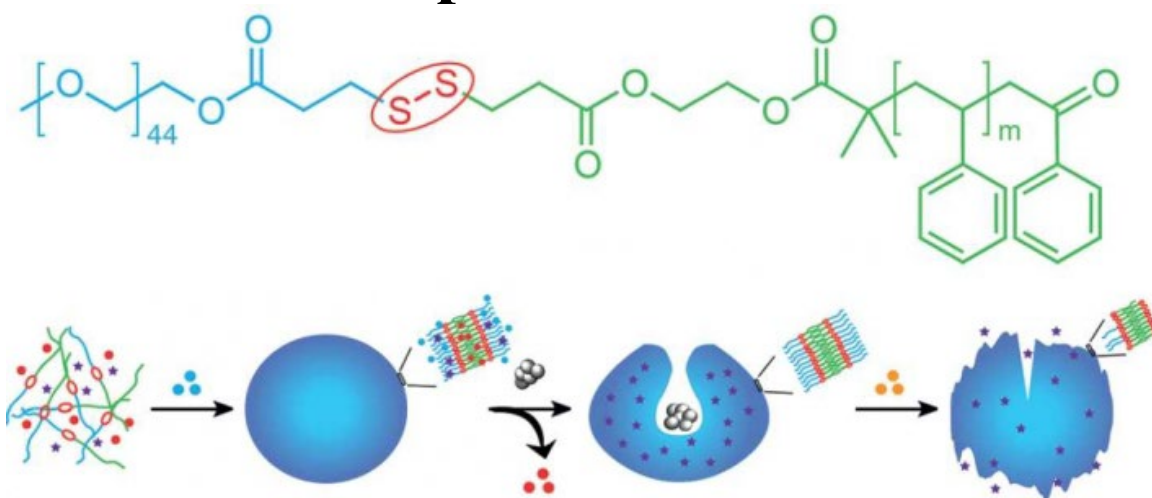


NANORAKET ONTPLOFT IN TUMOR

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Redoxreacties
Trefwoorden	Nanoraket, waterstofperoxide, katalysator, hydrofiel, hydrofoob
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 30 juni 2017

Nanoraket ontploft in tumor



Het nieuwste Nijmeegse nanoraketje valt vanzelf uit elkaar zodra het een tumor heeft getroffen. Voor het eerst kun je er zo daadwerkelijk chemo mee afleveren, schrijven Daniela Wilson en collega's in *Angewandte Chemie*.

Hun raketje, bedoeld om door de bloedbaan te bewegen, bouwt voort op eerdere modellen waarvan het oudste werd gepresenteerd in 2012. Het heeft de vorm van een kom vol platina nanodeeltjes. Het idee is dat waterstofperoxide uit het bloed de kom in diffundeert en daar katalytisch wordt ontleed door het platina. Daarbij ontstaat gasvormige zuurstof, die uit de kom spuit en die zo de andere kant op drukt.

Het idee daarbij is dat normale cellen niet of nauwelijks waterstofperoxide produceren, maar tumorcellen iets meer. Hoe dichter de raketjes bij een tumor komen, hoe groter hun snelheid wordt, en de hoop is dat ze vervolgens hard genoeg tegen tumorcelwanden op knallen om door die cellen te worden opgenomen.

De raketjes zelf lijken qua constructie op zo'n celmembraan. Ze zijn opgebouwd uit moleculen met een hydrofiele kop van polyethyleenglycol en een hydrofobe staart van polystyreen. Net als celmembraan-lipiden vormen ze door zelfassemblage holle bolletjes met een dubbele wand. Deze zogeheten polymersomen kun je vullen met een combinatie van chemotherapie en een oplosmiddel; vervolgens maak je er kommetjes ('stomatocyten') van door het oplosmiddel er uit te zuigen.

Het enige probleem was tot nu toe dat die kommetjes niet biologisch afbreekbaar zijn, zodat de chemo opgesloten blijft tussen de wanden en niets doet.

In raketmodel 2017 is dit opgelost door tussen polyethyleenglycol en polystyreen een disulfidebinding te monteren, dus S-S. Die is redoxgevoelig: onder invloed van reductoren valt hij uit elkaar. En die reductoren zijn in een levende cel van nature aanwezig in de vorm van glutathion, een tripeptide dat dient als antioxidant.

Die glutathion blijkt diep genoeg in de stomatocytwand te kunnen dringen om de disulfidebinding te bereiken en die te slopen. Uiteindelijk valt hierdoor de hele nanoraket uit elkaar, zodat de chemo er uit kan. Bijkomend voordeel is dat de thiolgroep in glutathion de platinakatalysator vergiftigt, zodat de raketmotor het ook niet meer doet.

De eerste proeven met een HeLa-celkweekje doen vermoeden dat het nog werkt ook. Wat er gebeurt in een menselijke patiënt, is afwachten.

bron: Angewandte Chemie, Phys.org

Met een nanoraketje wil men een medicijn voor chemotherapie door de bloedbaan vervoeren. Het nieuwste Nijmeegse nanoraketje valt uiteen zodra het een tumorcel heeft getroffen.

1 Waarom is dat uiteenvallen belangrijk?

Het principe van de 'aanval' berust op de ontleding van waterstofperoxide in water en zuurstof.

2 Geef de vergelijking van deze ontledingsreactie.

3 Waarom gebruikt men een katalysator?

4 Leg uit dat de beschrijving 'actie-reactie' hierbij van toepassing is.

5 Leg uit waarom de beschreven reactie voornamelijk plaatsvindt in de buurt van de tumorcellen.

Het grote probleem was tot nu toe dat de chemostoffen hun werk niet konden uitvoeren.

6 Leg uit waarom de chemostoffen hun werk niet konden uitvoeren.

7 Hoe hebben de onderzoekers dat opgelost?

De bouwstenen van de raketjes bevatten een hydrofiele kop en een hydrofobe staart. Hun opbouw is in het artikel getekend.

8 Leg aan de hand van de structuurformule in het artikel uit dat de aanduiding 'kop' in hydrofiele kop niet helemaal juist is.

9 Welk deel van de bouwstenen van het raketje steekt naar buiten? Licht je antwoord toe. Bedenk hoe de raketjes in je lichaam getransporteerd worden.

De formule van de gehele bouwsteen kun je vereenvoudigd weergeven als $R_1-S-S-R_2$. De disulfidebinding is redoxgevoelig.

10 Geef de halfreactie in zuur milieu waarbij de disulfidebinding overgaat in SH-groepen.

Nanoraket ontploft in tumor

- 1 Bij het uiteenvallen komen de chemostoffen vrij en kunnen dan hun werk verrichten.
- 2 $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 3 Men wil in zeer korte tijd een flinke hoeveelheid zuurstofgas hebben.
- 4 De gevormde zuurstof wordt uitgeperst waardoor de raket de andere kant uit geduwd wordt.
- 5 Alleen in de buurt van de tumorcellen is voldoende waterstofperoxide voorhanden.
- 6 De chemostoffen zaten opgesloten in de raketjes en konden zo hun werk niet uitvoeren.
- 7 Ze hebben in de celwand van de raketjes een disulfidebinding (dizwavelbinding) aangebracht die uiteen kan vallen (en daarmee ook het raketje) waardoor de chemostoffen vrijkomen en hun werk kunnen gaan verrichten.
- 8 De hydrofiele kop bestaat uit 44 eenheden dus veel meer dan een kop.
- 9 De hydrofiele kop want het raketje wordt via het bloed getransporteerd.
- 10 $\text{R}_1\text{-S-S-R}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{R}_1\text{-SH} + \text{HS-R}_2$.

EEN TANK VOL LUIERS

Klas	3 hv
Subdomein	Industriële chemie en Groene Chemie, Duurzaamheid
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Ontwikkeling nieuwe toepassingen, duurzaamheid
Trefwoorden	Luiers recycleren, vergisten, blokschema
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

www.nemokennislink.nl, 24 juli 2017

Een tank vol luiers



Auteur: Renée Moezelaar

Volle luiers lijken niet echt een bron van nuttige grondstoffen, maar afvalenergiecentrale ARN in Weurt bewijst het tegendeel. Met een grote tank willen ze vanaf volgend jaar 27 duizend ton luiers per jaar om gaan zetten in plastic en methaan.

Plastic flessen leveren we weer in bij de supermarkt, papier zetten we aan de straat, tuinafval stoppen we in de groene container en glas gaat netjes in de glasbak. Als het om scheiden van afvalstromen gaat doen we het in Nederland best aardig. En bij veel van deze materialen kun je je wel voorstellen dat we er nog iets anders van maken. Maar kunnen we ook iets met duizenden gebruikte luiers?



Bij ARN willen ze al die luiers graag hebben. Begin volgend jaar hopen ze namelijk klaar te zijn met de bouw van de eerste luierr recyclinginstallatie ter wereld. Luiers bestaan voornamelijk uit kunststof en papier, en met deze installatie wil het bedrijf elk jaar 27 duizend ton vieze luiers omzetten in nuttige bouwstenen: kunststofkorrels en methaan.

Stoom en druk

Het begon allemaal toen adviesbureau Elsinga ARN benaderde of ze geïnteresseerd waren in luierr recycling. Samen met onderzoekers van de Universiteit van Cottbus in Duitsland had dit bureau aangetoond dat je onder hoge druk luiers kunt recycelen met behulp van stoom. "Wij hebben vanuit onze andere installaties veel stoom voorhanden", vertelt Arnoud Rozestraten, projectcoördinator bij ARN. "Dus Elsinga zag in ons een goede partner. Het was een unieke kans."

Inmiddels is de proefopstelling uitgebreid naar een tank van 300 liter waar de luiers in worden gestopt. Vervolgens spuit er onder hoge druk stoom naar binnen. De plastic onderdelen van de luiers smelten terwijl het papier uit elkaar valt en als het ware oplost in het water. De hoge druk rukt de organische stoffen in de poep en urine uit elkaar. Als de hele tank uiteindelijk weer afkoelt hou je twee dingen over: brokken plastic en een bruine slurry (een mengsel van water en deeltjes vaste stof).

Slurry vergisten

De plastic brokken verkoopt ARN aan een fabrikant van plastic bankjes. De slurry gebruiken ze wel: "De waterzuiveringsinstallatie naast ons heeft een grote vergister", vertelt Rozestraten. "De bacteriën in die vergister vinden onze slurry erg lekker, en zetten al die organische materialen om in methaan." Zo maakt de installatie schoon aardgas uit materiaal dat je normaal gesproken in het restafval zou verbranden.

Het concept werkt goed, maar nu moet ARN het nog op een grotere schaal uitvoeren. "We hebben de eerste stap van 20 liter in het lab naar 300 liter in onze demotank al gemaakt", zegt Rozestraten. "Dus we zijn voorzichtig optimistisch dat deze volgende schaalvergroting ook gaat lukken." Wel moeten ze nog kijken of ze bijvoorbeeld de procesduur of afkoeltijd moeten aanpassen. "Die factoren kunnen we gelukkig vrij gemakkelijk regelen."

<https://www.youtube.com/watch?v=6RaAK4KThfw>

"Als het om scheiden van afvalstromen gaat, doen we het in Nederland best aardig.", zegt het artikel. Maar met de vele luiers wordt nog niet veel gedaan.

1 Leg uit waarom tot nu toe niet veel is gedaan met gebruikte luiers.

Ook zegt het artikel: "De hoge druk rukt de organische stoffen in de poep en urine uit elkaar".

2 Leg met behulp van chemische termen uit wat hiermee wordt bedoeld.

3 Leg in je eigen woorden uit wat er tijdens dit proces gebeurt met het plastic uit de luiers.

De slurry die overblijft wordt ook benut. Uit de slurry wordt methaan geproduceerd.

4 Noem alle stoffen die zich in de slurry bevinden.

5 Geef de molecuulformule van methaan.

6 Leg uit waarom het gunstiger is om bij dit proces methaan te winnen dan de luiers naar de vuilverbranding te sturen.

Het proces op laboratoriumschaal heeft bewezen dat het geheel goed werkt.

7 Geef aan waarom het proces eerst opgeschaald moet worden naar een tank van 300 L en dan pas naar een nog grotere reactor.

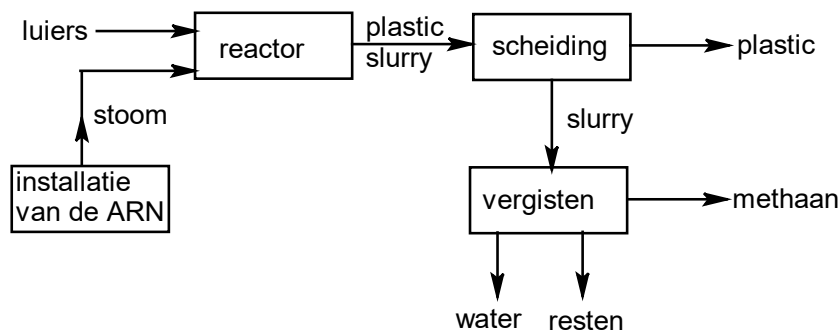
8 Teken het blokschema voor het proces.

9 Noem drie voordelen van het recycelen van luiers

10 Leg uit wat er nog moet gebeuren om de recycling van luiers effectief te laten zijn.

Een tank vol luiers

- 1 De luiers zijn vervuild met urine en poep. Daar moet je ook iets nuttigs mee doen voordat je het materiaal van de luiers kunt recyclen.
- 2 Onder invloed van een hoge druk en hoge temperatuur worden de organische stoffen in urine en poep ontleed.
- 3 Het plastic smelt door de hoge temperatuur. Bij het afkoelen stolt het weer.
- 4 Water, papier, ontledingsproducten van urine en poep.
- 5 $\text{CH}_4(\text{g})$
- 6 Nu maak je uit de organische stoffen door vergisting methaan, dat kan dienen als brandstof of als grondstof voor andere stoffen. Wanneer je de luiers direct verbrandt, heb je “alleen maar” warmte-energie.
- 7 Als je het proces in het groot uitvoert, moet je de concentraties, de temperatuur en de druk weer optimaliseren.
- 8



- 9 Je spaart grondstoffen om nieuw plastic te maken uit. Je produceert methaan die als brandstof en grondstof kan dienen. Daardoor spaar je ook fossiele brandstoffen uit.
- 10 Speciale inzamelplekken voor gebruikte luiers maken.

