

BIOGAS

Klas	4 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Brandstoffen
Trefwoorden	Biogas, mest, vergisting, groene stroom, milieu, duurzaamheid
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 24 november 2017

Biogas

FrieslandCampina stookt op mest.

FrieslandCampina in Borculo heeft een contract gesloten met Groot Zevert Vergisting uit Beltrum, dat met een biovergister groene stroom opwekt uit mest van boeren uit de omgeving. De vergistingsinstallatie kan jaarlijks 11 miljoen m³ biogas opwekken waarvan 8 miljoen m³ via een 5 km lange leiding (die momenteel wordt aangelegd) naar FrieslandCampina in Borculo gaat. Daarmee wordt de uitstoot van 8000 ton CO₂ bespaard, gelijk aan de uitstoot van 3500 huishoudens.

Bron: www.frieslandcampina.com

Het bedrijf Groot Zevert Vergisting verwerkt mest van boeren uit de omgeving in een biovergister. Bij vergisting van organische stoffen zoals zetmeel ontstaat biogas, een mengsel van koolstofdioxide en methaan.

- 1 Geef de vergisting van zetmeel, (C₆H₁₀O₅)_n, in een reactievergelijking weer. Bij de vergisting is ook water betrokken.
- 2 Leg uit hoe met behulp van de biovergister groene stroom opgewekt wordt.

Een deel van het door Groot Zevert Vergisting geproduceerde biogas gaat naar het bedrijf FrieslandCampina om daar als brandstof gebruikt te worden. Slechts een deel van het biogas is daar geschikt voor.

- 3 Leg uit welk deel van het biogas als brandstof te gebruiken is.
- 4 Geef de vergelijking van de reactie die bij de verbranding optreedt.

Doordat FrieslandCampina biogas als brandstof gaat gebruiken, wordt daarmee volgens het artikel een uitstoot van 8000 ton CO₂ bespaard.

- 5 Laat via een berekening zien of de genoemde hoeveelheid van 8000 ton CO₂ juist is bij een jaarlijks gebruik van 8 miljoen m³ biogas. Gebruik voor het molair volume van een gas 24 dm³ mol⁻¹.

Er wordt gesproken over een besparing op de CO₂ uitstoot. Er wordt echter bij de verbanding van biogas toch ook CO₂ gevormd.

6 Leg uit waarom het toch een besparing is.

Het geproduceerde biogas zou ook als alternatief voor aardgas kunnen dienen. Daartoe zou dan wel een groot deel van het aanwezige koolstofdioxide uit het biogas verwijderd moeten worden.

7 Leg uit waarom een groot deel van de aanwezige CO₂ in biogas er uit verwijderd zou moeten worden.

8 Beschrijf een methode om de CO₂ uit biogas te verwijderen.

De meeste huishoudens gebruiken aardgas als brandstof. Aardgas dat in Nederland gebruikt wordt, bevat zo'n 80% methaan. Volgens het artikel is de besparing van 8000 ton CO₂ gelijk aan de uitstoot van 3500 huishoudens.

9 Bereken aan de hand van de gegevens het jaarlijkse verbruik aan aardgas door huishoudens.

Biogas

- 1 $(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow 3n CH_4 + 3n CO_2$.
- 2 Biogas wordt verbrand. Met de vrijkomende energie wordt stoom gemaakt. Deze stoom zet turbines in werking die elektrische stroom opwekken.
- 3 Alleen het methaan kan verbrand worden, de koolstofdioxide niet.
- 4 $CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$.
- 5 8 miljoen m^3 biogas bestaat voor de helft uit methaan. Deze methaan wordt verbrand waarbij CO_2 ontstaat. Uit 4 miljoen m^3 methaan ontstaat 4 miljoen m^3 CO_2 .
 $4 \cdot 10^6 m^3 CO_2 = 4 \cdot 10^9 dm^3 CO_2 \equiv 4 \cdot 10^9 / 24 = 1,7 \cdot 10^8 \text{ mol } CO_2 \equiv 1,7 \cdot 10^8 \times 44,010 = 7,3 \cdot 10^9 \text{ g} = 7,3 \cdot 10^3 \text{ ton } CO_2$. Conclusie: niet helemaal overeenkomstige waarde.
- 6 Deze koolstofdioxide zat al in de koolstofkringloop, het is geen extra koolstofdioxide.
- 7 Aardgas bevat 80% methaan, biogas 50%. Om biogas dezelfde stookwaarde te geven als aardgas moet er een deel van de koolstofdioxide verwijderd worden.
- 8 Leid het biogas door kalkwater. Het koolstofdioxide reageert met de aanwezige kalk in het kalkwater en blijft achter.
- 9 Aardgas bevat 80% methaan. $8000 \text{ ton } CO_2 = 8 \cdot 10^9 \text{ g} \equiv 8 \cdot 10^9 / 44,010 = 1,8 \cdot 10^8 \text{ mol } CO_2$. Dus dan een besparing van $1,8 \cdot 10^8 \text{ mol } CH_4$. Voor aardgas met 80% methaan betekent dit een besparing van $100/80 \times 1,8 \cdot 10^8 \text{ mol aardgas} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ mol aardgas} \equiv 2,3 \cdot 10^8 \times 24 = 5,5 \cdot 10^9 dm^3 = 5,5 \cdot 10^6 m^3 \text{ aardgas}$. Per huishouden is dit $5,5 \cdot 10^6 / 3500 = 1,6 \cdot 10^3 m^3$. Dit is een gebruikelijke waarde.

YOGHURTAFVAL WORDT VLIEGTUIGBRANDSTOF

Klas	5,6 v
Subdomein	Industriële processen en Groene Chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Nieuwe toepassingen, blokschema, hydrolyse, redox
Trefwoorden	koolhydraten, COD, duurzaam proces, lactose, melkzuur, carbonzuur, wei
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

www.c2w.nl, 21 december 2017

Yoghurtafval wordt vliegtuigbrandstof



Joule presenteert een anaeroob proces dat middellange carbonzuurketens maakt van de zure wei, die overblijft bij de productie van Griekse yoghurt. Zo brengt het tenminste iets op, denken Lars Angenent en collega's van Cornell University.

Ze wijzen er op dat die yoghurt steeds populairder wordt: hun universiteit zit in de staat New York, waar de productie tussen 2007 en 2012 is verdrievoudigd tot 315.000 ton per jaar. In elke liter yoghurt gaat drie liter melk zitten, en dat levert 630.000 ton wei op met een vrij lage pH en een hoog chemisch zuurstofverbruik (COD). Bij gebrek aan betere toepassingsmogelijkheden wordt dat eiwit-, vet- en suikerhoudende vocht vaak over het land verspreid als mest, of anaeroob gefermenteerd tot methaan.

De voornaamste ingrediënten in die wei blijken lactose, fructose en melkzuur te zijn. En de groep van Angenent, een Wageningse ingenieur die carrière maakte in de VS en sinds kort hoogleraar milieubiotechnologie is in het Duitse Tübingen, heeft nu een proces bedacht dat eerst de resterende suikers eveneens in melkzuur omzet en vervolgens die ketens verlengt tot - voornamelijk - n-hexaanzuur en n-octaanzuur.

Voor die verlenging is in principe een externe elektronendonor nodig. Maar kennelijk weten de bacteriën daar de overige ingrediënten in de wei voor te benutten zodat er niets extra's bij hoeft.

De voornaamste truc blijkt te zijn dat je er een tweestapsproces van moet maken. De melkzuurproductie laat je verlopen bij 50 °C en de ketenverlenging in een tweede reactor met een andere bacteriepopulatie, bij 30 °C.

Die populaties komen dan voort uit een gemengde cultuur waar je de bioreactoren mee ent, en het microbioom dat al van nature in de wei zit. Ze optimaliseren zichzelf; na een tijdje vind je in de eerste reactor vrijwel alleen nog maar de melkzuurbacterie *Lactobacillus lactis*, terwijl de tweede zo te zien wordt gedomineerd door niet nader geïdentificeerde soorten uit de Bacteroidales- en Clostridiales-families.

Wat er verder precies in die reactoren gebeurt hebben Angenent een collega's niet onderzocht; het zou zelfs kunnen dat er een dosis geluk aan te pas kwam om de genoemde producten te krijgen.

Het goede nieuws is dat hexaanzuur en octaanzuur prima verkoopbaar zijn als voedingssupplement voor koeien. Deze zuren hebben een antimicrobiële werking en kunnen daardoor antibiotica vervangen. Angenent schat dat hij uit die 630.000 ton wei zeker 8.620 ton product kan winnen. Als je mag afgaan op de prijzen die Chinese groothandelaren rekenen op alibaba.com, brengt dat zeker \$ 32 miljoen op.

Mocht die markt verzadigd raken dan kun je overwegen de ketens nog wat verder te verlengen, wat volgens Angenent iets oplevert dat bruikbaar is als vliegtuigbrandstof.

bron: *Cell Press*

Wei

Bij de yoghurtproductie blijft een waterige vloeistof over: wei, die nog waardevolle stoffen bevat. Wei bevat per 100 g circa 93,5 g water en 6,5 g droge stof, waarvan 4,8 g lactose.

- 1 Zoek in *Binas* de structuurformule op van lactose. Geef de molecuulformule.

Bij hydrolyse van lactose ontstaan galactose en glucose.

- 2 Geef in molecuulformules de reactievergelijking voor de hydrolyse van de disacharide lactose.

In de staat New York komt er per jaar bij de bereiding van Griekse yoghurt 630.000 ton wei beschikbaar.

- 3 Bereken hoeveel ton lactose zich in 630.000 ton wei bevindt.

Als je de wei op het oppervlaktewater zou lozen, kunnen micro-organismen de opgeloste stoffen afbreken door ze te laten oxideren (reageren met zuurstof). Maar wanneer er teveel van die oxideerbare stoffen in het water komt, ontstaat er een zuurstoftekort.

- 4 Leg uit waarom dit nadelig is voor de kwaliteit van het oppervlaktewater.

COD

Het COD (chemical oxygen demand) is een getalwaarde die aangeeft hoeveel zuurstof (uitgedrukt in mg per liter) nodig is om alle stoffen in de wei te oxideren.

- 5 Geef in molecuulformules de reactievergelijking voor de volledige oxidatie (reactie met zuurstof) van lactose.
- 6 Bereken hoeveel mg zuurstof nodig is om het aantal ton lactose dat je in vraag 3 hebt berekend volledig te oxideren.

Stel dat de grenswaarde voor het COD 250 massa-ppm is in het afvalwater van de yoghurtfabriek.

- 7 Reken de waarde van 250 massa-ppm om naar mg L^{-1} .
- 8 Bereken hoeveel m^3 oppervlaktewater je dagelijks minimaal nodig hebt om deze hoeveelheid wei te lozen als je beneden de COD wilt blijven.

Je hebt in de omgeving van de fabriek veel meer water nodig om de wei te kunnen lozen dan je in vraag 8 hebt berekend.

- 9 Leg uit waarom je veel meer water nodig hebt dan berekend.

Het proces

Bij de nieuwe methode worden uit melkzuur lange carbonzuren gevormd.

- 10 Zoek in *Binas* de systematische naam op van melkzuur.
- 11 Geef in molecuulformules de reactievergelijking van de omzetting van lactose in melkzuur.
- 12 Geef de structuurformules van n-hexaanzuur en n-octaanzuur. Geef aan waarvoor deze gebruikt kunnen worden.

Voor de omzetting van melkzuur in de langere carbonzuren zijn elektronen nodig. Deze worden geleverd door andere stoffen in de wei.

- 13 Geef in molecuulformules de halfreactie voor de omzetting van melkzuur in n-hexaanzuur in zuur milieu.

In de twee stappen van het proces zijn verschillende bacteriestammen werkzaam. Dit is vanzelfsprekend als je naar de omstandigheden van de twee stappen kijkt.

- 14 Leg uit welke omstandigheid aantoont dat je twee verschillende bacteriestammen nodig hebt.

Zowel in stap 1 als stap 2 wordt de inhoud van de reactor geleid langs membranen. Na stap 1 wordt melkzuur eruit gefiltreerd en naar reactor 2 geleid. De rest van de wei wordt gerecirculeerd naar reactor 1. In stap 2 gebeurt iets soortgelijks.

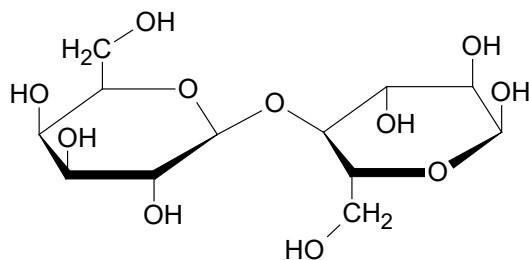
- 15 Leg uit of de membranen in stap 1 en 2 gelijk moeten zijn aan elkaar of juist niet.
- 16 Teken aan de hand van informatie uit het artikel en uit deze opgave een blokschema voor dit proces.

De titel van het artikel 'Yoghurtafval wordt vliegtuigbrandstof' dekt de inhoud van het artikel niet.

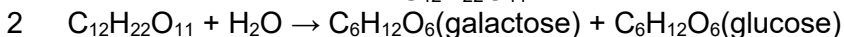
- 17 Leg uit waarom deze titel de inhoud niet dekt. En leg uit waarom toch voor deze titel zal zijn gekozen.

Yoghurtafval wordt vliegtuigbrandstof

1 Structuurformule lactose



Molecuulformule lactose: $C_{12}H_{22}O_{11}$

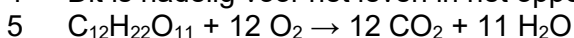


3 4,8 g lactose per 100 g wei.

Er is 630.000 ton wei. Dit komt overeen met $6,30 \cdot 10^{11}$ g wei.

Er is: $0,048 \times 6,30 \cdot 10^{11} = 3,0 \cdot 10^{10}$ g lactose, dus 30.000 ton lactose.

4 Dit is nadelig voor het leven in het oppervlaktewater. Dit heeft zuurstof nodig.



6 $30.000 \text{ ton} = 3,0 \cdot 10^{10} \text{ g lactose} \equiv 3,0 \cdot 10^{10} / 342,3 = 8,764 \cdot 10^7 \text{ mol lactose.}$

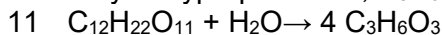
Je hebt nodig $12 \times 8,764 \cdot 10^7 = 1,052 \cdot 10^9 \text{ mol zuurstof} = 1,052 \cdot 10^9 \times 32,0 = 3,37 \cdot 10^{10} \text{ g zuurstof} = 3,37 \cdot 10^{13} \text{ mg zuurstof.}$

7 250 massa-ppm betekent dat 10^6 kg water 250 kg wei mag bevatten. Stel de dichtheid van water op 1 kg dm^{-3} dan geldt dat 10^6 L water 250 kg wei mag bevatten. Dus 1 L water mag dan $250 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 250 \text{ mg wei}$ bevatten $\equiv 250 \text{ mg L}^{-1}$.

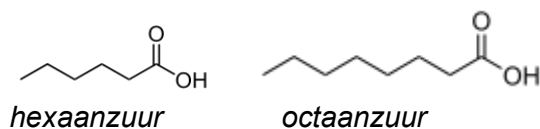
8 Je hebt $3,0 \cdot 10^{13} \text{ mg wei}$ in 1 jaar! Dus $3,0 \cdot 10^{13} / 365 = 8,22 \cdot 10^{10} \text{ mg wei}$ per dag om te lozen. Per liter 250 mg dus nodig $8,22 \cdot 10^{10} / 250 = 3,29 \cdot 10^8 \text{ L} = 3,29 \cdot 10^5 \text{ m}^3 \text{ water.}$

9 Bij de berekening in 8 ga je ervan uit dat al de geloosde wei goed gemengd wordt met het oppervlaktewater en in één dag is afgebroken. Dat zal niet zo zijn.

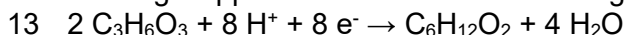
10 2-hydroxypropaanzuur, $C_3H_6O_3$.



