producten
Trefwoorden	Berekening, elektrolyse, reactievergelijking, groen
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

<http://www.technischweekblad.nl>, 17 juli 2015

Waterstof uit windenergie



Door: Rijkert Knoppers

Na tientallen jaren onderzoek heeft het Duitse gasbedrijf Linde bij energiepark Mainz een wind-to-hydrogen elektrolyse-installatie in gebruik genomen.

De installatie, die geleverd is door Siemens, is met een vermogen van 6 MW de grootste in zijn soort ter wereld.

De benodigde elektriciteit voor de waterstofproductie is afkomstig van nabijgelegen windturbines.

De installatie zal naar verwachting minstens 200 ton waterstof per jaar produceren. Dit zou genoeg zijn voor 2.000 waterstofauto's per jaar, uitgaande van een verbruik van 1 kg waterstof per 100 km en een geschat aantal afgelegde kilometers van 10.000 km per jaar.

Windenergie als wind opslaan is niet mogelijk, wel als waterstofgas.

- 1 Leg uit waarom men windenergie opslaat in de vorm van waterstofgas.
- 2 Welke energie-omzetting vindt hierbij plaats?

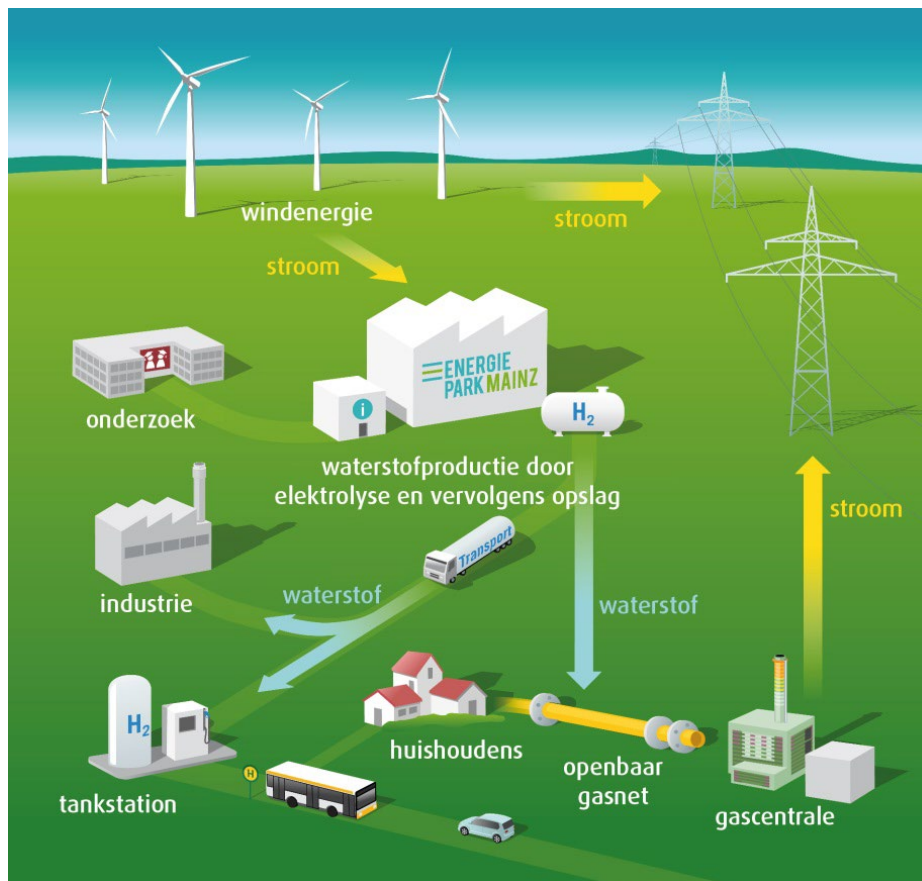
De windenergie wordt gebruikt voor de elektrolyse van water, waarbij onder andere waterstof ontstaat.