Opmerking

Zie ook video over recycling luiers ARN: <https://www.youtube.com/watch?v=6RaAK4KThfw>

Artikel: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/een-tank-vol-luiers>

WAAROM HYDROGELBALLETJES STUITEREN IN EEN PAN

Klas	5 hv, 6v
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Macroscopische eigenschappen en structuur
Trefwoorden	Polyacrylamide, crosslinks, water, waterstofbruggen
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

de Volkskrant, 26 juli 2017



Balletjes van polymeer in een koekenpan. © Youtube / IncredibleScience

Van grap en YouTube-hit tot Nature-publicatie: waarom hydrogelballetjes stuiteren in een pan

Recept voor een miljoenenhit op Youtube: neem een handvol hydrogelballetjes uit de plantenwinkel en gooi ze in een droge gloeiende koekenpan. De balletjes beginnen aan een eindeloze stuiterdans. Gillend, alsof het allemaal uiterst pijnlijk is.

Door: Martijn van Calmthout

Een grap, zo lijkt het. En zo begon het ook. Van een Oekraïense rapper en programmeur, die er naar eigen zeggen na het pannenkoekenbakken een vriendinnetje mee wilde imponeren met een instant Youtube-hit. Wat wonderwel lukte: hij had met de vertoning een kleine miljoen views in een week.

De Leidse natuurkundige Scott Waitukaitis heeft er deze week een heuse primeur aan in het wetenschappelijke tijdschrift Nature Physics. Hij ontdekte met collega's een heel nieuw fysisch principe dat de balletjes laat rondstuiteren. Ook het gegil kunnen ze na twee jaar onderzoek verklaren.

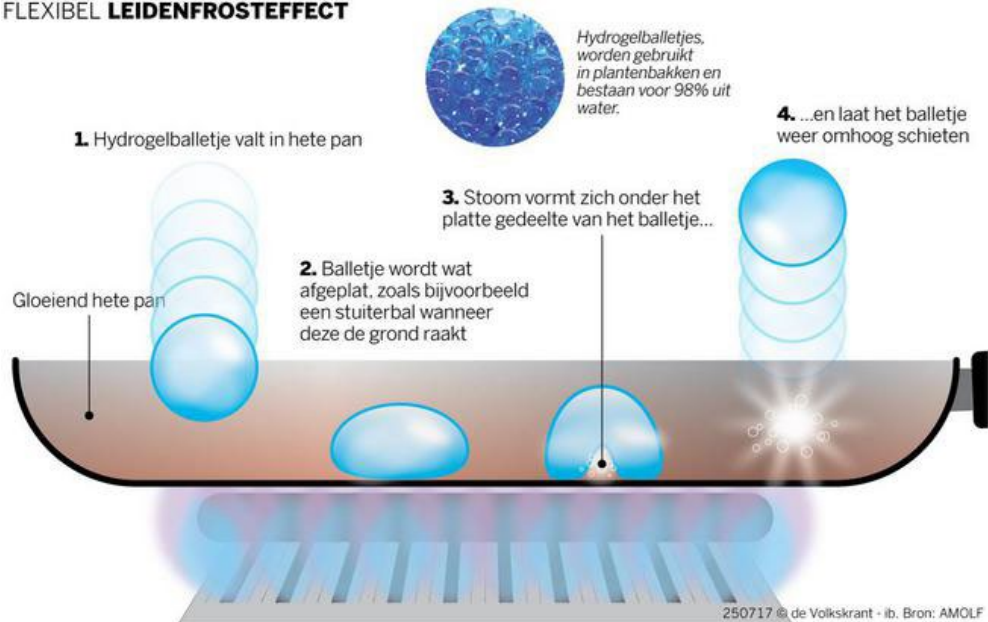
Stoommachine

Waitukaitis: 'Ik zag het filmpje destijds en wilde in de literatuur even opzoeken hoe dat gestuiter werkte. Tot mijn verrassing was er nergens iets over te vinden.' Hij schreef een projectvoorstel voor wetenschapsfinancier NWO, kreeg geld en kon aan de slag in Leiden en bij onderzoeksinstituut Amolf in Amsterdam. Het Nature-artikel van deze week is het eerste resultaat.

De verklaring voor het vreemde stuitergedrag van de gelballetjes is te vinden in de enorme waterinhoud van de balletjes, die voor 98 procent uit water bestaan, gebonden in een gel. Waar een vallend bolletje de hete pan raakt, ontstaat een stombelletje, dat explodeert en het balletje lanceert. Waarna het neerkomt en het hele verhaal opnieuw begint.

Een soort stoommachine uit één stuk, noemen Waitukaitis en zijn collega's het. Het hoge gillende geluid ontstaat door trillingen in het raakvlak tussen de pan en het balletje, bleek ook uit metingen en observaties met hogesnelheidscamera's. Het verschijnsel, zegt Waitukaitis, heeft veel weg van het zogeheten Leidenfrost-effect: het fenomeen dat koude waterdruppels over een heet oppervlak kunnen schaatsen door de plaatselijke vorming van een stoomkussentje. 'Dit is daarvan de elastische variant', zegt hij.

FLEXIBEL LEIDENFROSTEFFECT



Belangrijk voor robotica

Volgens mede-auteur en hoogleraar designer materials in Leiden Martin van Hecke kan de vinding een belangrijke rol gaan spelen in nieuwe vormen van robotica. Daarbij wordt steeds vaker gebruik gemaakt van zachte materialen, bijvoorbeeld hydrogels in grijpers en inktvisachtige tentakels. Nadeel is dat zulke materialen doorgaans traag reageren. Het plaatselijk verhitten zou dat een stuk energiever zuiniger kunnen maken, denkt Van Hecke, die dat met onder meer de universiteit Eindhoven gaat onderzoeken.

Wat als een grap begon, mondde uit in serieus natuurwetenschappelijk onderzoek.

- 1 Noteer de onderzoeksvraag voor dit onderzoek.
- 2 Noteer in je eigen woorden de conclusie van het onderzoek

In het artikel staat: "De verklaring voor het vreemde stuitergedrag van de gelballetjes is te vinden in de enorme waterinhoud van de balletjes, die voor 98 procent uit water bestaan, gebonden in een gel."

Onderzoeker Scott Waitukaitis en zijn collega's lieten hydrogelballetjes, met een gemiddelde massa van 24 mg, maximaal water opnemen. De gemiddelde massa van de met water verzadigde bolletjes is dan 1,75 g.

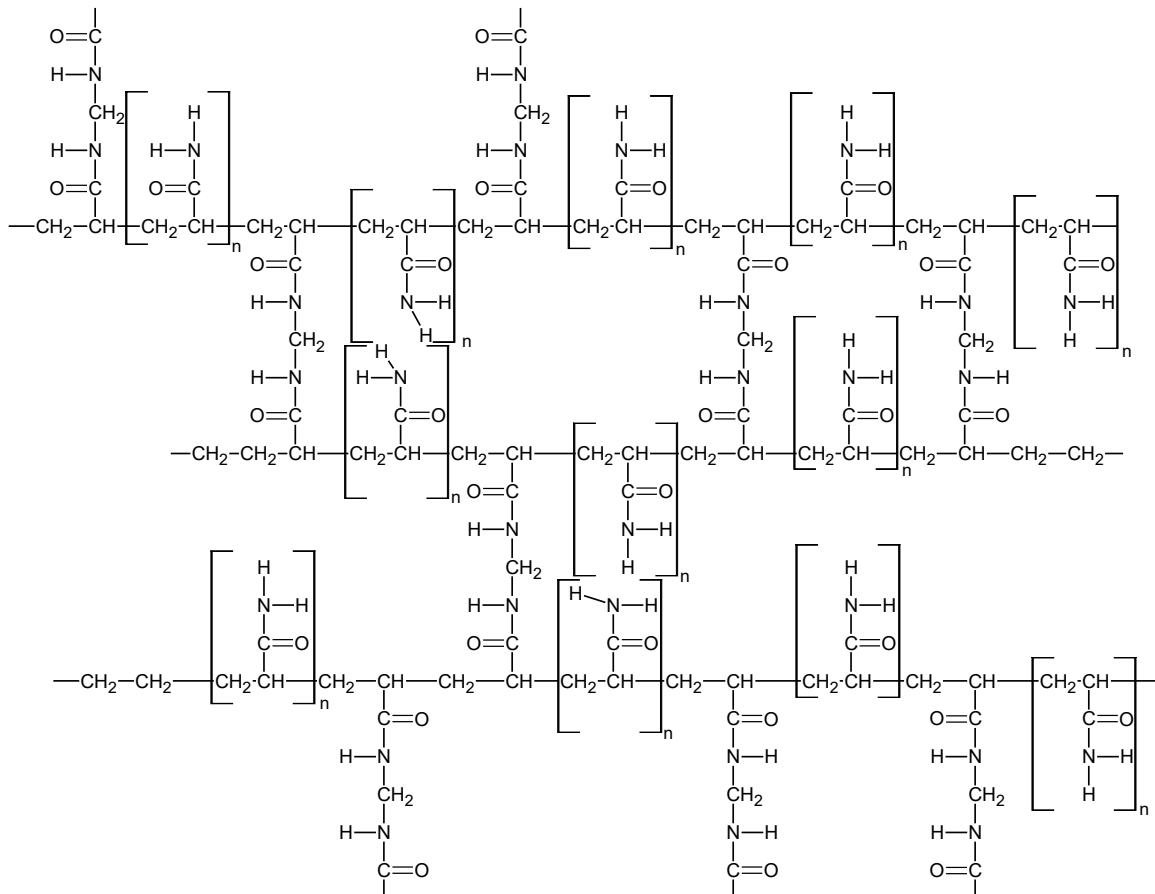
- 3 Bereken hoeveel maal zijn eigen massa het bolletje aan water kan opnemen.

De hydrogelbolletjes ofwel aquaperlas of waterkristallen zijn opgebouwd uit polymeren. De monomeren van het polymeer hebben een molecuulmassa van 71 u.

- 4 Bereken hoeveel watermoleculen per monomeer zijn gebonden wanneer het bolletje maximaal water heeft opgenomen.

Hydrogel

De 'droge' bolletjes (ofwel aquaperlas of waterkristallen) zijn opgebouwd uit een polymeer, bijvoorbeeld een polyacrylamide. Een deel van de structuurformule van het polyacrylamide is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1 Structuur polyacrylamide

- 5 Leg op microniveau uit waardoor dit polymeer goed water kan opnemen. Gebruik in je uitleg de naam van de binding die hiervoor zorgt.
- 6 Geef in de bijlage op microniveau weer hoe de binding tussen de watermoleculen en het polymeer tot stand komt. Teken minimaal 5 watermoleculen, die op verschillende plaatsen hechten aan het netwerkpolymeer.
- 7 Leg op microniveau en op macroniveau uit waardoor bij verwarming door de pan het water vrij kan komen uit de hydrogel.

Het polyacrylamide in figuur 1 is een copolymeer en opgebouwd uit twee verschillende monomeren. Het is een netwerkpolymeer door de aanwezige crosslinks.

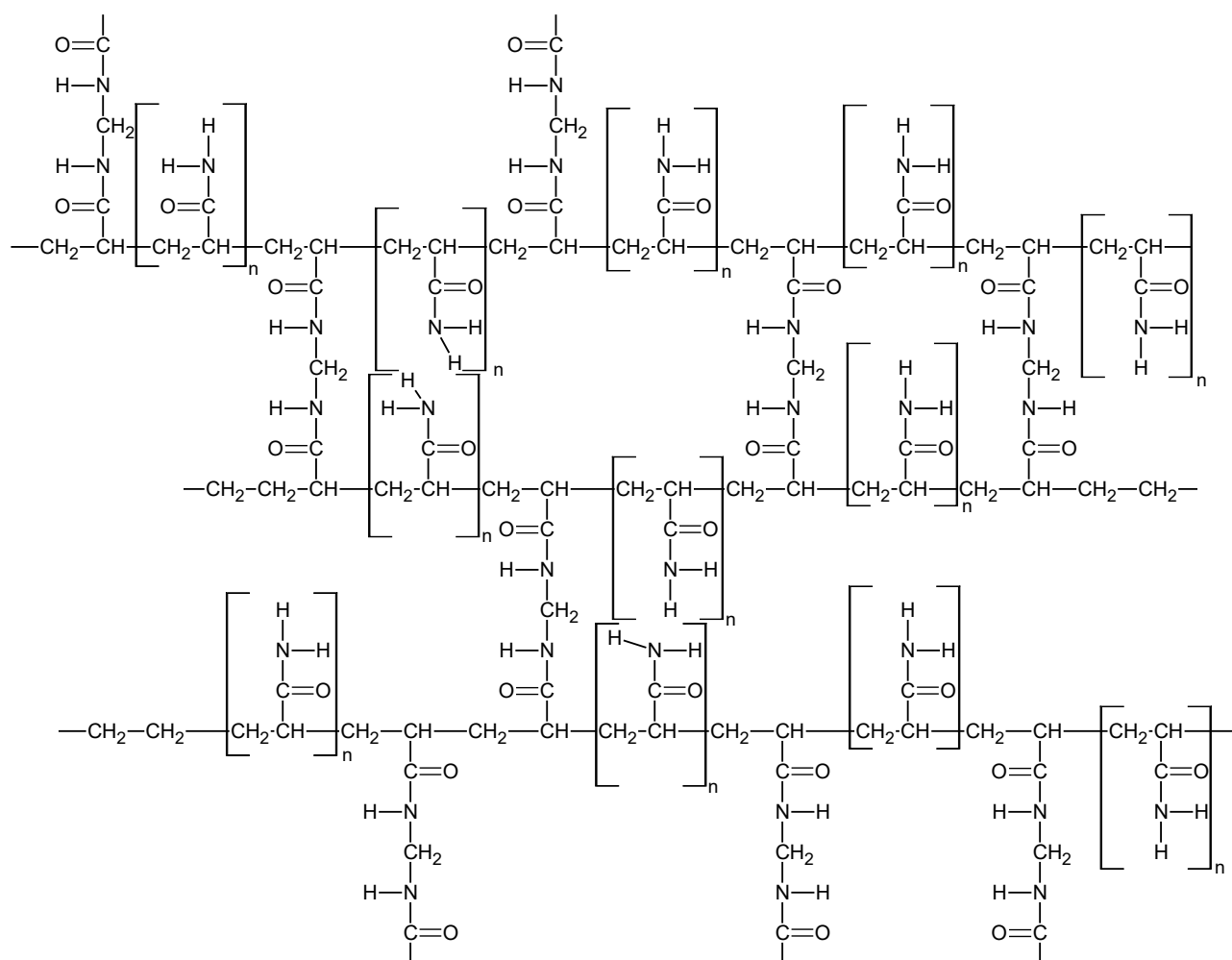
- 8 Wat versta je bij een netwerkpolymeer onder crosslinks?
- 9 Teken de structuurformules van de beide monomeren waaruit dit netwerk van polyacrylamide is gemaakt.
- 10 Geef de naam van het type polymerisatiereactie dat bij de vorming van het netwerk is opgetreden.