12



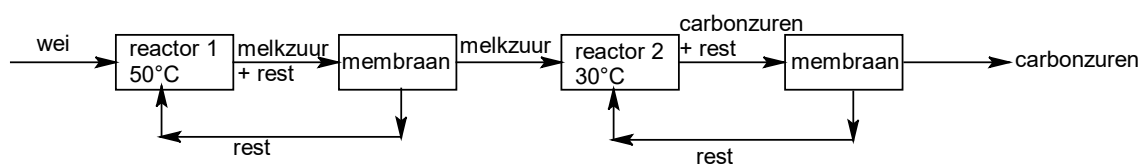
Deze alkaanzuren hebben een antimicrobiële eigenschap en kunnen prima als voedingssupplement voor koeien worden gebruikt.



14 Er is een verschillende temperatuur bij de twee stappen. Bacteriën werken optimaal bij één bepaalde temperatuur. Hier zijn het twee processen bij twee verschillende temperaturen, dus verschillende bacteriën.

15 Na stap 1 wordt het melkzuur eruit gefilterd via het membraan. Die gaat door naar reactor 2. In reactor 2 worden de alkaanzuren geproduceerd. Na reactor 2 moeten deze eruit gefilterd worden. Totaal verschillende stoffen, dus ook verschillende membranen nodig.

16



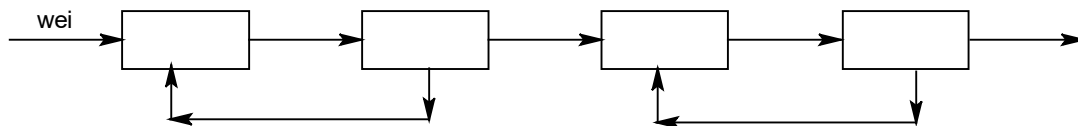
17 Het onderzoek gaat niet verder dan het produceren van alkaanzuren die kunnen dienen als veevoer. De vliegtuigbrandstof ligt nog in de toekomst. De gebruikte titel nodigt wel uit om te lezen!

Artikel: <https://www.c2w.nl/nieuws/yoghurt-afval-wordt-vliegtuigbrandstof/item19615>

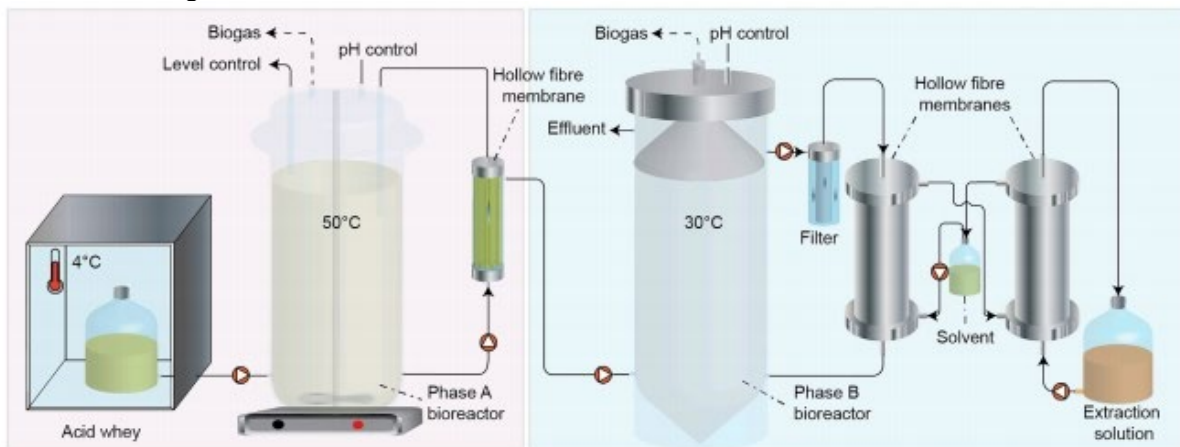
Opmerkingen:

- eventueel kunt u vraag 1 en 2 vervangen door het geven van de reactievergelijking uit het antwoord op vraag 2.
- eventueel kunt u bij vraag 16 een oningevuld blokschema geven of het onderstaande flowdiagram

- Leeg blokschema ten behoeve van vraag 16



- flowdiagram

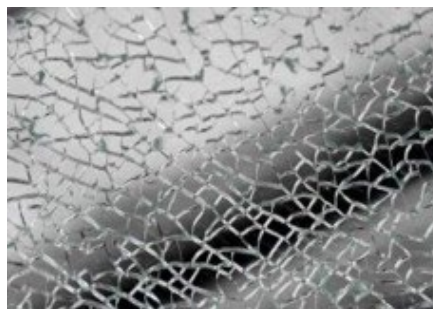


ZELF HERSTELLEND GLAS BINNEN HANDBEREIK I

Klas	5 h
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Polymeren
Trefwoorden	Polymeren, waterstofbruggen, zelfherstellend
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.glasinbeeld.nl, 4 januari 2018

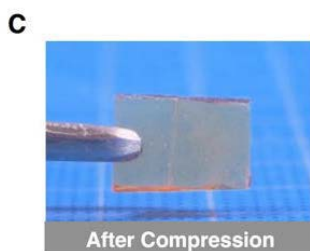
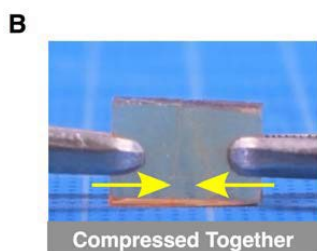
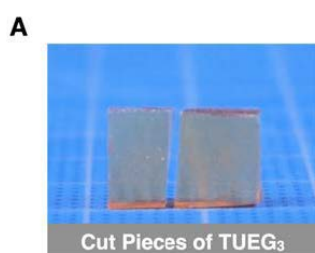
Zelf herstellend glas binnen handbereik



Een gebarsten smartphonescherm behoort binnenkort wellicht tot het verleden. Er is een ontwikkeling gaande van materialen die zichzelf herstellen. Een Japanse universiteitsstudent ontdekte per ongeluk een nieuw zelf herstellend glas tijdens een experiment met een bepaalde lijmstof.

Er bestaan al wel harde materialen die zichzelf kunnen herstellen, zoals zelfhelend rubber en plastic, maar daar zijn in de meeste gevallen temperaturen van 120 graden Celsius of hoger voor nodig. Nu zou dus kamertemperatuur volstaan, een geweldig voordeel.

Het was student Yu Yanagisawa die de oorspronkelijke vondst deed, terwijl hij eigenlijk lijm van het bewuste polymeer, genaamd poly(etherthiourea), wilde maken. Bij insnijdingen in het oppervlak zag hij dat de eindjes weer aan elkaar gingen kleven. Yanagisawa begreep meteen het enorme potentieel en herhaalde het experiment een aantal keren om zeker te zijn. Met succes. Het scherm werd ook weer net zo sterk als voor de breuk.

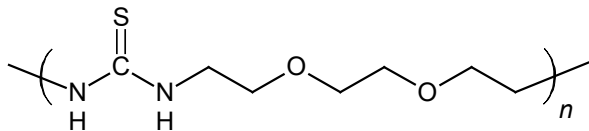


Het materiaal dat zichzelf herstelt, is een soort stevig plastic, dat je met een schaar doormidden kunt knippen, waarna het zichzelf binnen 24 uur weer heel maakt. Het enige wat je nodig hebt, is een temperatuur van 21 graden Celsius. Verder moet je enkel een halve minuut lichtjes op de barsten drukken om ze weer netjes in elkaar te laten vloeien. Het materiaal heeft de naam Wolverine gekregen, naar het gelijknamige stripfiguur dat ook de kracht bezit om zichzelf te herstellen.

Het artikel spreekt bij een materiaal dat bestaat uit een polymeer over een zelf herstellend glas. Chemisch gezien is er geen sprake van "glas".

- 1 Waaruit bestaat glas voornamelijk?
- 2 Waarom zal de auteur van het artikel toch het woord glas gebruiken voor het beschreven materiaal?
- 3 Omschrijf het experiment dat men zou hebben kunnen doen om te onderzoeken of het gerepareerde materiaal even sterk is als het oorspronkelijke materiaal.

Het onderzochte materiaal bestaat uit een polymeer met de naam poly(etherthiourea). De structuurformule ervan staat in figuur 1. "Thio" in de naam duidt op de aanwezigheid van een zwavelatoom.



Figuur 1 Structuurformule poly(etherthiourea), TUEG₃

- 4 Geef in de structuurformule, in de bijlage, aan waarom men de naam "ether" gebruikt.

Waterstofbruggen

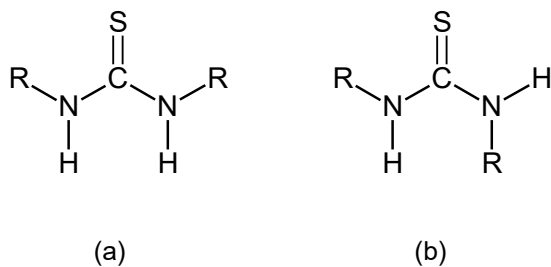
In het artikel van Yu Yanagisawa in het wetenschappelijke tijdschrift Science staat dat het herstel van een breuk mogelijk is door de aanwezige waterstofbruggen tussen de polymeerketens. Hierbij zou tussen de zwavelatomen in de ene polymeerketen en de waterstofatomen aan het stikstofatoom van een naburige polymeerketen een waterstofbrug optreden.

- 5 Leg uit waardoor dit met je huidige kennis over waterstofbruggen verwondering opwekt.

Transparant

Uit kristallografische metingen is de oriëntatie van de polymeerketens ten opzichte van elkaar bekend.

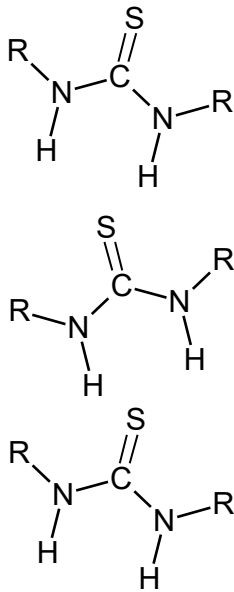
Een thioureagroep heeft meerdere isomeren, zie figuur 2.



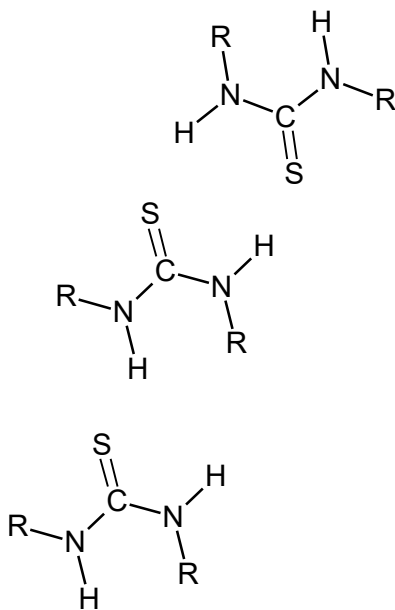
Figuur 2 Isomeren thioureagroep

Het blijkt dat die oriëntatie van de polymeerketens ten opzichte van elkaar verschillend is afhankelijk van thioureagroep (a) en (b).

In figuur 3 staan die twee oriëntaties ten opzichte van elkaar weergegeven voor polymeerketens met de thioureagroep (a) en (b).



Figuur 3a Rangschikking polymeerketens met thioureagroep (isomeer a, figuur 2). Zie voor R figuur 1.



Figuur 3b Rangschikking polymeerketens thioureagroep (isomeer b, figuur 2). Zie voor R figuur 1.

- 6 Geef in de bijlage de waterstofbruggen aan in de rangschikking van de polymeerketens zoals weergegeven in figuur 3a.
- 7 Geef in de bijlage de waterstofbruggen aan in de rangschikking van de polymeerketens zoals weergegeven in figuur 3b.

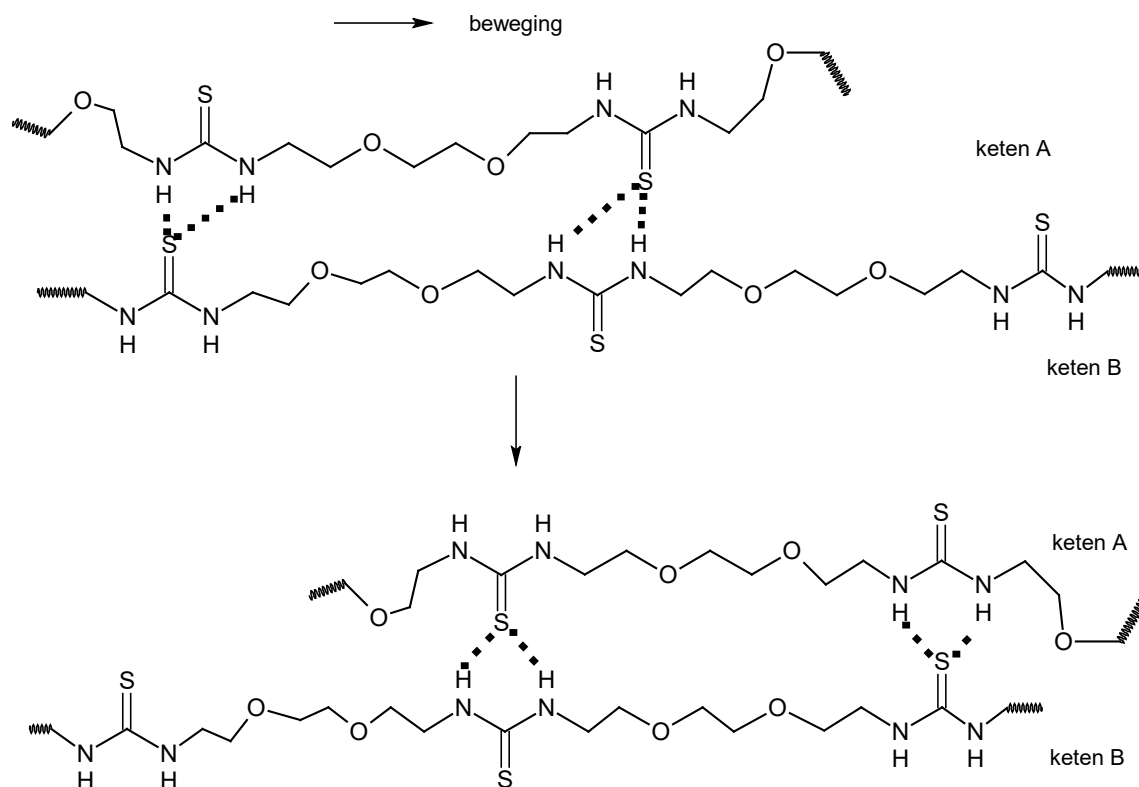
Het scherm van een telefoon is transparant. Het materiaal bestaand uit het poly(etherthiourea) polymeer is ook transparant.

- 8 Geef de naam van de mesostructuur waarin de polymeerketens gerangschikt zijn om op macroniveau te zorgen voor transparant materiaal.
- 9 Leg uit waardoor deze mesostructuur bij de polymeerketens uit figuur 3a en 3b optreedt.

Zelf herstellend

De onderzoekers hebben de twee stukjes van het materiaal een halve minuut zachtjes tegen elkaar gedrukt om ze weer netjes in elkaar te laten vloeien, zoals in de figuur in het artikel is weergegeven.

Ze veronderstellen dat tijdens het drukken de polymeerketens langs elkaar heen kunnen schuiven, zie figuur 4, en zo het materiaal laten herstellen. Bij dit schuiven worden er waterstofbruggen verbroken en nieuwe gevormd.



Figuur 4 Het schuiven van polymeerketens ten opzichte van elkaar.

Er komt echter tussen de begin- en eindtoestand nog een tussentoestand voor waarin ook waterstofbruggen worden gevormd.

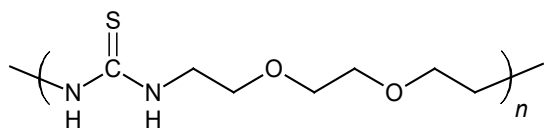
- 10 Teken in de bijlage de waterstofbruggen tussen keten A en B die optreden in de tussentoestand.

Om hun veronderstelling te onderbouwen hebben de onderzoekers ook een ander polymeer getest dat wel thioureagroepen bevat. Dit polymeer vertoonde geen zelfherstel.