- 3 Leg uit of elektrolyse een endotherm of exotherm proces is.
- 4 Geef de reactievergelijking voor de elektrolyse van water.

De massaverhouding water : waterstof : zuurstof = 9 : 1 : 8.

- 5 Bereken hoeveel kg water nodig is om 200 ton waterstof per jaar te produceren (1 ton komt overeen met 1000 kg).
- 6 Leg uit waar jij bij voorkeur de fabriek met de elektrolyse-opstelling zou bouwen.

In een ander artikel over dit onderwerp staat de schematische tekening van figuur 1.



Figuur 1 De kringloop rond het Energiepark Mainz

Bron: <https://www.deingenieur.nl/artikel/groene-waterstofproductie-in-mainz>

In de schematische tekening (figuur 1) staat weergegeven op welke gebieden men de geproduceerde waterstof wil gaan inzetten.

- 7 Noteer op welke vier manieren men de geproduceerde waterstof wil gaan inzetten.

Bij de productie van waterstof ontstaat ook zuurstof.

- 8 Bereken hoeveel ton zuurstof er naast de productie van 200 ton waterstof ontstaat.

In andere publicaties over de opening van de nieuwe fabriek lees je ook wel de uitspraak “de gevormde zuurstof is afval”.

9 Licht deze uitspraak toe.

Groene waterstofproductie in Mainz

(....)

De waterstof wordt verkocht met een groen certificaat. ‘We hopen hiermee een nieuwe markt aan te boren’, zegt Christoph Stiller van Linde. Hij denkt onder meer aan de verschillende projecten in Duitse steden met stadsbussen die op waterstof rijden. Waterstofauto’s zijn er in Duitsland nog nauwelijks.

De elektrolyse gebeurt met een efficiency van 60 tot 65 %, ruim een derde van de duurzame energie gaat er dus mee verloren. Het waterstof weer gebruiken om elektriciteit te produceren noemt Stiller niet verstandig. ‘Daarmee zou opnieuw flink wat energie verloren gaan.’ Hij ziet het meest in de toepassing in het transport. ‘Een stadsbus of een auto rijdt op waterstof veel efficiënter dan op diesel.

(.....)

Bron: <https://www.deingenieur.nl/artikel/groene-waterstofproductie-in-mainz>, 6 juli 2015

10 Leg uit waarom het bedrijf Linde de waterstof kan verkopen met een “groen certificaat”.

Bij de elektrolyse gaat ruim een derde van de duurzame energie verloren. Desondanks wil men de waterstof toch produceren en met name toepassen in de transportsector.

11 Leg uit waarom men daar ondanks het verlies van duurzame energie toch kiest voor het gebruik van waterstof.

Waterstof uit windenergie

- 1 De overschotten van windenergie kunnen zo worden opgeslagen voor later gebruik en op deze manier wordt overbelasting van elektriciteitsnetten voorkomen.
- 2 Bewegingsenergie in chemische energie
- 3 Endotherm proces, je stopt er energie in (hier afkomstig van de windmolens).
- 4 $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$
- 5 Massaverhouding water : waterstof = 9 : 1 ofwel 1800 : 200. Dus voor de productie van 200 ton waterstof is 1800 ton water (= $1,8 \cdot 10^6$ kg) per jaar nodig (ofwel ongeveer 1800 m³ water per jaar).
- 6 Bij voorkeur waar het hele jaar veel windenergie te winnen valt.
- 7 Voor de industrie, voor transport (vrachtauto's, bussen, auto's), voor huishoudens, voor energieopwekking
- 8 Massaverhouding waterstof : zuurstof = 1 : 8. Dus bij 200 ton waterstof ontstaat 8 x 200 ton zuurstof = 1600 ton (ofwel $1,6 \cdot 10^6$ kg).
- 9 Men bespreekt in het artikel geen toepassingen voor de geproduceerde zuurstof. Maar men zal die waarschijnlijk niet zomaar de lucht in laten gaan. Het elektrolyseproces is rendabeler als men ook de geproduceerde zuurstof kan gebruiken/verkopen.
- 10 De waterstof wordt gemaakt met behulp van windenergie, een duurzame energiebron.
- 11 Door in de transportsector gebruik te maken van een efficiënter proces maak je een deel van het efficiency-verlies bij de elektrolyse weer goed. Om energie-efficiency te vergelijken moet je altijd naar de hele keten kijken, en niet alleen naareen afzonderlijk onderdeel.