De aanleiding van het onderzoek was een grap met de springende balletjes. De wetenschappers zien echter serieuze toepassingsmogelijkheden voor het waargenomen effect.

11 Aan welke toepassingen denken ze?

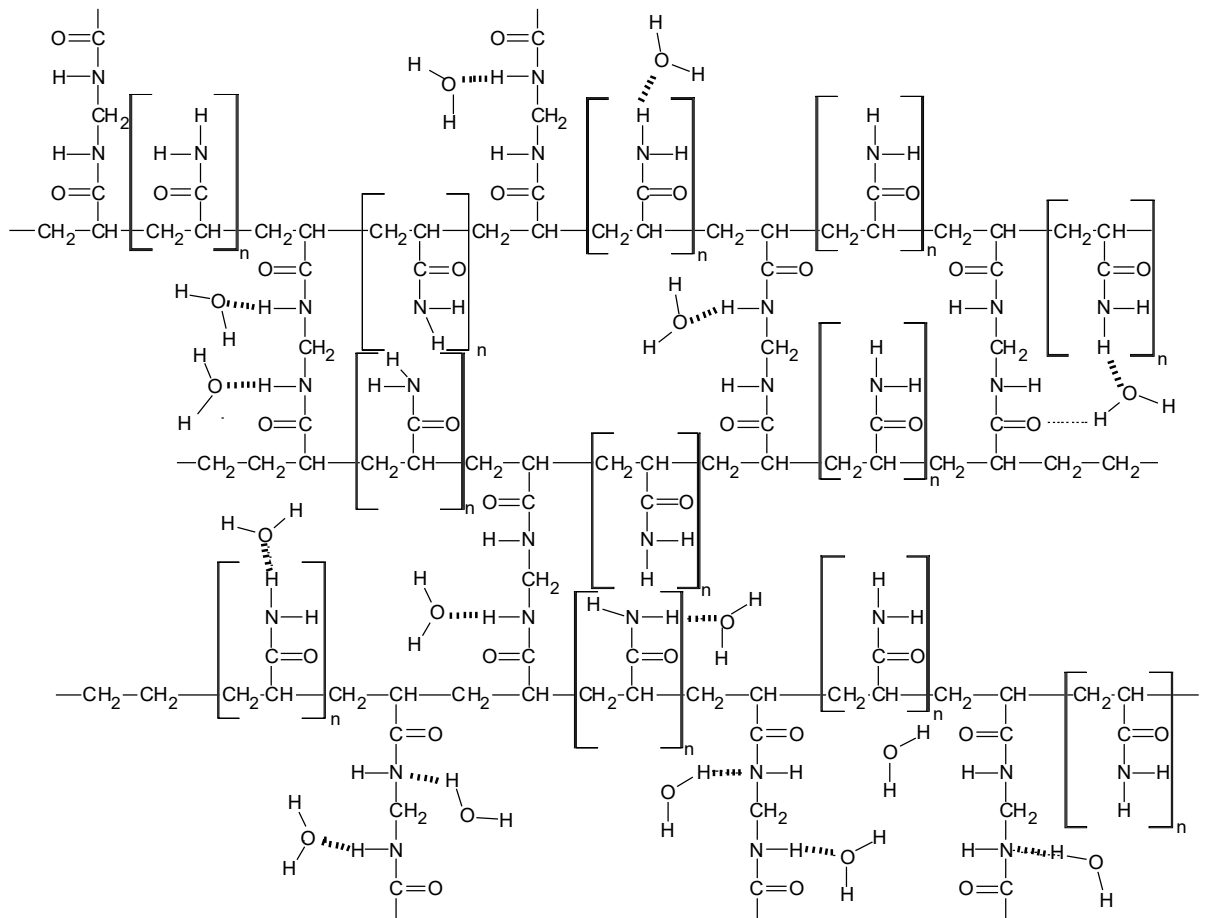
Bijlage

Antwoord vraag 6



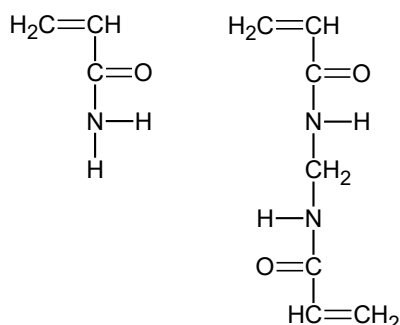
Hydrogelballetjes stuiten in een pan

- 1 Waardoor stuiten en gillen hydrogelballetjes die op een heet oppervlak vallen.
- 2 Bijvoorbeeld: bij verhitting van hydrogelbolletjes komt water vrij uit het bolletje. Dit wordt omgezet in stoom en door de drukopbouw onder het bolletje wordt het bolletje omhoog geduwd.
- 3 Aantal maal = massa opgenomen water/massa bolletje zonder water = $(1750 - 24)/24 = 1726/24 = 72$ maal.
- 4 Massa watermoleculen = $72 \times \text{massa monomeer} = 72 \times 71 = 5112$ u water.
 Massa van één watermolecuul = 18,015 u. $5112/18,015 = 284$ moleculen water binden aan één monomeer. Significantie: 280, ofwel $2,8 \cdot 10^2$ moleculen
- 5 Er worden waterstofbruggen gevormd tussen de N en de H atomen van de NH/NH₂ groepen enerzijds en de H en O atomen van water anderzijds.
- 6



- 7 Waterstofbruggen kunnen onder invloed van warmte verbroken worden.. Een klein deel van de watermoleculen gaat dan vrij van elkaar bewegen (microniveau) ofwel een klein deel van het water kan daardoor in waterdamp worden omgezet (macroniveau).
- 8 Dwarsverbindingen tussen polymeerketens.

9



10 Additiepolymerisatie (vanwege de dubbele bindingen).

11 Toepassing bij zachte materialen in de robotica, bijvoorbeeld bij grijpers.

Opmerking: Bij de hydrogelbolletjes die in de tuin gebruikt worden is sprake van gecrosslinked polyacrylamide.

Uit het artikel in Nature blijkt dat de auteurs hydrogel spheres van Educational Innovations (<https://www.teachersource.com/>, bestelnummer GB-710 hebben gebruikt.

Film op youtube: <https://www.youtube.com/watch?sp=b17a7329-f92a-46b9-a36c-ec2f2ef24705.1501159572442&v=OfcCsP-T1pc>

Extra artikelen: .

NRC Handelsblad, 26 juli 2017

YouTube-hit met springende gelballetjes levert nieuwe natuurkunde op

Er was nieuwe natuurkunde voor nodig om te verklaren waarom hydrogelballetjes op een hete plaat gaan piepen en dansen.

Dorine Schenk



Stuiterende hydrogelballetjes in een hete koekepan. Universiteit Leiden

Het zijn kleine balletjes die glibberig aanvoelen. Ze zijn er in allerlei kleuren en je kunt ze, in plaats van aarde, gebruiken om planten op te laten groeien. In droge vorm hebben de hydrogelballetjes een flink absorberend vermogen – ze zitten in luiers voor eenmalig gebruik. Maar je kunt er iets veel leukers mee doen. Gooi ze in een hete koekepan en ze

beginnen wild te springen terwijl ze een hoog, piepend geluid maken. Ze houden het minutenlang vol.

Tijdens een saaie lezing in december 2016 keek fysicus Scott Waitukaitus van de Universiteit Leiden naar een YouTube-filmpje van de springende balletjes dat *viral* was gegaan. „Ik probeerde op te zoeken wat dit rare gedrag is”, vertelt hij. „Maar er was niets over te vinden.” Hij ging zelf aan de slag. Hij kreeg er zelfs geld voor van NWO – het verschijnsel is een fundamenteel natuurkundig vraagstuk. De resultaten verschenen dinsdag in [Nature Physics](#).

Als de balletjes op een hete plaat worden gelegd, beginnen ze voorzichtig te stuiten, en met elke sprong klimmen ze, tot ze vier centimeter halen. Op die hoogte blijven ze minutenlang stuiten.



De energiestoot die ze uit ieder contact halen bleek mogelijk door de hoge concentratie water in de gelballetjes: 98 procent. Zodra het balletje een heet oppervlak raakt, verdampt aan de onderkant een beetje water, wat de druk veroorzaakt die het balletje omhoogduwt. Met hogesnelheidscamera's zagen de onderzoekers bovendien dat de onderkant heen en weer trilt tegen de plaat. Die razendsnelle trillingen veroorzaken het hoge piepende geluid dat de stuitende balletjes maken.

Dit nieuw ontdekte verschijnsel is de *elastische* variant van het al langer bekende 'leidenfrosteffect'. Dat beschrijft de dans van waterdruppels die in een hete pan vallen. Daarbij verdampt de onderkant van de waterdruppel zo snel dat de druppel drijft op een laagje waterdamp.

Het elastische leidenfrosteffect is niet alleen leuk voor YouTube-filmpjes. Het is ook toepasbaar in de robotica, waar steeds vaker zachte materialen, zoals hydrogels, gebruikt worden. Waitukaitus: „Je kunt bijvoorbeeld draadjes in de armen van een hydrogelrobot stoppen en ze opwarmen op de plek waar je beweging wilt.”

Als je het weet zie je het overal: groente en champignons kunnen ook springen en piepen tijdens het bakken. „Dat kan een gevolg zijn van hetzelfde effect”, zegt Waitukaitus.

<https://www.kijkmagazine.nl/science/waarom-hydrogelballetjes-gillen-stuiteren/>, 25 juli 2017

Waarom deze balletjes gillen en stuiteren in hete pan



Leidse wetenschappers ontdekten het geheim van de luidruchtige stuiterdans van hydrogelballetjes op een YouTube-hit.

Marysa van den Berg

Een Oekraïense rapper wilde in november 2015 zijn vriendin na het pannenkoeken bakken imponeren door te laten zien wat er gebeurt als je hydrogelballetjes – te halen bij elke plantenwinkel – in een gloeiendhete pan gooit. De balletjes die het van de pijn lijken uit te gillen en al stuiterend de pan willen ontsnappen bleken een instant YouTube-hit. Nu, ruim anderhalf jaar later, [ontdekten](#) natuurkundige Scott Waitukaitis en zijn collega's van de Universiteit Leiden het geheim achter het bijzondere fenomeen.

Stoomvorming

Het onderzoeksteam dompelden hydrogelballetjes onder in water tot ze voor minstens 99 procent uit water bestonden. Daarna lieten zij de balletjes vallen op pannen die tot 215 graden Celsius waren opgewarmd. De valhoogtes varieerden tussen enkele honderden micrometers en 20 centimeter.

Dankzij een hogesnelheidscamera op het stuiteroppervlak van de balletjes konden de wetenschappers precies zien wat er gebeurde. Elke keer dat een balletje de hete pan raakt, deukt de onderkant een beetje in. Daarbij verdampt vliegensvlug een beetje water in het balletje. De stoom die daarbij ontstaat, zorgt ervoor dat het elastische oppervlak van het balletje terugveert en voilà: het balletje wordt gelanceerd.

Geluidstrillingen

Het proces lijkt volgens Waitukaitis en zijn team op het zogenoemde [Leidenfrost-effect](#). Dit is het fenomeen waarbij koude waterdruppels op een heet oppervlak lijken te schaatsen door de plaatselijke vorming van stoomkussentjes.

De stoomvorming in de stuiterende balletjes zorgt tevens voor geluidstrillingen in het contactoppervlak tussen pan en balletje. De frequentie is 2000 tot 3000 maal per seconde en dit past perfect met de frequentie van de stoomvorming in de balletjes.

‘Magische’ stuiterhoogte

Verder ontdekten de wetenschappers dat vier centimeter een ‘magische’ stuiterhoogte is. De balletjes die van een hoogte minder dan dit in de pan werden gegooid, leken tegen de zwaartekracht in te gaan; ze gingen bij elke sprong hoger, tot ze bij die vier centimeter kwamen, waarna ze minutenlang telkens tot deze hoogte stuiterden. Balletjes die een

valhoogte van meer dan vier centimeter hadden, deden het andersom; ze leverden bij elke sprong hoogte in, tot ze bij een stuiterhoogte van vier centimeter waren.

Ook dit is prima te verklaren. Die vier centimeter is de hoogte waarbij de energie van de hete pan die het balletje meekreeg met zijn sprong (dit is de kinetische energie) gelijk was aan de energie die verloren gaat bij het weer neervallen in de pan (de impact-energie). Bij deze hoogte is er dus sprake van een heel stabiele toestand, voor een paar minuten tenminste. Bij andere pantemperaturen en samenstelling van de balletjes zou de 'magische' stuiterhoogte waarschijnlijk anders zijn, denken Waitukaities en collega's.

Zachte robotica

Leuk om te weten allemaal, maar kunnen we nog iets met deze stuiterballen? Jazeker, zo kan de kinetische energie worden ingezet om zachte robotica aan te drijven. Deze nieuwe robots timmeren aardig aan de weg. Ze kunnen erg handig zijn bij [onderwateronderzoek](#), [medische operaties en zoek-en-redt-missies](#). Stuiterende hydrogelballetjes kunnen deze robots sneller en flexibeler maken. Nu alleen nog even een manier vinden om het gillen te stoppen...

Bron: [Nature Physics](#), [New Scientist](#)

GASBRAND

Klas	4 hv
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Stofeigenschappen
Trefwoorden	Propaan, butaan, aardgas
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Shell Venster, juli 2017

Gasbrander



Gasbrandertjes, voor velen roept het aanzicht alleen al herinneringen op aan kokkerellen voor de tent op een zwoele zomeravond. Al mijmerend door een wankel pannetje roeren met een drankje erbij. De gerechten zijn zelden hoogstaand, het gevoel van vrijheid des te meer.

Met name de blauwe gascilinders van Campingaz zijn kenmerkend voor de Europese camping. In de kleine wegwerpcilinders zit een mengsel van samengeperst butaan en propaan. Hoe zit dat eigenlijk met flessengas? Wat is het verschil tussen propaan, butaan en het gas van thuis?

Thuis gebruiken we aardgas, dat beschikbaar is via het aardgasnet. Voor particulier gebruik is dat gas niet op te slaan zoals butaan of propaan en dat is ook niet nodig: in huis is het aardgasnetwerk altijd beschikbaar. Propaan en butaan zijn juist wel gemakkelijk op te slaan – in vloeibare vorm.

Propaan- en butaangas hebben veel overeenkomsten. Beiden zijn een soort ‘bijvangst’ bij de raffinage van aardolie of de winning van aardgas. Zowel propaan als butaan zijn – in tegenstelling tot aardgas – zwaarder dan lucht. Ook kenmerkend voor beide gassen is dat ze onder druk een vloeibare vorm aannemen en zo’n 250 keer kleiner worden zodat het gas gemakkelijk te transporteren is in gasflessen.

