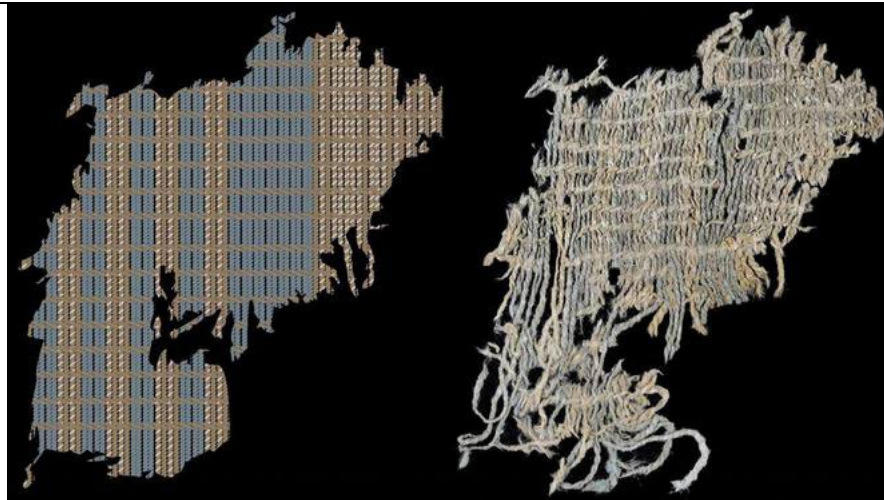


EERSTE JEANSBLAUW IS 6000 JAAR OUD

<i>Klas</i>	5,6 v
<i>Subdomein</i>	Deeltjesmodellen, Processen en reacties
<i>Vaardigheid</i>	Informatie
<i>Specificaties</i>	Structuurisomerie, Hydrolyse
<i>Trefwoorden</i>	Indigo, Indigotin, reactiemechanisme, mesomerie, halfreacties
<i>Vaardigheidsvraag</i>	Informatiebewerkingsvraag

www.volkskrant.nl, 14 september 2016



Eerste 'jeansblauw' is 6000 jaar oud en komt uit Peru

Door: Maarten Keulemans

Al vijftien eeuwen vóór de Egyptenaren won men in Peru kleurstof uit planten om er textiel mee te verven. Dat blijkt uit analyse van een ruim 6.000 jaar oud stukje stof, ooit versierd met spijkerbroekblauwe strepen: het oudste stukje gekleurd textiel ter wereld.

Archeologen onder leiding van de Amerikaan Tom Dillehay diepten het stukje handgeweven stof op uit Huaca Prieta, een kunstmatige heuvel aan de noordkust van Peru. Onduidelijk is van welk groter geheel het reepje stof, van slechts centimeters groot, ooit deel uitmaakte. 'Daarvoor zijn de fragmentjes te klein', zegt de Vlaamse chemicus Jan Wouters, die de kleuranalyse leidde.

Vast staat dat het textiel minieme restjes indigotine bevat, een blauwe kleurstof uit planten. Een unieke vondst, vinden kenners. Nog oudere stukjes textiel zijn wel bekend uit onder meer Turkije en Israël, zegt textiel-archeoloog Gillian Vogelsang-Eastwood van het Textile Research Centre in Leiden. 'Maar ik ken niets dat zo oud én gekleurd is. Echt heel bijzonder.'

Het record stond tot dusver op naam van de Egyptenaren, die rond de 4.400 jaar geleden stoffen blauw kleurden

Wouters vond ook sporen van spijkerbroekenblauw in vijf andere, recentere textielfragmentjes, uiteenlopend van 5.500 tot 1.500 jaar oud. Op het oog is er aan de snippers stof weinig te zien. Pas toen Wouters de weefstructuur van enkele minuscule fragmenten onder de microscoop open trok, zag hij vezels met een iets afwijkende kleur.

'Dit duidt op textielkennis van een hoog niveau', zegt Vogelsang-Eastwood. 'Want indigotine winnen is niet gemakkelijk.' Zo moest men de juiste plant 'ontdekken', die pletten en daarna laten weken in urine, om de kleurstof wateroplosbaar te maken, vertelt Wouters. 'Je vraagt je af hoe men hier zesduizend jaar geleden op is gekomen. Ik vind dat zeer fascinerend.'

'Superieure techniek'

'Een superieure techniek en een van de meest stabiele kleurstoffen ooit gemaakt', zegt Joris Dik (TU Delft). 'Het feit dat men dit blauw al zo vroeg had, geeft aan dat ze lang hebben kunnen experimenteren.'

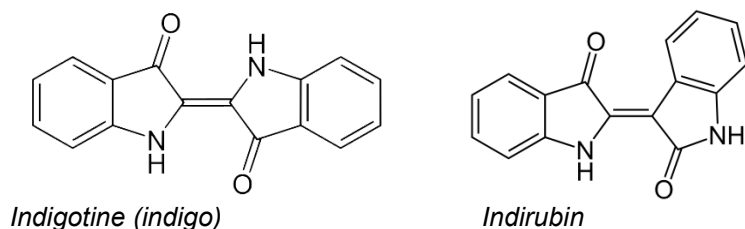
Huaca Prieta, een oud heiligdom, is al decennialang vindplaats van oude voorwerpen en stukjes stof. Weven deed men destijds niet alleen met katoen: zo bevatte een van de opgegraven stukjes stof witte vezels van plantenwortels, en vond men in andere stukjes textiel zelfs restjes lama-haar. 'Dit weefsel zelf is ook zeer geavanceerd', duidt Vogelsang-Eastwood. 'Samen met het gebruik van indigotine is het indicatief voor een bloeiend, deskundig systeem van textielproductie.'

In oude culturen verfde men textiel al met kleurstoffen uit planten, onder andere met indigo, spijkerbroekblauw. De onderzoekers, waaronder Jan Wouters, stelden de hypothese op dat de blauwe kleur van het reepje stof uit Peru ook indigo kon bevatten.

- 1 Beschrijf welk onderzoek moet zijn uitgevoerd om de hypothese te toetsen dat men te maken heeft met indigo.

Analyse verfstof

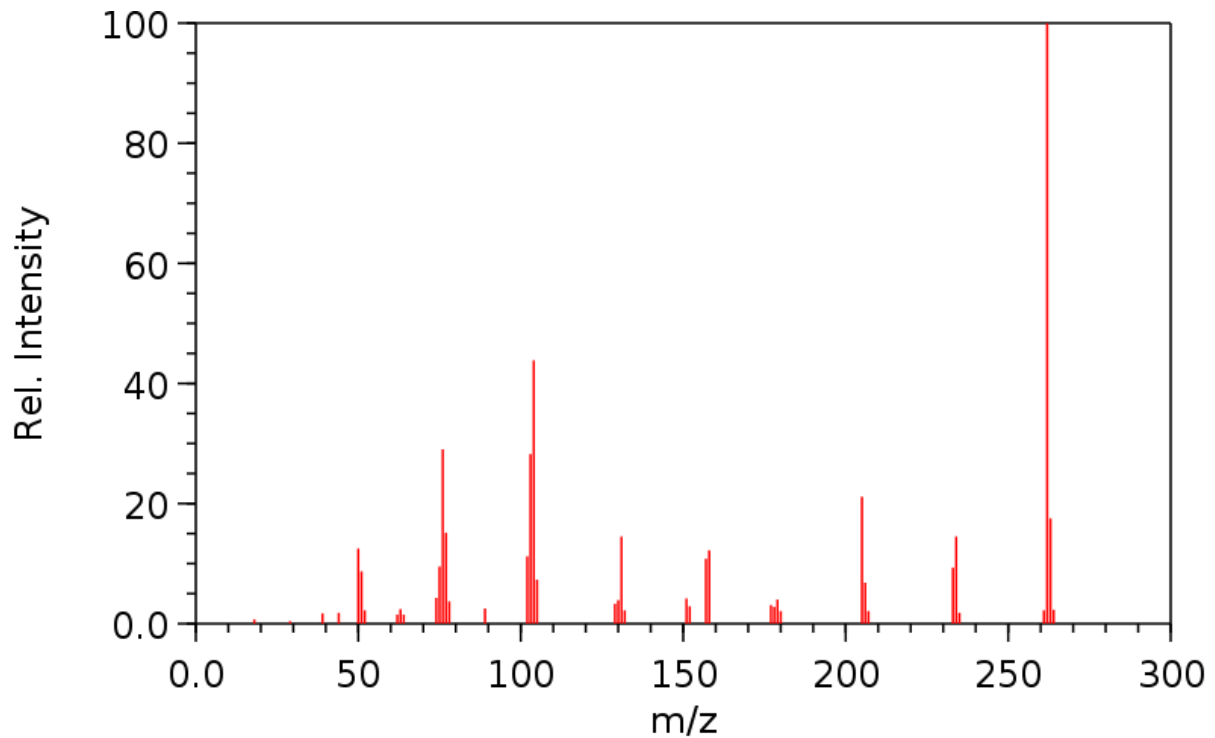
Er is vastgesteld dat de blauwe verf zowel de kleurstof indigotine (ook wel indigo genoemd) als indirubin bevat, in verschillende verhoudingen. Indigo zorgt voor een blauwe kleur en indirubin voor rood. In figuur 1 zijn de structuurformules van de moleculen van beide stoffen weergegeven.



Figuur 1

- 2 Leg uit dat de moleculen indigotine en indirubin isomeren van elkaar zijn.

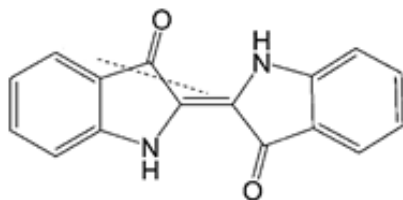
Bij het onderzoek van de kleurstof heeft men een massaspectrum gemaakt (figuur 2).



Figuur 2

- 3 Leg uit waardoor het massaspectrum voor indigo en indirubin grote overeenkomsten zal vertonen.
- 4 De 100 % piek in het massaspectrum blijkt een waarde te hebben van $m/z = 262$. Leg uit waardoor de waarde van m/z verklaard kan worden. Licht je antwoord toe met een berekening.

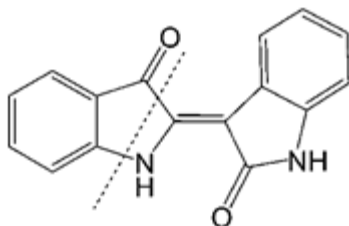
In figuur 3 staat een mogelijke fragmentatie van indigo aangegeven.



Figuur 3

- 5 Leg uit met welke piek in het massaspectrum deze fragmentatie kan worden aangetoond.

Ook gaan de onderzoekers uit van onderstaande fragmentatie in indirubin.



Figuur 4

- 6 Leg uit met welke piek in het massaspectrum deze fragmentatie kan worden aangetoond

Van indigo(tine) bestaat zowel een cis- als een trans isomeer. In figuur 1 staat de structuurformule van de trans-isomeer.

- 7 Teken de structuurformule van cis-indigo.

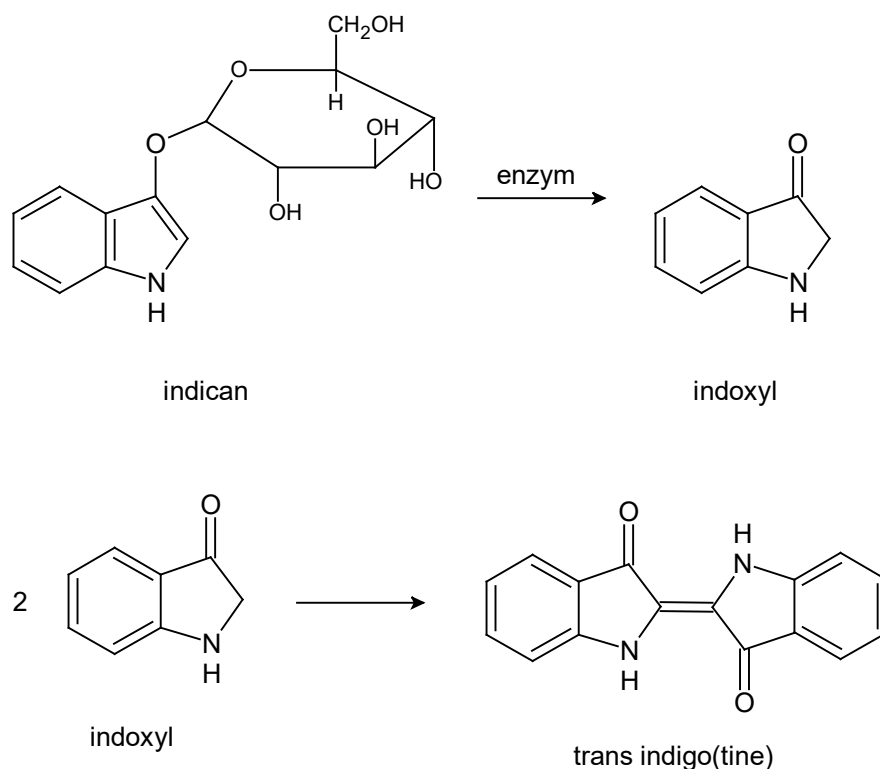
Oplosbaarheid indigo

In het artikel vertelt textiel-archeoloog Gillian Vogelsang-Eastwood dat de kleurstof indigo slecht oplosbaar is in water. In een discussie van de onderzoekers hierover zijn er tegengestelde meningen. De ene groep stelt dat ze op grond van de structuurformule ervan verwachten dat trans-indigo wel oplosbaar in water zou zijn. De andere groep geeft aan dat ze daarom juist verwachten dat het slecht oplosbaar is in water.