Origineel artikel

<http://www.technischweekblad.nl/nieuws/waterstof-uit-windenergie/item7706>

ENZYMCOCKTAIL KRAAKT BIOMASSA

Klas	5hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Biochemie
Trefwoorden	Enzymen, biomassa, glucose, xylose
Vaardigheidsvraag	informatiebegripsvraag

C2W, 8 mei 2015

ENZYMCOCKTAIL KRAAKT BIOMASSA

Waterstofproductie uit glucose en xylose in vitro.

Met losse enzymen in een beker-glas kun je waterstof vrijmaken uit de C₅- én de C₆-suikers in plantenresten. Dat is een wereldprimeur, claimen Percival Zhang en collega's van Virginia Tech in *PNAS*. Twee jaar geleden presenteerden ze een eerste prototype dat alleen xylose verteerde. Met nog meer enzymen, in totaal een stuk of vijftien, zet de huidige variant cellulose om in glucose (C₆) en hemicellulose (xylan) in xylose (C₅). Daarna breekt hij beide suikers af tot H₂ en CO₂. Met bacteriën of gisten is dat nog altijd een uitdaging, want die verteren gewoonlijk alleen C₅ óf C₆. Bovendien raak je geen H₂ kwijt aan de eigen behoef-

tes van die cellen, en bubbelt het vanzelf de reactor uit.

Wellicht biedt dit soort in vitro *metabolic engineering* een oplossing voor de logistieke problemen met waterstof. Zonder levende cellen wordt zo'n gasgenerator simpel en robuust genoeg voor decentrale opstelling, ergens waar biomassa groeit en gas nodig is. Zhang droomt zelfs hardop van inbouw in auto's, maar dat lijkt wat prematuur. Mede dankzij een kinetisch model dat de enzymen-mengverhouding optimaliseert, haalt hij 54 mmol H₂ per liter reactorvolume en per uur. Dat is 67 keer zoveel als toen hij begon, maar voor een auto nog wat weinig. (AD)

Een titel moet opvallen maar of het helemaal juist is wat er staat, is niet altijd zeker.

- 1 Wat versta je onder 'het' kraakproces?
- 2 Wat wordt in deze titel bedoeld met kraken?

In het nieuwe proces worden enzymen toegevoegd aan plantenresten.

- 3 Wat is de functie van een enzym?
- 4 Waarom wordt een cocktail van enzymen gebruikt?

De tweede stap in het proces is de omzetting van glucose en xylose in waterstof en koolstofdioxide.

- 5 Leg uit dat bij deze omzetting ook zuurstof betrokken moet zijn.
- 6 Geef de optredende reacties met glucose en xylose weer in reactievergelijkingen.

Onderzoeker Zhang gebruikte een in vitro gasgenerator, dus een gasgenerator zonder levende cellen.

- 7 Bereken de snelheid van de waterstofgasontwikkeling in de huidige generator in mol per reactorvolume per seconde (mol L⁻¹ s⁻¹).

Het volume van één mol gas onder standaard omstandigheden is 22,4 L.

- 8 Bereken hoeveel L waterstofgas onder standaardomstandigheden in een reactor van 10 L wordt gevormd in 1,0 seconde.
- 9 Ben je het eens met de uitspraak in het artikel “maar voor een auto wat weinig”?