Verskil is er ook. Propaan heeft een lager kookpunt dan butaan en is daardoor ook te gebruiken bij temperaturen onder nul – een voordeel waarvan de meeste campinggangers hopen dat het niet al te relevant zal zijn.

Gas op de camping of gas thuis. Wat is het verschil tussen propaan, butaan en aardgas met als hoofdbestanddeel methaan?

- 1 Geef de molecuulformules van de drie genoemde alkanen.
- 2 Leg uit waarom het alkanen zijn.
- 3 Waarom kom je propaan en butaan wel tegen als flessengas maar methaan (aardgas) niet.
- 4 Welke overeenkomsten hebben propaan en butaan?

Een belangrijke eigenschap is dat de drie alkanen energie kunnen leveren bij verbranding.

- 5 Geef de reactievergelijkingen van de verbranding van elk van de drie alkanen.

De dichtheid van methaan en propaan kun je vinden in Binas tabel 12. De dichtheid van gasvormig butaan onder dezelfde omstandigheden is $2,48 \text{ kg m}^{-3}$.

- 6 Licht de volgorde van dichtheid voor methaan, propaan en gasvormig butaan toe.

- 7 Bereken de dichtheid van vloeibaar propaan en vloeibaar butaan.

Propaan heeft een lager kookpunt dan butaan.

- 8 Zoek de kookpunten van propaan en butaan in Binas op.
9 Licht het verschil in kookpunt toe.
10 Waarom is propaan bij een temperatuur onder nul wel bruikbaar als campinggas maar butaan niet?

Gasbrander

- 1 Methaan: CH_4 . Propaan: C_3H_8 . Butaan: C_4H_{10} .
- 2 Ze voldoen aan de algemene formule $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$.
- 3 Methaan is niet makkelijk in vloeibare vorm om te zetten, maar daarentegen propaan en butaan wel.
- 4 Propaan en butaan zijn onder druk makkelijk vloeibaar te maken. Ze zijn beide prima brandstoffen. Het zijn alkanen die in dampvorm zwaarder zijn dan lucht. Ze zijn 'bijvangst' bij de destillatie van aardolie.
- 5 Methaan: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$.
Propaan: $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$.
Butaan: $2 \text{C}_4\text{H}_{10} + 13 \text{O}_2 \rightarrow 8 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$.

6

<i>stof</i>	<i>Dichtheid (kg m^{-3}) bij standaardomstandigheden</i>
Methaan	0,72
Propaan	2,02
Gasvormig butaan	2,48

Methaan heeft het kleinste molecuul, butaan het grootste. Bij gassen heb je onder dezelfde omstandigheden altijd evenveel deeltjes per m^3 . Omdat butaan het grootste molecuul heeft, heeft het ook de grootste massa, dus de grootste dichtheid.

- 7 Het volume wordt zo'n 250 keer kleiner. Dus de dichtheid neemt met eenzelfde factor toe: methaan dan als vloeistof een dichtheid van $0,72 \times 250 = 180 \text{ kg m}^{-3}$.
Propaan: $2,02 \times 250 = 505 \text{ kg m}^{-3}$. En butaan: $2,48 \times 250 = 620 \text{ kg m}^{-3}$.
- 8 Propaan heeft kookpunt 231 K, butaan 273 K.
- 9 Butaanmoleculen zijn groter dan propaanmoleculen dus de vanderwaalskrachten zijn bij butaan sterker.
- 10 Propaan kookt bij 231 K = $231 - 273 = -42^\circ\text{C}$. Butaan kookt bij $273 - 273 = 0^\circ\text{C}$. Bij verbranding moet de brandstof in gasvorm kunnen overgaan en dat lukt bij butaan niet zo goed meer als de temperatuur onder nul uitkomt.

CO₂ IN DE GLASTUINBOUW

Klas	4 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	CO ₂ , fotosynthese, verbranding, gehalte, ppm, kastuinbouw
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Shell Venster, juli 2017

CO₂ in de glastuinbouw

CO₂ (kooldioxide) is een niet giftig, niet-brandbaar en niet-explosief gas dat vrij in de lucht voorkomt. Bij alle vormen van verbranding komt CO₂ vrij, zelfs ons lichaam zet zuurstof om in CO₂. Planten doen overdag precies het omgekeerde (fotosynthese); ze zetten de CO₂ om in zuurstof. Sterker nog, door gewassen meer CO₂ te geven, groeien ze beter en sneller. De glastuinbouw in Nederland heeft jaarlijks behoefte aan circa 2.000 Kton. De CO₂-behoefte per gewas loopt sterk uiteen. Hardgroeiende gewassen die volop in de kassen staan, zoals tomaten, paprika's en komkommers, hebben veel meer CO₂ nodig dan kleine plantjes. Er zijn ook soorten die er niet bij gebaat zijn.

Uiteraard zit er al veel CO₂ in de lucht, maar bij de productie helpt het om extra CO₂ in de kassen te brengen. In kassen is de CO₂-concentratie namelijk lager dan in de buitenlucht, want planten nemen een deel op. Ze creëren als het ware hun eigen schaarste in de kas. Dat gaat op een gegeven moment zo hard, dat de productie zelfs kan stilvallen als je geen extra CO₂ toevoegt. Normaal is het gehalte CO₂ in de buitenlucht 400 ppm (parts per million), in een kas kan dat niveau zakken tot 150-200 ppm CO₂.

Bron: Shell Venster

Het artikel draait om de rol van CO₂ in kassen.

- 1 Welke stofeigenschappen van CO₂ worden genoemd?
- 2 Leg uit of je bij deze eigenschappen spreekt van micro- of macroniveau.

CO₂ kan gevormd worden of juist omgezet worden.

- 3 Bij welk proces wordt CO₂ gevormd?
- 4 Geef de reactievergelijking die daarbij optreedt.
- 5 Bij welk proces wordt CO₂ omgezet?
- 6 Geef ook hiervan de reactievergelijking.

Door gewassen meer CO₂ te geven, groeien ze beter en sneller.

- 7 Welke gewassen gedijen het beste bij een verhoogde CO₂-concentratie?

In het artikel staat 'Uiteraard zit er al veel CO₂ in de lucht'.

- 8 Leg uit dat hiermee niet de concentratie maar de totale hoeveelheid CO₂ wordt aangegeven.
- 9 Bereken de CO₂-concentratie, die normaal in de buitenlucht zit, in mL per m³.

De glastuinbouw in Nederland heeft jaarlijks zo'n 2100 Kton aan CO₂ nodig, zegt het artikel.

- 10 Bereken hoeveel kg glucose daarmee geproduceerd kan worden, als je ervan uit gaat dat alle CO₂ wordt omgezet in glucose..

Het gehalte CO₂ kan in de kas dalen tot zo'n 200 ppm.

- 11 Hoeveel langzamer zal de vorming van glucose dan verlopen? Licht je antwoord toe.

CO₂ in de tuinbouw

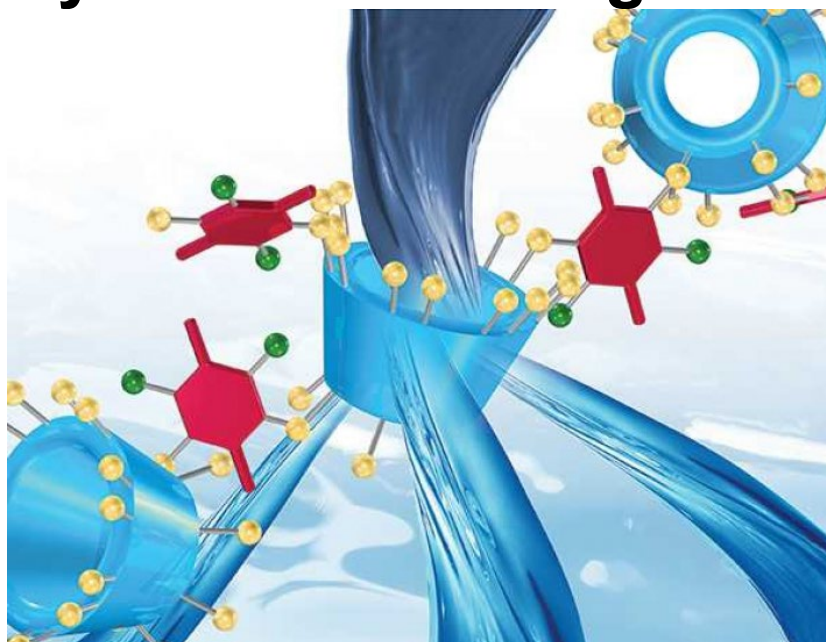
- 1 Het is een niet giftig, niet-brandbaar, niet explosief gas.
- 2 Je spreekt over waarneembare eigenschappen, dus macroniveau
- 3 Bij de verbranding van bijvoorbeeld glucose in ons lichaam.
- 4 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$.
- 5 Bij het fotosyntheseproces.
- 6 $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$.
- 7 Tomaten, paprika's en komkommers.
- 8 Het gehalte CO₂ is zeer laag, nl 400 ppm. Dit komt overeen met 400 cm³ per miljoen cm³ lucht.
- 9 400 cm³ per miljoen cm³ = 400 cm³ per m³.
- 10 2100 Kton = $2,1 \cdot 10^3$ Kton = $2,1 \cdot 10^6$ ton = $2,1 \cdot 10^9$ kg CO₂.
 $2,1 \cdot 10^9$ kg CO₂ $\equiv$ $2,1 \cdot 10^9 / 44,010 = 4,8 \cdot 10^7$ kmol CO₂.
Dit komt volgens de reactievergelijking overeen met $4,8 \cdot 10^7 / 6 = 8,0 \cdot 10^6$ kmol glucose $\equiv$
 $8,0 \cdot 10^6 \times 180,16 = 1,4 \cdot 10^9$ kg glucose.
- 11 De concentratie CO₂ is dan tot de helft gedaald dus zal ook de reactiesnelheid tot de helft gedaald zijn.

CYCLODEXTRINE VANGT C8

Klas	5,6 v
Subdomein	Industriële processen en groene chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Ontwikkeling nieuwe toepassing, blokschema, redeneren duurzaamheid
Trefwoorden	Waterzuivering, adsorptie, β -cyclodextrine, polymerisatie, milieu
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

www.c2w.nl, 12 juni 2017

Cyclodextrine vangt C8



Van β -cyclodextrine kun je een adsorbens maken dat oppervlaktewater ontdoet van perfluorooctaanzuur (PFOA) en aanverwante verbindingen. Het werkt veel beter dan actieve kool, beloven Will Dichtel en collega's van Northwestern University (VS) in *JACS*.

Het zou een uitkomst kunnen zijn voor waterschappen en drinkwaterbedrijven die te maken hebben met morsende DuPont-vestigingen, al heeft Dichtel nog niet uitgetoetst of zijn truc ook werkt met de GenX-hulpstoffen die PFOA, ook bekend als C8, inmiddels hebben vervangen. Met het chemisch nauw aan PFOA verwante perfluorooctansulfonzuur (PFOS), dat in het verleden door 3M is geloosd, werkt het overigens wel degelijk.

β -cyclodextrine is een ringvormig molecuul dat wordt opgebouwd uit zeven glucosemoleculen. Zo'n ring kan complexen vormen met talloze organische verbindingen, en het idee om een groot aantal van die ringen aan elkaar te breien tot een alternatief voor actieve kool is verre van nieuw. Alleen bleek de affiniteit voor PFOA-achtige verbindingen tot nu toe tegen te vallen.

Dichtel denkt daar verbetering in te kunnen brengen door voor het aan elkaar breien de juiste crosslinker te kiezen. Eerder probeerde hij het met tetrafluortereftalonitril, maar dat voldeed niet: het werkte beter dan actieve kool voor de meeste organische stoffen, maar uitgerekend niet met PFOA.

Nu zegt hij betere resultaten te boeken met decafluorbifenyyl, een perfluorareen. De combinatie met β -cyclodextrine levert een poeder op dat onoplosbaar is in water, en dat PFOA tien keer beter bindt dan actieve kool. Dat is voldoende om de concentratie in oppervlaktewater terug te brengen tot minder dan 10 nanogram per liter, ruim beneden de 70 ng/l die het Amerikaanse milieubureau EPA adviseert als bovengrens. Daarbij heeft het geen last van de humuszuren, die standaard in oppervlaktewater zitten en een negatieve invloed hebben op de prestaties van actieve kool.

Bovendien kun je het polymeer eenvoudig regenereren door er de PFOA weer uit te spoelen, met methanol bij kamertemperatuur.

Dichtel is mede-oprichter van een start-up genaamd CycloPure die β -cyclodextrinetoepassingen probeert te vermarkten. Op de website wordt het PFOA-adsorbens inmiddels aangeboden onder de naam CD-PFAS. Helaas staat er geen verkoopprijs bij.

bron: Northwestern University

Perfluorooctaanzuur

De stof perfluorooctaanzuur wordt onder andere gebruikt bij de productie van teflon. De stof is afgeleid van octaanzuur. Om de structuurformule van het perfluorooctaanzuurmolecuul te krijgen, vervang je in de structuurformule van octaanzuur alle waterstofatomen, op het H-atoom van de zuurgroep na, door fluoratomen.

- 1 Geef de structuurformule van octaanzuur.
- 2 Geef de molecuulformule van perfluorooctaanzuur.

In het artikel worden de afkortingen PFOA en C8 gebruikt voor perfluorooctaanzuur.

- 3 Verklaar deze afkortingen.

Adsorptie

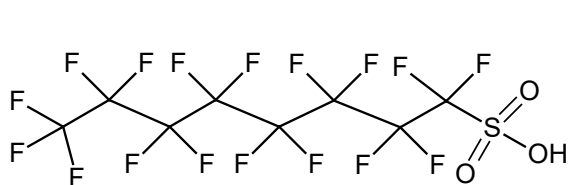
De aanwezigheid in het drinkwater van PFOA maar ook van PFOS, perfluorooctansulfonzuur, is gevaarlijk voor de volksgezondheid. Daarom onderzoekt men mogelijkheden om bij het drinkwaterbedrijf deze stoffen door adsorptie uit het oppervlaktewater te halen. Cyclodextrine in een bepaalde vorm is daartoe in staat. De werking van cyclodextrine wordt in het onderzoek vergeleken met die van actieve kool.

- 4 Leg uit hoe in de praktijk een scheiding door adsorptie in zijn werk gaat.

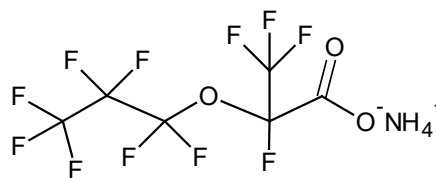
Bij adsorptie ontstaan er intermoleculaire bindingen tussen het adsorptiemiddel en de te adsorberen stof.