- 8 Noem een argument dat de ene groep gebruikt kan hebben om aannemelijk te maken dat indigo oplosbaar is in water.
- 9 Geef aan met welk twee argumenten de andere groep duidelijk kan maken dat indigo niet oplosbaar is in water.

Indigo winnen

Vogelsang-Eastwood zegt in het artikel: "... indigotine winnen is niet gemakkelijk". In de bladeren van de geschikte planten is de stof indican (zie figuur 5) aanwezig. Als men de geplette bladeren laat weken in urine, lost de stof indican op. Via een aantal stappen wordt indican vervolgens omgezet in indigo. In figuur 5 staat dit proces schematisch weergegeven.

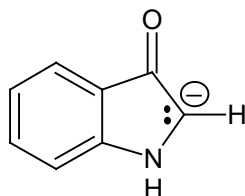


Figuur 5 Van indican naar indigo

In de eerste stap in figuur 5 wordt indican omgezet in indoxyl en glucose.

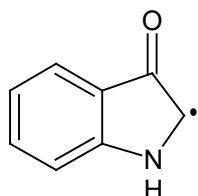
10 Welk type reactie treedt hierbij op?

Indoxyl verliest in basisch milieu (bijvoorbeeld door gebruik van oude urine) vervolgens een proton waarbij het indoxylion (figuur 6) ontstaat.



Figuur 6

Vervolgens slaat men door de oplossing zuurstof. Door reactie van het indoxylion met zuurstof ontstaat het indoxylradicaal (figuur 7).



Figuur 7

Het indoxylradicaal is een stabiel radicaal doordat er mesomerie optreedt.

11 Teken een andere grensstructuur van het indoxylradicaal voor het deel met de vijfkring. Laat dus de elektronen in zesring buiten beschouwing.

Vervolgens reageren twee indoxylradicalen tot een nieuwe verbinding.

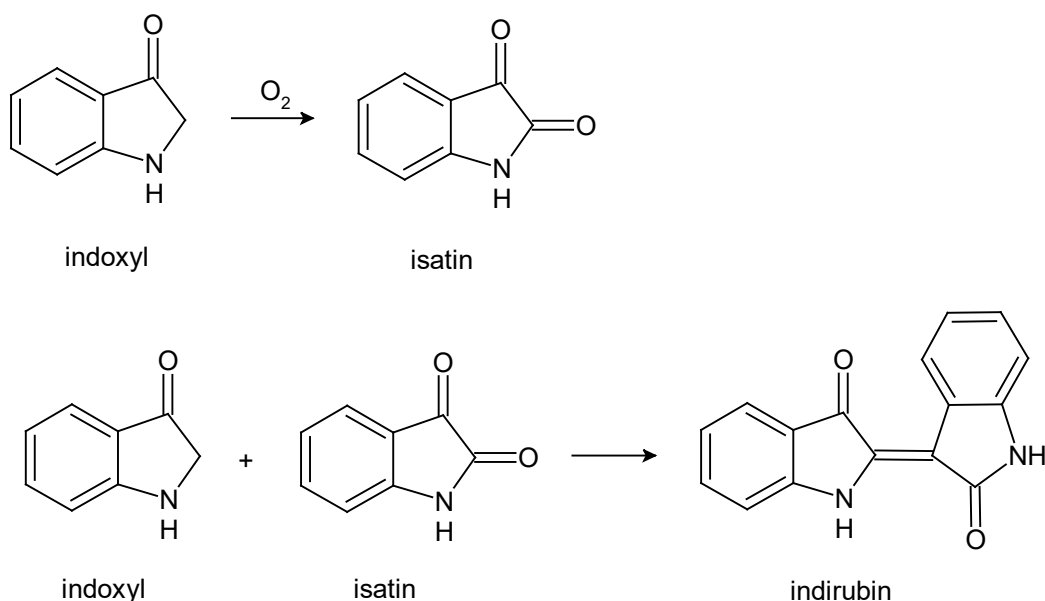
12 Teken de structuurformule van deze nieuwe verbinding.

Deze nieuwe verbinding wordt vervolgens met zuurstof in een redoxreactie omgezet in indigo.

13 Noteer de halfreactie voor deze omzetting naar indigo in structuurformules.

Productie indirubin

In figuur 8 staat schematisch de vorming van indirubin weergegeven.



Figuur 8

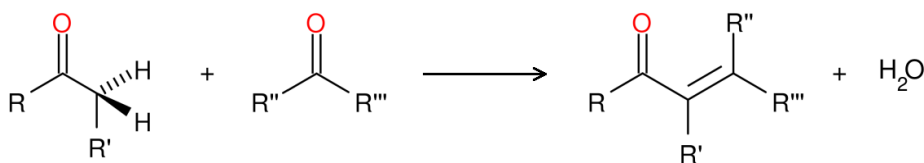
14 Noteer de halfreactie van de omzetting van indoxyl in isatin in structuurformules.

Je kunt indirubin in figuur 8 zien als het trans-isomeer

15 Teken de structuurformule van cis-indirubin

16 Leg uit welke twee andere verbindingen, die isomeer zijn met cis- en trans indirubin ook gevormd kunnen worden uit indoxyl en isatin. Licht je antwoord toe met tekeningen in structuurformules.

Het precieze mechanisme van de reactie tussen indoxyl en isatin is nog niet opgehelderd. Men vermoedt dat het om een zogenaamde aldolcondensatie gaat (figuur 9).



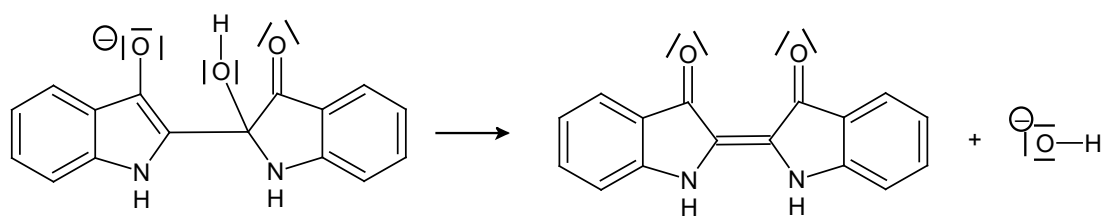
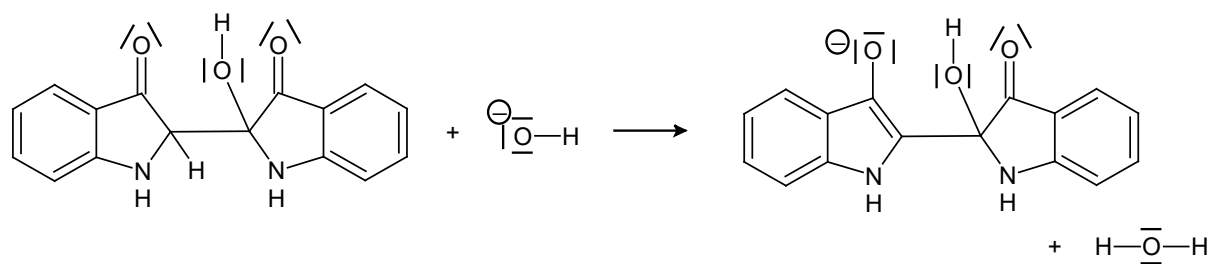
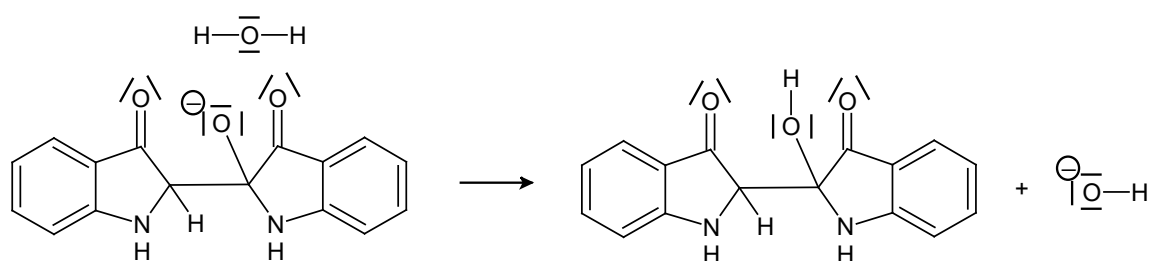
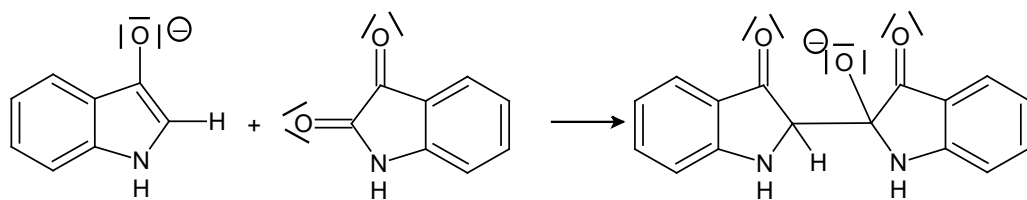
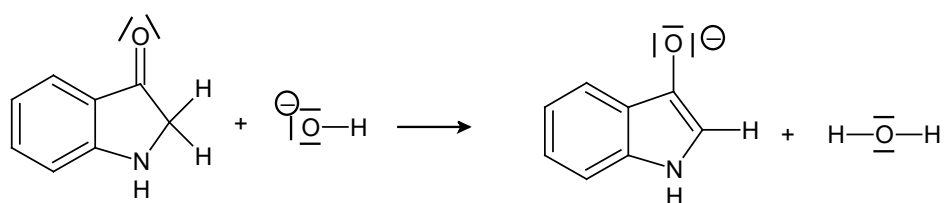
Figuur 9

In de bijlage staat het mogelijke mechanisme van de reactie tussen indoxyl en isatin gedetailleerd weergegeven.

17 Geef in de bijlage voor elke stap de elektronenverplaatsingen en eventuele verplaatsingen van atomen aan in de uitgangsstoffen zodat de structuren na de pijl ontstaan.

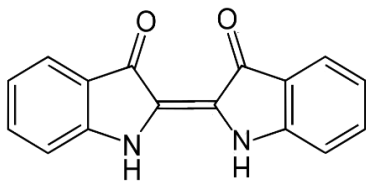
18 Leg uit waarom Joris Dik praat over een superieure techniek.

Bijlage vraag 17

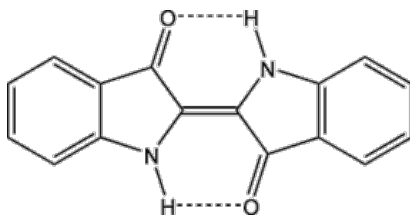


Eerste jeansblauw is 6000 jaar oud

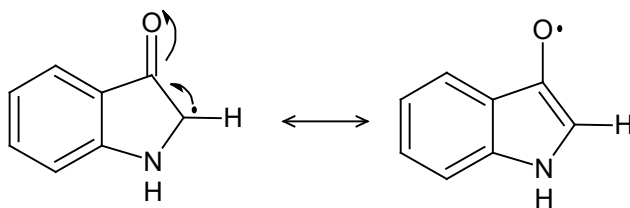
- 1 De onderzoekers zullen hun meetgegevens aan de gevonden textielfragmentjes moeten vergelijken met meetgegevens van indigo gewonnen uit "indigoplanten" uit die omgeving.
- 2 Voor beide structuurformules geldt dezelfde molecuulformule $C_{16}H_{10}N_2O_2$, dus isomeren van elkaar.
- 3 Er zullen dezelfde fragmenten en fragmentionen van af splitsen.
- 4 De molecuulmassa van $C_{16}H_{10}N_2O_2 = 16 \times 12,01 + 10 \times 1,008 + 2 \times 14,01 + 2 \times 16,00 = 262,26$. Dus het gaat hier om het geïoniseerde molecuul.
- 5 Het fragment $C=O$ ($m = 28$) splitst af van het geïoniseerde molecuul, dus de piek met $m/z = 262 - 28 = 234$.
- 6 Links in de structuurformule gaat het om fragmention $C_6H_4CO^+$ met $m/z = 104$. (Zie tabel 39 D fragment ion $C_6H_5CO^+$)
- 7



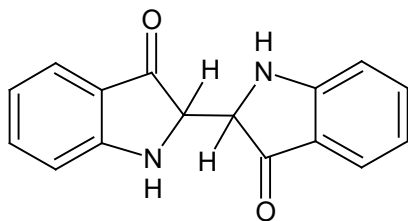
- 8 Indigomoleculen bevatten (polaire) N-H (en C=O) groepen, deze kunnen waterstofbruggen vormen met (polaire) watermoleculen.
- 9 Indigomoleculen bevatten een groot apolair deel / een groot deel dat geen waterstofbruggen kan vormen, dus mengen ze slecht met (polaire) watermoleculen. Indigomoleculen vormen interne waterstofbruggen waardoor ze geen waterstofbruggen meer kunnen vormen met watermoleculen.