Enzymcocktail kraakt biomassa

- 1 Met 'het' kraakproces worden reacties bedoeld waarbij door sterke verhitting grote koolwaterstofmoleculen omgezet worden in kleinere alkanen + alkenen.
- 2 Hier wordt met kraken bedoeld de afbraak van glucose en xylose uit plantenresten bij de vorming van waterstof en koolstofdioxide.
- 3 Enzymen zijn bio-katalysatoren: ze versnellen de afbraak van organische stoffen.
- 4 Elke organische stof heeft zijn eigen enzym nodig om omgezet te kunnen worden; enzymen zijn reactie-specifiek.
- 5 Glucose bevat evenveel atomen C als O. In CO₂ heb je twee keer zoveel atomen O als C, dus moet er O toegevoerd worden (bijvoorbeeld in de vorm van luchtzuurstof).
- 6 Glucose: $C_6H_{12}O_6 + 3 O_2 \rightarrow 6 H_2 + 6 CO_2$. Xylose: $2 C_5H_{10}O_5 + 5 O_2 \rightarrow 10 H_2 + 10 CO_2$.
- 7 Er ontstaat 54 mmol H₂ per L per uur, dus $s = 54 \cdot 10^{-3} / 3600 = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$.
- 8 Er ontstaat in 10 L reactorvolume per seconde: $10 \times 1,5 \cdot 10^{-5} \times 22,4 = 0,0034 \text{ L} = 3,4 \text{ mL}$ waterstof.
- 9 Ja!

VARIATIES OP CARBID

Klas	4,5 v
Subdomein	Deeltjesmodellen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Structuurformules, Lewis structuren, octetregel
Trefwoorden	Carbides, elektronenstructuurformules
Vaardigheidsvraag	Informatiebewerkingsvraag

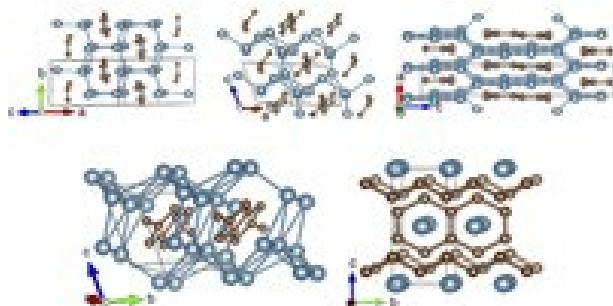
www.c2w.nl, 19 juni 2015

Variaties op carbid

Op papier bestaan zeven calciumcarbides, in de praktijk vier

Arjen Dijkgraaf

In theorie kun je minstens zeven soorten calciumcarbide maken en in de praktijk minstens vier. Mits je temperatuur en druk voldoende opvoert, schrijft de Russische onderzoeker Artem Oganov in *Nature Communications*.



Enkele mogelijkheden (calcium blauw, koolstof bruin)

Tot nu toe stond de teller op twee: het klassieke CaC_2 oftewel carbid, en het exotische CaC_6 , een zogeheten *graphite intercalation compound* (GIC) met supergeleidende eigenschappen.

Zo'n GIC ziet er op atomaire schaal eigenlijk uit als een netwerk van koolstof-koolstofbindingen met hier en daar een calciumion tussen de koolstof geklemd, en dat doet al vermoeden dat één calcium op zes koolstof niet de enige mogelijke mengverhouding is.

Met behulp van het USPEX-computeralgoritme heeft Oganov nu een aantal andere verhoudingen doorgerekend, om te zien of ze onder bepaalde condities stabiel zouden kunnen zijn. Hij vond er vijf: Ca_5C_2 , Ca_2C , Ca_3C_2 , CaC en Ca_2C_3 .

(...)

Door calcium en koolstof samen te persen tussen twee diamanten, heeft Oganov twee vormen daadwerkelijk weten te maken. Met röntgenkristallografie, gevoed door een synchrotron, zag hij bij 10 GPa en 2.000 K de structuur van Ca_2C_3 ontstaan. Bij 22 GPa en een onbekende temperatuur, bereikt door er een laserstraal op te zetten, vormde zich Ca_2C . De overige drie bleven buiten bereik omdat de proefopstelling niet meer dan 25 GPa kon halen.