- 5 Vergelijk de intermoleculaire bindingen, op basis van gegevens uit het artikel, tussen PFOA en cyclodextrine aan de ene kant en PFOA en actieve kool aan de andere kant.

Men verwacht dat de opvolger van PFOA bij de productie van teflon, GenX, ook op dezelfde manier uit het water verwijderd kan worden. Met PFOS lukte het in ieder geval wel. In figuur 1 staan de structuurformules van PFOS en GenX.



PFOS



GenX

Figuur 1 Structuurformule PFOS en GenX

- 6 Geef op grond van de structuurformules een argument waarom je GenX ook door adsorptie met cyclodextrine zou kunnen verwijderen.
- 7 Geef op grond van de structuurformules een argument waarom het niet zeker is dat je GenX ook door adsorptie met cyclodextrine zou kunnen verwijderen.

In het artikel staat het voordeel genoemd, dat het gebruikte cyclodextrine door uitspoelen met methanol teruggewonnen kan worden na de adsorptie.

- 8 Leg uit wat je moet doen om ervoor te zorgen dat je het methanol vaker kunt gebruik
- 9 Teken een blokschema voor het verwijderen van PFOA uit afvalwater en het terugwinnen van methanol.

Humuszuren hebben volgens het artikel een negatief effect op de werking van actieve kool. Het cyclodextrine heeft hier geen last van.

- 10 Leg in je eigen woorden uit wat hier wordt bedoeld.

Cyclodextrine

Cyclodextrines bestaan uit ringvormige moleculen die opgebouwd zijn uit het een aantal moleculen glucose. In figuur 2 staat de structuurformule van β -cyclodextrine afgebeeld in 2D.

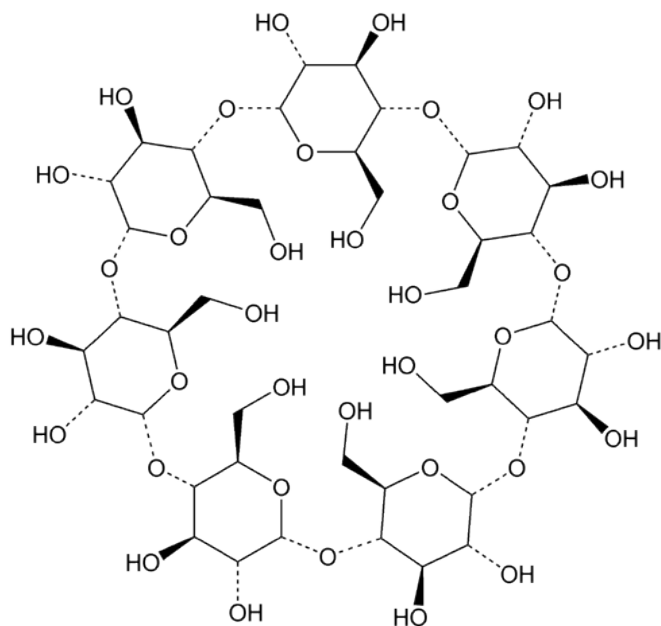


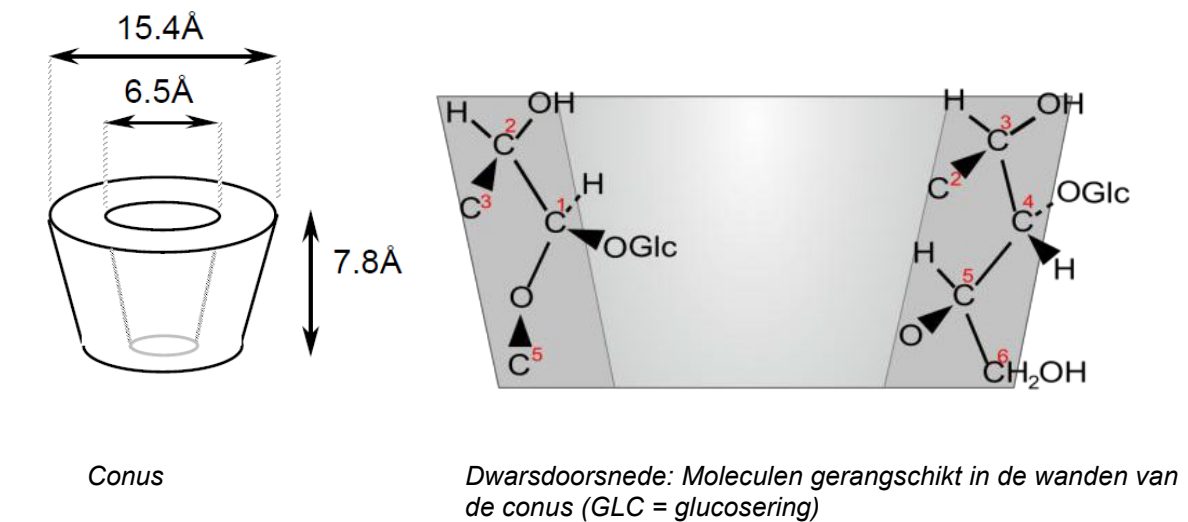
Fig 2 β -cyclodextrine in 2D

- 11 Teken een glucosemolecuul en bepaal uit hoeveel glucosemoleculen β -cyclodextrine is opgebouwd.

De stof β -cyclodextrine is op zich niet geschikt als adsorptiemiddel, omdat deze oplost in water.

12 Leg uit hoe het komt dat β -cyclodextrine oplosbaar is in water.

De glucosemoleculen liggen gerangschikt in de wanden van een conus (= een deel van een kegel). In figuur 3 staat de conus, de rangschikking van de glucosemoleculen in de conus en het molecuul β -cyclodextrine weergegeven in 3D.

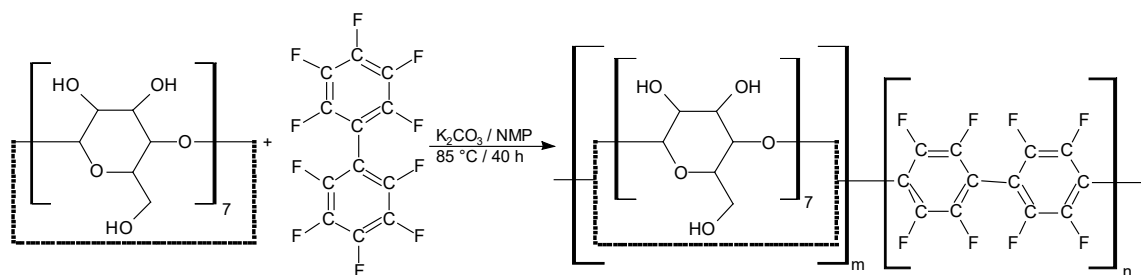


Figuur 3 Respectievelijk: Conus, rangschikking glucosemoleculen in conus en β -cyclodextrine in 3D

De OH-groepen van de glucosemoleculen steken zowel aan de boven- als onderkant van de conus uit. Binnenin is de conus hierdoor veel minder hydrofiel dan aan de uiteinden.

13 Leg uit hoe een molecuul PFOA kan worden opgenomen door een molecuul β -cyclodextrine.

Om ervoor te zorgen dat de β -cyclodextrine als adsorptiemiddel geschikt is, hebben de onderzoekers β -cyclodextrine gepolymeriseerd, waarbij de moleculen aan elkaar 'geregen' zijn met behulp van decafluorbifeny (figuur 4).



Figuur 4

Er ontstaat zo een slecht oplosbare stof die in staat is om PFOA te adsorberen.

14 Verklaar de naam decafluorbifeny.

15 Verklaar in de structuurformule rechts van de pijl in figuur 4 de 7, de m en de n.

De titel van het artikel is niet helemaal juist.

16 Bedenk een titel die beter klopt.

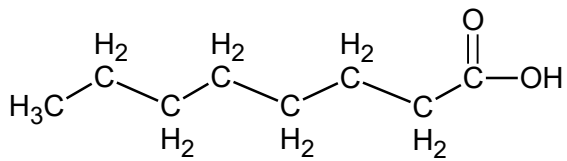
Een prachtig onderzoek, maar misschien een beetje achterhaald.

17 Geef een argument waarom het onderzoek misschien achterhaald is.

18 Geef een argument waarom het onderzoek toch nuttig is.

Cyclodextrine vangt C8

1



2 $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{COOH}$

3 PFOA: PerFluorOctanoicAcid

C8: Er zitten 8 C-atomen in het molecuul

4 Je mengt de te zuiveren vloeistof met het poedervormige adsorptiemiddel en zorgt ervoor dat beide goed met elkaar in contact komt. Dan scheid je de vloeistof van het adsorptiemiddel (bijvoorbeeld door filtreren, laten bezinken, centrifugeren). Filtreren waardoor je het adsorptiemiddel met de verontreinigingen verwijdert.

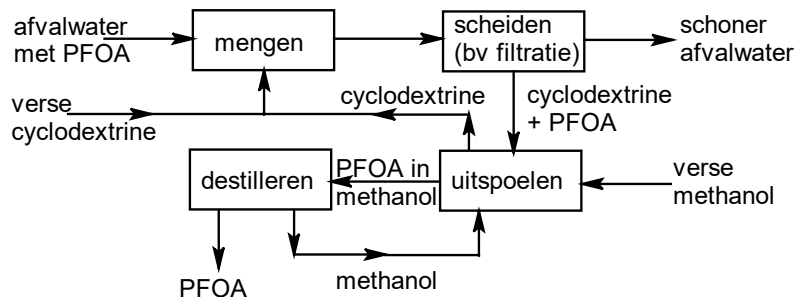
5 Volgens het artikel bindt het cyclodextrine het PFOA tien keer beter dan actieve kool/norit. Dit betekent dat PFOA moleculen beter hechten aan cyclodextrine dan aan actieve kool/norit. De intermoleculaire bindingen van PFOA moleculen en cyclodextrine zijn sterker dan PFOA moleculen en actieve kool/norit.

6 PFOA, PFOS en GenX bezitten alle drie een zuurgroep, veel fluoratomen en een langere koolstofketen.

7 GenX heeft wel minder C's, een etherbinding midden in het molecuul én een NH_4^+ groep. Het ligt er dus aan welk deel van het molecuul een binding vormt met het adsorptiemiddel en in welke mate de affiniteit met water een rol speelt.

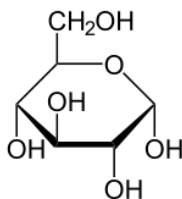
8 Na verwijdering van het adsorptiemiddel uit het afvalwater het adsorptiemiddel spoelen met methanol. Het PFOA lost op in methanol. Deze oplossing destilleren. Je krijgt dan zuiver methanol terug. De methanol kun je weer gebruiken voor een volgende 'ronde' en de PFOA blijft achter.

9



10 Humuszuur zal sterk adsorberen aan het actieve kool en op die plaatsen verdere adsorptie verhinderen. Blijkbaar adsorbeert humuszuur niet aan cyclodextrine.

11



In het molecuul β -cyclodextrine zitten 7 ringen die afkomstig zijn van een glucosemolecuul.

12 In β -cyclodextrine bevinden zich veel OH-groepen die allemaal H-bruggen kunnen vormen met watermoleculen. β -cyclodextrine is hydrofiel.

13 Een molecuul PFOA heeft een hydrofiel kop en een lange apolaire staart. Deze kan in de conus terecht komen. Het vormt dan vanderwaalsbindingen met de binnenkant van het molecuul β -cyclodextrine.

- 14 deca: tien, dus 10 fluoratomen.
Bifenyl: twee fenylgroepen aan elkaar.
- 15 7: de 7 glucosemoleculen in β -cyclodextrine.
m: Het aantal moleculen β -cyclodextrine in het stukje polymeer
n: het aantal moleculen decafluorbifenyl in dat stukje polymeer
- 16 B.v.: Polymeer van cyclodextrine vangt C8 uit afvalwater.
- 17 PFOA wordt niet meer gebruikt door DuPont om teflon te maken. PFOA wordt in de teflon-industrie vervangen door andere stoffen.
- 18 PFAO wordt voor meer toepassingen gebruikt dan alleen teflon, dus kan het β -cyclodextrine nog goed van pas komen bij het reinigen van afvalwater van deze producties.

ENERGIE UIT DE MUUR

Klas	4 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Energie, ontleding, water, waterstof, molybdeendisulfide, katalysator, fotolyse
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Quest, september 2017

Energie uit de muur

Wekken de muren van je huis of de carrosserie van je auto straks energie op? Het zou zomaar kunnen. Wetenschappers van RMIT University (Australië) hebben verf ontwikkeld waar energie mee kan worden opgewekt.

Het 'geheime' ingrediënt: de stof molybdeendisulfide. Die wordt samen met titaandioxide (vaak al gebruikt in witte verf) toegevoegd aan de verf. Het resultaat is een verf die waterdamp absorbeert. Onder invloed van zonlicht zorgt de molybdeendisulfide er vervolgens voor dat het water gesplitst wordt in zuurstof en waterstof. Dat waterstof kan gebruikt worden als schone energiebron. In de toekomst tenminste, want de onderzoekers hebben nog zeker enkele jaren nodig om van hun verf een efficiënte en bruikbare energieopwekker te maken.

Energie uit de muur, het lijkt een sprookje.

- 1 Welk sprookje lijkt uit te komen?
- 2 Geef de reactievergelijking die plaatsvindt op de muur als zonlicht erop valt.

Het 'geheime' ingrediënt in de nieuwe verf is molybdeendisulfide.

- 3 Welke functie vervult het molybdeendisulfide? Licht je antwoord toe.
- 4 Geef de formule van molybdeendisulfide.
- 5 Wat is er, net als in de naam titaandioxide, fout aan de naam molybdeendisulfide?
- 6 Geef de juiste naam van molybdeendisulfide en titaandioxide. Gebruik Binas tabel 40A.

Bij het verven van de muur met de nieuwe muurverf vormt zich een laagje dat water absorbeert.

- 7 Wat voor type proces is absorptie?
- 8 Wat kun je zeggen over het hydrofiel of hydrofoob zijn van de beschreven muurverf?
- 9 Welke rol speelt het zonlicht?
- 10 Wat voor type ontledingsreactie vindt er plaats? Licht kort toe.

Waterstof kan gebruikt worden als 'schone' brandstof. Waterstof wordt in het artikel een energiebron genoemd.

- 11 Licht de toevoeging 'schone' toe.
- 12 Leg uit dat waterstof geen energiebron maar een energiedrager is.