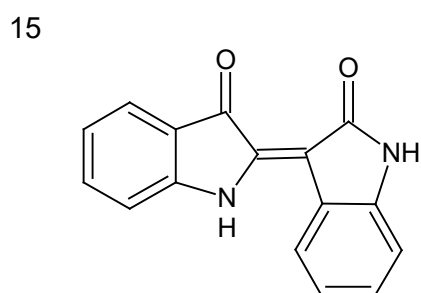
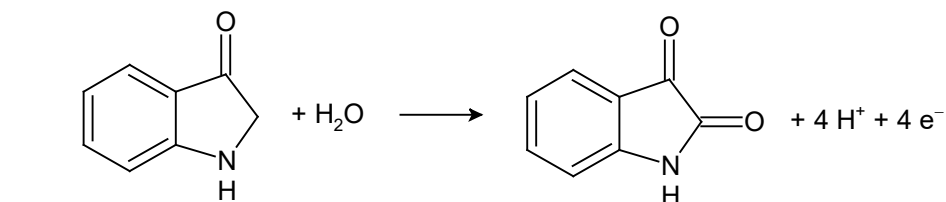
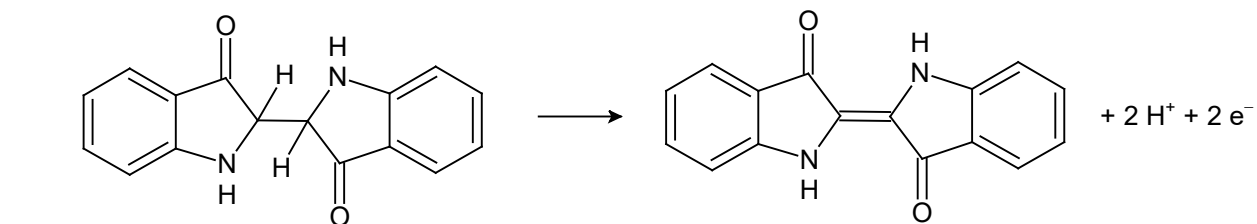
- 10 Hydrolyse. Indican reageert met water tot indoxyl en glucose.
- 11



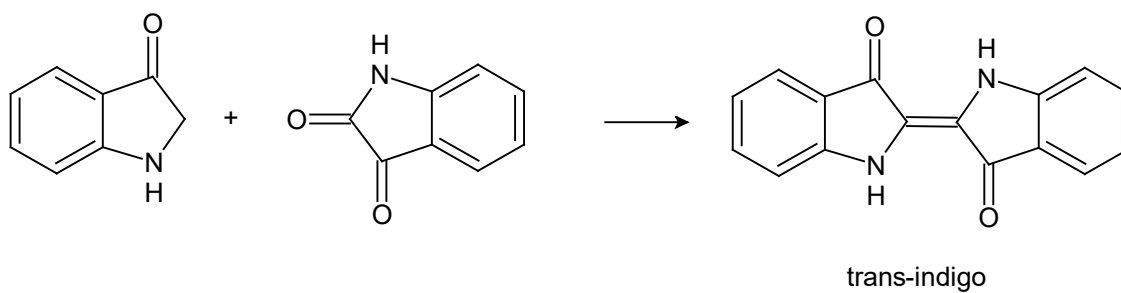
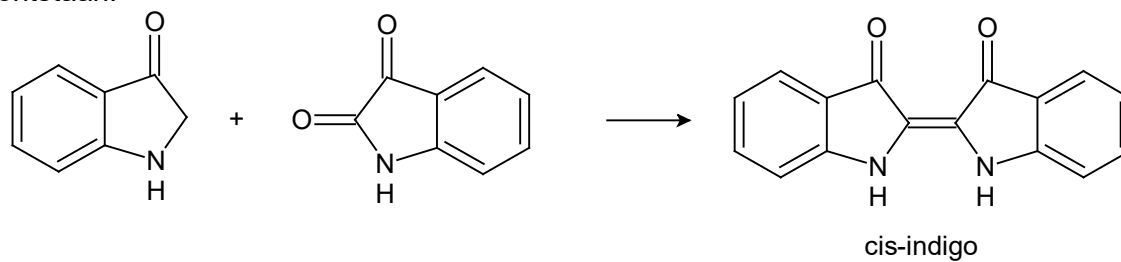
12

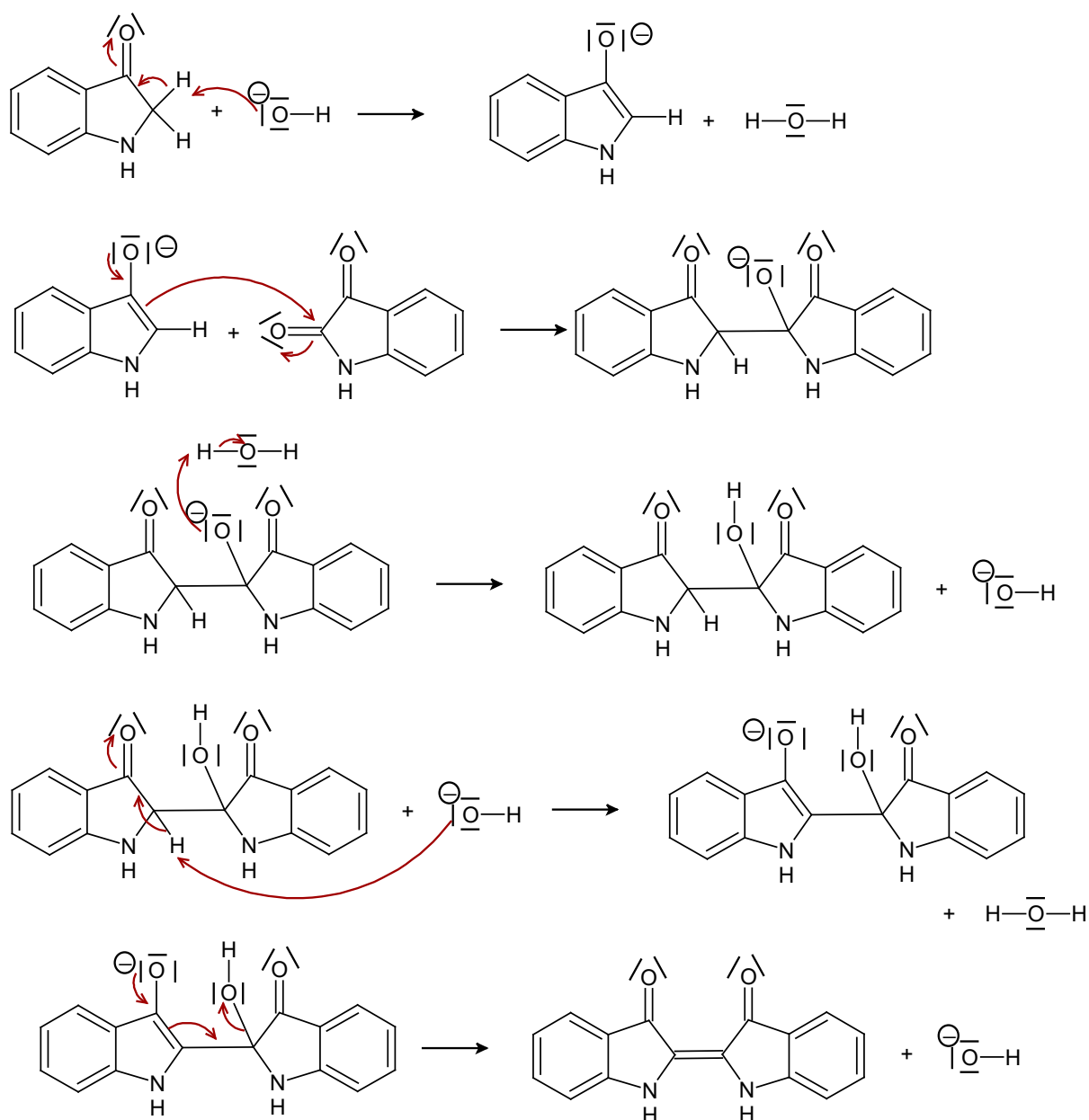


13



In de reactie van indoxyl en isatin tot indirubin heeft de C=O op plaats 3 in isatin gereageerd. De reactie kan ook plaats vinden met de C=O op plaats 2 in isatin. Afhankelijk van de oriëntering van isatin kan dan de cis- of trans isomeer van indigo ontstaan.





- 18 Je hebt te maken met complexe chemische processen. De Peruanen hebben lang geleden waarschijnlijk met trial en error maar zonder kennis op microniveau het verproces ontwikkeld.

Artikel: <http://www.volkskrant.nl/wetenschap/eerste-jeansblauw-is-6000-jaar-oud-en-komt-uit-peru~a4376884/>

Recept indigo: <http://www.scienceinschool.org/nl/2012/issue24/indigo>

Animatie aldolcondensatie: https://en.wikipedia.org/wiki/Aldol_condensation

Zie apart bestand voor detail massaspectrum indigo.

ACTIE TEGEN KOOLMONOXIDE I

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen
Trefwoorden	CO, giftig, koolmonoxide, cv-ketel, geiser
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

De Gelderlander, 29 september 2016

‘Actie tegen koolmonoxide’

Het kabinet moet veel beter zijn best doen om het aantal koolmonoxide-doden terug te brengen. In een dringende oproep pleiten de installatiebranche, de brandweer en de Consumentenbond voor strenge wettelijke eisen aan monteurs van cv-ketels en geisers.

David Bremmer

Vandaag debatteren minister Schippers (Gezondheid) en minister Blok (Wonen) met de Tweede Kamer over de koolmonoxide-problematiek. Volgens de installatiebranche en diverse maatschappelijke organisaties is het hoog tijd voor actie. Uit een recent rapport van de Onderzoeksraad Voor Veiligheid (OVV) blijkt dat het kleur- en reukloze koolmonoxide waarschijnlijk drie tot vijf keer meer slachtoffers maakt dan de jaarlijkse tien doden en honderden gewonden, waar nu mee gerekend wordt. Bijna dagelijks zijn er incidenten,

zoals maandagavond in het Haagse Moerwijk waar negen bewoners van de Troelstrakade met misselijkheids- en duizeligheidsklachten in het ziekenhuis belandden. Bovendien blijken niet alleen oude, maar ook nieuwe cv-ketels gevaarlijk indien ze verkeerd geplaatst of onderhouden worden.

Volgens UNETO-VNI is het hoog tijd om de eisen aan monteurs op te schroeven. Alleen zo kan de 'stille sluipmoordenaar' die koolmonoxide is, onschadelijk worden gemaakt.

Koolmonoxide = koolstofmonooxide

Koolmonoxide (CO) wordt in het artikel 'de stille sluipmoordenaar' genoemd.

1 Verklaar de benaming 'stille sluipmoordenaar'.

Koolmonoxide wordt in verband gebracht met cv-ketels en geisers.

2 Verklaar dit verband.

3 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt bij de vorming van koolmonoxide in een cv-ketel die aardgas als brandstof gebruikt.

De giftigheid van een stof is af te leiden uit de TGG-waarde. De TGG-waarde geeft de hoogst toegestane waarde aan van de concentratie van een stof in mg per m³ lucht gedurende een tijdsinterval van 8 uur. De TGG-waarde voor koolmonoxide is 29 mg per m³ lucht.

4 Leg uit wanneer een stof gevaarlijker is: met een lage of juist een hoge TGG-waarde.

Soms wordt het gehalte CO ook wel uitgedrukt in een volumepercentage. 29 mg CO per m³ lucht komt dan overeen met 25 mL CO per m³ lucht.

5 Wat is het volumepercentage CO bij de grenswaarde van 29 mg per m³ lucht? Geef de berekening.

Koolmonoxide is niet alleen giftig maar ook brandbaar.

6 Geef de reactievergelijking voor de verbranding van koolmonoxide.

Minister Blok wil met fabrikanten van cv-ketels afspreken dat zij standaard een CO-melder inbouwen.

7 Leg uit waarom minister Blok juist met fabrikanten van cv-ketels afspraken wil maken.

Actie tegen koolmonoxide I

- 1 CO is kleurloos en reukloos en kan dus door onze zintuigen niet waargenomen worden.
- 2 CV-ketels en geisers zijn verbrandingsinstallaties waarin onvolledige verbranding kan plaatsvinden.
- 3 $2 \text{CH}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}$.
- 4 Met een lage waarde want als er maar heel weinig van aanwezig mag zijn betekent het dat al bij lage concentraties schade ontstaat.
- 5 25 mL per m³ betekent 25 mL per 10⁶ mL, dus volumepercentage is dan
$$\frac{25}{10^6} \times 100\% = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ \%}.$$
- 6 $2 \text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2$.
- 7 De grootste kans op ontstaan van CO is in verbrandingsinstallaties zoals cv-ketels en geisers. Geisers komen niet zo veel meer voor.