Mocht het ooit lukken er meer van te synthetiseren en ze in metastabiele toestand te bewaren onder normale omstandigheden, dan vermoedt Oganov dat er wel toepassingen voor zijn te vinden. Met name Ca_2C is op papier een interessante reductor.

bron: *Moscow Institute of Physics and Technology*

De Russische onderzoeker Artem Oganov heeft met behulp van computerberekeningen gevonden dat er meer calciumcarbides mogelijk zijn dan de twee die tot nu toe bekend zijn.

In onderstaande tabel staan zeven mogelijke carbides weergegeven.

<i>Carbide</i>	<i>In praktijk gemaakt</i>	<i>lading</i>	<i>Structuurformule</i>
CaC_2		C_2	
CaC_6		C_6	
Ca_5C_2		C_2	
Ca_2C		C	
Ca_3C_2		C_2	
CaC		C	
Ca_2C_3		C_3	

- 1 Neem de tabel over en geef in de kolom “in praktijk gemaakt” met een + aan welke zijn gemaakt en met een – welke zijn aangetoond met een computerberekening.
- 2 Noteer voor de twee carbides die Oganov zelf in de praktijk gemaakt heeft de reactievergelijking.

De calciumionen hebben in de carbides de lading 2+.

- 3 Geef, in de kolom ‘lading’ in de tabel, voor elk carbide aan wat de lading van het aanwezige “carbide-ion” is.
- 4 Teken, indien mogelijk, voor elk “carbide-ion” een elektronenstructuurformule die aan de theoretische regels voldoet.

Voor het carbide met de verhoudingsformule CaC blijkt de formule Ca_4C_4 te zijn. Met zijn berekeningen voorspelt Aganov dat het C_4^{8-} ion zowel een lineaire structuur kan hebben als een ringvorm.

- 5 Teken voor beide mogelijkheden een of meer elektronenstructuurformules.

Calciumcarbide met de formule CaC_2 is al lang bekend en wordt bij voorkeur toegepast bij melkbusschieten. Men laat dan calciumcarbide reageren water waarbij onder andere het gas ethyn ontstaat. Door het gas te ontsteken, knalt de deksel van de melkbus af.

- 6 Leg uit of je binnen afzienbare toekomst toepassingen voor de nieuwe carbides verwacht.

Variaties op carbid

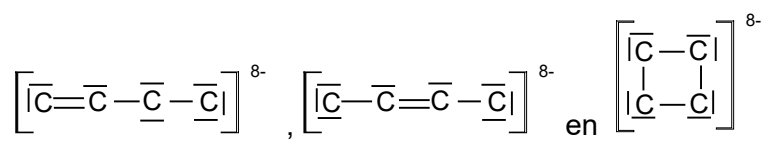
Carbide	In praktijk gemaakt	lading	Structuurformule
CaC_2	+	C_2^{2-}	$[\text{C}\equiv\text{C}]^{2-}$
CaC_6	+	C_6^{2-}	$[\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}]^{2-}$
Ca_5C_2	-	C_2^{10-}	$[\text{C}\equiv\text{C}]^{10-}$ theoretisch niet mogelijk
Ca_2C	+	C^{4-}	$[\text{C}]^{4-}$
Ca_3C_2	-	C_2^{6-}	$[\text{C}-\text{C}]^{6-}$
CaC	-	C^{2-}	$\cdot\text{C}\cdot^{2-}$
Ca_2C_3	+	C_3^{4-}	$[\text{C}=\text{C}=\text{C}]^{4-}$

1 Zie tabel

2 $2 \text{ Ca} + \text{C} \rightarrow \text{Ca}_2\text{C}$; $2 \text{ Ca} + 3 \text{ C} \rightarrow \text{Ca}_2\text{C}_3$