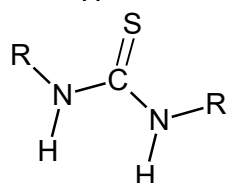
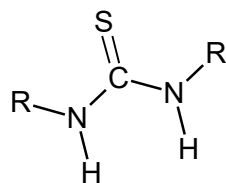
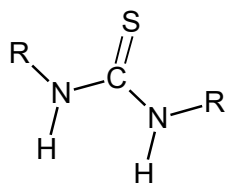
- 11 Geef de structuurformule van een mogelijk polymeer met thioureagroepen dat geen zelfherstel kent en licht je antwoord toe. Geef in je antwoord de structuurformule van het polymeer weer zoals in figuur 1.

Bijlagen

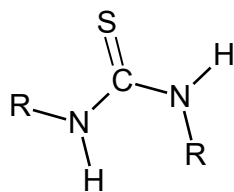
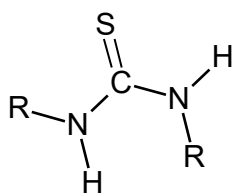
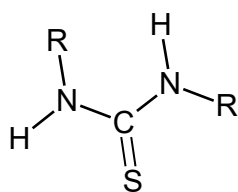
Antwoord 4



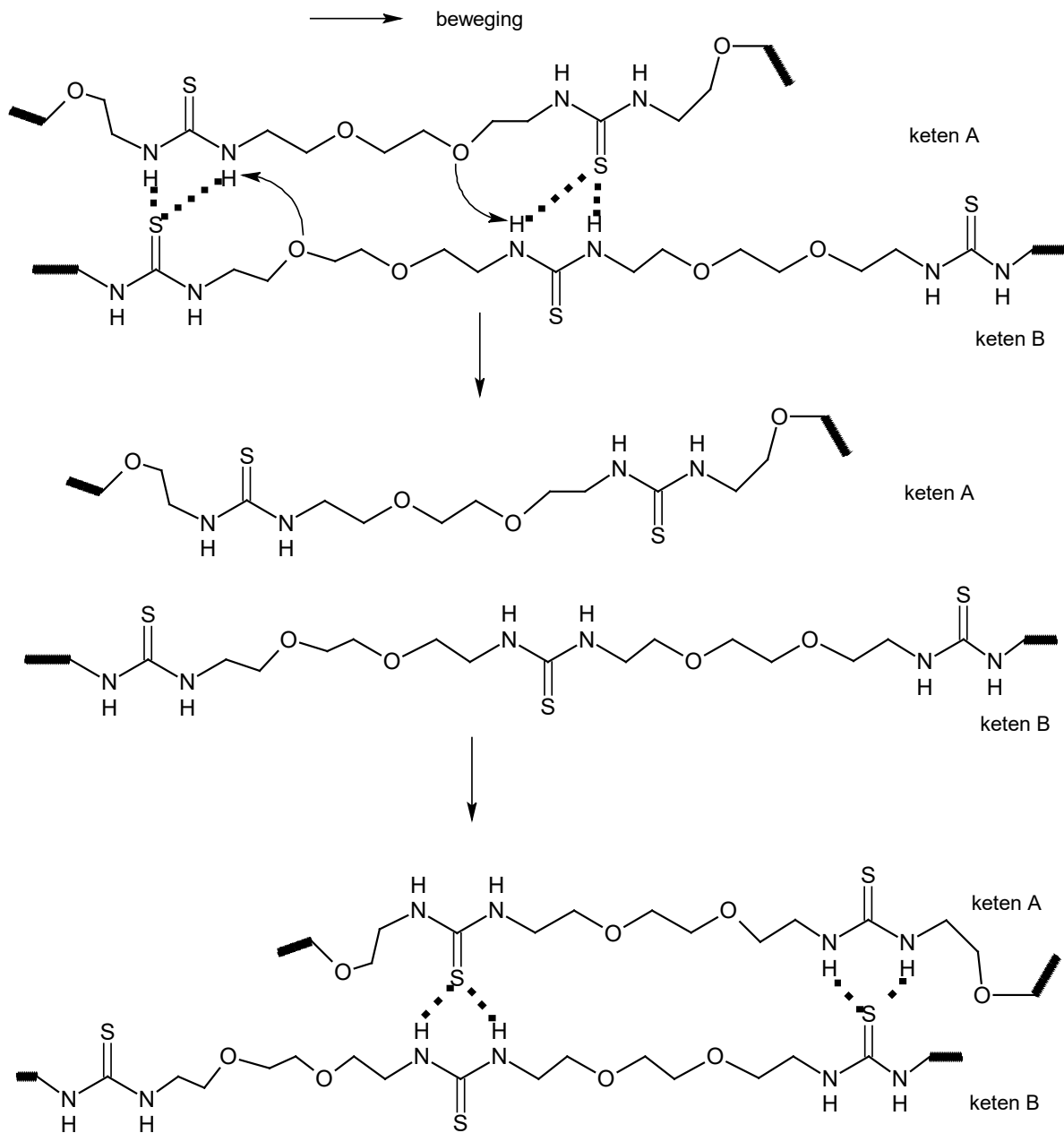
Antwoord 6



Antwoord 7

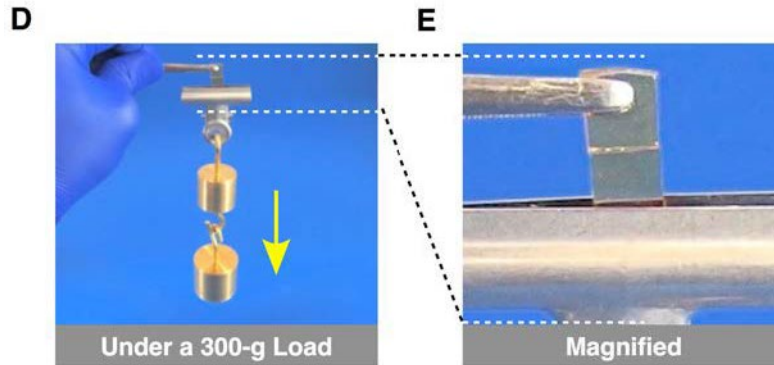


Antwoord 10



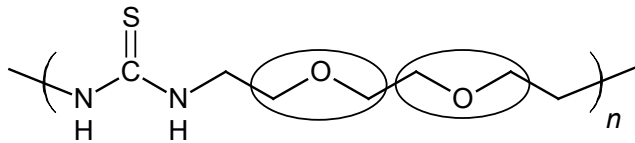
Zelf Herstellend glas binnen handbereik

- 1 Glas bestaat voornamelijk uit siliciumdioxide (SiO_2).
- 2 Omdat het materiaal de kernmerken van glas heeft: hard en doorzichtig.
- 3 Men zal trekproeven/krachtproeven hebben gedaan met het oorspronkelijke materiaal en het herstellende materiaal. Bijvoorbeeld massa's hangen aan het materiaal en kijken wanneer het breekt.



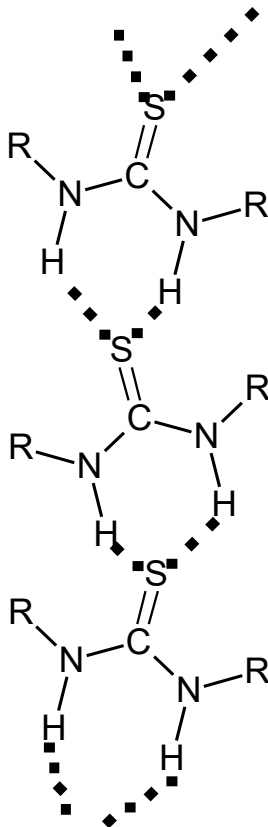
Bron: Yu Yanagisawa et al, 2018, Mechanically robust, readily repairable polymers via tailored noncovalent cross-linking, *Science*, 359(6371):72-76

4

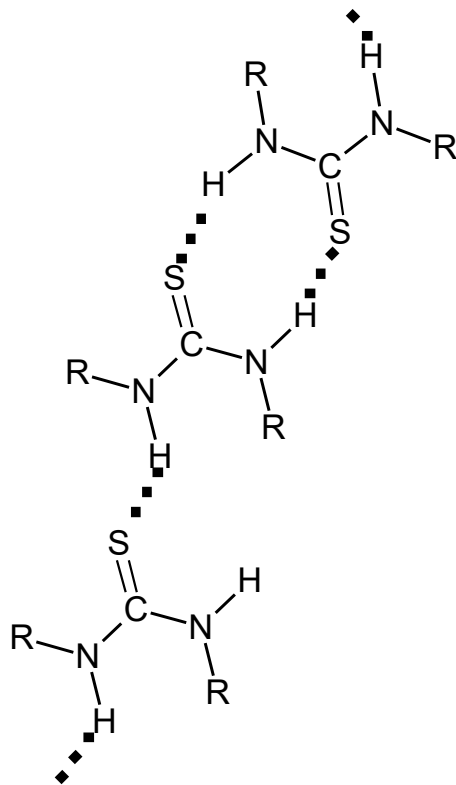


- 5 Een waterstofbrug is een (niet-covalente) binding tussen een elektronenpaar op een sterk elektronegatief atoom (zuurstof, stikstof of fluor) en een naburig waterstofatoom, gebonden aan een ander sterk elektronegatief atoom.

6



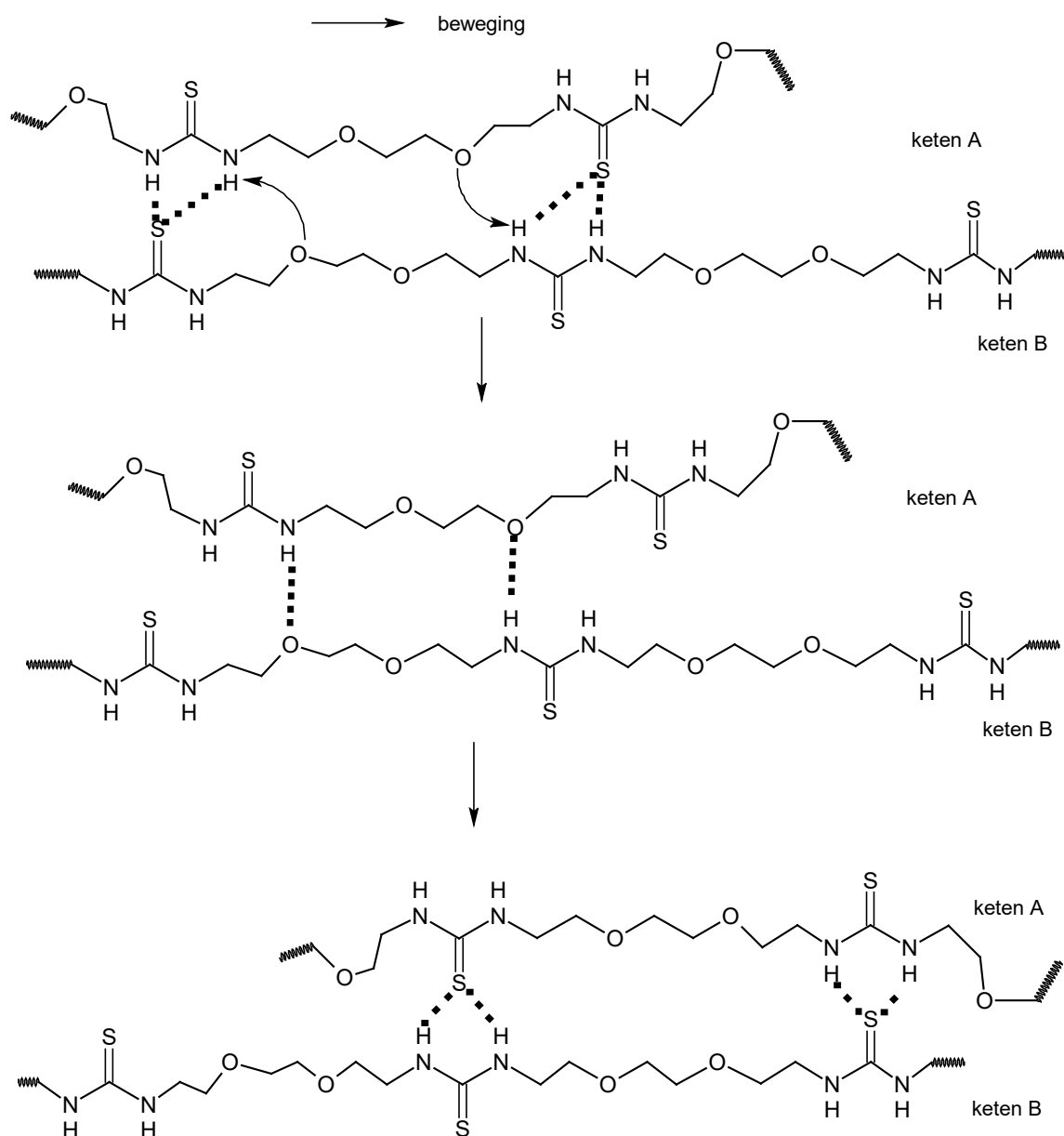
7



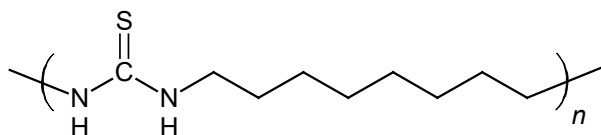
8 Amorf

9 De ketens zullen ongeordend in het materiaal verspreid liggen

10



11



Het polymeer moet niet in staat zijn om in de keten tussen de thioureagroepen waterstofbruggen te vormen. Een alkylketen kan daarvoor gebruikt worden, daarin zijn geen atomen aanwezig die waterstofbruggen kunnen vormen.

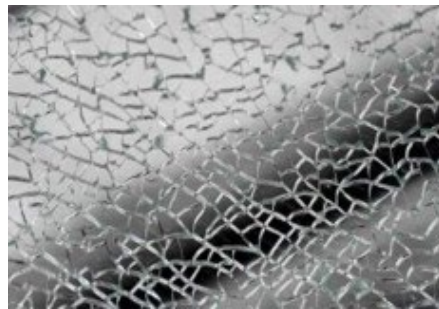
Artikel: <https://www.glasinbeeld.nl/15135/zelfherstellend-glas-binnen-handbereik/>

ZELF HERSTELLEND GLAS BINNEN HANDBEREIK II

Klas	5,6 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Polymeren
Trefwoorden	Polymeren, zelfherstellend,
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.glasinbeeld.nl, 4 januari 2018

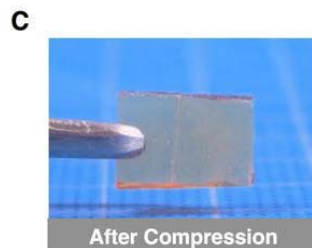
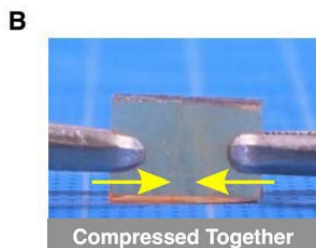
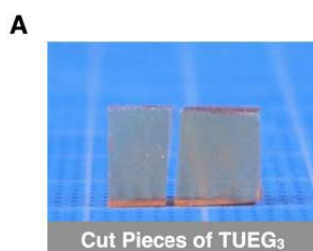
Zelf herstellend glas binnen handbereik



Een gebarsten smartphonescherm behoort binnenkort wellicht tot het verleden. Er is een ontwikkeling gaande van materialen die zichzelf herstellen. Een Japanse universiteitsstudent ontdekte per ongeluk een nieuw zelf herstellend glas tijdens een experiment met een bepaalde lijmstof.

Er bestaan al wel harde materialen die zichzelf kunnen herstellen, zoals zelfhelend rubber en plastic, maar daar zijn in de meeste gevallen temperaturen van 120 graden Celsius of hoger voor nodig. Nu zou dus kamertemperatuur volstaan, een geweldig voordeel.

Het was student Yu Yanagisawa die de oorspronkelijke vondst deed, terwijl hij eigenlijk lijm van het bewuste polymeer, genaamd poly(etherthiourea), wilde maken. Bij insnijdingen in het oppervlak zag hij dat de eindjes weer aan elkaar gingen kleven. Yanagisawa begreep meteen het enorme potentieel en herhaalde het experiment een aantal keren om zeker te zijn. Met succes. Het scherm werd ook weer net zo sterk als voor de breuk.