Opmerking: Omdat het artikel de naam koolmonoxide gebruikt, spreken we in de opgave verder ook over koolmonoxide

ACTIE TEGEN KOOLMONOXIDE II

Klas	5v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen
Trefwoorden	CO, giftig, koolmonoxide, cv-ketel, geiser, elektrochemische cel
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

De Gelderlander, 29 september 2016

‘Actie tegen koolmonoxide’

Het kabinet moet veel beter zijn best doen om het aantal koolmonoxide-doden terug te brengen. In een dringende oproep pleiten de installatiebranche, de brandweer en de Consumentenbond voor strenge wettelijke eisen aan monteurs van cv-ketels en geisers.

David Bremmer

Vandaag debatteren minister Schippers (Gezondheid) en minister Blok (Wonen) met de Tweede Kamer over de koolmonoxide-problematiek. Volgens de installatiebranche en diverse maatschappelijke organisaties is het hoog tijd voor actie. Uit een recent rapport van de Onderzoeksraad Voor Veiligheid (OVV) blijkt dat het kleur- en reukloze koolmonoxide waarschijnlijk drie tot vijf keer meer slachtoffers maakt dan de jaarlijkse tien doden en honderden gewonden, waar nu mee gerekend wordt.

Bijna dagelijks zijn er incidenten, zoals maandagavond in het Haagse Moerwijk waar negen bewoners van de Troelstrakade met misselijkheids- en duizeligheidsklachten in het ziekenhuis belandden. Bovendien blijken niet alleen oude, maar ook nieuwe cv-ketels gevaarlijk indien ze verkeerd geplaatst of onderhouden worden.

Volgens UNETO-VNI is het hoog tijd om de eisen aan monteurs op te schroeven. Alleen zo kan de 'stille sluipmoordenaar' die koolmonoxide is, onschadelijk worden gemaakt. (...)

Onduidelijk is nog of er een Kamermeerderheid is voor wettelijke eisen. Blok werkt sowieso aan andere maatregelen die CO-vergiftiging moeten terugdringen. Zo wil hij met fabrikanten van cv-installaties afspreken dat zij standaard een koolmonoxidemelder inbouwen in apparatuur.

Koolmonoxide=koolstofmonoxide

Koolmonoxide wordt in het artikel 'de stille sluipmoordenaar' genoemd.

1 Verklaar de benaming 'stille sluip moordenaar'.

Koolmonoxide wordt in verband gebracht met cv-ketels en geisers.

2 Verklaar dit verband.

3 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt bij de vorming van koolmonoxide in een cv-ketel die aardgas als brandstof gebruikt.

De giftigheid van een stof is af te leiden uit de TGG-waarde. De TGG-waarde geeft de hoogst toegestane waarde aan van de concentratie van een stof in mg per m³ lucht gedurende een tijdsinterval van 8 uur. De TGG-waarde voor koolmonoxide is 29 mg per m³ lucht.

4 Leg uit wanneer een stof gevaarlijker is: met een lage of juist een hoge TGG-waarde.

5 Bereken het aantal mol CO in een ruimte van 1 m³ waar de grenswaarde bereikt is.

Soms wordt het gehalte CO ook wel uitgedrukt in een volumepercentage. 29 mg CO per m³ lucht komt dan overeen met 25 mL CO per m³ lucht.

6 Wat is het volumepercentage CO bij de grenswaarde van 29 mg per m³ lucht? Geef de berekening.

Koolmonoxide is niet alleen giftig maar ook brandbaar.

7 Geef de reactievergelijking voor de verbranding van koolmonoxide.

Minister Blok wil met fabrikanten van cv-ketels afspreken dat zij standaard een CO-melder inbouwen.

8 Leg uit waarom minister Blok juist met fabrikanten van cv-ketels afspraken wil maken.

Hoe werkt een CO-melder?

Een elektrochemische sensor werkt op basis van twee platina elektroden en een elektrolyt in een gel (meestal verdund zwavelzuur). In contact met koolmonoxide treedt een reactie op, waarbij aan de ene elektrode koolmonoxide (CO) geoxideerd wordt tot kooldioxide (CO₂) en waarbij aan de andere elektrode zuurstof (O₂) geconsumeerd wordt. Door deze reacties gaat er een stroom lopen. Dit principe is in feite gelijk aan dat van een normale batterij. Het alarm van de koolmonoxidemelder wordt boven een bepaalde stroomsterkte getriggerd en/of het gehalte koolmonoxide wordt weergegeven.

Bron: <http://veiligeproducten.nl/documenten/rapport-koolmonoxide-nl-interactief-onderzoeksraad-november-2015.pdf>

9 Geef de beide halfreacties die optreden als de melder CO detecteert.

10 Geef ook de totaalvergelijking.

11 Wat bepaalt of de CO-meter 'afgaat'?

12 Verandert de pH van het elektrolyt als CO gedetecteerd wordt? Licht je antwoord toe.

13 Verandert de pH rondom de beide elektroden als CO gedetecteerd wordt? Licht je antwoord toe.

Actie tegen koolmonoxide II

- 1 CO is kleurloos en reukloos en kan dus door onze zintuigen niet waargenomen worden.
- 2 CV-ketels en geisers zijn verbrandingsinstallaties waarbij onvolledige verbranding kan plaatsvinden.
- 3 $2 \text{CH}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}$.
- 4 Met een lage waarde want als er maar heel weinig van aanwezig mag zijn betekent het dat al bij lage concentraties schade ontstaat.
- 5 $29 \text{ mg CO} = 29/28,02 = 1,0 \text{ mmol} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.
- 6 25 mL per m³ betekent 25 mL per 10⁶ mL, dus volumepercentage is dan
$$\frac{25}{10^6} \times 100\% = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ \%}.$$
- 7 $2 \text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2$.
- 8 De grootste kans op ontstaan van CO is in verbrandingsinstallaties zoals cv-ketels en geisers. Geisers komen niet zoveel meer voor.
- 9 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$.
 $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$.
- 10 $2 \text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2$.
- 11 Of gedurende een bepaalde tijd er een bepaalde stroomsterkte gemeten wordt in de CO-melder.
- 12 Nee, want de hoeveelheid H⁺ en de hoeveelheid water veranderen niet gezien de totaalreactie (vraag 10).
- 13 Rondom de elektrode waar CO reageert zal de pH dalen want daar wordt H⁺ gevormd. Rondom de elektrode waar zuurstof reageert zal de pH stijgen want daar verdwijnt H⁺.

Opmerking: Omdat het artikel de naam koolmonoxide gebruikt, spreken we in de opgave verder ook over koolmonoxide

PRODUCTIE VAN WATERSTOF VIA ELEKTROLYSE

Klas	5hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Elektrolyse, H ₂ , CH ₄ , CO ₂ , milieu, energie
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemisch Magazine, september 2016

POWER-2 HYDROGEN

PRODUCTIE VAN WATERSTOF VIA ELEKTROLYSE



Via power-2-hydrogen maakt de Georg Olah-plant in IJsland, verbonden met de Svartsengi energiecentrale, jaarlijks 5 miljoen liter methanol en recyclet 5500 ton CO₂ uit rookgas.

Waterstof is een veelgebruikte chemische grondstof die vrijwel volledig uit aardgas wordt gewonnen. Elektrolyse van water met duurzame elektriciteit daarentegen levert 'fossielvrije' waterstof. Vooralsnog is de elektrolyseroute aanzienlijk duurder dan de fossiele route vanwege de benodigde hoge investeringen in de technologie. Het ligt in de lijn der verwachting dat dit verschil kleiner zal worden. Zo is Duitsland op dit gebied erg actief, met een flink aantal demonstratieprojecten. In het ELECTRE-project wil VoltaChem met partners als Siemens en Hydron Energy de operationele aspecten van de elektrolysetechnologie met membranen (PEM elektrolyse) verbeteren.

Van waterstof is ook methaan te maken na reactie met CO₂, of ammoniak na reactie met stikstof. Deze opties worden vaak gepresenteerd onder de noemer *powerto-gas*. Zo wil Nuon in de Eemshaven overtollige elektriciteit omzetten in ammoniak. In tijden van tekort aan duurzame elektriciteit kan de ammoniak dan weer benut worden in de Magnum-gascentrale. Maar ammoniak is ook te gebruiken als chemische grondstof, bijvoorbeeld voor de productie van CO₂-neutrale kunstmest. De ammoniak-route wordt uitgewerkt in het *power-2-ammonia*-project, geïnitieerd door ISPT (het Nederlandse instituut voor duurzame procestechnologie). VoltaChem is een van de projectpartners. Ook het Nederlandse bedrijf Proton Ventures is actief op dit gebied

Waterstof is een veel gebruikte chemische grondstof die vrijwel volledig uit aardgas gewonnen wordt. Hiertoe laat men aardgas (methaan) reageren met stoom tot koolstofdioxide en waterstof.

- 1 Geef de vergelijking van de daarbij optredende reactie.
- 2 Beschrijf een manier om beide reactieproducten van elkaar te scheiden.

Een alternatief proces om waterstof te bereiden is elektrolyse van water.

- 3 Geef de vergelijking van deze elektrolyse.
- 4 Waarom vindt dit proces op grote schaal wel in IJsland plaats maar niet in andere landen?

Van waterstof kan door reactie met stikstof ammoniak geproduceerd worden.

- 5 Geef de vergelijking van de daarbij optredende reactie.

Het bedrijf Nuon in de Eemshaven wil overtollige elektriciteit gebruiken om ammoniak te produceren.

- 6 Waarom is ammoniak makkelijker op te slaan dan methaan?

In tijden van tekort aan duurzame elektriciteit kan de ammoniak weer benut worden in de Magnum-gascentrale.

- 7 Geef de vergelijking van de reactie die daarbij optreedt waarbij onder andere NO ontstaat.
- 8 Welk nieuw probleem ontstaat dan?

Ook kan ammoniak gebruikt worden voor de productie van CO₂-neutrale kunstmest zoals ammoniumnitraat dat gevormd wordt uit ammoniak en salpeterzuur.

- 9 Geef de reactievergelijking van de productie van ammoniumnitraat.
- 10 Waarom is 'CO₂-neutraal' hierbij belangrijk?

Productie van waterstof via elektrolyse

- 1 $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2$.
- 2 Afkoelen: CO_2 zal veel eerder vloeibaar worden.
Of: het gasmengsel door kalkwater leiden waarbij de CO_2 reageert met het kalkwater en achterblijft.
- 3 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 4 IJsland kan heel goedkoop elektrische energie opwekken door gebruik te maken van aardwarmte. In overige landen is elektrische energie duur.
- 5 $3 \text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$.
- 6 Ammoniak is vrij gemakkelijk vloeibaar te maken waardoor het makkelijk opgeslagen kan worden. Methaan heeft dit voordeel niet.
- 7 $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$.
- 8 Er wordt NO gevormd dat voor milieuverontreiniging kan zorgen.
- 9 $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$.
- 10 Het moet een duurzaam productieproces zijn dus mag bij de productie van de grondstof NH_3 er geen extra CO_2 gevormd worden.

IDYLLISCH MEER IS EEN TIJDBOM

Klas	4 hv
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Mengsel, hydrofoob
Trefwoorden	Natuurramp, methaangas, oplosbaarheid, elektriciteit opwekken
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

www.wibnet.nl, 26 augustus 2016

Idyllisch meer is een tijdbom

NATUURRAMPEN: Op de bodem van het diepe Kivumeer staat een enorme hoeveelheid gas op het punt te exploderen. Als dat gebeurt, stikt al het leven rond het idyllische meer.



ERIC BOUVET/GETTY IMAGES

In 1986 explodeerde het Nyosmeer in Kameroen, waarbij 1700 mensen om het leven kwamen. De overlevenden waren hun vee kwijt en daarmee de bestaansbasis voor het hele gezin.

Twee miljoen mensen staan letterlijk op het randje van een ramp. Ze wonen rond het Kivumeer, dat op elk moment kan exploderen.

Het meer op de grens van Rwanda en de Democratische Republiek Congo is een van de diepste meren ter wereld. Op de bodem van het 485 m diepe meer is het water verzadigd met zo'n 60 miljard kubieke meter methaangas en 300 miljard kubieke meter kooldioxide.

De gassen blijven normaal in de diepte hangen doordat er zich zo veel water boven bevindt, maar bij een vulkaanuitbarsting of een aardbeving kan het vrijkomen. Als dat gebeurt, dan zal al het leven rond het meer in een mum van tijd stikken.

Explosie kostte 1700 mensen het leven

Het Kivumeer is een van de drie meren ter wereld met enorme hoeveelheden kooldioxide. Alle drie deze meren liggen in West- en Centraal-Afrika. In 1986 explodeerde een van de meren, het Nyosmeer in Kameroen, waarbij 1700 mensen om het leven kwamen.