3/4 Zie tabel

5



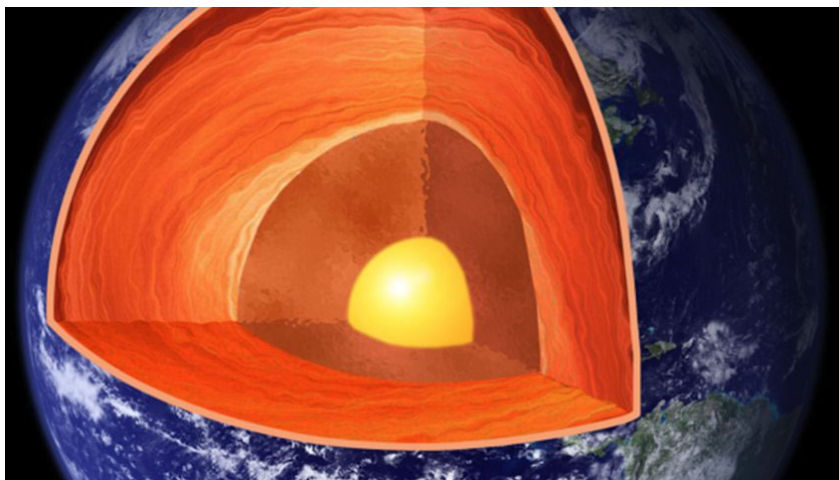
6 Nee, want het zal eerst al moeilijk zijn vanwege de extreme omstandigheden waaronder de nieuwe carbides gemaakt moeten worden, om er voldoende van te maken.

DE KERN VAN DE AARDE BEVAT 90 % VAN AL HET ZWAVEL OP AARDE

Klas	4 hv
Subdomein	Deeltjesmodellen; bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie, Onderzoek
Specificaties	Stofeigenschappen, relatie met onderzoek
Trefwoorden	Isotopen, aardkorst, aardkern,
Vaardigheidsvraag	Conclusievraag,

www.scientias.nl, 17 juni 2015

Kern van de aarde bevat 90% van al het zwavel op aarde



De kern van de aarde bevat 8.500.000.000.000.000.000 ton zwavel. Dit beweren wetenschappers in een paper in het wetenschappelijke blad *Geochemical Perspectives Letters*. Als dit klopt, dan bevindt 90% van al het zwavel op aarde zich in de kern.

Het is lastig om de kern van de aarde te onderzoeken, omdat de kern op een diepte van 2900 kilometer begint. Toch zijn er indirecte manieren om te achterhalen hoe het binnenste van onze planeet eruitziet. Wetenschappers hebben de verdeling van koperisotopen in meteorieten vergeleken met de verdeling in stenen in de mantel van de aarde. Koper bindt zich vaak aan zwavel, dus de aanwezigheid van koper verradert dat er ook zwavel te vinden is. Het koper in de mantel weegt 0,025% meer dan het koper in de meteorieten. Waar zijn de lichte koperisotopen gebleven?

In het paper beweren wetenschappers dat lichte koperisotopen na het ontstaan van de aarde zijn afgedaald naar de kern van de aarde, waar het koper – samen met zwavel, zuurstof en ijzer – een dikke laag vormde. Deze laag is vele kilometers dik en bevat 8,5 triljoen ton zwavel.

“Dit is een duidelijk bewijs dat vloeibaar zwavel miljarden jaren geleden naar de kern van de aarde zonk”, vertelt onderzoeker Paul Savage van de universiteit van Durham. “In de kern bevindt zich 8,5 triljoen ton zwavel, dat is ongeveer 10% van het totale gewicht van de maan.”

“Het is belangrijk om te weten uit welke materialen de kern van de aarde bestaat”, zegt professor Graham Pearson van de universiteit van Alberta “Dankzij deze gegevens leren we hoe de aarde is ontstaan.”

Een nieuw idee over de aarde: de kern bevat heel veel zwavel.

In het artikel is gegeven hoeveel ton zwavel de kern van de aarde bevat.

- 1 Schrijf dit getal als een macht van 10 met 2 significante cijfers.
- 2 Leg uit waarom dit getal zo geschreven de nauwkeurigheid beter aangeeft dan het getal helemaal uitgeschreven zoals het in het begin van het artikel staat genoemd.
- 3 Bereken hoeveel ton zwavel de gehele aarde bevat.