Energie uit de muur

- 1 Energie opwekken uit een wit geverfde muur.
- 2 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 3 Katalysator: het zorgt dat de reactie sneller verloopt zonder zelf verbruikt te worden.
- 4 MoS_2 .
- 5 Molybdeendisulfide is een verbinding van een metaal met niet-metaal, dus een zout. De naam van een zout bevat geen Griekse telwoorden om het aantal aan te geven.
- 6 Molybdeen heeft alleen 4+ als ionlading, dus juiste naam is molybdeensulfide.
Titaan heeft zowel 2+ als 4+ als ionlading dus juiste naam voor TiO_2 is titaan(IV)oxide.
- 7 Het opnemen van de ene stof door een andere stof.
- 8 De muur absorbeert water, is dus hydrofiel.
- 9 Zonlicht levert de energie die nodig is voor de ontleding van water.
- 10 Fotolyse: ontleding onder invloed van zonlicht.
- 11 Schone: er is geen fossiele brandstof nodig om waterstof te produceren, alleen zonlicht en water.
- 12 Een energiebron, zoals aardolie, levert stoffen die als brandstof kunnen dienen. Een energiedrager, zoals waterstof, bevat de tijdelijk opgeslagen energie uit een chemisch proces.

BARNSTEEN BLIJKT FOSFOR

Versie 1

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen
Trefwoorden	Brandvoorwaarden, blussen, fosforbrand
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Versie 2

Klas	4 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen
Trefwoorden	Brandvoorwaarden, blussen, fosforbrand, energiediagram, energieberekening
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Reformatorsch dagblad, 5 augustus 2017

Barnsteen blijkt fosfor

Ook meer dan zeventig jaar na afloop van de Tweede Wereldoorlog duikt in Duitsland nog witte fosfor op afkomstig uit brandbommen. Een argeloze wandelaarster verwarde een brokje van het gevaarlijke spul ter grootte van een vingernagel echter met een mooi stukje barnsteen

Ze zag dat, volgens de politie, op een strandje langs de Elbe in het natte zand liggen en stak het in haar zak. Toen het vermeende barnsteen voldoende was opgedroogd, kwam het tot ontbranding. Haar jas kan als verloren worden beschouwd, maar de vrouw bleef ongedeerd. Een zoekactie naar mogelijk meer fosfor op die plek ten westen van Hamburg leverde niets op.

Droge fosfor ontbrandt vanzelf, waarbij een temperatuur kan ontstaan van 1300 graden. Het goedje is niet te blussen met water. De ernstige brandwonden die ontstaan door fosfor maken vaak een huidtransplantatie nodig.

Versie 1

De witte fosfor wordt in het artikel beschreven als “een mooie stukje barnsteen” dat in het natte zand lag.

- 1 Waarom kon de witte fosfor in het natte zand geen kwaad?
- 2 Leg uit waardoor de fosfor spontaan kon ontbranden in de jaszak.

Bij de verbranding van fosfor (P_4) ontstaat P_2O_5 .

- 3 Geef de reactievergelijking voor de verbranding van fosfor.
- 4 Geef de juiste naam van het product dat ontstaat.
- 5 Leg uit of de reactie exotherm of endotherm is. Gebruik hierbij een gegeven uit het artikel.

Als je een fosforbrand wilt blussen met water, reageert de ontstane P_2O_5 met water tot fosforzuur (H_3PO_4).

6 Stel de vergelijking voor deze reactie op.

De politie wil een advies geven aan de strandbezoekers hoe te handelen als ze verdachte stukjes barnsteen/fosfor vinden.

7 Welk advies kan de politie het beste aan de strandbezoekers geven?

Versie 2

De witte fosfor wordt in het artikel beschreven als “een mooie stukje barnsteen” dat in het natte zand lag.

- 1 Waarom kon de witte fosfor in het natte zand geen kwaad?
- 2 Leg uit waardoor de fosfor spontaan kon ontbranden in de jaszak.

Bij de verbranding van fosfor (P_4) ontstaat difosforpentaoxide.

- 3 Stel de reactievergelijking op voor de verbranding van fosfor.
- 4 Teken het energiediagram voor de verbranding van fosfor. Licht het diagram toe.

Als je een fosforbrand wilt blussen met water, reageert de ontstane P_2O_5 met water tot een fosforzuuroplossing ($H_3PO_4(aq)$).

5 Noteer de vergelijking voor deze reactie.

In onderstaande tabel staan vormingswarmten.

	Vormingswarmte (kJ/mol)
difosforpentaoxide	$-1,51 \cdot 10^3$
$H_3PO_4(aq)$	$-1,29 \cdot 10^3$

- 6 Laat met een berekening zien of het ‘blussen’ van P_2O_5 met water een endotherm of exotherm proces is.

De politie wil een advies geven aan de strandbezoekers hoe te handelen als ze verdachte stukjes barnsteen/fosfor vinden.

7 Welk advies kan de politie het beste aan de strandbezoekers geven?

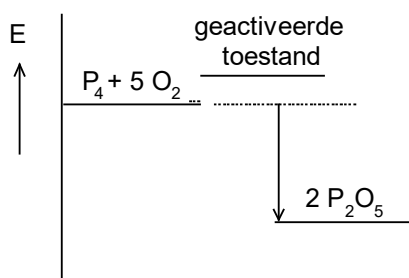
Barnsteen blijkt fosfor

Versie 1

- 1 Alleen als fosfor met voldoende zuurstof/lucht in contact komt, kan het ontbranden. Door het natte zand kan er geen/te weinig zuurstof bij. Ook wordt de ontbrandingstemperatuur niet gehaald.
- 2 Als de fosfor in de jaszak opdroogt, kan het reageren met zuurstof. Wel moet dan de ontbrandingstemperatuur overschreden worden. In een jaszak nadert de temperatuur de lichaamstemperatuur van 37°C. Fosfor heeft blijkbaar een lagere ontbrandingstemperatuur dan 37 °C.
- 3 $P_4 + 5 O_2 \rightarrow 2 P_2O_5$
- 4 Difosforpentaoxide
- 5 De temperatuur bij de verbranding kan oplopen tot 1300 °C. Er komt warmte vrij: een exotherme reactie.
- 6 $P_2O_5 + 3 H_2O \rightarrow 2 H_3PO_4$
- 7 Niet aanraken en afdekken met vochtig zand.

Versie 2

- 1 Alleen als fosfor met voldoende zuurstof/lucht in contact komt, kan het ontbranden. Door het natte zand kan er geen/te weinig zuurstof bij. Ook wordt de ontbrandingstemperatuur niet gehaald.
- 2 Als de fosfor in de jaszak opdroogt, kan het reageren met zuurstof. Wel moet dan de ontbrandingstemperatuur overschreden worden. In een jaszak nadert de temperatuur de lichaamstemperatuur van 37°C. Fosfor heeft blijkbaar een lagere ontbrandingstemperatuur dan 37 °C.
- 3 $P_4 + 5 O_2 \rightarrow 2 P_2O_5$
- 4



De temperatuur kan oplopen tot 1300 °C. Dat betekent een exotherme reactie waarbij veel energie vrij komt. Een lage temperatuur (onder lichaamstemperatuur) levert al genoeg warmte als activeringsenergie.

- 5 $P_2O_5(s) + 3 H_2O(l) \rightarrow 2 H_3PO_4(aq)$
- 6 $\Delta E = -(-1,51 \cdot 10^3) - 3 \times (-286) + 2 \times (-1,29 \cdot 10^3) = -212 \text{ kJ}$. Dus een exotherme reactie.
- 7 Niet aanraken en afdekken met vochtig zand.

Opmerking. Fosforbranden komen vaker voor, zoals blijkt uit onderstaande nieuwsberichten van juni 2017. De vragen van de opgave Barnsteen blijkt fosfor, kunt u ook combineren met de volgende artikelen:

Brand op baggerschip in Kanaal Assen



ASSEN - Aan het einde van de middag brak brand uit op een baggerschip dat in het Kanaal in Assen ligt. De brand woedde in het ruim van het schip. Hoe het vuur kon ontstaan, is onduidelijk. Twee omstanders konden het vuur blussen voor de brandweer er was.

Het baggerschip ligt in het Kanaal om de bodem schoon te maken voor de opening van de Blauwe As begin volgende maand.

Werkzaamheden het Kanaal stilgelegd door vondst fosfor



ASSEN - De baggerwerkzaamheden in het Kanaal in Assen zijn voorlopig stilgelegd. Tijdens de werkzaamheden werd er fosfor gevonden op de bodem.

Martin de Bruin, woordvoerder van de gemeente Assen laat weten dat er nu eerst onderzoek wordt gedaan naar de substantie en dat de werkzaamheden pas verder gaan als er meer duidelijkheid is.

De substantie werd gevonden nadat een baggerschip zondagmiddag vlam vatte. Het schip had de fosfor tijdens het baggeren opgeschept en de substantie vatte vlam in het ruim van het schip.

Vijf vragen over fosfor



ASSEN - In het Kanaal in Assen is tijdens het uitbaggeren de chemische stof fosfor gevonden. Maar wat is het eigenlijk en is het gevaarlijk? Vijf vragen aan Willem Belgraver, docent scheikunde aan CS Vincent van Gogh in Assen.

Wat is fosfor?

"Fosfor is een chemische stof die niet in de natuur voorkomt. Komt fosfor in aanraking met zuurstof, dan ontbrandt het. Dat kan zowel in de lucht als bij water gebeuren. Er zijn twee varianten: witte fosfor en rode fosfor. De soorten verschillen van elkaar in onder meer de gevoeligheid voor ontbranding."

Is fosfor gevaarlijk?

"Witte fosfor is zeer giftig, rode fosfor kan ook schadelijk zijn. Het gevaar hangt af van de concentratie, maar van fosfor is bekend dat een klein beetje al snel schadelijk is voor de gezondheid. Ook de stoffen die bij de ontbranding vrijkomen kunnen gevaarlijk zijn. Je wilt het in ieder geval niet inademen. In het geval van Assen hoeft de buurt echter niet bang te zijn. Als er een beetje wind staat dan vervliegt het snel."

Waar wordt fosfor voor gebruikt?

"Rode fosfor vind je bijvoorbeeld in lucifers en ontbrandt minder snel. Maar witte

fosfor heeft vooral militaire toepassingen. In granaten, napalm of lichtkogels zit fosfor."

Hoe kun je fosfor veilig bewaren?

"Je moet ervoor zorgen dat er geen zuurstof bij kan komen, dus bewaart men fosfor vooral onder olie. Lucht kan door de olie niet bij de fosfor komen. Ook onder water kun je witte fosfor bewaren, maar blussen met water lukt niet."

Hoe doof je fosfor?

"Doordat fosfor ook onder water brandt, kun je het dus ook niet met water doven. Je kunt het gecontroleerd laten uitbranden onder zand, maar daarmee doof je het niet. Daarvoor heb je zogenaamde bordelese pap: een mengsel van koperzout en kalk. Maar dat heb je niet zomaar even staan, dus dan is zand een goede oplossing."

ZELFVOORZIENEND H₂-SCHIP START WERELDREIS

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen
Trefwoorden	Waterstof, elektrolyser, brandstofcel, reactievergelijkingen, energie-omzettingen, duurzaam, berekening
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.deingenieur.nl, 19 juli 2017

Zelfvoorzienend H₂-schip start wereldreis



Het eerste schip dat zelf zijn waterstof produceert is afgelopen week vanuit Parijs vertrokken voor een wereldreis. De Energy Observer is een elektrisch en/of wind aangedreven catamaran die in zijn eigen energie voorziet.



Een Frans team van architecten, ingenieurs en zeezeilers startten het project Energy Observer vanuit het idee om geheel zelfvoorzienend te varen zonder enige vorm van schadelijke emissie. Het schip is uitgerust met een vlieger, en zonnepanelen en twee windturbines voor de elektrische aangedreven motoren. Tegelijk hebben de initiatiefnemers zich vooral gericht op het mogelijk maken van het aan boord produceren van waterstof, die kan worden gebruikt om met brandstofcellen elektriciteit te produceren. Ze willen nagaan hoe ze tijdens hun route al die verschillende energiesystemen in alle mogelijke combinaties optimaal kunnen inzetten. Het schip is daarmee vooral een R&D-schip.

Groen waterstof

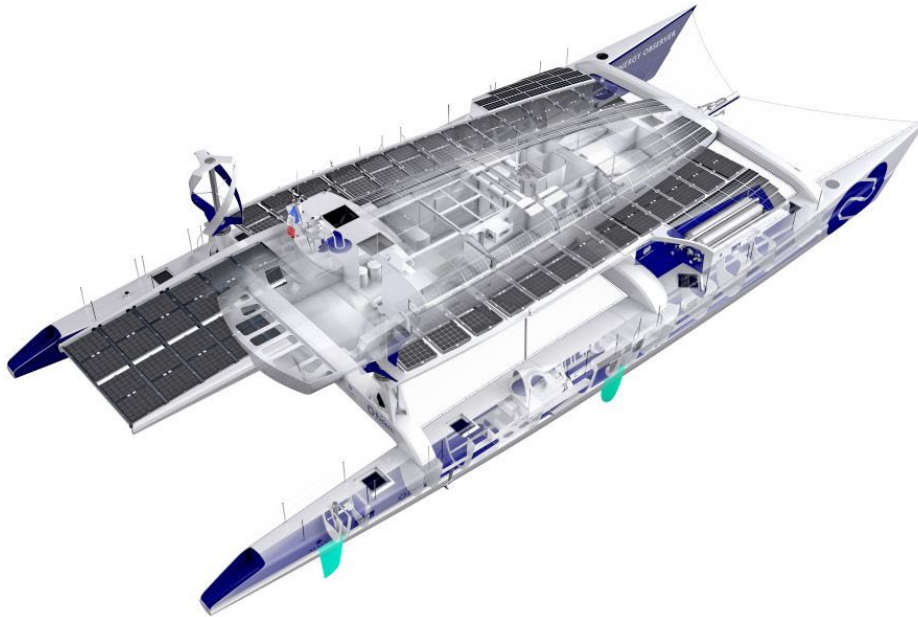
Bovenliggend doel van de initiatiefnemers is het stimuleren van het duurzaam produceren van waterstof. Nu gebeurt dat nog meestal uit aardgas, waarbij CO₂ vrijkomt. Ze willen laten zien dat het ook duurzaam kan, en dat de technologie ook voor andere toepassingen geschikt is. Tegelijkertijd presenteert het team op zijn reis in de partnersteden waar het aanlegt een milieu-educatieprogramma.

Voor het energiesysteem aan boord is het Franse onderzoeksinstituut voor nieuwe energietechnologieën en nanomaterialen CEA Liten uit Grenoble verantwoordelijk. Het

schip is uitgerust met 21 kW aan zonnepanelen, twee windturbines met verticale rotoren van elk 1 kW en een grote, volledig automatisch bestuurd vlieger.