Het Kivumeer is veruit het gevaarlijkste van de drie gasmeren, want het bevat het meeste gas én het heeft de dichtstbevolkte omgeving.

Sporen van het oude dierenleven wijzen uit dat het leven rond het Kivumeer gemiddeld eens in de 1000 jaar is getroffen door massasterfte. Maar niemand weet wanneer het meer weer explodeert.

De enorme gasbellen zijn echter niet alleen maar nadelig: Rwanda is nu bijvoorbeeld begonnen het methaangas in het meer te winnen om er stroom mee te produceren.

De toestand rond het Kivumeer is alarmerend. Om daar iets van te begrijpen kun je jouw scheikunde-kennis gebruiken.

Op de bodem van het meer is het water verzadigd met enorme hoeveelheden methaan en koolstofdioxide.

- 1 Geef de molecuulformule en structuurformule van methaangas.
- 2 Geef de molecuulformule en structuurformule van koolstofdioxide.

Methaangas en koolstofdioxide lossen niet goed op in water.

- 3 Leg uit waardoor deze gassen niet goed in water oplossen.
- 4 Leg uit hoe het methaangas en koolstofdioxidegas moeten zijn ontstaan op de bodem van het meer.
- 5 Leg uit waardoor het water met de opgeloste gassen op de bodem van het meer blijft.

Het water op de bodem van het meer is verzadigd met koolstofdioxide en methaan. De temperatuur van het water op de bodem van het meer is 25 °C.

- 6 Bereken aan de hand van Binas tabel 44A hoeveel m³ water er nodig is om de 300 miljard kubieke meter koolstofdioxide op te lossen. Ga er van uit dat alleen koolstofdioxide opgelost is bij een watertemperatuur van 25 °C. Het molair gasvolume bij 25 °C is 24,5 dm³/mol.

Het koolstofdioxidegas is voor het verstikken van mens en dier veel gevaarlijker dan het methaan.

- 7 Leg uit welke eigenschap van koolstofdioxidegas daarvoor zorgt.

In het artikel staat dat het Nyosmeer in 1986 explodeerde.

- 8 Wat versta je onder een explosie?

Het begrip explosie is in het artikel op een ongewone manier gebruikt.

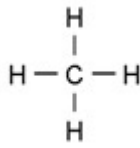
- 10 Herschrijf de zin vanaf 'In 1986 ...' zo dat deze beter klopt met de gebeurtenis.

De enorme gasbellen zijn echter niet alleen maar nadelig, staat aan het einde van het artikel.

- 11 Leg uit hoe methaan gebruikt kan worden om stroom te produceren.
- 12 Leg uit waarom het koolstofdioxide niet gebruikt kan worden om stroom te produceren.
- 13 Leg uit met welke scheidingsmethode je het methaan kunt scheiden van het koolstofdioxide.

Idyllisch meer is een tijdbom

1 $\text{CH}_4(\text{g})$,



2 $\text{CO}_2(\text{g})$, $\text{O}=\text{C}=\text{O}$

3 Zowel een CH_4 als een CO_2 molecuul is symmetrisch, is dus apolair, en kan daardoor geen H-bruggen vormen met H_2O moleculen. De beide gasen zijn hydrofoob en lossen daardoor slecht op in water.

4 De gasen kunnen niet van bovenaf in het meer terecht gekomen zijn, omdat ze slecht oplossen. Er moeten dus in de bodem onder in het meer processen plaatsvinden, waarbij het methaan en het koolstofdioxide ontstaan of vrijkomen.

5 Door de druk van de hoge waterkolom die er bovenop rust, blijven de twee stoffen op de bodem van het meer zitten.

6 $300 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ koolstofdioxide = $3,00 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$ koolstofdioxide. De oplosbaarheid van koolstofdioxide bij 25°C is $33,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} = 33,5 \text{ mol m}^{-3} \equiv 33,5 \times 24,5 = 821 \text{ dm}^3$ koolstofdioxide per m^3 water (= $0,821 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$ per m^3 water).

Om $3,00 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$ koolstofdioxide opgelost te krijgen heb je $3,00 \cdot 10^{11} / 0,821 = 3,65 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$ water nodig. (Zie opmerking 3)

7 CO_2 heeft een grotere dichtheid dan lucht en blijft daardoor veel langer boven de grond hangen dan CH_4 , dat vrij snel in de atmosfeer verdwijnt.

8 Een explosie is een verbranding die heel snel verloopt.

9 Bijvoorbeeld: In 1986 ontsnapten in één keer grote hoeveelheden methaangas en koolstofdioxidegas uit het Nyosmeer in Kameroen, waardoor 1700 mensen stikten.

10 Ze gebruiken het methaan in een verbrandingsreactie in elektriciteitscentrales om met de vrijkomende warmte stroom te produceren.

11 Koolstofdioxide kun je niet meer verbranden.

13 Methaan en koolstofdioxide hebben een verschillend kookpunt, dus een destillatie of vloeibaar maken van het mengsel (door afkoeling) is mogelijk..

Opmerkingen

1 Aangezien deze opgave voor klas 4 is gemaakt, wordt het aspect dat CO_2 kan reageren met water, waarbij een zure oplossing ontstaat, buiten beschouwing gelaten

2 Temperatuurverloop in meer:

https://www.researchgate.net/figure/266681619_fig1_Figure-1-Evolution-of-temperature-profiles-in-Lake-Kivu

3 In tabel 44A staat de oplosbaarheid bij $p = p_0$. In het meer zal de druk veel hoger zijn.

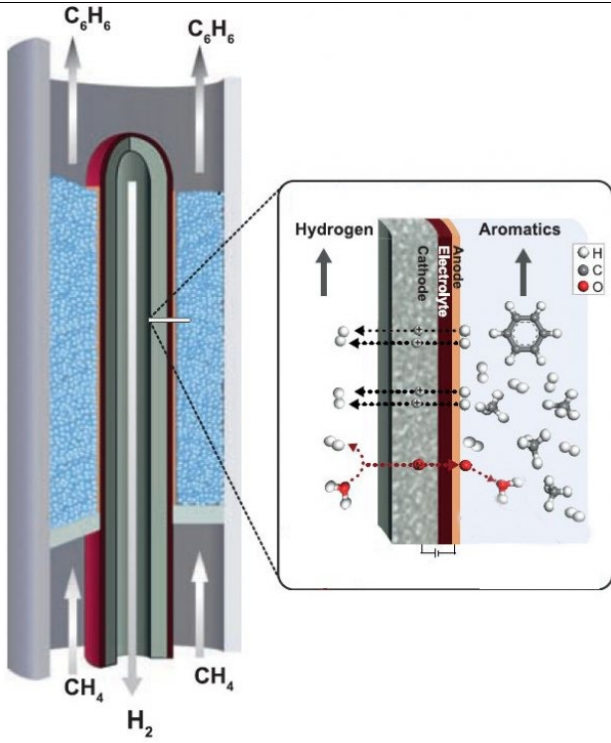
4 Een animatiefilmpje van de drijvende fabriek:

<https://www.youtube.com/watch?v=N3PHPHyRxjE>

MEMBRAAN MAAKT BENZEEN VAN METHAAN

Klas	5,6v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische reacties
Trefwoorden	Methaan, benzeen, waterstof, membraan, kathode, anode
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 5 augustus 2016



Membraan maakt benzeen van methaan

In Noorwegen is een keramisch membraan ontwikkeld dat rechtstreekse omzetting van methaan in benzeen en andere aromaten praktisch toepasbaar maakt. Dat zou goedkoper moeten zijn dan de gebruikelijke gas-to-liquidsroute via synthesegas, beloven de bedenkers deze week in *Science*.

Net als alle gas-to-liquidsprocessen maakt deze ‘niet-oxidatieve methaandehydroaromatisering’ (MDA) methaan gemakkelijker vervoerbaar, zodat je gasvelden kunt gaan ontginnen die te ver van de bewoonde wereld liggen om er een gaspijpleiding naar toe te leggen. Bijkomend

voordeel van MDA is dat bij de reactie geen CO₂ vrij komt. Het enige bijproduct is zuivere waterstof in de vorm van H₂, die je ook weer nuttig kunt hergebruiken. Katalysatoren die dit voor elkaar krijgen zijn er al langer. Ze bestaan uit nanoclusters van ‘carbided molybdenum’ (molybdeen dat met koolstofmonoxide is behandeld) op zeolieten met een passende porievorm. Vul je hier een buisvormige reactor mee en pomp je er methaan door, bij ongeveer 700 °C, dan komt er aan de andere kant inderdaad benzeen uit.

Er zijn twee probleempjes. Ten eerste zit de reactie thermodynamisch zo in elkaar dat ze wordt geremd door de vrijkomende waterstof. Ten tweede hebben de aromaten de neiging om met elkaar door te reageren tot een roetachtig residu: het is niet veel, maar genoeg om na korte tijd de poriën van de katalysator te verstopen. En alle pogingen die tot nu toe zijn gedaan om de waterstof snel uit het systeem te halen, bleken de roetvorming alleen maar erger te maken. Vandaar dat deze techniek nooit is doorgebroken op industriële schaal.

In samenwerking met Noorse en Spaanse onderzoekers komt membraanproducent CoorsTek uit Oslo nu met een oplossing. In het hart van de buisreactor plaatsen ze een soort afvoerbuis voor de waterstof. Als buiswand dient een drielaags keramisch membraan dat werkt als een soort elektrochemische cel wanneer je er een elektrische spanning overheen zet. De middelste laag dient als elektrolyt: hij bestaat uit een gedoteerd bariumzirkoonoxide dat in één richting protonen doorlaat en in de andere richting zuurstofionen. De kathode, aan de afvoerkant, bestaat uit hetzelfde materiaal maar dan verrijkt met nikkel. De anode, aan de zeolietkant, bevat voornamelijk koper. Wat er vervolgens gebeurt is dat de geproduceerde waterstof aan de anode wordt gesplitst in protonen. Die migreren door het elektrolyt, worden aan de kathode weer aan elkaar gezet tot H₂ en in die vorm afgevoerd.

Bevochtig je de kathode een beetje met stoom, dan splitst het nikkel zuurstofionen af van de watermoleculen. Die ionen migreren naar de anode en reageren daar weer met de aanwezige H_2 tot H_2O . Dat water blijkt vervolgens de roetvorming effectief te kunnen onderdrukken. Hoe dat precies werkt is nog niet duidelijk maar dat er een beetje koolstofmonoxide bij vrijkomt, is wel een aanwijzing.

Volgens de uitvinders zet de 'katalytische co-ionische membraanreactor' (CMR) ongeveer 80% van de inkomende methaanstroom om in benzeen. Qua koolstofefficiëntie presteert hij daarmee ongeveer even goed als bestaande, grote gas-tot-liquidsplants die werken volgens het Fischer-Tropschprincipe, dus wél via synthesesgas.

Maar CMR is wel een heel stuk eenvoudiger. En anders dan die bestaande fabrieken, die alleen rendabel zijn als je de reactoren zo groot mogelijk maakt, zou je CMR ook klein en modulair moeten kunnen uitvoeren zonder dat dat voor de efficiëntie veel uitmaakt. Zo zou je dus ook methaan uit kleine aardgasvelden transporteerbaar kunnen maken.

Of het daarbij veel uitmaakt dat de vloeistof uit aromaten bestaat, terwijl het bij Fischer-Tropsch vrijwel alleen lineaire koolwaterstofketens zijn, is in het geheel niet duidelijk.

bron: CoorsTek

De Noorse membraanfabrikant CoorsTek kan methaan rechtstreeks omzetten in aromaten.

- 1 Geef de reactievergelijking van de omzetting van methaan in benzeen. Dit is een evenwichtsreactie.
- 2 Waarom is dit proces al niet veel eerder toegepast?

De Noren willen de waterstof 'lozen' die vrijkomt bij de reactie. Deze waterstof kan elders nuttig gebruikt worden.

- 3 Waarom willen zij de waterstof verwijderen?
- 4 Welke nuttige toepassing is er voor de vrijkomende waterstof?

De reactor die ontwikkeld is, zie je in het artikel afgebeeld. In de grote buisreactor zit een kleinere buis met een drie-lagen-membraan waardoor de gevormde waterstof kan worden afgevoerd.

Het drie-lagen-membraan werkt als een elektrochemische cel als er een spanning op wordt aangebracht.

- 5 Beschrijf hoe deze elektrochemische cel opgebouwd is. Maak ook een schematische tekening

Aan de anode wordt waterstof omgezet in waterstofionen. In het artikel beschrijft men dat als 'waterstof wordt gesplitst in protonen'.

- 6 Leg uit dat de beschrijving in het artikel niet helemaal juist is.
- 7 Geef de halfreactie die aan de anode plaatsvindt.
- 8 Leg uit of de anode de positieve of negatieve elektrode is.
- 9 Geef ook de halfreactie die na migratie van de H^+ -ionen door het elektrolyt aan de kathode plaatsvindt.

Bevochtig je de kathode met stoom dan ontstaat O^{2-} .