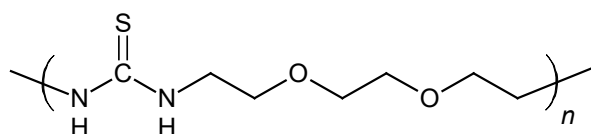


Het materiaal dat zichzelf herstelt, is een soort stevig plastic, dat je met een schaar doormidden kunt knippen, waarna het zichzelf binnen 24 uur weer heel maakt. Het enige wat je nodig hebt, is een temperatuur van 21 graden Celsius. Verder moet je enkel een halve minuut lichtjes op de barsten drukken om ze weer netjes in elkaar te laten vloeien. Het materiaal heeft de naam Wolverine gekregen, naar het gelijknamige stripfiguur dat ook de kracht bezit om zichzelf te herstellen.

Het artikel spreekt bij een materiaal dat bestaat uit een polymeer over een zelf herstellend *glas*. Chemisch gezien is er geen sprake van “glas”.

- 1 Waaruit bestaat glas voornamelijk?
- 2 Waarom zal de auteur van het artikel toch het woord glas gebruiken voor het beschreven materiaal?
- 3 Omschrijf het experiment dat men zou hebben kunnen doen om te onderzoeken of het gerepareerde materiaal even sterk is als het oorspronkelijke materiaal.

Het onderzochte materiaal bestaat uit een polymeer met de naam poly(etherthiourea). De structuurformule ervan staat in figuur 1. “Thio” in de naam duidt op de aanwezigheid van een zwavelatoom.



Figuur 1 Structuurformule poly(etherthiourea), TUEG₃

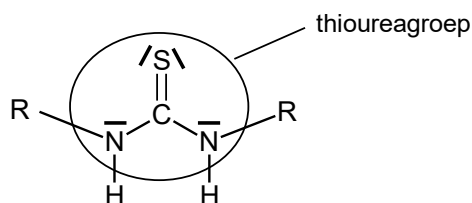
- 4 Geef in de structuurformule, in de bijlage, aan waarom men de naam “ether” gebruikt.

Waterstofbruggen

In het artikel van Yu Yanagisawa in het wetenschappelijke tijdschrift Science staat dat het herstel van een breuk mogelijk is door de aanwezige waterstofbruggen tussen de polymeerketens. Hierbij zou tussen de zwavelatomen in de ene polymeerketen en de waterstofatomen aan het stikstofatoom van een naburige polymeerketen een waterstofbrug optreden.

- 5 Leg uit waardoor dit met je huidige kennis over waterstofbruggen verwondering opwekt.

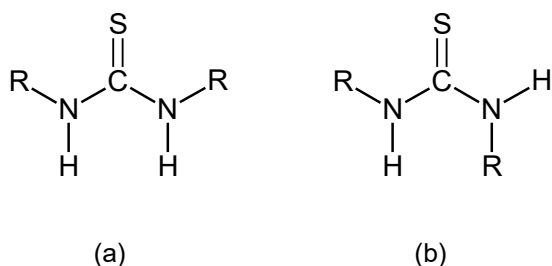
De verklaring voor de mogelijkheid van een waterstofbrug ligt in het optreden van mesomerie in de thiourea-groep in de polymeerketen (figuur 2).



Figuur 2 Structuurformule thiourea-groep

- 6 Teken in de bijlage de mesomere grensstructuren van de thiourea-groep.
- 7 Leg uit waardoor mesomerie een waterstofbrug tussen de zwavelatomen en de waterstofatomen aan een stikstofatoom mogelijk maakt.

Bij de thiourea-groep is sprake van cis-transisomerie (figuur 3). Afhankelijk van het isomeer ontstaat een andere wisselwerking via waterstofbruggen met naburige polymeerketens.



Figuur 3 Isomeren thioureagroep

Voor de naamgeving bekijkt men ten opzichte van een C-N binding de oriëntatie van het zwavelatoom en het waterstofatoom aan het N-atoom ten opzichte van elkaar.

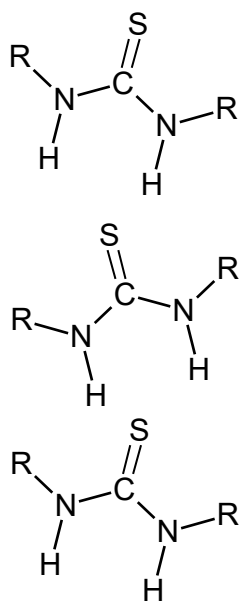
- 8 Geef in de bijlage voor twee isomeren de aanvullingen cis en trans voor beide groepen in de thioureagroep aan.

Transparant

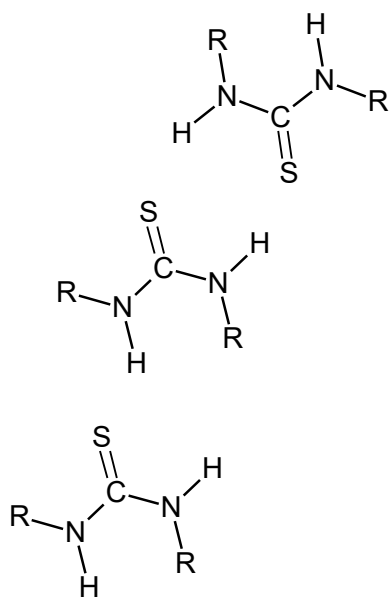
Uit kristallografische metingen is de oriëntatie van de polymeerketens ten opzichte van elkaar bekend.

Het blijkt dat die oriëntatie van de polymeerketens ten opzichte van elkaar verschillend is afhankelijk van thioureagroep (a) en (b).

In figuur 4 staan die twee oriëntaties ten opzichte van elkaar weergegeven voor polymeerketens met de thioureagroep (a) en (b).



Figuur 4a Rangschikking polymeerketens met thioureagroep (isomeer a, figuur 3). Zie voor R figuur 1.



Figuur 4b Rangschikking polymeerketens thioureagroep (isomeer b, figuur 3). Zie voor R figuur 1.

- 9 Geef in de bijlage de waterstofbruggen aan in de rangschikking van de polymeerketens zoals weergegeven in figuur 4a.
- 10 Geef in de bijlage de waterstofbruggen aan in de rangschikking van de polymeerketens zoals weergegeven in figuur 4b.

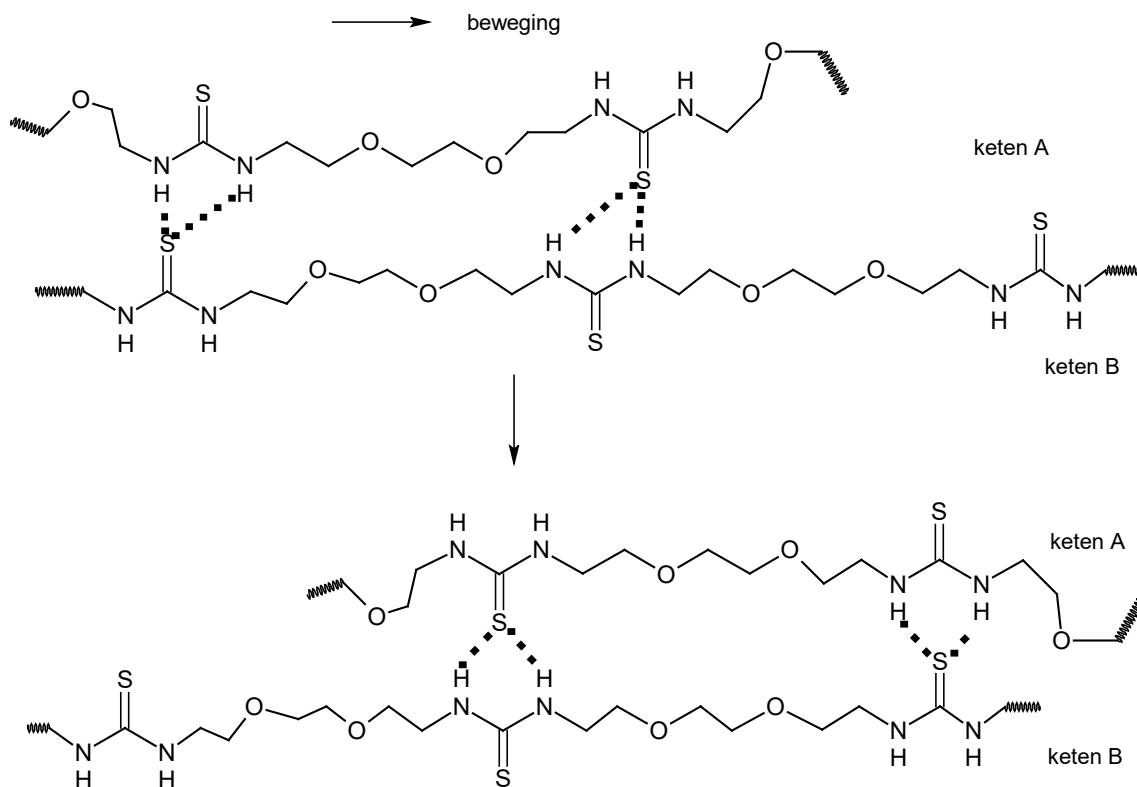
Het scherm van een telefoon is transparant. Het materiaal bestaand uit het poly(etherthiourea) polymeer is ook transparant.

- 11 Geef de naam van de mesostructuur waarin de polymeerketens gerangschikt zijn om op macroniveau te zorgen voor transparant materiaal.
- 12 Leg uit waardoor deze mesostructuur bij de polymeerketens uit figuur 4a en 4b optreedt.

Zelf herstellend

De onderzoekers hebben de twee stukjes van het materiaal een halve minuut zachtjes tegen elkaar gedrukt om ze weer netjes in elkaar te laten vloeien, zoals in de figuur in het artikel is weergegeven.

Ze veronderstellen dat tijdens het drukken de polymeerketens langs elkaar heen kunnen schuiven, zie figuur 5, en zo het materiaal laten herstellen. Bij dit schuiven worden er waterstofbruggen verbroken en nieuwe gevormd.



Figuur 5 Het schuiven van polymeerketens ten opzichte van elkaar.

Er komt tussen de begin- en eindtoestand nog een tussentoestand voor waarin ook waterstofbruggen worden gevormd.

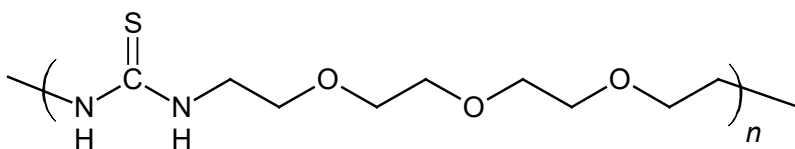
13 Teken in de bijlage de stand van keten A ten opzichte van keten B in de tussentoestand

Om hun veronderstelling te onderbouwen hebben de onderzoekers ook een ander polymeer getest dat wel thioureagroepen bevat. Dit polymeer vertoonde geen zelfherstel.

14 Geef de structuurformule van een mogelijk polymeer met thioureagroepen dat geen zelfherstel kent en licht je antwoord toe. Geef in je antwoord de structuurformule van het polymeer weer zoals in figuur 1.

Andere polymeren

De onderzoekers hebben een andere poly(etherthiourea), TUEG₄, onderzocht. De structuurformule staat in figuur 6.

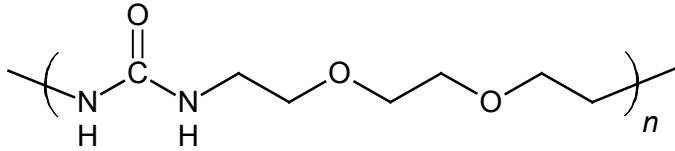


Figuur 6 Structuurformule TUEG₄

De glastemperatuur van TUEG₄ is 278 K.

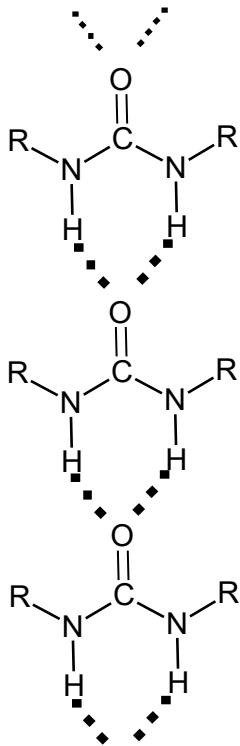
15 Leg uit waardoor TUEG₄ niet geschikt zal zijn als polymeer voor zelf herstellend “glas” in een apparaat.

De onderzoekers hebben nóg een polymeer onderzocht, nu met een ureagroep in plaats van een thioureagroep. In een ureagroep is ten opzichte van de thioureagroep in plaats van een zwavelatoom een zuurstofatoom aanwezig. De onderzoekers hebben ook zo'n poly(etherurea), UEG₃ figuur 7, onderzocht.



Figuur 7 Structuurformule poly(etherurea), UEG₃

Uit kristallografische gegevens blijkt dat de ordening van de polymeerketens in het materiaal is zoals weergegeven in figuur 8. Tussen de polymeerketens zijn de waterstofbruggen aangegeven.



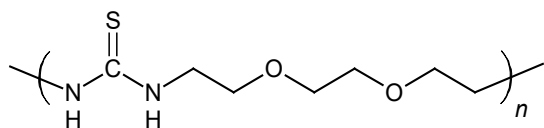
Figuur 8 Rangschikking polymeerketens met ureagroep. Zie voor R figuur 7.

Het materiaal gemaakt uit poly(etherurea) polymeren, UEG₃ blijkt niet geschikt te zijn als materiaal voor het "glas" van een telefoon.

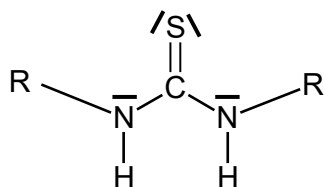
16 Leg op mesoniveau uit waardoor UEG₃ in vergelijking met TUEG₃ niet geschikt is.

Bijlagen

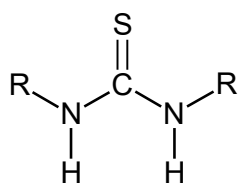
Antwoord 4



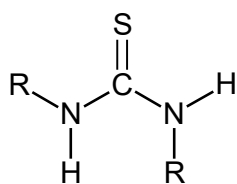
Antwoord 6



Antwoord 8

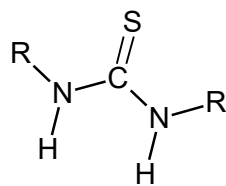
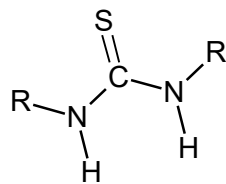
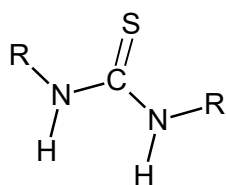