Hydrolysefabriek

Voor de opslag van energie zijn er lithium-ionen batterijen (totaal 160 kWh) aan boord. Het hart van het energiesysteem is een complete waterstoffabriek, bestaande uit een zeewater-zuiveringsinstallatie, een elektrolyser die met elektriciteit water ontleedt in waterstof en zuurstof, compressoren, waterstoftanks (voor totaal 62 kg H₂ bij 350 bar) en een stack met brandstofcellen. Restwarmte uit de 'fabriek' verhit het water voor gebruik aan boord.



Opengewerkte tekening van de Energy Observer.

De grote technische uitdaging van het project is om de installatie in een omgeving met zout, water, trillingen en schommelingen te laten werken, Tegelijkertijd moest de apparatuur in de smalle ruimtes van een catamaran passen. Gewichtsreductie was een verdere noodzaak, want iedere kilogram meer betekent meer energieverbruik. 'Ons systeem zou conventioneel 30 ton wegen. We hebben het tot 1,3 ton weten te reduceren', aldus Florence Lambert, directrice van CEA Liten.

Wedstrijd-catamaran

Ooit was de lichtgewicht catamaran een wedstrijd-zeilschip. In 1983 werd hij in Canada als Formule TAG gedoopt en hij won in 1994 onder de naam Enza New Zealand de Jules Vernes Trofee, een wereldroning. 'Het gaat ons nu niet om snelheid', zegt de vroegere wedstrijdzeiler Victorien Erussard, kapitein van de Energy Observer. 'We willen overal ter wereld de werking van het 100 % duurzame energiesysteem laten zien en zo de toepassing van duurzame energie een impuls geven.' Het schip zal in zes jaar tijd vijftig landen aandoen, de tocht is onderverdeeld in 101 etappes.

Sinds 2013 is met technici gewerkt aan de ombouw van het schip die in totaal vijf miljoen euro heeft gekost. Sponsors werden uit de industrie, hotel-, transport-, en financiële wereld aangetrokken die met geld, mankracht, knowhow en materieel het waterstofschip mogelijk maakten.(Judith Stalpers)

De reis is te volgen via de website van Energy Observer. De planning is dat het schip maart 2019 in Amsterdam aanmeert.

De catamaran “Energy Observer” gaat voorzien in zijn eigen energie. Voor de initiatiefnemers is een van de doelen “het stimuleren van het duurzaam produceren van waterstof”.

- 1 Leg uit wat verstaan wordt onder “duurzaam produceren van waterstof”.
- 2 Noteer het woord in het artikel dat ondersteunt dat de waterstof duurzaam geproduceerd wordt.

Op de catamaran vindt een aantal energieomzettingen plaats.

- 3 Noem de energieomzettingen die op de catamaran plaats vinden.

De energie die men produceert wordt deels opgeslagen in de vorm van waterstof en deels in lithium-ionenbatterijen.

- 4 Noem twee redenen waarom men niet alleen gebruik maakt van energie-opslag als waterstof maar ook in lithium-ionenbatterijen.

De waterstof wordt op de catamaran duurzaam geproduceerd. In het artikel staat: “Nu gebeurt dat nog meestal uit aardgas, waarbij CO₂ vrijkomt.”

Waterstofgas wordt voor commerciële toepassingen vaak in grote hoeveelheden geproduceerd door middel van *reforming* van aardgas. Op hoge temperaturen (700-1100°C), reageert stoom (H₂O) met methaan (CH₄).

Bron: Wikipedia

- 5 Stel de reactievergelijking op voor de vorming van waterstofgas uit methaan en stoom.

Men gebruikt op de catamaran een elektrolyser om waterstof te maken.

- 6 Noteer de vergelijking van de reactie die optreedt in de elektrolyser.
- 7 Is de reactie die in de elektrolyser optreedt exotherm of endotherm? Licht je antwoord toe.
- 8 Leg uit waarom de productie van waterstof met de elektrolyser beter is voor het milieu dan de productie uit aardgas.

In waterstoftanks van de catamaran kan in totaal 65 kg waterstof worden opgeslagen. De massaverhouding waarin waterstof en zuurstof gevormd worden is 1 : 8. De dichtheid van water is 1,0 kg L⁻¹

- 9 Bereken hoeveel liter water men heeft moeten elektrolyseren om 62 kg waterstof te maken.

De waterstof wordt opgeslagen in de tank bij een heel hoge druk, namelijk 350 bar.

- 10 Waarom zal men de gevormde waterstof bewaren bij heel hoge druk?

Om uit de waterstof de opgeslagen energie vrij te maken, leidt men de waterstof in een brandstofcel. Dit is een apparaat dat via een chemische reactie een brandstof en zuurstof (uit de lucht) omzet in water en elektrische energie.

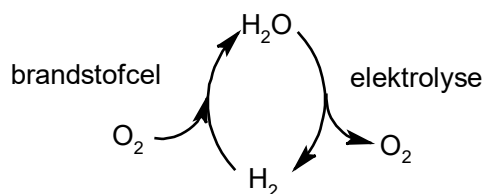
- 11 Noteer de vergelijking van de reactie die optreedt in deze brandstofcel.

Je kunt zeggen dat er op de catamaran een kringloop van waterstof plaats vindt.

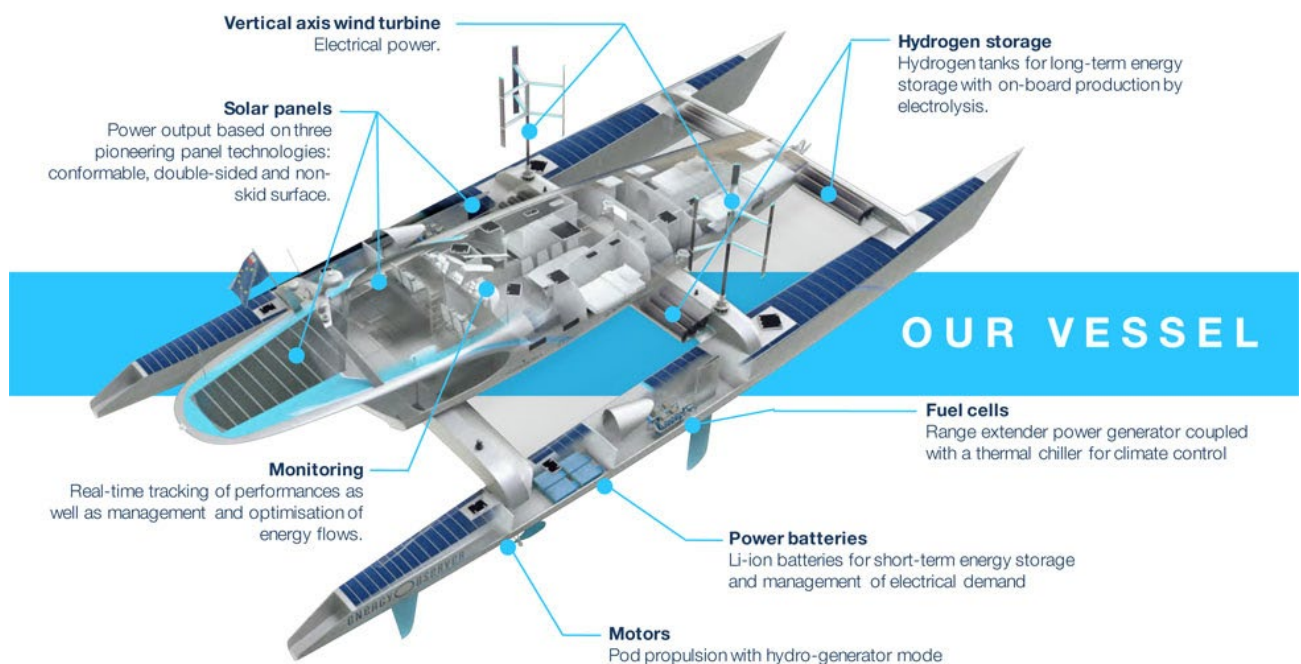
12 Geef deze kringloop schematisch weer.

Zelfvoorzienend H₂ schip start wereldreis

- 1 Als er duurzame elektriciteit (wind, zonne-energie,...) opgewekt en gebruikt wordt in het proces, produceer je duurzaam waterstof.
- 2 Groen (waterstof).
- 3 Wind/zonne-energie in elektrische energie; elektrische energie in chemische energie; chemische energie in elektrische energie.
- 4 Men wil niet afhankelijk zijn van een van de twee opslagmethoden van energie. Men kan maar een bepaalde maximale hoeveelheid waterstof opslaan aan boord.
- 5 $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2$
- 6 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$
- 7 Endotherm, het is een reactie onder invloed van een elektrische stroom. Je voert dus elektrische energie toe.
- 8 Bij de productie uit CH_4 ontstaat CO_2 . Deze CO_2 zat nog niet in de koolstofkringloop. Dit zorgt voor een versterkt broeikas effect. Bij de elektrolyser ontstaat dan geen koolstofdioxide als men de energie die ervoor nodig is tenminste duurzaam produceert.
- 9 De massaverhouding water : waterstof = 9 : 1. Dus nodig $9 \times 62 = 558 \text{ kg}$ water ofwel 558 L water.
- 10 Bij kamertemperatuur is waterstof een gas en neemt het een groot volume in. Bij hoge druk past er veel meer waterstof in een bepaald volume.
- 11 $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
- 12



Artikel: <https://www.deingenieur.nl/artikel/zelfvoorzienend-h2-schip-start-wereldreis>



IN DUITSLAND MOET WATERSTOF DÉ NIEUWE BRANDSTOF WORDEN

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen
Trefwoorden	Waterstof, elektrolyser, brandstofcel, reactievergelijkingen, energie-omzettingen, duurzaam, berekening
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

de Volkskrant, 26 juli 2017

In Duitsland moet waterstof dé nieuwe brandstof worden

Duitsland zet hard in op de waterstofeconomie, met volgend jaar al honderd tankstations met schone waterstof. Moet Nederland volgen? Aflevering 4 van de Groene Revolutie: comeback van de waterstofeconomie.

Bard van de Weijer

Groene revolutie maar hoe dan?

De overgang naar een duurzame economie in Nederland is nu echt ingezet. We volgen het vallen en opstaan van pioniers en andere aanjagers op de voet.

Het kan dus gewoon. Op waterstof dwars door Duitsland rijden; van Hamburg in het noorden naar het zuidelijke Stuttgart. Na decennialang een mooie belofte te zijn geweest, is hij er ineens: de waterstofauto. Het opmerkelijkste: al na een paar kilometer lijkt het de gewoonste zaak van de wereld. Deze Toyota Mirai is een ruime, stille, elektrische zakenauto zoals er inmiddels wel meer rondrijden. De enige aanwijzing dat er een technologisch hoogstandje onder de motorkap (eigenlijk door de hele auto) verstopt zit, is het waterneveltje dat oplicht in de ochtendzon als de bestuurder gas geeft.

Water is alles wat er uit de uitlaat komt. Geen klimaatveranderend CO₂, geen verstikkende stikstofoxiden. En als de tank leeg is, gooi je hem in een paar minuten vol met waterstof voor de volgende vierhonderd kilometer.

De waterstofeconomie lijkt in Duitsland eindelijk begonnen en gek genoeg spelen Japanners er een hoofdrol. Zonder fanfare en trompetgeschal, beschroomd bijna, vanwege de achterstand die de brandstofcelauto, zoals hij officieel heet, het afgelopen decennium heeft opgelopen ten opzichte van zijn accuconcurrent.

Volgend jaar zullen het er al honderd tankstations zijn



[Waterstofauto van Hyundai.](#) © ANP

Toyota heeft een aantal journalisten uitgenodigd om tijdens een Duitse 'road trip' te laten zien dat de waterstofeconomie ontluikt. In het kleine Nederland is zo'n trip een stuk ingewikkelder, omdat hier geen tankstations zijn. Nou ja, twee, bij Rotterdam en Helmond. (...)

Anderen zijn minder optimistisch over de kansen voor waterstof. Een van hen is Auke Hoekstra, onderzoeker aan de Technische Universiteit Eindhoven en pleitbezorger van de accu-auto. De brandstofcel die waterstof omzet in water en elektriciteit is nog zeer kostbaar, zegt hij. En het rendement nog niet erg hoog: van alle energie die in waterstof zit, gaat 40 procent verloren bij het omzettingsproces.

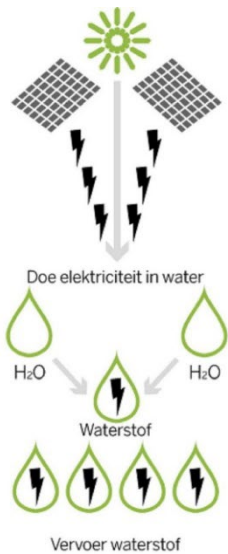
Hoewel een waterstofauto efficiënter met energie omgaat dan een conventioneel voertuig, presteert een accu-auto een stuk beter. 'Grofweg kun je zeggen dat voor een kilometer rijden op waterstof drie keer zo veel energie nodig is dan wanneer diezelfde kilometer wordt afgelegd in een accu-auto', zegt Hoekstra. Anders gezegd: je hebt dus drie keer zo veel windmolens nodig voor dezelfde duurzame kilometer. Ook zijn de 'brandstofkosten' hoger: een kilogram (waterstof wordt afgerekend in gewicht in plaats van volume) kost bij de pomp nu 10 euro en de Mirai rijdt daar ongeveer honderd kilometer op.

Maar, zeggen meereizende experts van Toyota, de prijs van waterstof is nu vastgesteld op een kunstmatig hoog niveau. Als straks aanbod en vraag groeien, wordt het goedkoper. En vergeet niet dat brandstofcellen steeds efficiënter worden, zeggen zij. Die van de Mirai heeft nu een efficiency van ongeveer 60 procent. 'De volgende zal aanmerkelijk beter zijn', stelt Taiyo Kawai, die bij Toyota de leiding heeft over de onderzoeksafdeling voor de brandstofcel. In theorie is een rendement van 83 procent haalbaar, al zal dat waarschijnlijk nooit worden bereikt. (...)

Bij een accu-auto is de batterij het duurste onderdeel. Bij een waterstofauto de brandstofcel. Wat die kost, wil Toyota niet zeggen, maar het is een publiek geheim dat de autofabrikant op elke verkochte Mirai (die in Duitsland ongeveer 60 duizend euro kost) flink toelegt. Maar de prijs van de brandstofcel daalt snel. 'Die in de Mirai is al twintig keer goedkoper dan de cel van zijn voorganger uit 2008', zegt Kawai. 'In 2020 is de prijs nog eens gehalveerd en in 2025 opnieuw.' Het apparaat kost dan nog maar een kwart van de huidige en is dan concurrerend.