- 10 Geef commentaar op de zinssnede 'Bevochtig je de kathode met stoom'.
- 11 Geef de halfreactie van het ontstaan van O^{2-} -ionen aan de kathode weer.
- 12 Geef ook de halfreactie die na migratie van de O^{2-} -ionen door het elektrolyt aan de anode plaatsvindt.

Het gevormde water aan de anodekant voorkomt vorming van roet.

13 Wat is het nadeel als er tijdens het proces roet ontstaat?

14 Leg uit hoe de gevormde waterdamp aan de anodekant roetvorming voorkomt.

Het nieuwe proces wordt afgekort als CMR, betekenis in het Nederlands: 'katalytische co-ionische membraanreactor'. Het CMR-proces wordt vergeleken met GTL (gas -to-liquid) fabrieken. Het CMR proces levert vergelijkbare prestaties als bestaande GTL-fabrieken.

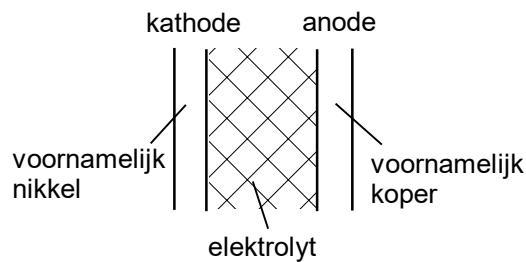
15 Waarom is het CMR proces toch een vooruitgang?

In het artikel kom je zowel beschrijvingen op microniveau als op macroniveau tegen.

16 Geef een voorbeeld van een beschrijving op microniveau en een voorbeeld van een beschrijving op macroniveau.

Membraan maakt benzeen van methaan

- 1 $6 \text{ CH}_4 \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_6 + 9 \text{ H}_2$.
- 2 De opbrengst viel tegen en er ontstaat roet dat de poriën van de katalysator laat dichtslippen.
- 3 De reactie wordt geremd door de vorming en aanwezigheid van waterstof. Als je die waterstof verwijdert ontstaat ook meer benzeen want je verwijdert steeds een reactieproduct uit het evenwicht.
- 4 Waterstof kan gebruikt worden als brandstof in brandstofcellen.
- 5 Elektrochemische cel met een koperen anode en een nikkelkathode, gescheiden door een elektrolyt.



- 6 Het 'splitsen' vindt plaats door afstaan van elektronen waarbij H^+ -ionen ontstaan. Bij het woord splitsen zou je eerder denken aan de omzetting van H_2 in H -atomen.
- 7 $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{ H}^+ + 2 \text{ e}^-$.
- 8 In de halfreactie komen elektronen vrij, dus de negatieve elektrode
- 9 $2 \text{ H}^+ + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2$.
- 10 Bij 700°C is water omgezet in waterdamp. Bevochtigen slaat op de vloeistof water.
- 11 $\text{H}_2\text{O} + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$.
- 12 $\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2 \text{ e}^-$.
- 13 Het membraan slibt dan helemaal dicht met roet.
- 14 Waterdamp reageert met koolstof tot koolstofmono-oxide want volgens het artikel ontstaat er CO .
- 15 CMR kan ook op kleinschalige wijze ingezet worden, GTL niet.
- 16 Microniveau: dan splitst het nikkel zuurstofionen af van de watermoleculen.
Macroniveau: Bevochtig je die kathode een beetje met stoom.

BACTERIE VREET BATTERIJ OP

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Zuur-base
Trefwoorden	Lithiumion batterij, oxaalzuur, citroenzuur, chemische notatie
Vaardigheidsvraag	Informatiebewerkingsvraag

www.fagt.nl , 23 augustus 2016

Bacterie vreet batterij op



Wereldwijd worden per jaar bijna een miljard lithium-ion batterijen geproduceerd. Grote kans dat er eentje in je telefoon zit. Na verloop van een paar jaar eindigen de meeste van deze batterijen in de vuilnis. Ze worden meestal bij hoge temperaturen verbrand in vuilovens om het metaal er weer uit te halen.

Maar in de nabije toekomst is er een betere manier om van dit klein chemisch afval af te komen: je kunt ze laten opeten door schimmels. De University of South Florida (VS) heeft ontdekt dat de veel voorkomende schimmels *Aspergillus niger*, *Penicillium simplicissimum* en *Penicillium chrysogenum* de metalen uit de batterijen lusten, mits je die verpulvert en voorziet van een voedingsmiddel dat de schimmels lekker vinden.

Na deze bereiding eten de schimmels 85 procent van de batterijen. Ze scheiden zuren uit die de metalen oplossen. Die zitten daarna in het zuur, waar ze met een chemische methode uit te krijgen zijn voor hergebruik. Zo is bijvoorbeeld het kankerverwekkende maar zeer bruikbare kobalt uit de batterij te halen. De rest van de batterij zet de schimmel om in warmte, die eventueel ook te gebruiken is.

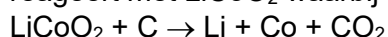
De methode is zeer milieuvriendelijk en er hoeft bijna geen energie aan te pas te komen om de metalen te herwinnen, alleen het verpulveren van de batterijen gebeurt mechanisch. Daarmee is deze methode effectief en zeer geschikt om op grote schaal toe te passen, schrijven de onderzoekers in het vakblad American Chemical Society.

Tegenwoordig probeert men zoveel mogelijk materialen terug te winnen uit producten die niet meer worden gebruikt. Dit geldt ook voor lithium-ion batterijen.

Huidige proces

Tot nu toe werden deze batterijen bij hoge temperaturen in vuilovens verbrand.

In lithium-ion batterijen is één elektrode van een materiaal met de formule LiCoO_2 . Bij de verbranding van de batterijen in de vuilovens ontstaat onder andere koolstof. Dit koolstof reageert met LiCoO_2 waarbij de metalen lithium en kobalt vrijkomen:



- 1 Leg uit dat bij deze terugwinning van de metalen sprake is van een redoxreactie.
- 2 Wat is het bezwaar van dit terugwinningsproces?

Nieuw proces

Onderzoekers van de University of South Florida hebben ontdekt dat je met behulp van schimmels zuren kunt vormen die “de metalen oplossen”.

- 3 Leg uit dat er in het elektrodemateriaal LiCoO_2 geen metaal aanwezig is.

De schimmels scheiden zuren uit als ze als voeding bijvoorbeeld glucose krijgen. Zuren die ze dan produceren zijn onder andere oxaalzuur en citroenzuur.

- 4 Noteer de structuurformules van citroenzuur en oxaalzuur.
- 5 Noteer de reactievergelijking voor de omzetting van glucose in oxaalzuur in molecuulformules. Bij deze reactie wordt zuurstof verbruikt.
- 6 Noteer de reactievergelijking voor de omzetting van glucose in citroenzuur in molecuulformules. Bij deze reactie wordt zuurstof verbruikt.

Citroenzuur en oxaalzuur kunnen zowel in een redoxreactie als in een zuur-base reactie een rol spelen.

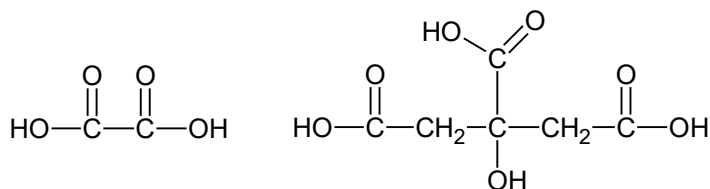
- 7 Leg uit dat je bij het nieuwe proces te maken hebt met een zuur-base reactie.
- 8 Noteer de formules van de lithiumdeeltjes en de kobaltdeeltjes die na reactie met de zuren in de oplossing aanwezig zijn.

Het artikel vermeldt dat de metalen met een chemische methode uit de oplossing te halen zijn voor hergebruik.

- 9 Leg uit of elektrolyse een geschikte chemische methode is om de beide metalen terug te winnen uit de oplossing.
- 10 Leg uit welke andere methode je zou kunnen toepassen als je een lithiumzout of een kobaltzout uit een oplossing wilt terugwinnen.
- 11 Wat zijn de voordelen van dit nieuwe proces ten opzichte van het verbranden van lithiumionaccu's in een vuiloven?
- 12 Geef je reactie op de titel van het artikel.
- 13 Geef je reactie op het gebruik van het woord “metaal” in het artikel.

Bacterie vreet batterij op

- 1 In LiCoO_2 is aanwezig Li^+ en Co^{3+} , dit wordt respectievelijk omgezet tot Li en Co door de opname van elektronen: redoxreactie.
- 2 Veel energie voor nodig voor de hoge temperaturen die nodig zijn.
- 3 In LiCoO_2 zijn metaal*ionen* aanwezig.
- 4



oxaalzuur

citroenzuur

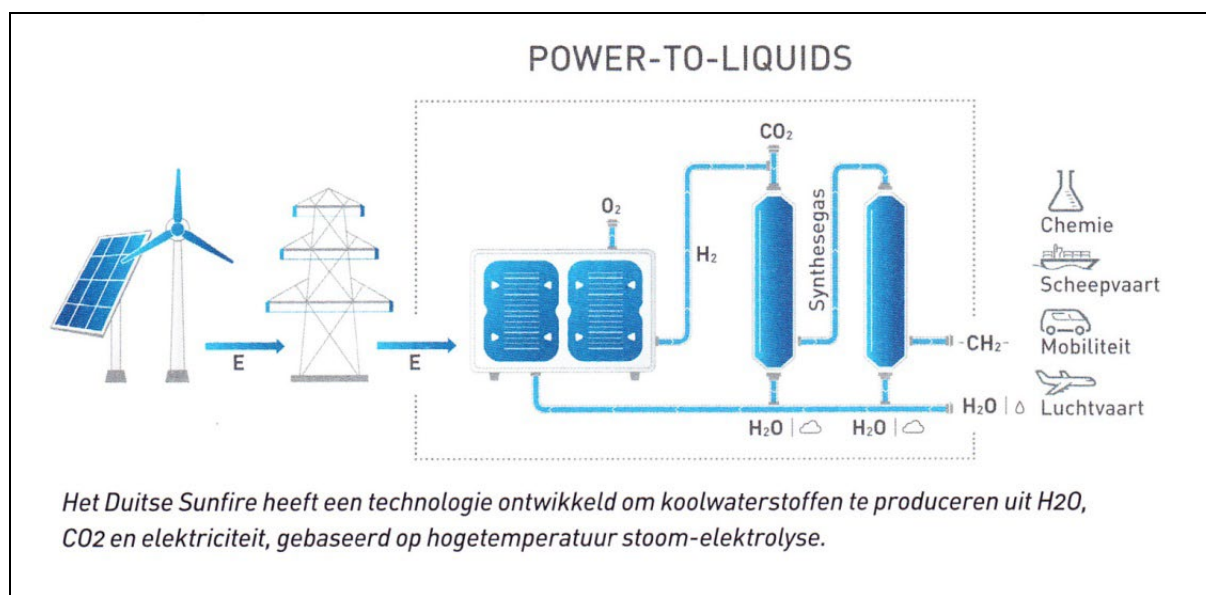
- 5 $2 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 9 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 + 6 \text{H}_2\text{O}$
- 6 $2 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 + 4 \text{H}_2\text{O}$
- 7 LiCoO_2 bevat de base O^{2-} , deze kan reageren met de zuren.
- 8 Li^+ , Co^{3+} .
- 9 Uit Binas tabel 48 blijkt wel voor kobalt maar niet voor lithium. Voor de kobaltionen-oplossing moet dan wel gelden dat de concentratie kobaltionen zo groot is dat de elektrodepotentiaal hoger is dan de elektrodepotentiaal van water (- 0,83 V).
- 10 Neerslaan met behulp van een zout: een geschikte oplossing zoeken waarmee je een neerslagreactie kunt uitvoeren.
- 11 Weinig energie voor nodig en milieuvriendelijk.
- 12 De bacterie/schimmel vreet niet de batterij op maar produceert zuren waarmee de stoffen in de batterij reageren.
- 13 In het artikel lijkt het of het steeds over het metaal gaat, op microniveau: metaalatomen. In feite gaat het over de metaalionen.

Artikel: <http://www.faqt.nl/recent/bacterie-vreet-batterij-op/>

POWER-TO-LIQUIDS

Klas	5hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Elektrolyse, zonne-energie, H ₂ , synthesesegas, koolwaterstoffen, milieu, energie
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemisch Magazine, september 2016



Het onderschrift bij de figuur luidt: “Het Duitse Sunfire heeft een technologie ontwikkeld om koolwaterstoffen te produceren uit H₂O, CO₂ en elektriciteit, gebaseerd op hoge temperatuur stoom-elektrolyse.”

Tijdens dit gehele proces vinden er enkele energie-omzettingen plaats.

1 Geef aan welke energie-omzettingen dit zijn.

Een van de stappen in het totaalproces is de elektrolyse van water.

2 Geef de reactievergelijking die tijdens de elektrolyse optreedt.

3 Hoe weet je door te kijken naar de figuur, dat dit deelproces endotherm is?

Het gevormde waterstof laat men met koolstofdioxide reageren waarbij een mengsel van koolstofmono-oxide en waterdamp ontstaat.