....., thiourea

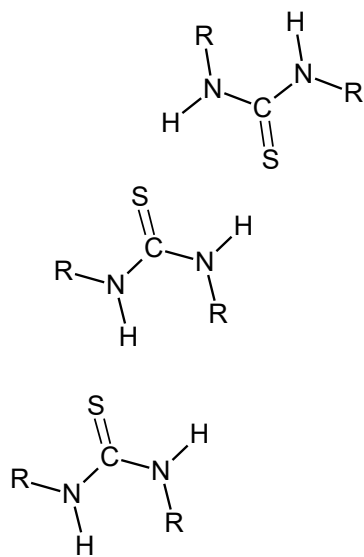


....., thiourea

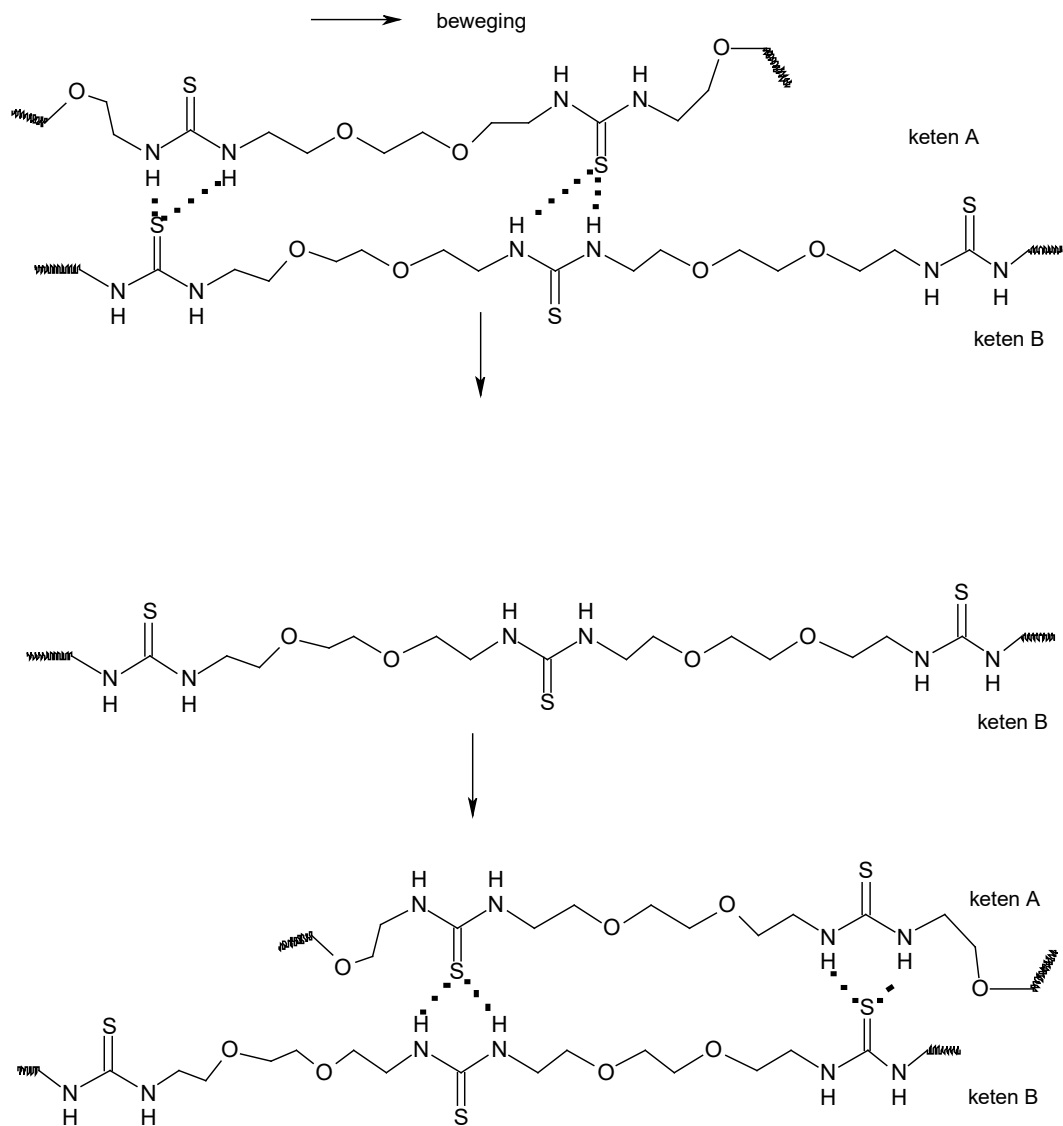
Antwoord 9



Antwoord 10

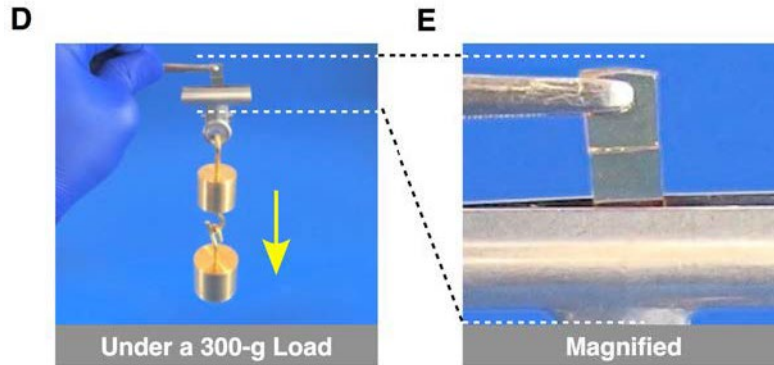


Antwoord 13



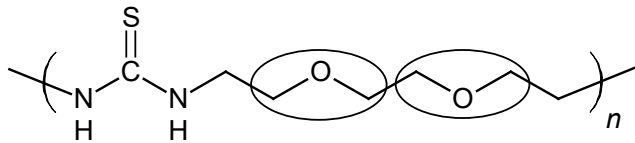
Zelf herstellend glas binnen handbereik

- 1 Glas bestaat voornamelijk uit siliciumdioxide (SiO_2).
- 2 Omdat het materiaal de kernmerken van glas heeft: hard en doorzichtig.
- 3 Men zal trekproeven/krachtproeven hebben gedaan met het oorspronkelijke materiaal en het herstellende materiaal. Bijvoorbeeld massa's hangen aan het materiaal en kijken wanneer het breekt.



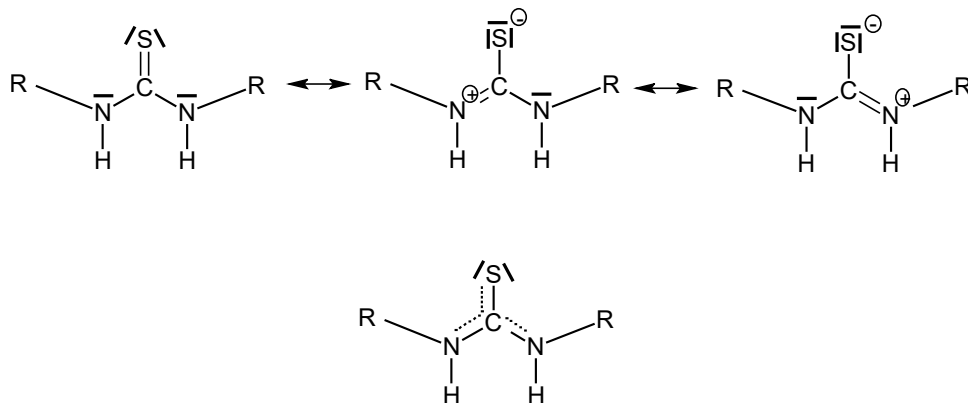
Bron: Yu Yanagisawa et al, 2018, Mechanically robust, readily repairable polymers via tailored noncovalent cross-linking, *Science*, 359(6371):72-76

4



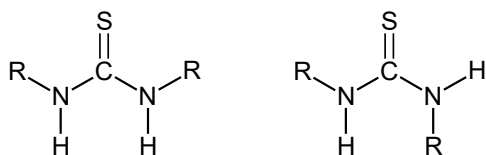
- 5 Een waterstofbrug is een (niet-covalente) binding tussen een elektronenpaar op een sterk elektronegatief atoom (zuurstof, stikstof of fluor) en een naburig waterstofatoom, gebonden aan een ander sterk elektronegatief atoom.

6



- 7 Door mesomerie krijgt het zwavelatoom meer lading dan op basis van het verschil in elektronegativiteit tussen het C- en S-atoom. Hierdoor is een waterstofbrug tussen een S-atoom en een naburig H-atoom wel mogelijk.

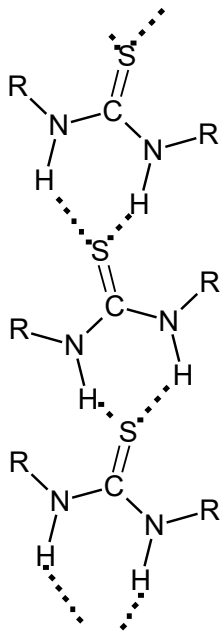
8



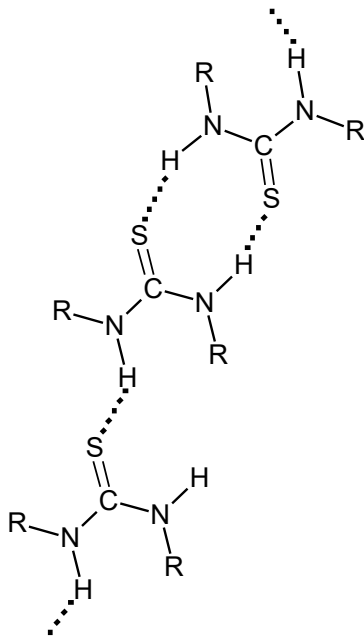
trans, trans thiourea

cis, trans thiourea

9



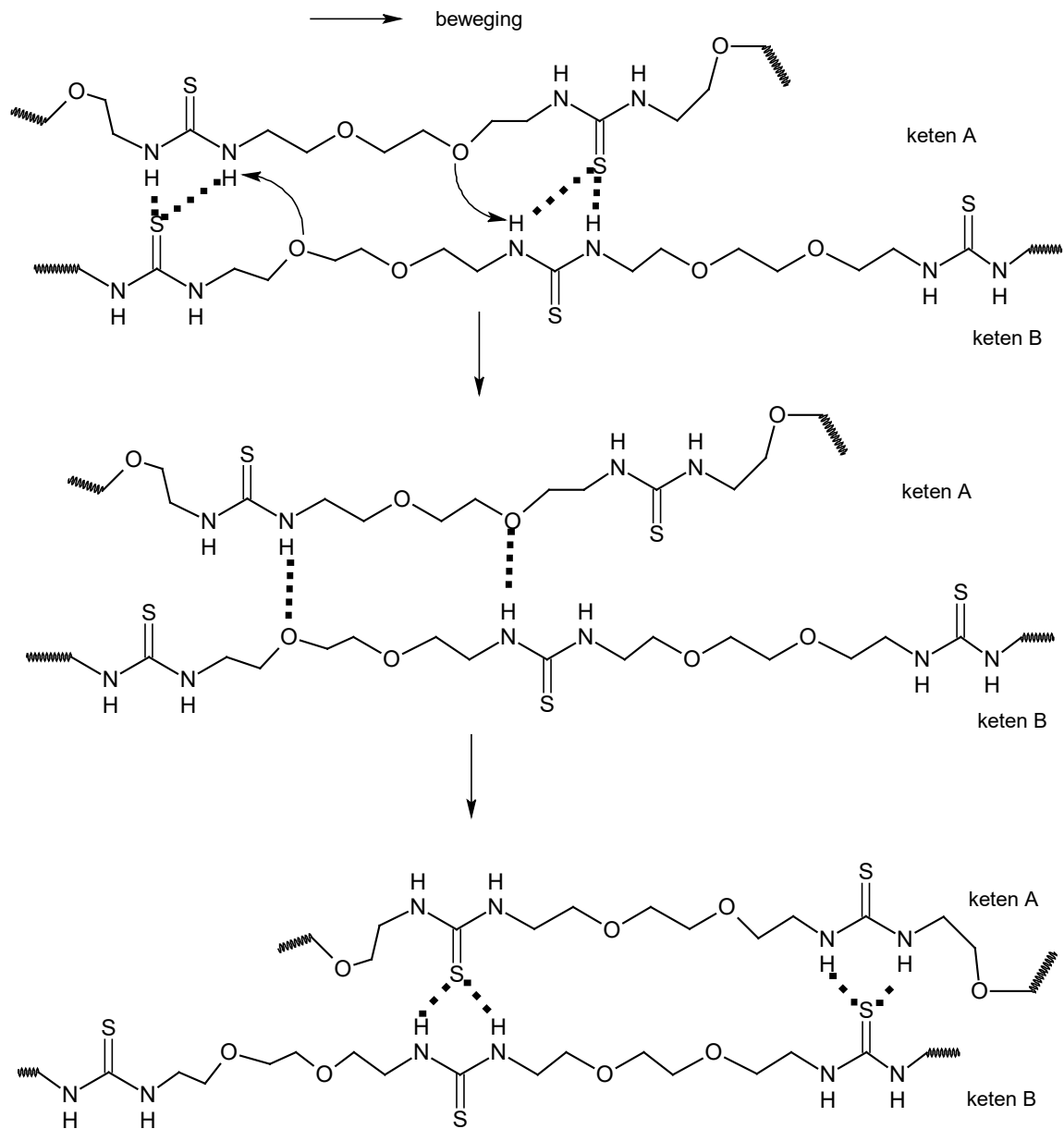
10



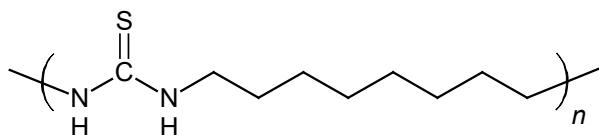
11 Amorf

12 De ketens zullen ongeordend in het materiaal verspreid liggen

13



14



Het polymeer moet niet in staat zijn om in de keten tussen de thioureagroepen waterstofbruggen te vormen. Een alkylketen kan daarvoor gebruikt worden, daarin zijn geen atomen aanwezig die waterstofbruggen kunnen vormen.

- 15 De glastemperatuur ligt beneden kamertemperatuur. Dat betekent dat TUEG4 bij kamertemperatuur niet hard en stevig zal zijn, maar zacht en soepel.
- 16 De ketens van UEG3 zullen geordend naast elkaar liggen. De stof zal daardoor een kristallijne structuur hebben. Het materiaal is daardoor niet transparant.

Artikel: <https://www.glasinbeeld.nl/15135/zelfherstellend-glas-binnen-handbereik/>

STUDIE NAAR WATERSTOF

Klas	4 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Brandstoffen
Trefwoorden	Waterstof, verbranding, elektrolyse, energiedrager, vermogen, energie
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

de Gelderlander, 10 januari 2018



Studie naar waterstof

AkzoNobel en Gasunie onderzoeken de mogelijkheden om op grote schaal duurzaam opgewekte stroom om te zetten in waterstof, die als brandstof kan worden gebruikt. De bedrijven willen daarvoor een grote installatie bouwen voor de elektrolyse van water op Chemie Park Delfzijl.

Met een capaciteit van twintig megawatt zou het volgens AkzoNobel en Gasunie de grootste fabriek in zijn soort van Europa worden. De installatie moet drie kiloton waterstof per jaar gaan leveren, genoeg om bijvoorbeeld driehonderd waterstofbussen te laten rijden. Volgend jaar besluiten de partijen of zij de plannen doorzetten.

Het voordeel van waterstof als brandstof voor bijvoorbeeld voertuigen of industriële toepassingen, is dat bij de verbranding ervan geen CO₂ of andere broeikasgassen vrijkomen.

Het doel is om uiteindelijk installaties te kunnen bouwen die op nog grotere schaal (vanaf 100 megawatt) duurzame stroom converteren en opslaan in de vorm van waterstof.

De bedrijven AkzoNobel en Gasunie willen duurzaam opgewekte stroom gebruiken om water om te zetten in waterstof..

1 Wat versta je onder duurzaam opgewekte stroom?

- 2 Hoe heet het proces waarmee water met behulp van elektrische stroom omgezet kan worden in waterstof?
- 3 Geef de reactievergelijking van die omzetting.

De zo geproduceerde waterstof kan als brandstof dienen. Waterstof is een energiedrager, geen energiebron.

- 4 Leg het verschil tussen een energiedrager en een energiebron uit.
- 5 Geef de reactievergelijking die optreedt als waterstof als brandstof gebruikt wordt.
- 6 Leg uit dat bij de verbranding van waterstof geen koolstofdioxide gevormd wordt.

Jaarlijks zou de fabriek 3 kiloton waterstof moeten kunnen leveren. De (elektrische) capaciteit van die fabriek is 20 megawatt, ofwel $20 \text{ miljoen J s}^{-1}$.

- 7 Laat via een berekening zien hoeveel kiloton water er nodig is om de 3 kiloton waterstof geproduceerd te krijgen.
- 8 Bereken hoeveel energie het kost om 3 kiloton waterstof uit water vrij te maken.
- 9 Bereken hoeveel dagen per jaar de fabriek het vermogen van 20 megawatt daarvoor moet leveren.

Studie naar waterstof

- 1 Dat is stroom die opgewekt is met behulp van duurzame energie zoals zonne- als windenergie.
- 2 Elektrolyse.
- 3 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 4 Je spreekt over een energiebron als de betreffende bron al bestaat, zoals aardolie en aardgas. Je spreekt over een energiedrager als die stof gemaakt wordt, zoals bijvoorbeeld waterstof uit water.
- 5 $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$.
- 6 Water bevat geen C-atomen dus kan er ook geen CO_2 ontstaan.
- 7 $3 \text{ kiloton} = 3 \cdot 10^9 \text{ g H}_2$. $3 \cdot 10^9 \text{ g} \equiv 3 \cdot 10^9 / 2,018 = 1,5 \cdot 10^9 \text{ mol H}_2$. Dit is gevormd uit $1,5 \cdot 10^9 \text{ mol H}_2\text{O} \equiv 1,5 \cdot 10^9 \times 18,015 = 2,7 \cdot 10^{10} \text{ g} = 27 \text{ kiloton H}_2\text{O}$.
- 8 Vormingswarmte van vloeibaar water is $-2,86 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. Dus voor $1,5 \cdot 10^9 \text{ mol}$ water is nodig $1,5 \cdot 10^9 \times 2,86 \cdot 10^5 \text{ J} = 4,3 \cdot 10^{14} \text{ J}$.
- 9 Vermogen van 20 megawatt: $20 \cdot 10^6 \text{ J s}^{-1}$. Nodig aan energie $4,3 \cdot 10^{14} \text{ J}$, dus dan moet de fabriek $4,3 \cdot 10^{14} \text{ J} / 20 \cdot 10^6 \text{ J s}^{-1} = 2,1 \cdot 10^7 \text{ s}$ per jaar werken. 1 dag is 86400 s, dus $2,1 \cdot 10^7 / 86400 = 246$ dagen per jaar.