Tijdens het ontstaan van de aarde is er uit gesmolten gesteente een kern en een mantel gevormd. Grote delen van de mantel bestaan uit silicaatgesteenten. Over de binnenkant is veel minder bekend. Door indirecte metingen kunnen wel conclusies worden getrokken over de samenstelling van de kern.

- 4 Bedenk twee manieren, buiten degene genoemd in dit artikel, waarmee informatie over de samenstelling van de kern kan worden verkregen.

'Koper bindt zich vaak aan zwavel' staat in het artikel.

- 5 Geef de formules van drie voorbeelden van koper-zwavel verbindingen.

Bij het onderzoek is de verhouding van de koperisotopen in verschillend mantelgesteente zoals lavagesteente geanalyseerd en vergeleken met de verhouding van de koperisotopen in meteorietgesteentes. Algemeen wordt aangenomen dat de aarde ontstaan is uit meteorieten. Hieruit blijkt dat er uit de gesteenten in de aardmantel lichte koperisotopen moeten zijn verdwenen.

- 6 Wat versta je onder isotopen?
- 7 Leg uit waarom het feit dat er 0,025 massa % meer koper in de aardmantel zit dan in de meteorieten betekent dat er lichte isotopen zijn verdwenen.

De gemiddelde dichtheid van de aarde is $5,515 \text{ kg m}^{-3}$. Van de aardmantel is de dichtheid $3,000 \text{ kg m}^{-3}$.

- 8 Leg uit of hieruit volgt dat de lichte isotopen uit de aardmantel kunnen zijn verdwenen met als gevolg de grotere dichtheid van de kern ten opzichte van de mantel.

Tot nu toe was aangenomen dat er zich in de kern van de aarde geen zwavel bevond omdat zwavel een element is met een lage atoommassa en een laag kookpunt.

- 9 Geef de redenering die de onderzoekers hebben gegeven om aan te tonen dat er zich wel zwavel in de kern moet bevinden.

De kern van de aarde bevat 90 % van al het zwavel op aarde

- 1 $8,5 \cdot 10^{18}$
- 2 Volgens het artikel zou er een significantie van 19 cijfers zijn. Dus een nauwkeurigheid op 500 kg. Op deze hoeveelheden is dat onmogelijk.
- 3 $10/9 \times 8,5 \cdot 10^{18} = 9,4 \cdot 10^{18}$ ton zwavel
- 4 Bij voorbeeld: vulkaanactiviteiten, zwaartekracht, magnetische velden, seismische golven.
- 5 CuS, Cu₂S, CuSO₄.
- 6 Isotopen zijn atomen met in de kern hetzelfde aantal protonen en een verschillend aantal neutronen of met hetzelfde atoomnummer, maar een verschillend massagetal.
- 7 Er zit meer koper in de gesteentes uit de aardmantel, terwijl je hetzelfde hoeveelheid koper zou verwachten. Dan moet er een verschil zijn in de verhouding van de isotopen. Er zijn twee isotopen bekend van Cu die in de natuur voorkomen: Cu-63 en Cu-65. Dan moeten er van Cu-63 atomen verdwenen zijn, zodat er meer Cu-65 is overgebleven en het massapercentage is toegenomen.
- 8 De scheiding in kern en mantel is ontstaan toen de aarde bestond uit één vloeibare bol. Je zou verwachten dat de deeltjes met grotere massa naar de kern zijn afgedaald. Dus de grotere dichtheid van de kern kan geen verklaring zijn, want het zijn juist de lichtere isotopen die 'afgedaald' zijn
- 9 De waarneming dat er koper is verdwenen uit de mantel, is vergeleken met de samenstelling van meteorieten waaruit de aarde oorspronkelijk is ontstaan. Koper maakt verbindingen met zwavel. Het koper is afgedaald naar de kern, samen met het zwavel. Er moet zich dus zwavel in de kern bevinden.