4 Geef de vergelijking van deze reactie.

5 Waarvoor wordt de gevormde waterdamp gebruikt?

Synthesegas is een mengsel van koolstofmono-oxide en waterstof.

6 Wat zegt dit over de mengverhouding waterstof : koolstofdioxide?

Uit synthesegas kunnen moleculen met lange koolstofketens gevormd worden. In de figuur aan de rechterkant aangeduid met -CH₂-.

- 7 Geef de vergelijking van de reactie waarbij uit synthesegas die stoffen gevormd worden. Noteer de moleculen met lange koolwaterstofketens als $(CH_2)_n$.

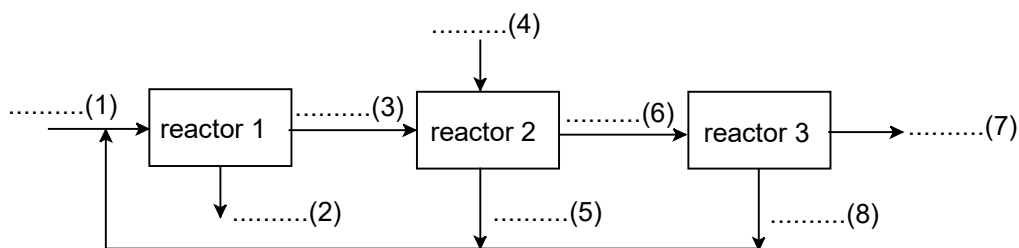
Men wil zo efficiënt mogelijk omspringen met de grondstoffen zodat geen reststoffen overblijven.

- 8 Leg aan de hand van reactievergelijkingen uit welke mengverhouding waterstof : koolstofdioxide nodig is zodat geen reststoffen overblijven.
- 9 Is er extra water nodig in het totaalproces of voldoet de interne waterstroom? Licht je antwoord toe.

Achter de formule H_2O staat soms een wolkje dan weer een druppel.

- 10 Leg uit wat met een wolkje en een druppel achter H_2O bedoeld wordt.

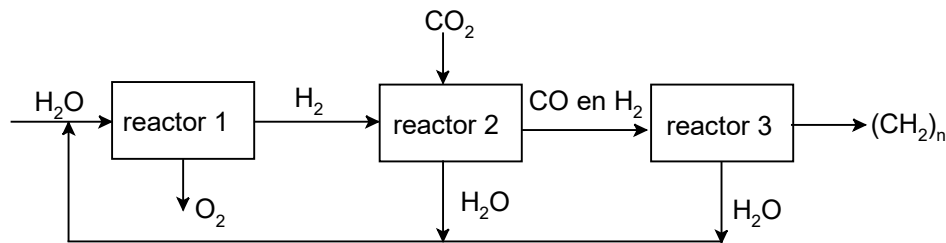
Het gehele proces 'Power-2-liquids' kun je in een blokschema weergeven.



- 11 Neem het blokschema over en vul de ontbrekende gegevens in.

Power-2-liquids

- 1 Zonne-energie/windenergie → elektrische energie → chemische energie.
- 2 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 3 Er is volgens de figuur elektrische energie voor nodig.
- 4 $\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}$.
- 5 Het gevormde water wordt weer gebruikt in het elektrolyseproces.
- 6 Er moet na afloop van de reactie tussen waterstof en koolstofdioxide nog waterstof over zijn dus er moet een overmaat waterstof aanwezig zijn. De mengverhouding moet dus groter dan 1 zijn
- 7 $n \text{CO} + 2n \text{H}_2 \rightarrow (\text{CH}_2)_n + n \text{H}_2\text{O}$.
- 8 $n \text{CO}$ ontstaat uit $n \text{H}_2$ en $n \text{CO}_2$; $n \text{CO}$ reageert met $2n \text{H}_2$. Dus totaal nodig $3n \text{H}_2$ ten opzichte van $n \text{CO}_2$.
- 9 In stap elektrolyse ontstaat uit $3n \text{H}_2\text{O}$ $3n \text{H}_2$. In synthesesegasstap reageert $n \text{H}_2$ tot $n \text{H}_2\text{O}$. En in laatste stap reageert $2n \text{H}_2$ tot $n \text{H}_2\text{O}$. Je hebt nodig $3n \text{H}_2\text{O}$ en er wordt weer gevormd $2n \text{H}_2\text{O}$ dus er is extra H_2O nodig.
- 10 Een wolkje betekent water in de gasfase, een druppel water in de vloeistoffase.
- 11



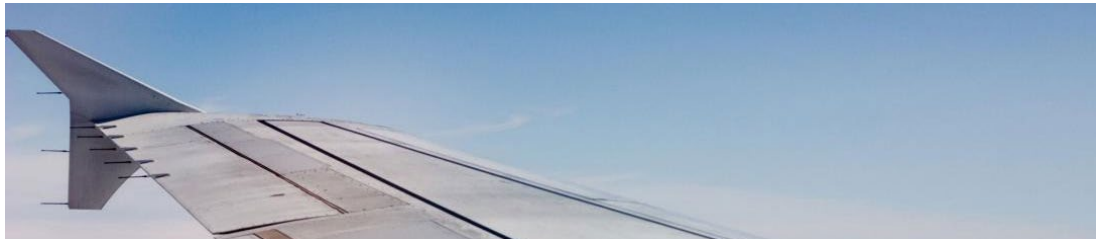
SELF-HEALING AIRCRAFT WINGS

Klas	5,6 v
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Composieten
Trefwoorden	Composiet, zelfhelend, vliegtuigvleugels, katalysator, Engelstalig
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Science in School, herfst 2016

Self-healing aircraft wings: a dream or a possibility?

Duncan Wass, Tim Harrison



Taking inspiration from nature's amazing ability to heal wounds, this biology-inspired technology could create aircraft wings that fix themselves.

The downside of modern composite materials

To withstand aerodynamic forces, an aeroplane must be strong, stiff, durable and lightweight. Early aeroplanes used fabric and wood before metal alloys of aluminium and steel became commonplace. Now, carbon-fibre reinforced composites are the modern materials of choice for aerospace structures such as aircraft and for wind turbines. These composites are similar to natural materials such as wood, in which long cellulose fibres are held together by lignin. In these new materials, however, a homogenous matrix component is reinforced by a stronger and stiffer carbon fibre constituent. This is ideal for aircraft wings and wind turbines, which must be light but also strong enough to withstand extreme pressure and other stresses, such as bird strikes.

Although these characteristics make reinforced composites better suited for building aeroplanes than the traditional metal alloys, there is one drawback: damage to composite structures is more difficult to detect and repair.

To find a solution, the Bristol scientists have taken their inspiration from nature. Professor Duncan Wass and his team considered what happens when we cut a finger: we bleed, a scab is formed to protect the damaged region, and eventually the wound is repaired. Could such an approach be used to repair man-made structures? Working in the laboratory in collaboration with a team of aerospace engineers led by Professor Ian Bond, the Bristol team may have found a way to do just this.

Vliegtuigvleugels worden tegenwoordig gemaakt van composieten die met koolstofvezels versterkt zijn. Men vergelijkt dit materiaal met hout.

- 1 Aan welke eigenschappen moet het materiaal van een vliegtuigvleugel voldoen?
- 2 Welke overeenkomst is er tussen vliegtuigvleugels gemaakt van hout en gemaakt van de genoemde composiet? Vergelijk ook de sterkmakende bestanddelen.
- 3 Welke eigenschappen van de met koolstofvezels versterkte composiet maken het zo ideaal als materiaal voor vliegtuigvleugels?
- 4 Welk nadeel heeft de composiet?

Een nieuwe technologie, self-healing genaamd, zou dit nadeel kunnen oplossen.

How the new technology works

The key to the problem lies in the initial production of the composite, to which the researchers added microcapsules filled with a liquid. These sealed containers are so small that they look like a powder. In an aircraft wing made from such a composite material, damage causes these microcapsules to rupture, releasing the liquid into the resulting cracks. A rapid reaction takes place and the chemicals harden, filling in and 'gluing' together any cracks. How this works involves two key areas of chemistry: polymerisation and catalysis. The wound is sealed as a result of polymerisation reactions in which small molecules, termed monomers, are joined together in a long chain, called a polymer. The monomers released from the microcapsules contain reactive chemical groups called epoxides (figure 3). These groups are three-membered ring structures that can be opened by an appropriate catalyst; once one ring is opened, it will react with another, which opening this second ring and joining the two together. The second ring will then react with a third, and so on, until a polymer is created. By controlling the exact structure of these monomers, researchers ensure that the polymer chains undergo a process called curing, forming a highly cross-linked network that has properties very similar to those of the original, undamaged composite. This 'healing' can recover up to 100% of the material's mechanical strength.

As with most chemical reactions, the speed of curing is temperature dependent.

Think of the reaction in terms of bond breaking and bond making. Heating provides more energy so the molecules move faster and are more likely to collide. This means that more chemical bonds are broken in the reactants so that new bonds can be formed in the products. The time it takes to repair a crack will therefore depend on the temperature of the material. If the aircraft is on a runway in Barcelona, Spain, in summer, it would probably heal in a couple of hours, but on a runway in Reykjavik, Iceland, in winter, it could take between 24–48 hours. Even in the heat of summer, however, the reaction would occur too slowly if it weren't for the presence of a catalyst. The scientists therefore incorporated a catalyst into the matrix of the original composite used to construct the aircraft. When the liquid monomers flow out of the microcapsule, they come into contact with the catalyst, speeding up polymerisation by providing an alternative chemical route to the reaction. This reduces the speed at which the monomers must collide to join together. What's more, the catalyst is not used up in the reaction, so it can be used again and again.

There is still a lot of testing to do before this technology can be applied in aeroplanes, not least because of the very stringent safety consideration for this application and because the healing agents must be stable enough to last the lifetime of an aircraft.

- 5 Beschrijf de oplossing die genoemd wordt om het probleem uit de weg te ruimen.

De processen bij de genoemde oplossing komen uit twee belangrijke gebieden in de scheikunde.

6 Welke twee gebieden zijn dat?

In de beschrijving van het proces kom je zowel het micro- als het macroniveau tegen.

7 Geef aan wanneer over het micro- en wanneer over het macroniveau gesproken wordt.

De tijdsduur van het herstelproces is verschillend als je kijkt naar de plaats van het vliegveld waar het herstel plaatsvindt.

8 Licht dit toe.

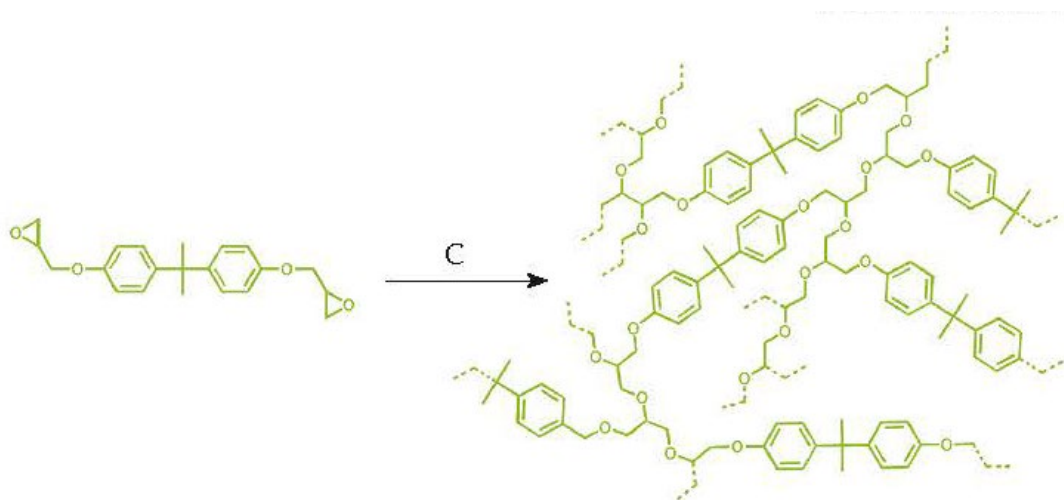
Er is tevens een katalysator bij het herstelproces betrokken.

9 Wat is de functie van de katalysator bij het herstelproces?

10 Waarom is er slechts weinig van de katalysator nodig?

Bekijk figuur 1. Links van de pijl wordt de beginstof weergegeven die aan beide uiteinden

een epoxygroep bevat: $\text{...} \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH} \quad \text{CH}_2 \end{array} \text{...}$



Figuur 1

The chemical process of healing. On the left is the healing agent, on the right the cross-linked polymer formed after the healing agent comes into contact with the catalyst.