In Chemie Magazine van januari 2018 staat hierover ook een artikel: downloadbaar via <https://www.vnci.nl/chemie-magazine>

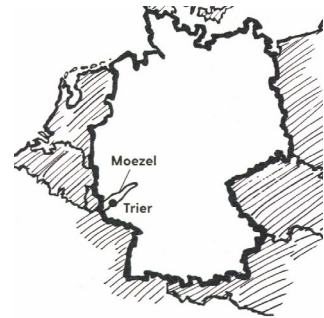
BOBWIJN

Klas	3 hv
Subdomein	Industriële processen en Groene Chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Blokschema
Trefwoorden	Vacuümdestillatie, destillaat, residu, berekening, alcoholvrij
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

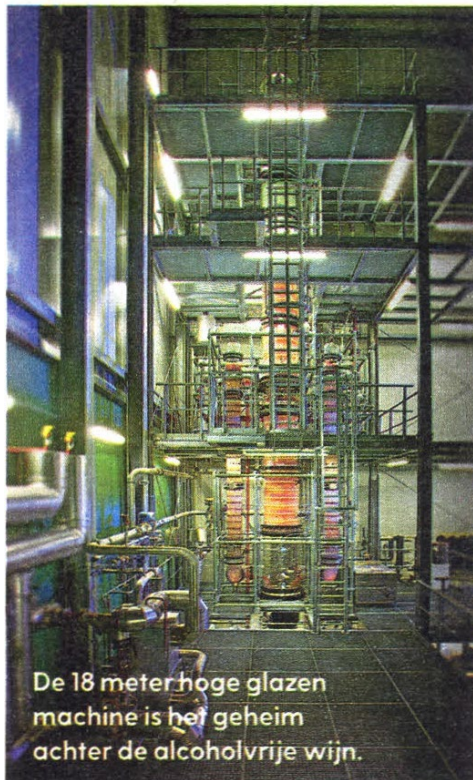
Allerhande (Albert Heijn), januari 2018

BOBwijn

**Alcoholvrije wijn die echt naar wijn smaakt?
Ja, die bestaat. Wij ontdekten hem in de Duitse
wijnstreek de Moezel, vlakbij de stad Trier.**



Bij Schloss Wachenheim AG in het Duitse wijngebied de Moezel wordt alcoholvrije mousserende Vivertywijn gemaakt. En dat is big business, blijkt bij ons bezoek aan de wijnmaker. Bij binnenkomst vallen direct de 20 meter hoge stalen tanks op. In het midden van de hal vormt een hoge glazen machine het hart van het bedrijf. Hierin wordt de alcohol aan de wijn onttrokken. Dit gevaarte maakt het mogelijk dagelijks zo'n 55.000 flessen alcoholvrije wijn te produceren.



De 18 meter hoge glazen machine is het geheim achter de alcoholvrije wijn.

Verrassende start

Oenoloog (wijnbouwtechnische wetenschapper) Stefan Marx leidt ons rond door de enorme productiehal. Stefan legt uit: 'Het bijzondere is dat elk van onze flessen start als een gewone wijn mét alcohol. Die wijn zit in de stalen tanks. In de glazen machine wordt de wijn omlaag geleid door een grote buis in het midden. Aan de buitenkant van deze buis gaat heet water door smalle buisjes, waardoor de wijn verhit wordt. Hierdoor verdampt de alcohol en neemt het alcoholpercentage af, van 11,5% naar bijna 0%.'

Alcohol damp

Stefan: 'Hoe dat kan? De wijn mét alcohol gaat dus door de buizen en wordt tegelijkertijd verhit. Door die warmte wordt de alcohol verdampt en afgevoerd. Deze alcohol damp, met een promillage van maar liefst 80%, wordt apart opgevangen en gebruikt voor de productie van bijvoorbeeld brandy. Mooie cyclus, toch?'

Uniek behoud van smaak

Normaal gesproken gaan aroma's en smaken verloren als je wijn verhit. Schloss Wachenheim heeft hier een unieke oplossing voor gevonden. 'Midden in de glazen machine zit een vacuüm, dat het mogelijk maakt de alcohol bij een temperatuur van 32 °C aan de wijn te onttrekken. Hierdoor blijft de smaak van de wijn zo veel mogelijk behouden.' Vervolgens mogen we proeven. De wijn ruikt naar gewone wijn. De smaak? Iets zoeter en net een tikje anders dan een gewoon glas wijn. Maar wel heel lekker.

In het artikel wordt de productie van alcoholvrije wijn beschreven.

- 1 Leg uit waarom men alcoholvrije wijn produceert.
- 2 Leg uit wat het voordeel is van dit proces voor het maken van alcoholvrije wijn.
- 3 Geef het proces van de productie van alcoholvrije wijn uit alcoholhoudende wijn in een blokschema weer.

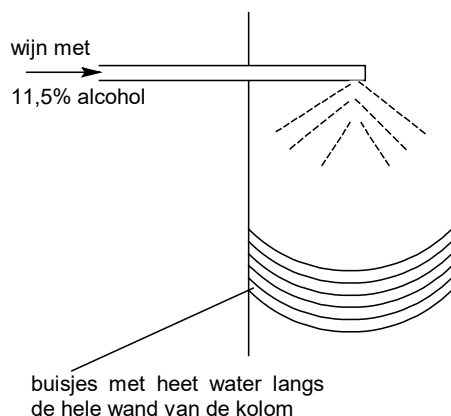
Bij de toegepaste werkwijze heb je te maken met een destillaat en een residu.

- 4 Waaruit bestaat bij dit proces het destillaat en waaruit het residu. Noteer je antwoord als volgt
Destillaat:
Residu:

In het artikel staat 'In de glazen machine wordt de wijn omlaag geleid door een grote buis in het midden. Aan de buitenkant van deze buis gaat heet water door smalle buisjes, waardoor de wijn verhit wordt.

- 5 Waarom zal men voor de glazen machine speciaal glas moeten gebruiken.

In figuur 1 staat de grote buis weergegeven. Men spuit fijne druppeltjes wijn in het midden van de glazen buis, zodat er op de wand een dunne laag wijn naar beneden glijdt.



Figuur 1

- 6 Waarom zal men een dunne laag wijn langs de wand van de glazen buis naar beneden laten glijden en niet een stroom wijn erin gieten?

"Midden in de glazen machine zit een vacuüm", zegt het artikel. In dit vacuüm verdampt de alcohol uit de wijn bij 32 °C.

- 7 Leg uit wat de hoogte van het kookpunt van de aroma's in wijn zal zijn in vergelijking met het kookpunt van alcohol
- 8 Leg uit waarom men heet water en geen lauw water gebruikt voor het verwarmen.
- 9 Leg uit waarom men een groot deel van de buis verwarmt

Een fles wijn bevat 0,75 L wijn.

- 10 Bereken hoeveel L alcohol 55000 flessen wijn met een alcoholgehalte van 11,5 volume % bevatten.

In de geproduceerde BOBWijn is nog 0,05 % alcohol aanwezig.

11 Bereken hoeveel L alcohol door het proces uit de 55000 flessen wijn is gehaald.

Naast de BOBwijn met 0,05 % alcohol ontstaat er een alcoholoplossing met een alcoholgehalte van 80 %.

12 Leg uit dat er meer dan 55.000 flessen wijn met alcoholpercentage 11,5 % nodig zijn om 55000 flessen BOBwijn te maken.

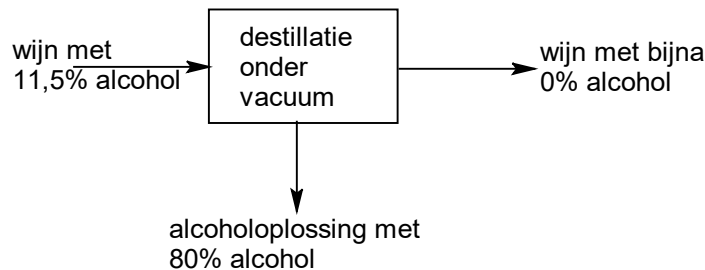
In de titel van het artikel staat BOBwijn.

13 Licht het gebruik van BOB in het woord BOBwijn toe.

Bobwijn

- 1 Alcoholvrije wijn is een alternatief als je nog moet rijden. Of om andere redenen als je geen alcohol mag drinken, bijvoorbeeld bij zwangerschap of gebruik van bepaalde medicijnen.
- 2 Alleen de alcohol (en wat water) verdampt en de aroma's en smaakstoffen niet. De wijn blijft naar wijn smaken. (De alcoholsmak zal wel weg zijn).

3



- 4 Destillaat: 80 % alcoholoplossing
Residu: alcoholvrije wijn.
- 5 Omdat men werkt met heet water: het glas moet hittebestendig zijn. Omdat men werkt met vacuüm, het glas moet voldoende sterk zijn/niet kunnen imploderen.
- 6 Beter contact over een groot oppervlak met de verwarmingsbron (heet water) waardoor de alcohol makkelijker en sneller zal verdampen.
- 7 Dit kookpunt zal hoger zijn dan van de alcohol, want de stoffen verdampen niet of gaan slechts gedeeltelijk mee.
- 8 Dan zal het verdampen van de alcohol minder tijd in beslag nemen, hoe meer warmte er wordt toegevoerd hoe sneller de alcohol zal verdampen.
- 9 De alcohol zal dan in dampvorm blijven en opstijgen, als de omgeving teveel afkoelt zal de alcohol weer condenseren en terugvallen in het vat onderin.
- 10 55.000 flessen van 0,75 L bevatten $55.000 \times 0,75 = 41250$ L wijn. Bij 11,5 % alcohol: $0,115 \times 41250 = 4744$ L alcohol.
- 11 Bij 0,05 % alcohol is er nog aanwezig $0,05 \times 41250 = 206$ L alcohol. Er is dus uitgehaald $4744 - 206 = 4538$ L alcohol.
- 12 De 80 % alcohol die men ook maakt, bevat water. Dat water was oorspronkelijk ook aanwezig in de flessen met 11,5 % alcohol. Men heeft dus meer dan 55.000 flessen wijn nodig met 11,5 % alcohol om 55.000 flessen BOBWijn te maken.
- 13 De persoon die geen alcohol drinkt als hij nog moet rijden is de Bob. Die blijft nuchter en kan daardoor de anderen veilig thuisbrengen met de auto. Deze wijn mag de Bob dus wel drinken.
(Bob is niet als afkorting bedoeld, maar gewoon als naam. Bij de introductie van de campagne werd in de media gemeld dat het staat voor "Bewust Onbeschonken Bestuurder", waardoor veel mensen dit ten onrechte denken.)

RIOOLZUIVERINGSINSTALLATIE IN PUIN NA EXPLOSIE METHAANGAS IN VS

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbranding
Trefwoorden	Explosie, methaan,
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.nu.nl, 4 januari 2018

Rioolzuiveringsinstallatie in puin na explosie methaangas in VS



Door ophoping van methaangas heeft er zich een explosie voorgedaan in een rioolwaterzuiveringsinstallatie in Kansas City. Methaangas is een bijproduct van de zuivering van rioolwater.

Door ophoping van methaangas in de rioolwaterzuiveringsinstallatie in Kansas City heeft zich een explosie voorgedaan.

- 1 Geef de definitie van explosie.
- 2 Leg uit of er chemisch gezien een verschil is tussen de verbranding van methaan en het ontploffen van methaan.
- 3 Noteer de reactievergelijking voor de explosie van methaan.
- 4 Leg uit wanneer een explosie van methaan optreedt.
- 5 Waarom krijg je geen explosie als je het methaangas (aardgas) aansteekt bij een (bunsen)brander?
- 6 Waarom ruik je aardgas in een klaslokaal wel maar in het riool niet?

Rioolzuiveringsinstallatie in puin na explosie methaangas in VS

- 1 Een explosie is een verbranding (in een afgesloten ruimte) die heel snel verloopt waardoor de energie snel vrijkomt en waardoor het volume van het ontstane gas in zeer korte tijd sterk vergroot wordt. In een afgesloten ruimte leidt dit tot een snelle drukverhoging en meestal veel schade.
- 2 Chemisch gezien is er geen verschil tussen het verbranden van methaan en het ontploffen van methaan. Het is een reactie met zuurstof. De reactievergelijkingen zijn precies hetzelfde. Het enige verschil is de snelheid waarmee het gebeurt.
- 3 $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- 4 Voor een explosie/ontploffing heb je een mengsel van methaan en luchtzuurstof (in de juiste verhoudingen) nodig. Methaan en zuurstof moeten goed gemengd zijn. Als je bij dat mengsel een ontstekingsbron (elektrisch of niet-elektrisch) houdt, gebeurt het volgende: het kleine stukje brandende mengsel (dat is aangestoken) steekt het naastliggende gas aan, dat steekt het daarnaast liggende gas aan, enzovoort, tot alle gas ontbrandt; dat gaat supersnel. (of iets wetenschappelijker geformuleerd: het vlamfront (zo heet de grens tussen het gebied waar het mengsel al brandt en het gebied waar het mengsel nog niet brandt) zal met enorme snelheid door het mengsel bewegen. Alle methaan verbrandt dus in een heel korte tijd. Daardoor komt alle energie bijna tegelijk vrij, en dat geeft de explosie.
- 5 Bij een brander reageert het methaan dat al uit de brander is gestroomd met zuurstof uit de lucht. Het methaan dat nog IN de brander zit kan niet worden aangestoken door de vlam, want in de brander is geen zuurstof. Bij een brander zal het methaan dus geleidelijk verbranden, en wel precies zo snel als het uit de brander komt.
- 6 Methaan is reukloos. Aan aardgas is bij gebruik als brandstof een geurstof toegevoegd zodat je dit gas toch kunt waarnemen.

Extra artikelen

Bron: <https://www.rtlnieuws.nl/buitenland/doden-en-vermisten-door-explosie-in-mijn-colombia>, 25 juni 2017



Reddingswerkers zijn druk in de weer om de laatste twee kompels te vinden. © AFP

Een gasexplosie in een mijn in Colombia heeft aan ten minste elf mijnwerkers het leven gekost. Twee mensen zijn nog vermist en eentje raakte door de ontploffing gewond. De explosie had vrijdag plaats in de gemeente Cucunuba in de centraal gelegen provincie Cundinamarca. Volgens de Colombiaanse autoriteiten werd de explosie veroorzaakt door een opstapeling van methaan in de steenkolenmijn. Meer dan veertig reddingswerkers zijn druk in de weer om de laatste twee kompels te vinden.

Bron: de Volkskrant, 28 januari 2014

Scheten latende koeien doen Duitse stal ontploffen

Een boer doet er goed aan zijn koeien geregeld in de wei te laten lopen, niet alleen voor het welzijn van zijn dieren, maar ook voor dat van zijn stal. Die les leerde een boer in het Duitse Rasdorf gisteren. Het gas van de scheten van negentig koeien veroorzaakte een explosie. Een deel van het dak vloog van de stal en één van de koeien raakte gewond.



© ANP

Volgens de lokale politie had zich een grote hoeveelheid methaangas opgebouwd in de schuur door de winden en boeren van de koeien. Door een vonk van een machine in de schuur ontbrandde het gas. Steekvlammen en een explosie volgden.