MEMBRAANLOOS WATER SPLITSSEN

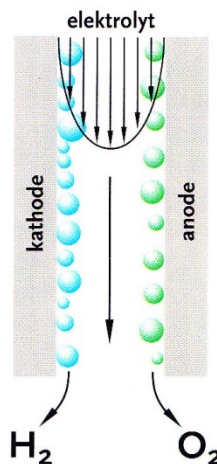
Klas	5hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Elektrolyse
Trefwoorden	Water; membraan, elektrolyse, opschaling. Corrosie, pH
Vaardigheidsvraag	informatiebegripsvraag

C2W, 8 mei 2015

MEMBRAANLOOS WATER SPLITSSEN

In Lausanne is een elektrolysecel uitgevonden die water splitst zonder membraan. Vloeistofdynamica houdt de waterstof en de zuurstof uit elkaar, schrijven Demetri Psaltis en collega's van de EPFL in *Energy & Environmental Science*. Ze maken gebruik van het Segré-Silberbergeffect: bij laminaire stroming door een nauwe spleet tussen twee platen worden deeltjes in de vloeistof tegen de dichtstbijzijnde plaat gedrukt. Die platen zijn hier de elektrodes, de vloeistof is water en de deeltjes zijn H_2 - en O_2 -belletjes. Bij het uitstroompunt vang je de gassen elk aan hun eigen kant op. Het werkt alleen in een nauwkeurig ingestelde microreactor, en de opschaling wordt ongetwijfeld een uitdaging. Maar je bent af van de beperkingen van het scheidingsmembraan en dat betekent onder meer dat

je je elektrodes voortaan kunt maken van goedkope, onedele metalen. Ter bescherming tegen corrosie kun je je water immers bufferen op een pH die voor de gebruikelijke Nafion-membranen veel te hoog is. Psaltis zegt zo water te kunnen splitsen bij een stroomdichtheid van 300 mA/cm^2 , met een energisch rendement van 42 %. Daarbij is de lekkage van waterstof naar de zuurstofkant te gering voor explosiegevaar. (AD)



Poiseuillestroming schept de condities voor het Segré-Silberbergeffect.

In Lausanne is een nieuw type elektrolysecel uitgevonden dat werkt zonder membraan.

- 1 Wat is elektrolyse voor soort proces?
- 2 Geef de reactievergelijking van de elektrolyse van water.

In de nieuwe cel worden watermoleculen tegen de beide platen gedrukt.

- 3 Noteer de halfreacties die daarna aan beide platen plaatsvinden.
- 4 Wat is het resultaat van het Segré-Silberbergeffect?

Je kunt in dit proces goedkope elektrodes van onedele metalen gebruiken want je kunt het water bufferen ter bescherming van de metalen tegen corrosie.

- 5 Leg uit of dit bufferen dan bij hoge of bij lage pH moet plaatsvinden.

Explosiegevaar is bij de nieuwe cel vrijwel uitgesloten.

- 6 Over welke explosie praat men dan?

Het proces werkt prima bij gebruik van een minireactor; opschaling wordt een uitdaging.

- 7 Leg uit wat bedoeld wordt met die uitdaging.

Membraanloos water splitsen

- 1 Elektrolyse is een ontledingsreactie door middel van elektriciteit.
- 2 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 3 Positieve elektrode: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$.
Negatieve elektrode: $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$.
- 4 Dat de gevormde gasbelletjes tegen de plaat, waar ze zijn ontstaan, gedrukt worden.
- 5 Bij een lage pH reageert H^+ als veel sterkere oxidator en zal het corrosieproces sneller plaatsvinden. Je moet dus een hoge pH kiezen.
- 6 De explosie van een mengsel van waterstof en zuurstof.
- 7 Opschaling betekent dat het proces in steeds grotere apparatuur (reactievaten) uitgevoerd wordt totdat het uiteindelijk de schaal van een fabrieksproces heeft bereikt.