Image courtesy of Duncan Wass

11 Ontstaat er een thermoplast of een thermoharder bij het herstelproces? Licht je antwoord toe.

12 Leg uit waardoor de epoxygroep zo reactief is.

Self-healing aircraft wings

- 1 Sterk, stijf, duurzaam en een kleine dichtheid hebben.
- 2 Ze zijn beide opgebouwd uit een polymeer dat versterkt wordt door vezels. De cellulosevezels in het hout en de carbonvezels in het nieuwe materiaal vervullen een vergelijkbare rol.
- 3 Het is een licht materiaal, stijf, extreem sterk.
- 4 Bij beschadigingen is reparatie erg moeilijk. Bovendien zijn beschadigingen moeilijk waarneembaar.
- 5 Aan de composiet tevoren microcapsules toevoegen die monomeren bevatten. Bij beschadiging springen deze capsules open en reageren dan tot een polymeer die de beschadiging herstelt. Daartoe is ook een katalysator aanwezig in de composiet.
- 6 Polymerisatie en katalyse.
- 7 Microniveau: "The wound is sealed as a result of polymerisation reactions in which small molecules, called monomers, are joined together in a polymer."
Macroniveau: "The chemicals harden, filling in and 'gluing' together any cracks."
- 8 In Barcelona is de temperatuur hoger dan in Reykjavik zodat het herstelproces in Barcelona sneller verloopt.
- 9 Een katalysator zorgt dat het proces toch snel genoeg verloopt.
- 10 Een katalysator wordt wel gebruikt maar niet verbruikt.
- 11 Een thermoharder want er ontstaat een netwerkstructuur.
- 12 De bindingshoek in de driehoek is 60° terwijl normaal bij de enkele C-C bindingen een bindingshoek van $109,5^\circ$ voorkomt. Er ontstaat ringspanning waardoor de bindingen in de driehoekige ring vrij gemakkelijk verbreken.

CHIRAAAL IN DE STERREN GESCHREVEN

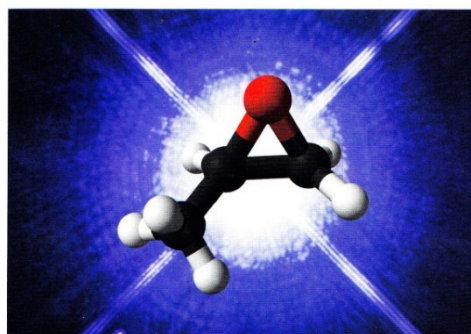
Klas	5,6 v
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Stereo-isomerie
Trefwoorden	Chiraal, enantiomeer, heelal, linksdraaiend
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 26 september 2016

Chiraal in de sterren geschreven

Is de voorkeur voor linksdraaiende aminozuren hier op aarde ontstaan of ergens anders? Nu chirale moleculen zijn ontdekt in de interstellaire ruimte, groeit de hoop dat we er ooit achter komen.

Arjan Dijkgraaf



Er zweeft propeenoxide tussen de sterren, meldde *Science* onlangs. Een radiotelescoop in West Virginia nam de karakteristieke spectraallijnen waar in de Sgr B2-gaswolk, een kraamkamer voor sterren en planeten in het sterrenbeeld Boogschutter. Het is lang niet het eerste interstellaire molecuul, maar wel het eerste chirale: er bestaan twee enantiomeren van, die elkaars spiegelbeeld zijn.

Witte dwerg

Wanneer het ontstaat uit een chemische reactie van niet-chirale grondstoffen is de kans op elk enantiomeer in principe fifty-fifty. Gaan die door reageren, dan blijft de verhouding hetzelfde. En daarmee kom je aan een van de grootste raadsels van het aardse leven: dat maakt van aminozuren, nucleïnezuren, suikers en andere biomoleculen consequent maar één spiegelbeeld aan.

Dat een DNA-helix altijd dezelfde kant op draait is biochemisch wel zo handig. Maar hoe zijn de andere enantiomeren er uit gewerkt? Begon dat in de oersoep of toen de aarde ook nog een condenserende gaswolk was?

De interstellaire ruimte, de ruimte tussen de sterren, is niet helemaal leeg: "Er zweeft propeenoxide tussen de sterren" melde onlangs onderzoekers in het tijdschrift *Science*. In de figuur in het artikel staat een molecuul propeenoxide afgebeeld. Het donkergrijze bolletje geeft een zuurstofatoom weer, een zwart bolletje een koolstofatoom en wit staat voor een waterstofatoom.

1 Teken de structuurformule van het propeenoxidemolecuul.

De naam propeenoxide zegt meer over de uitgangsstoffen voor propeenoxide dan over de stof zelf.

2 Licht dit toe.

Propeenoxide is een chiraal molecuul. In een chiraal molecuul is minimaal één asymmetrisch centrum aanwezig.

- 3 Geef in de getekende structuurformule het asymmetrisch centrum aan.
- 4 Teken de twee spiegelbeeldisomeren (enantiomeren) van propeenoxide.

Stoffen met chirale moleculen zijn van elkaar te onderscheiden door de wisselwerking met gepolariseerd licht.

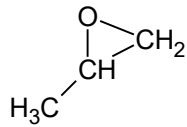
- 5 Licht deze uitspraak toe.

Wanneer een chiraal molecuul ontstaat uit een reactie van niet-chirale grondstoffen is de kans van vorming van elk enantiomeer 50%.

- 6 Licht deze uitspraak toe.
- 7 Welk groot verschil is er tussen de interstellaire chirale moleculen en de moleculen van het aardse leven?
- 8 Geef een verklaring voor dit verschil.

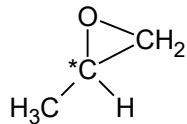
Chiraal in de sterren geschreven

1

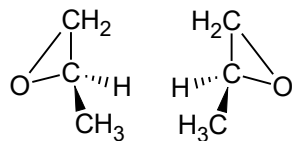


2 Propeen geeft aan drie C's met één dubbele C=C. Oxide geeft aan: verbinding met zuurstof, dus met zuurstof gereageerd. Maar, in het propenoxidemolecuul is geen C=C meer aanwezig.

3



4



- 5 De ene vorm laat van het gepolariseerd licht het polarisatievlak linksom afbuigen, het spiegelbeeld ervan rechtsom.
- 6 Er is geen voorkeur voor een van beide vormen dus zal er van beide evenveel ontstaan.
- 7 Op aarde wordt maar één van beide isomeren gevormd.
- 8 De ruimtelijke structuur van beide enantiomeren is verschillend. Slechts een van beide kan worden gevormd in het actieve centrum van een enzym: sleutel-slot-principe.

ENERGIE UIT KOOLSTOFDIOXIDE

Klas	5v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Elektrochemie
Trefwoorden	Energie, koolstofdioxide, elektrochemische cel
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W Life Sciences, 9 september 2016

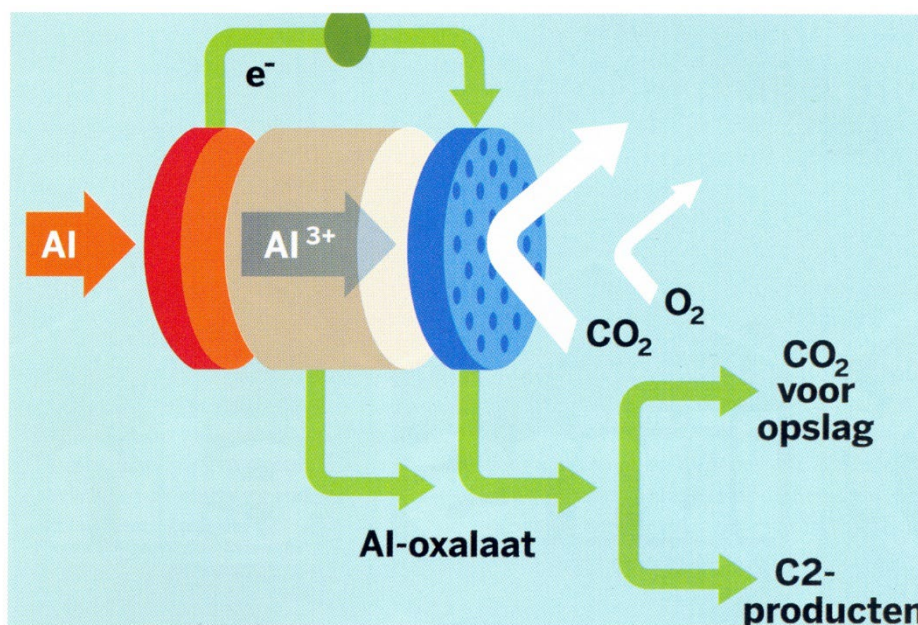
Energie uit koolstofdioxide

Hoe je massamedia elektrochemisch op het verkeerde been zet.

Aan Cornell University is een elektrochemische cel bedacht die koolstofdioxide omzet in nuttige koolwaterstoffen en daarbij nog elektriciteit genereert ook. Dat meldt althans een persbericht, en om het onvermijdelijke addertje te vinden moet je de publicatie in *Science Advances* erg goed lezen.

De cel van Lynden Archer en aioWajdi Al Sadat bestaat uit een aluminiumanode en een poreuze koolstofkathode. Als elektrolyt dient een ionische vloeistof die bestaat uit 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride ([EMIm]Cl) en aluminiumchloride. Pomp je via de kathode CO₂ uit rookgassen en zuurstof uit de lucht naar binnen, dan blijkt zich aluminiumoxalaat (Al₂(C₂O₄)₃) te vormen. De auteurs vermoeden dat zuurstof wordt gereduceerd tot superoxide-

radicalen, die agressief genoeg zijn om met CO₂ verder te reageren. Bij de reactie komt inderdaad energie vrij, en oxalaat moet zijn te verkopen als chemische bouwsteen. Archer suggereert dat je het ook weer kunt laten ontleden, waarbij de CO₂ er in geconcentreerde vorm uit komt zodat je het ondergronds kunt opslaan. Het addertje zit in de anode, die langzaam in het elektrolyt oplost in de vorm van Al³⁺. Daar moet je later weer metallisch aluminium van maken voor een nieuwe anode, en als iets elektriciteit vreet is dat het wel. De claim dat het proces leidt tot een nettoreductie van CO-emissies kan best kloppen, maar dan moet je wel bedenken dat veel aluminiumfabrieken draaien op kernenergie. (AD) •



Helaas, de wet van behoud van energie geldt nog

Aan de Cornell University is een elektrochemische cel bedacht die koolstofdioxide omzet in nuttige koolwaterstoffen en ook nog elektriciteit opwekt.

1 Wanneer spreek je van een elektrochemische cel?

In het artikel spreekt men van kathode en anode. Je kunt ook spreken van positieve en negatieve pool/elektrode.

2 Is de anode de positieve of negatieve elektrode? Licht je antwoord toe.

Pomp je de rookgassen door de poreuze kathode dan vormen zich daar oxalaationen terwijl aan de anode aluminium in oplossing gaat.

3 Geef de halfreacties die aan de kathode en anode plaatsvinden.

4 Geef ook de totaalreactie.

5 Leg uit waarom vast aluminiumoxalaat ontstaat.

6 Leg uit waarom het elektrolyt uit een ionische vloeistof moet bestaan.

Onderzoeker Lynden Archer suggereert dat het gevormde aluminiumoxalaat weer ontleed kan worden waarbij zuiver koolstofdioxide ontstaat, die opgeslagen kan worden.

7 Geef de reactievergelijking van deze ontleding.

8 Geef commentaar op de zin onder de figuur 'Helaas, de wet van behoud van energie geldt nog'.

De titel suggereert iets dat niet kan kloppen.

9 Licht dit toe.

10 Hoe worden de massamedia op het verkeerde been gezet?

Energie uit koolstofdioxide

- 1 Als reductor en oxidator op afstand met elkaar reageren waardoor de elektronenstroom nuttig gebruikt kan worden.
- 2 De aluminiumelektrode is de anode. Hier komen elektronen vrij dus is het de negatieve elektrode.
- 3 Anode: $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3 \text{e}^-$. Kathode: $2 \text{CO}_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$.
- 4 $2 \text{Al} + 6 \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{Al}^{3+} + 3 \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{Al}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$.
- 5 Aluminiumoxalaat zal een slecht oplosbaar zout zijn.
- 6 Het elektrolyt moet lading kunnen verplaatsen dus moet uit vrij bewegende ionen bestaan.
- 7 $\text{Al}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \rightarrow 2 \text{Al} + 6 \text{CO}_2$
- 8 Het proces is bedoeld om koolstofdioxide te verwijderen en hierdoor het versterkte broeikaseffect te verlagen. Maar voor het ontleden van het aluminiumoxalaat is ook weer veel energie nodig. Ook is veel energie nodig om de gevormde Al^{3+} weer om te zetten in vast Al.
- 9 Netto kan dit niet want er moet ook weer energie in gestopt worden.
- 10 Doordat de indruk wordt gewekt dat er sprake is van een proces dat energie levert, terwijl door goed te analyseren je merkt dat dit niet waar is.

Erratum

In de **uitwerking van vraag 3** van de opgave **1610 11 Kersttintje aan toss**

$\Delta E_{\text{reactie}} = -2 \times 1,80 \cdot 10^5 + 2 \times -1,105 \cdot 10^5 = -5,81 \cdot 10^5 \text{ J}$ (per 2 mol AgCNO), dus een exotherme reactie