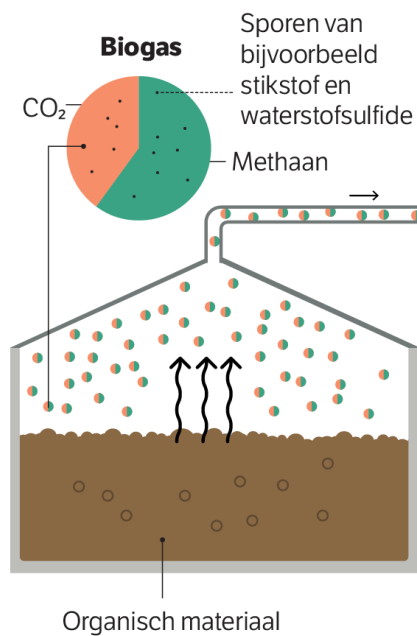
Veiligheidsdiensten controleerden ter plekke het gasniveau om te voorkomen dat nieuwe explosies zich zouden voordoen. Eén koe raakte gewond en moest verzorgd worden aan lichte brandwonden.

Koeien kunnen dagelijks tot 500 liter gas uitstoten door winden en boeren. Ook scheiden ze grote hoeveelheden ammonia (een oplossing van het gas ammoniak in water) uit.

Hoe wordt biogas en bio-LNG gemaakt?

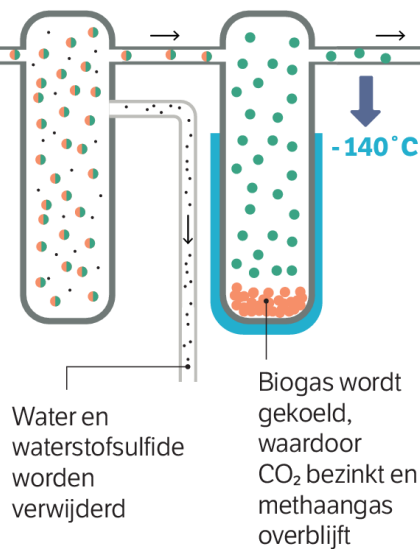
1 Vergisting

Via vergisting van organisch materiaal komt er biogas vrij.



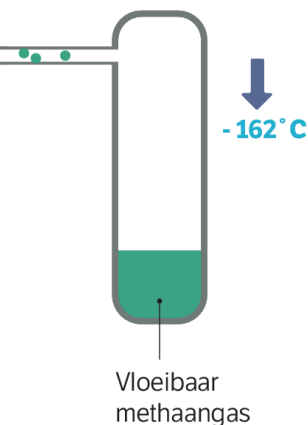
2 Biogas behandeling

Hierbij worden de sporen verwijderd en CO₂ gescheiden van methaangas, zodat je uiteindelijk 99 procent zuiver methaangas over houdt.



3 Vloeibaar methaangas

Methaangas wordt afgekoeld tot -162 ° Celsius, zodat het vloeibaar wordt.



Bron: NRC, 6 mei 2017

NRC 060517 / DJ
Bron: Gastreatmentsservices.com, DMT

NIEUW SYSTEEM ZET BROEIKASGAS OM IN BRANDSTOF

Klas	5,6 v
Subdomein	Reactiekinetiek
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Reactiesnelheid, redeneren over duurzaamheid en reactiekinetiek
Trefwoorden	CO ₂ afvangen; membraan; nieuwe brandstoffen maken
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.scientias.nl , 28 november 2017



Nieuw systeem zet broeikasgas om in brandstof

Dit systeem kan voorkomen dat broeikasgassen de atmosfeer bereiken én ook nog brandstof genereren.

Het systeem bestaat onder meer uit een membraan dat alleen zuurstof doorlaat. Dus wanneer je er CO₂ – een belangrijk broeikasgas dat onder meer vrijkomt als in energiecentrales fossiele brandstoffen worden opgestookt – richting het membraan duwt, komt alleen zuurstof er aan de andere kant uit en blijft koolstofmonoxide achter het membraan hangen. Dat koolstofmonoxide kan (al dan niet gecombineerd met waterstof) dienst doen als brandstof.

Hoe werkt het precies?

Het hele proces vindt plaats bij een temperatuur van 990 graden Celsius. Belangrijk is dat de zuurstof door het membraan blijft bewegen tot het de overkant heeft bereikt. Dat kan op twee manieren bewerkstelligd worden: door een vacuüm te creëren aan de zijde van het membraan waar de zuurstof naartoe moet bewegen. Maar dat vereist een hoop energie. En daarom pakken de onderzoekers het anders aan. In plaats van een vacuüm gebruiken ze een brandstofstroom van waterstof of methaan. Deze materialen trekken de zuurstofatomen letterlijk door het membraan, zonder dat er een drukverschil bij komt kijken. Het membraan voorkomt dat de zuurstof weer terugstroomt en zich met de achtergebleven koolstofmonoxide vermengt.

Elke concentratie

Het is veelbelovend. Zeker omdat het membraan bij elke CO₂-concentratie werkt. Dat laatste blijkt uit experimenten met CO₂-concentraties die uiteenliepen van 2 tot 99 procent.

CO₂ afvangen

In de toekomst kan het membraan gecombineerd worden met andere technologieën die momenteel in ontwikkeling zijn en draaien om het afvangen van koolstofdioxide. In plaats van de opgevangen koolstofdioxide van fabrieken ergens op te slaan (en zo te voorkomen dat deze in de atmosfeer belandt en een bijdrage levert aan de opwarming van de aarde) kan de afgevangen koolstofdioxide met het membraan omgezet worden in nuttige brandstoffen. Zo wordt niet alleen de uitstoot van broeikasgassen teruggedrongen, maar kan aan die uitstoot ook nog eens verdiend worden. Dat laatste kan het afvangen van CO₂ aantrekkelijk maken voor bedrijven.

De onderzoekers zien al voor zich hoe bijvoorbeeld energiecentrales van dit membraan gebruik maken. De warmte die nodig is om het proces op gang te brengen, kan gegenereerd worden met behulp van zonne-energie of restwarmte (die deels van de elektriciteitscentrale zelf afkomstig kan zijn). En de elektriciteitscentrale kan de kosten van het systeem terugverdienen door de brandstof dat het uit broeikasgassen haalt, te verkopen of zelf te gebruiken.

Artikel Scientias

Een membraan is een dun vlies dat twee ruimtes scheidt. Veel membranen zijn in staat om alleen bepaalde deeltjes (moleculen, atomen of ionen) door te laten.

- 1 Welke deeltjes worden, volgens het artikel van Scientias, door dit membraan doorgelaten?
- 2 Leg met behulp van gegevens in het artikel uit of deze deeltjes zich in de gasstroom bevinden, die ook het CO₂ bevat.

De conclusie die we kunnen trekken is dat in de gasstroom met CO₂ een chemische reactie optreedt: namelijk $2 \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{CO} + \text{O}_2$ of $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$.

Bij het onderzoek heersen twee omstandigheden die de bovenstaande reacties met behulp van het membraan mogelijk maken.

- 3 Welke twee omstandigheden zijn dit?

Het is de bedoeling met dit proces koolstofdioxidegas uit afvalgassen vast te leggen in nieuwe brandstof.

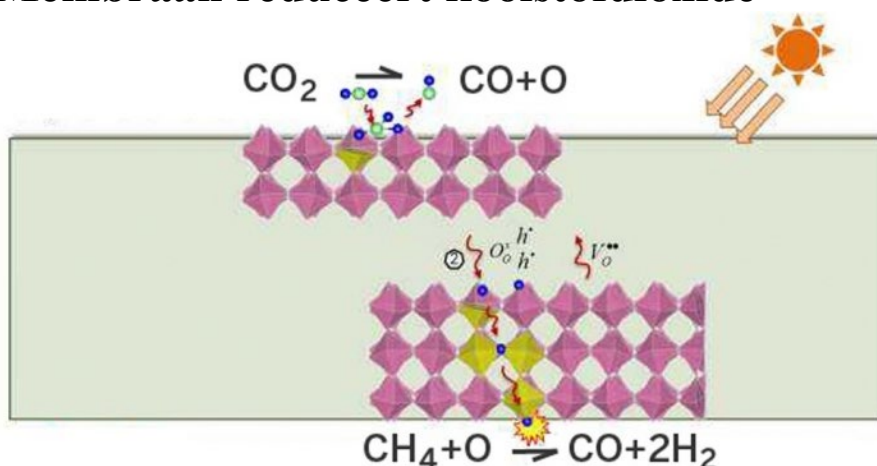
- 4 Geef schematisch aan welke 'route' de C-atomen vanuit brandstof tot nieuwe brandstof afleggen.

Het beschreven proces kost erg veel energie. De onderzoekers zeggen dat er bij dit proces brandstof wordt geproduceerd.

- 5 Leg uit wanneer dit een duurzaam proces is.

In het Chemisch Weekblad (C2W, 27 november 2017) stond over dit onderzoek het volgende artikel:

Membraan reduceert koolstofdioxide



Dankzij een hittebestendig membraan van lanthaan, calcium en ijzeroxide kun je nu letterlijk de zuurstof uit koolstofdioxide zuigen. Het resterende koolstofmonoxide kan dan dienen als grondstof, claimen MIT-onderzoekers Xiao-Yu Wu en Ahmed Ghoniem in *ChemSusChem*.

Het membraan (werktitel LCF-91, samenstelling $\text{La}_{0,9}\text{Ca}_{0,1}\text{FeO}_{3-\delta}$) heeft een perovskietstructuur waarin zuurstofatomen bij hoge temperatuur (denk aan 1000 °C) min of meer vrij kunnen rondzwerven. Zuig je ze aan één kant uit het kristalrooster, dan worden aan de andere kant vervangende atomen naar binnen gezogen. Bijvoorbeeld uit gasvormig CO_2 , dat bij deze temperatuur vrij gemakkelijk thermochemisch wordt gereduceerd tot $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2$. Zuurstof onttrekken aan de andere kant kan simpelweg door de ruimte vacuüm te trekken, maar aantrekkelijker is om het te laten reageren met methaan. En wel zo dat het niet opnieuw CO_2 oplevert maar een mengsel van CO en H_2 , synthesesgas dus, waar je bijvoorbeeld vloeibare brandstoffen van kunt maken.

De voor de CO_2 -reductie benodigde energie wordt toegevoerd via de verwarming van het membraan. Daar kun je zonlicht voor gebruiken, of restwarmte van andere processen, of wat je ook ter beschikking hebt.

Voorlopig werkt het alleen op labschaal, maar de berekeningen van Wu en Ghoniem suggereren dat het ook op grotere schaal moet kunnen.

Artikel C2W

Het membraan speelt een belangrijke rol in het proces.

6 Welke deeltjes worden, volgens het artikel uit C2W, door het membraan doorgelaten?

Het membraan zet in het nieuwe proces koolstofdioxidemoleculen om in onder andere koolstofmonooxidemoleculen. Het zo gevormde gas CO kan weer dienen als brandstof of als grondstof voor nieuwe brandstoffen en andere koolstofhoudende stoffen.

7 Bereken de reactie-energie voor de verbranding van het gas koolstofmonoxide tot het gas koolstofdioxide.

De O-atomen die door het membraan heen komen, laat men reageren met methaanmoleculen tot CO-moleculen en H_2 moleculen.

8 Noteer de vergelijking van de reactie tussen methaan en O-atomen tot CO en H_2 .

Men zegt met dit proces de stof koolstofdioxide te kunnen vastleggen.

9 Leg uit of je met dit proces het CO₂-gehalte van de atmosfeer laat afnemen.

Je hebt nu twee artikelen over dit proces gelezen. Je vindt misschien één van de artikelen duidelijker dan het andere of je vindt ze beide even duidelijk.

10 Geef chemische argumenten waarom jij een van beide artikelen duidelijker vindt of niet.

Evenwicht

Bij lage temperatuur is de evenwichtsconstante voor de ontleding van CO₂ erg klein. Bij 900 °C is er in het evenwichtsmengsel 5,49 ppm CO aanwezig. Bij 1000 °C 24,9 ppm CO en bij 1500 °C 3620 ppm CO.

11 Leg aan de hand van bovenstaande gegevens uit of de ontleding endotherm of exotherm is.

12 Leg uit of dit overeen komt met eerdere berekeningen in deze opgave.

Bij een hogere temperatuur wordt er meer koolstofmonoxide gevormd.

13 Geef minstens twee redenen waarom men dit proces toch uitprobeert bij ongeveer 1000 °C.

Bij het onderzoek heeft men nog meer factoren bekeken. Wanneer er aan de achterkant van het membraan argon als gasstroom werd gebruikt om de zuurstofatomen uit het membraan mee te nemen, is er met een gaschromatograaf geen afname van CO₂ concentratie aan de voorkant te meten. Wanneer aan het argon 1 % CO werd toegevoegd, nam de doorgang van zuurstofatomen door het membraan toe tot 0,002 μmol cm⁻² s⁻¹.

14 Waar staat cm⁻² in μmol cm⁻² s⁻¹ voor?

15 Leg uit dat 0,002 μmol cm⁻² s⁻¹ een maat is voor de reactiesnelheid van de ontleding van CO₂.

16 Leg uit of een hoger percentage CO achter het membraan voor een hogere reactiesnelheid zal zorgen.

Er is bij dit experiment ook gemeten of er CO door het membraan heen kwam. Dit bleek niet het geval. Deze waarneming is erg belangrijk voor het experiment.

17 Leg uit waarom deze meting gedaan moest worden.

18 Leg uit waarom achter het membraan een gasstroom van CH₄ en Ar de voorkeur zal hebben boven een stroom van een CO/Ar -mengsel.

Je kunt ook de dikte van het membraan variëren.

19 Leg uit of de dikte van het membraan van invloed zal zijn op de reactiesnelheid.

De reactiesnelheid van de ontleding van CO₂ wordt dus door veel factoren beïnvloed.

20 Geef minstens vier genoemde factoren die van invloed zijn op de reactiesnelheid.

Het beschreven proces zou op zeer grote schaal bij 'klassieke' energiecentrales kunnen worden toegepast.

21 Hoe ver is men met de ontwikkeling hiervan?

Nieuw systeem zet broeikasgas om in brandstof

[Je kunt leerlingen ook alleen het eerste artikel aanbieden met vraag 1 t/m 5. Of eerst artikel 1 met vraag 1 t/m 5. Vervolgens het tweede artikel met de rest. Maar ook alleen het tweede artikel met de bijbehorende vragen is mogelijk.]

Artikel Scientias

- 1 Zuurstofdeeltjes. Onduidelijk is of ze O atomen of O₂ moleculen bedoelen.
- 2 De gasstroom is een stroom verbrandingsgassen. Deze bevat geen of heel weinig zuurstof.
- 3 Hoge temperatuur en hetzij een onderdruk aan de andere kant van het membraan hetzij een brandstofstroom .
- 4 'C' uit de oorspronkelijke brandstof → CO₂ → na membraan CO als brandstof → CO₂
- 5 Het is alleen een duurzaam proces als de energie die nodig is om 'O' uit de CO₂ in de gasstroom te halen op een duurzame manier wordt verkregen.

Artikel C2W

- 6 Uit de tekening blijkt duidelijk dat er O-atomen door het membraan gaan.
- 7 $2 \text{ CO(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2 \text{ CO}_2\text{(g)}$
 $\Delta E = (2x - 3,935 + 2 \times 1,105) \cdot 10^5 = -5,66 \cdot 10^5 \text{ J}$
- 8 $\text{CH}_4 + \text{O} \rightarrow \text{CO} + 2 \text{ H}_2$
- 9 Men haalt CO₂ uit de lucht en zet deze om in brandstoffen. Tenzij je van de CO andere stoffen maakt die je niet verbrandt, komt er uiteindelijk bij verbranding weer CO₂ vrij. Het gehalte zal ongeveer gelijk blijven. Een cyclus van CO₂ dus.
- 10 In het eerste artikel staat niet duidelijk vermeld:
 - welke deeltjes door het membraan heengaan,
 - welke reacties optreden,
 - wat er in het membraan gebeurt.In het tweede artikel staan de eerste twee punten wel uitgelegd, maar wat er in het membraan gebeurt blijft onduidelijk.