Lastig is dat accu's ook razendsnel goedkoper worden, waardoor het voor de brandstofcel moeilijk wordt het gat te dichten. Maar, zegt Kawai, de brandstofcelauto heeft een groot voordeel: als je de actieradius wilt vergroten, hoef je alleen maar een grotere tank te

monteren. 'Dat is een relatief goedkoop en licht onderdeel. Als je een accu-auto verder wilt laten rijden, heb je een grotere accu nodig, die duur en zwaar is.'



Bij Toyota erkennen ze dat nog niet stormloopt met de waterstofauto. 'Maar we kijken niet naar morgen', zegt Guido Roozebrans van Toyota Nederland. Het gaat om de veel langere termijn. Pas rond 2025 begint het interessant te worden. Dan is de technologie commercieel goed toepasbaar en - belangrijker - beginnen flinke overschotten te ontstaan van duurzame elektriciteit afkomstig van enorme windparken. Waterstof kan worden gebruikt om het surplus aan stroom op te vangen, zoals onder anderen hoogleraar Ad van Wijk van de TU Delft bepleit.

Die waterstofeconomie komt er gewoon, zeggen ze bij Toyota. En als het zo ver is, hebben wij de technologie gereed. Een kwestie van lange adem.

Duitsland waterstofland

Hamburg - Waterstoftankstation

In het centrum van Hamburg staat een tankstation dat zelf waterstof produceert uit duurzame elektriciteit. Groot voordeel: het spul hoeft niet op kostbaar transport, maar ligt gewoon in de grote opslagtanks op het dak. Zes stadsbussen rijden erop, plus een handvol personenauto's, zegt Sybille Riepe van H2-Mobility, de organisatie achter de bouw van waterstoftankstations in Duitsland.



Keulen - Industrie als bron

Het Roergebied is nog altijd het industriële hart van Duitsland. De chemische industrie produceert er per dag 20 ton waterstof als bijproduct. Kunnen we dat niet gaan inzetten als brandstof voor bussen?, vroeg Albrecht Möllmann zich tien jaar geleden af. Dat kon.

Inmiddels rijden twee stadsbussen dagelijks hun route. In 2020 moeten het er dertig zijn. In Hürth worden de brandstofcelbussen bij een druk van 350 bar volgetankt met waterstof.

Mainz - Waterstof uit wind

Als het hard waait en de zon schijnt, ontstaat in Duitsland al snel een overschot aan duurzame stroom. Bij energiepark Mainz wordt die elektriciteit omgezet in waterstof dat je later kunt gebruiken. Boven op een groenglooiende heuvel in een teletubbielandchap liggen enorme witte opslagtanks te glanzen in de zon en produceren drie enorme elektrolyseapparaten jaarlijks 200 ton waterstof voor tankstations of om te worden bijgemengd in het gasnet van het naburige dorpje Ebersheim. Of je maakt er weer elektriciteit van als duurzame bronnen stil liggen.

Stuttgart - Vliegen op waterstof

Voor de luchtvaart zijn er nauwelijks alternatieven voor kerosine. Ook hier kan waterstof een rol spelen. De Duitse lucht- en ruimtevaartorganisatie DLR heeft daarom een waterstofvliegtuig ontwikkeld; een klein toestel met propellermotor dat vier personen kan vervoeren. Het toestel gaat langzaam en kan slechts 600 kilometer overbruggen, al ligt een verdubbeling in het verschiet. De Duitsers werken al aan een veertigzitter die over enkele jaren regionale vluchten moet gaan uitvoeren.

In het artikel is sprake van duurzame stroom en duurzame elektriciteit waarmee waterstof geproduceerd wordt.

- 1 Leg uit wat bij de productie van waterstof verstaan wordt onder “duurzaam”.
- 2 Noteer het woord uit het artikel dat ondersteunt dat er duurzaam geproduceerd wordt.

In de buurt van Keulen wordt waterstof als bijproduct van industriële processen verkregen. Het hoofdproduct is bijvoorbeeld etheen. Etheen wordt onder andere gebruikt als grondstof voor kunststoffen. De massaverhouding waarin etheen en waterstof ontstaan is 28 : 2.

- 3 Bereken hoeveel ton etheen per jaar wordt geproduceerd als er 20 ton waterstof per dag ontstaat.

Onder het kopje “Mainz- Waterstof uit wind” staat hoe men daar waterstof produceert en weer gebruikt.

- 4 Noem de energieomzettingen die hierbij plaats vinden.

Men maakt in Mainz gebruik van elektrolyse van water om waterstof te maken.

- 5 Noteer de vergelijking van de reactie die optreedt bij de elektrolyse van water.
- 6 Is de reactie die in de elektrolyse-apparaten optreedt exotherm of endotherm? Licht je antwoord toe.

In Mainz maken ze via elektrolyse jaarlijks 200 ton (= 200.000 kg) waterstof. De massaverhouding waarin waterstof en zuurstof gevormd worden is 1 : 8. De dichtheid van water is $1,0 \text{ kg L}^{-1}$.

- 7 Bereken hoeveel liter water men moet elektrolyseren om 200.000 kg waterstof te maken.

In het artikel staat: “een kilogram (waterstof wordt afgerekend in gewicht in plaats van volume) kost bij de pomp nu 10 euro en de Mirai rijdt daar ongeveer honderd kilometer op.” In een ander artikel staat: “In Hürth (Roergebied, Duitsland) worden de brandstofcelbussen bij een druk van 350 bar volgetankt met waterstof.”

- 8 Leg uit welke fase waterstof zal hebben als men tankt.

Als men een auto elektrisch wil laten rijden op waterstof leidt men het in een brandstofcel. Daar wordt de in de waterstof opgeslagen energie vrij gemaakt. In een brandstofcel vindt een chemische reactie plaats van een brandstof en zuurstof (uit de lucht) waarbij water ontstaat en elektrische energie vrij komt.

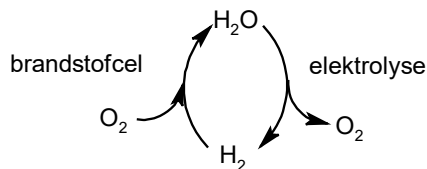
- 9 Noteer de vergelijking van de reactie die optreedt in de brandstofcel.

In principe is het maken van waterstof via elektrolyse en het gebruiken van waterstof in een brandstofcel een kringloop van waterstof.

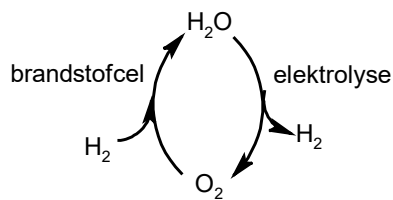
- 10 Geef deze waterstofkringloop schematisch weer.
- 11 Leg uit dat je hier naast de waterstofkringloop te maken hebt met nog een kringloop. Geef ook deze kringloop schematisch weer.

In Duitsland moet waterstof dé nieuwe brandstof worden

- 1 Je spreekt over duurzaam als je duurzame elektriciteit (wind, zonne-energie,...) opwekt en gebruikt in het proces voor het produceren van waterstof.
- 2 Groen (groene revolutie).
- 3 $20 \text{ ton waterstof per dag} \equiv 365 \times 20 = 7300 \text{ ton waterstof per jaar} = (28/2) \times 7300 = 102.200 \text{ ton etheen per jaar} (= 1.10^8 \text{ kg per jaar})$
- 4 Wind/zonne-energie in elektrische energie; elektrische energie in chemische energie; chemische energie in elektrische energie.
- 5 $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$
- 6 Endotherm, het is een reactie onder invloed van een elektrische stroom. Je voert elektrische energie toe.
- 7 De massaverhouding water : waterstof = 9 : 1. Dus nodig $9 \times 200.000 = 1.800.000 \text{ kg}$ water ofwel $1,8 \cdot 10^6 \text{ L}$ water.
- 8 Bij kamertemperatuur is waterstof een gas en neemt het een groot volume in. Bij hoge druk past er veel meer waterstof in een bepaald volume. Het zit er in als (sterk) samengeperst gas.
- 9 $2 \text{ H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$
- 10



- 11 De kringloop van zuurstof, de atoomsoort zuurstof zit zowel in H_2O als O_2 .

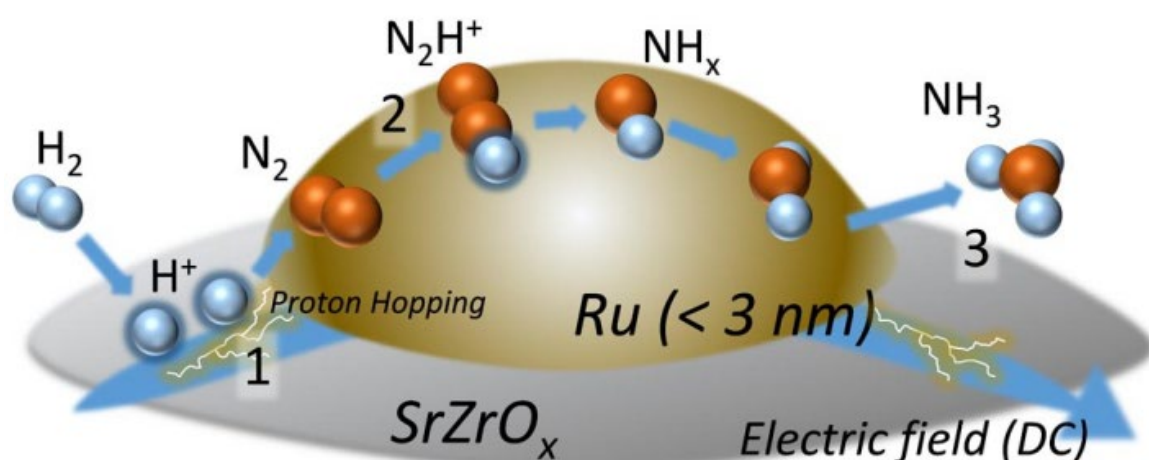


HOPPENDE PROTONEN MAKEN GOEDKOOP AMMONIAK

Klas	5 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Redoxreacties
Trefwoorden	Ammoniak, waterstof, stikstof, ruthenium, proton hopping
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W Life Sciences, 14 juli 2017

Hoppende protonen maken goedkoop ammoniak



Laat protonen over een katalysator huppelen in een elektrisch veld, en je kunt ammoniak synthetiseren bij lage temperatuur en druk. Zo kun je die synthese ook op kleine schaal uitvoeren zonder dat ze onbetaalbaar wordt, schrijven Japanse onderzoekers in *Chemical Science*.

Onder 'laag' verstaan ze daarbij 200 °C en 9 bar, veel lager en dus energiezuiniger dan we gewend zijn van het traditionele Haber-Boschproces dat alleen op zeer grote schaal rendabel is. De Japanners registreerden daarbij een ammoniakproductie van 30 mmol per gram katalysator en per uur, wat voor ammoniaksynthesebegrippen een hele prestatie is.

Hun katalysator bestaat uit cesium- en rutheniumnanodeeltjes (respectievelijk 9,9 en 5,0 massa%) op een $SrZrO_3$ -drager. Wat dat cesium precies doet blijft overigens onduidelijk; het lijkt wel of de auteurs simpelweg geen kat zónder cesium hadden liggen. Dat ruthenium de vorming van NH_3 uit N_2 en H_2 katalyseert was al langer bekend, maar het elektrische veld lijkt dit proces veel makkelijker te maken.

Volgens de Japanners tonen theoretische berekeningen aan dat dit komt doordat je in dat elektrische veld een heel ander reactiemechanisme krijgt. Normaal gesproken begint het met het splitsen van N_2 . Maar mét elektrisch veld krijg je eerst splitsing van H_2 op het $SrZrO_3$, waarna de gevormde protonen overspringen op een rutheniumdeeltje en daar N_2H

vormen - vanwege dat elektrische veld lijkt dat ineens een exotherm proces te worden. Pas daarna wordt de binding tussen beide N's verbroken, waarna de toevoeging van nog meer protonen leidt tot 2 NH₃.

De Japanners spreken in dit verband van 'proton hopping' - een term die normaal gesproken slaat op het gedrag van protonen in water en dan ook wel bekend staat als het Grotthuss-mechanisme. Metingen met *diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy* (DRIFTS) suggereren dat tijdens de reactie ook NH₄⁺ aanwezig is, en dat doet vermoeden dat de reeds gevormde NH₃-moleculen optreden als drager voor de protonen. Dus inderdaad net zoals watermoleculen het bij Grotthuss doen.

Of de uitvinding werkelijk praktisch toepasbaar is, is afwachten - maar twee van de auteurs werken voor het chemieconcern Nippon Shokubai dus de industrie zit er al bovenop.

bron: Waseda University, Chemical Science

Ammoniak wordt meestal gemaakt via het Haber-Boschproces uit waterstof en stikstof en met ijzer als katalysator. Het Haber-Boschproces vindt plaats bij zeer hoge druk en een temperatuur van circa 450°C. Voor het nieuwe proces zijn 200°C en 9 bar voldoende.

- 1 Geef de reactievergelijking van het Haber-Boschproces.
- 2 Leg uit dat het nieuwe proces veel energiezuiniger is.

In het nieuwe proces wordt ruthenium op een drager van SrZrO₃ gebruikt. In combinatie met een elektrisch veld fungeert dit als katalysator. De figuur in het artikel toont de verschillende deelstappen zoals de onderzoekers die veronderstellen.

- 3 Geef de reactievergelijking die bij deelstap 1 plaatsvindt.
- 4 Geef de reacties die bij deelstap 2 plaatsvinden.

Als laatste vindt de uiteindelijke vorming van ammoniak in stap 3 plaats.

- 5 Geef de reactievergelijking van stap 3.

Metingen suggereren dat tijdens de reactie ook NH₄⁺ aanwezig is.

- 6 Hoe verklaart men de aanwezigheid van het ammoniumion?

Men spreekt bij het nieuwe proces van 'proton hopping'.

- 7 Licht deze term toe.

De Japanse onderzoekers doen een suggestie voor toepassing van 'hun' proces.

- 8 Aan welke toepassing denken de onderzoekers?

Dartelende protonen

- 1 $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$.
- 2 Er is een veel lagere temperatuur nodig en een veel lagere druk, dus kost veel minder energie.
- 3 $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$.
- 4 $\text{N}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2\text{H}^+$. daarna: $\text{N}_2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{NH} + \text{N}$. Gevolgd door: $\text{NH} + \text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{NH}_2$.
- 5 $\text{NH}_2 + \text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{NH}_3$.
- 6 Dat het gevormde ammoniak H^+ bindt en dient als protondrager.
- 7 De H^+ deeltjes springen op het oppervlak over van de ene plaats (het SrZrO_3 deeltje) naar de andere plaats (het rutheniumdeeltje).
- 8 Ammoniaksynthese op kleine schaal.