Evenwicht

- 11 Bij hogere temperatuur is de concentratie CO toe genomen, dus het evenwicht is naar rechts geschoven. De reactie naar rechts is dus endotherm.
- 12 De omgekeerde reactie is bij vraag 7 berekend en is exotherm. Het klopt!
- 13 De benodigde energie wil men uit zonne-energie halen: een lagere temperatuur is gemakkelijker haalbaar. Bij een lagere temperatuur zijn de kosten voor apparatuur ook lager.
- 14 De cm⁻² geeft aan: per cm² van het membraan. Hoe groter het membraan, des te groter de zuurstofdoorgang.
- 15 Dit geeft aan hoeveel zuurstofatomen er per cm² per seconde door het membraan komen. Dit is een maat voor de snelheid van de ontleding van CO₂. Daar komt het zuurstof immers vandaan.
- 16 Ja, want dan is de 'kracht' waarmee de O-atomen door het membraan heen worden gezogen groter.
- 17 Als er CO moleculen door het membraan zouden komen, meet je niet meer de reactiesnelheid vóór het membraan ofwel de werkelijke afname van CO₂ moleculen.
- 18 CO wordt omgezet in CO₂ en die wil je juist vastleggen. CH₄ reageert met het zuurstof tot CO en H₂. Deze kunnen buiten de reactor dienen als brandstof of grondstof voor andere verbindingen.
- 19 Bij een dikker membraan zal het langer duren voordat de eerste zuurstof erdoor komt, maar uiteindelijk zal er dezelfde hoeveelheid per cm² doorheen komen.
- 20 [CO₂], temperatuur, membraantype en de afvanggasstroom aan de andere kant van het membraan.
- 21 Het werkt alleen nog op laboratoriumschaal, maar zou op grotere schaal moeten kunnen volgens de onderzoekers.

DANKZIJ DEZE KORRELS BLIJVEN GROENTE EN FRUIT 2,5 KEER LANGER VERS

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Redoxreacties
Trefwoorden	Halfreacties, reactieomstandigheden, MnO_4^- , etheen, duurzaamheid
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.duurzaambedrijfsleven.nl, 19 december 2017

Dankzij deze korrels blijven groente en fruit 2,5 keer langer vers



De onderneming Slowd heeft korrels ontwikkeld, die het rijpingsproces van verse groenten, fruit en kruiden vertragen. Daardoor blijven de producten langer vers, wat de kans op voedselverspilling verkleint.

Door: Chris Thijssen

Consumenten kunnen de korrels, verpakt in een ventilerend cellofaan, in de koelkast, fruitschaal of groentelade plaatsen. Verse groenten, fruit en kruiden die daar worden bewaard, maken tijdens het rijpingsproces het natuurlijke gas etheen aan. Dit gas zorgt voor een versnelling van de rijping.

De actieve potassium permanganaat-korrels in de Slowd-verpakking trekken dit etheen aan en neutraliseren het. Dat vertraagt het rijpingsproces, waardoor de producten zo'n 2,5 keer langer vers blijven. De korrels blijven circa dertig dagen werkzaam.

Biologisch afbreekbaar

Niet alleen de toepassing van het product levert duurzaamheidswinst op, ook het product zelf is zo duurzaam mogelijk gemaakt. Zo zijn de korrels biologisch afbreekbaar en is de kartonnen verpakking gemaakt van landbouwafval. Deze is volgens Slowd daarnaast bedrukt met duurzame inkt.

Verder doneert het bedrijf een deel van de winst aan de Voedselbanken.

Het gas etheen speelt een rol bij de rijping van fruit. Fruithandelaren maken daar slim gebruik van bij bananen. Die worden groen en keihard geplukt en vervoerd, om ze zo lang mogelijk goed te houden. Na aankomst in Nederland gaan ze twee dagen in een cel met een kunstmatige hoge concentratie etheen. De rijping komt dan op gang. Tegen de tijd dat de bananen in de winkel arriveren, zijn ze geel en rijp. Maar als je de bananen dan eenmaal thuis hebt, is het zakje Slowd wellicht een uitkomst.

- 1 Waardoor kan het zakje Slowd een uitkomst zijn voor je fruit thuis?

Gebruik van het zakje kan een bijdrage leveren aan het tegengaan van voedselverspilling.

- 2 Waaraan lever je een bijdrage als je voedselverspilling tegen gaat?

In een ander artikel staat: "De natuurlijke korrels hebben door hun poreuze honingraatstructuur een groot oppervlak"

- 3 Leg uit welk voordeel dit grote oppervlak heeft.

De korrels bevatten 'potassiumpermanganaat' als actieve stof. In Nederland gebruiken we daarvoor de naam kaliumpermanganaat (potassium = kalium).

De korrels zijn drager voor het kaliumpermanganaat en water. Als de korrels het etheengas opvangen, treedt er een redoxreactie op tussen het etheen en het permanganaation, waarbij ook het water een rol speelt.

- 4 Leg uit welke halfreactie uit tabel 48 (Binas) voor het permanganaation gebruikt moet worden.
- 5 Welke kleurverandering treedt hierdoor op?

Etheen ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) wordt door het permanganaation omgezet in ethaan-1,2-diol ($\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$).

- 6 Noteer de halfreactie voor het redoxkoppel etheen/ethaan-1,2-diol in structuurformules.

Volgens het artikel neutraliseren de permanganaatkorrels het etheen.

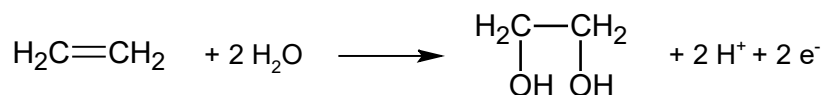
- 7 Leg uit dat een persoon met chemische kennis de term neutraliseren hier niet zo zal gebruiken.

In het artikel staat dat de korrels biologisch afbreekbaar zijn en daardoor bijdragen aan duurzaamheid.

- 8 Welke informatie heb je nog meer nodig om te beslissen of het gebruik inderdaad duurzaam is?
- 9 Leg uit of jij de zakjes van Slowd zult kopen.

Dankzij deze korrels blijven groente en fruit 2,5 keer langer vers

- 1 Je fruit blijft langer bruikbaar/eetbaar.
- 2 Duurzaamheid: als voedingsmiddelen die nog prima te eten zijn, bij het vuilnis belanden, dan gaan ook alle energie en grondstoffen verloren die nodig waren om die etenswaren te telen, vervoeren, koelen en eventueel te bewerken en verpakken. Dat kost allemaal energie en alle grond- en hulpstoffen die nodig waren voor de productie zijn dan voor niets opgemaakt, zoals bestrijdingsmiddelen en kunstmest
- 3 Er kan in een zelfde tijd meer etheen worden geabsorbeerd en reageren met het kaliumpermanganaat. De etheenconcentratie in de lucht wordt dan sneller verlaagd.
- 4 Er is sprake van neutraal milieu en aanwezigheid van H₂O:
 $\text{MnO}_4^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 4 \text{OH}^-$
- 5 Van paars (MnO₄⁻ ion) naar bruinzwart (MnO₂).
- 6



- 7 Neutraliseren wordt gebruikt bij een zuur-base reactie. Door aan een basische oplossing een zuur of zure oplossing of aan een zure oplossing een base of basische oplossing toe te voegen kan men zorgen dat de oplossing een pH van 7 krijgt. De auteur van het artikel zal de term hier gebruiken om aan te geven dat de korrels de invloed van etheen sterk verminderen of ongedaan maken
- 8 Of de stoffen die ontstaan, ethaan-1,2-diol en MnO₂, geen kwaad kunnen in het milieu en of ze eventueel bio-afbreekbaar zijn.
- 9 Ja: mogelijk argument, ik kan mijn fruit zo langer bewaren en ga dus voedselverspilling tegen.
Nee: mogelijk argument: ik koop liever mijn fruit zo dat ik weet dat ik het tijdig op kan eten voor het bedorven is.

Artikel: <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/voeding/26445/dankzij-deze-korrels-blijven-groente-en-fruit-25-keer-langer-vers>,

Weetjes

Geen zin om een week te wachten totdat die keiharde peer, kiwi of nectarine eetbaar is? Stop hem dan met een banaan in een zak, en binnen twee dagen is hij heerlijk zoet en sappig. Het is een bekende tip uit grootmoeders keuken. En hij werkt echt. Rijpende bananen produceren namelijk veel etheen. Dit gas zet vruchten aan tot een versnelde rijping. Althans, dat geldt voor vruchten die voor dit gas gevoelig zijn. Klein fruit, zoals aardbeien, frambozen en kersen, reageert nauwelijks op het gas. Het meeste grote fruit doet dat juist wel: appels, peren, nectarines, perziken, mango's, avocado's, bananen zelf natuurlijk, en ook tomaten en komkommers.

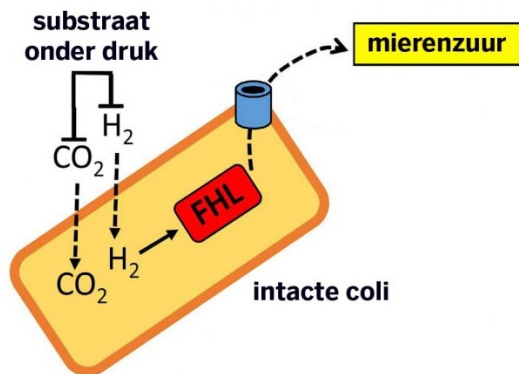
Etheen is een soort hormoon. Etheen zet vruchten aan om allerlei rijpingsenzymen te maken. Amylase bijvoorbeeld. Dit stofje zet zetmeel om in suiker. Dat maakt het fruit lekker zoet, en bovendien trekt suiker vocht aan, zodat de vrucht zijn sappigheid verkrijgt. Etheen bevordert ook de productie van pectinase: dit enzym breekt de 'lijm' tussen de cellen af, wat de vrucht zachter maakt. Verder ontstaan er enzymen die onaangename zuren neutraliseren en die grote organische moleculen afbreken tot vluchtige geurstoffen. En er komen enzymen vrij die de groene kleurstof afbreken. Die groene kleurstof is chlorofyl, dat voor de groene, onrijpe kleur zorgt. Bij afbraak hiervan komt de rijpe kleur tevoorschijn.

COLI VALORISEERT KOOLSTOFDIOXIDE

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Brandstoffen
Trefwoorden	Mierenzuur, bacterie, formaat, pH, evenwicht
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 9 januari 2018

Coli valoriseert koolstofdioxide



Zet *E. coli* een beetje onder druk en hij gaat koolstofdioxide omzetten in mierenzuur. Wellicht kan deze bacterie zo ons klimaat redden, schrijven Schotse onderzoekers in het tijdschrift *Current Biology*.

Dat 'onder druk' moet je daarbij letterlijk nemen, als in 'een 1:1 mengsel van H₂ en CO₂ boven de vloeistof in de fermentor, en de gasdruk opvoeren tot 10 bar'.

Het natuurlijke bacteriële enzym FHL (formaatwaterstoflyase) wordt hierdoor in de achteruit gezet. In plaats dat het mierenzuur oxideert tot CO₂ en tegelijk protonen reduceert tot moleculaire waterstof, gaat het juist mierenzuur máken.

Dat mierenzuur (of eigenlijk formaat, het anion) wordt door de bacteriën uitgescheiden in de fermentatievloeistof, mits je de pH daarvan boven de 7 weet te bufferen. De formaatconcentratie kan oplopen tot meer dan 500 mM. Tap het af en je kunt er bijvoorbeeld autobussen op laten rijden.

De publicatie suggereert dat elke *E. coli* in principe dit kunstje beheerst maar dat je de productie behoorlijk kunt opvoeren door een paar genetische ingrepen in het bacteriële metabolisme. In het beste geval wordt binnen een paar uur 100% van de toegevoerde CO₂ opgesoupeerd.

Laatste auteur Frank Sargent ging ooit het FHL-complex bestuderen in de hoop dat hij *E. coli* kon ombouwen tot efficiënt waterstoffabriekje. Of hij de omgekeerde reactie zag aankomen of dat de ontdekking pure mazzel is, blijft onduidelijk. Maar hij is er blij mee: 'Not all bacteria are bad. Some might even save the planet', stelt hij in een persbericht.

bron: University of Dundee

Alweer een 'kunstje' met een bacterie: *E-coli*. Deze kan onder druk ook "achterwaarts" reageren. Schotse onderzoekers lieten dit plaatsvinden in een fermentor bij 10 bar druk.

1 Wat is een fermentor?

De gassen waterstof en koolstofdioxide in de fermentor zijn elk in evenwicht met de vloeistof: $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ en $\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{aq})$.

2 Noteer voor beide evenwichten de evenwichtsvoorwaarde.

Als de druk in de fermentor wordt vergroot, verschuiven de evenwichten.

3 Leg uit in welke richting elk van de twee evenwichten verschuift. Gebruik in je uitleg de evenwichtsvoorwaarde.

In de vloeistof van de fermentor is er ook evenwicht tussen de opgeloste gassen en het mierenzuur, HCOOH .

4 Geef de evenwichtsreactie voor de vorming van mierenzuur in een vergelijking weer.

5 Noteer de evenwichtsvoorwaarde voor dit evenwicht.

6 Leg uit wat het gevolg is van drukverhoging op deze evenwichtsreactie. Gebruik in je uitleg de evenwichtsvoorwaarde.

7 Waarom is mierenzuur als energiedrager een betere keuze dan waterstof?

De bacterie maakt niet mierenzuur maar formiaat aan.

8 Geef de formule van het formiaat, het zuurrestion van mierenzuur.

9 Leg uit dat voor de vorming van formiaat de pH hoger dan 7 moet zijn.

10 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als mierenzuur in een omgeving komt met een pH hoger dan 7.

De formiaatconcentratie kan zo oplopen tot 500 mM.

11 Leg uit wat voor effect de verhoging van de formiaatconcentratie heeft op de andere evenwichten.

Het artikel zegt '*Tap het af en je kunt er bijvoorbeeld bussen op laten rijden*'.

12 Leg uit wat je nog moet doen met het formiaat voordat het als brandstof gebruikt kan worden.

De onderzoekers hebben een (ver) toekomstbeeld voor de toepassing van het bacteriële proces.

13 Wat verwachten ze van de bacterie?

Coli valoriseert koolstofdioxide

- 1 Een reactor waarin fermentatie (vergisting) plaatsvindt. (Opmerking: Het artikel gebruikt het woord fermentatie: er is hier geen sprake van fermentatie, maar van een reactie die door een bacterie tot stand wordt gebracht.)
- 2 $K_{CO_2} = \frac{[CO_2(aq)]}{[CO_2(g)]}$, $K_{H_2} = \frac{[H_2(aq)]}{[H_2(g)]}$
- 3 Beide evenwichten verschuiven naar rechts, want als $[CO_2(g)]$ en $[H_2(g)]$ toenemen door de hogere druk (meer deeltjes in een zelfde volume) zullen ook $[CO_2(aq)]$ en $[H_2(aq)]$ moeten toenemen om de concentratiebreuk constant te houden aan de evenwichtsconstante K, die niet verandert.
- 4 $CO_2 + H_2 \rightleftharpoons HCOOH$. ($CO_2(aq) + H_2(aq) \rightleftharpoons HCOOH(aq)$)
- 5 $K_{HCOOH} = \frac{[HCOOH(aq)]}{[CO_2(aq)][H_2(aq)]}$
- 6 $CO_2(aq)$ en $H_2(aq)$ worden groter door de drukverhoging (zie antwoord 3). Dat betekent dat de concentratiebreuk kleiner wordt. K_{HCOOH} blijft gelijk, dus moet de concentratiebreuk zich daaraan aanpassen en groter worden. Dit betekent grotere $[HCOOH]$ en $[CO_2(aq)][H_2(aq)]$ kleiner. Het evenwicht verschuift dus naar rechts
- 7 Mierenzuur is een vloeistof, waterstof een gas. Een vloeistof neemt veel minder ruimte in dan een gas. Transport is ook makkelijker.
- 8 $HCOO^-$.
- 9 Je moet een basische omgeving hebben om het zuurrestion gevormd te krijgen.
- 10 $HCOOH + OH^- \rightarrow HCOO^- + H_2O$.
- 11 Als $HCOOH$ weggenomen wordt, betekent dat er weer nieuwe mierenzuur gevormd moet worden dus dat er ook meer koolstofdioxide en waterstof omgezet worden.
- 12 Allereerst moet er weer mierenzuur van gemaakt worden, dus de pH moet omlaag gebracht worden. Daarna moet de mierenzuuroplossing gescheiden worden in zuiver mierenzuur en water. In de auto/bus moet daarna mierenzuur weer ontleed worden in koolstofdioxide en waterstof.
- 13 Dat deze ons klimaat kan redden.