

EEN LAMP LATEN BRANDEN OP... ZOUT WATER?

Versie 1

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Elektrochemische cel, batterij
Trefwoorden	Koper, aluminium, halfreacties
Vaardigheidsvraag	Informatiebewerkingsvraag

Versie 2

Klas	3 - 5 hv
Subdomein	Onderzoeken, ontwerpen
Vaardigheid	Processen en reacties
Specificaties	Onderzoeksvraag, werkplan, informatie weergeven
Trefwoorden	Elektrochemische cel, zout water
Vaardigheidsvraag	werkplanvraag

<http://brontechniek.nl/>, 18 september 2015

Een lamp laten branden op ...zout water?



Een bedrijf uit de Filipijnen (een land dat je niet direct in verband brengt met innovatieve technologie) heeft een lamp ontwikkeld die kan branden op zout water. De lamp kan een hele nacht branden op een glas water met twee eetlepels zout. De lamp is goedkoper dan lampen die op accu's of batterijen werken en veiliger dan bijvoorbeeld een olielamp. Ze noemen het SALT, wat staat voor Sustainable Alternative Lightning. En natuurlijk voor 'zout', maar dat hoeven we u natuurlijk niet uit te leggen...

De lamp kan een hele nacht branden op een glas water met twee eetlepels zout.

Het bedrijf is zelfs ook bezig met een telefoonoplader die gebruik maakt van dezelfde techniek. Het product is nog niet verkrijgbaar en het is eveneens niet bekend wat de prijs van een dergelijke lamp of oplader is. (....)

In het filmpje vertelt het jonge bedrijf: https://www.youtube.com/watch?v=5vOuj_feM2s

Versie 1

Juist in een land als de Filipijnen is er een markt voor de SALT lamp.

- 1 Leg uit waarom men in een land als de Filipijnen toekomst ziet voor de SALT lamp.

Op internet staat meer informatie over de bouw van de “batterij” in de lamp.

Vermoedelijk is een elektrode van aluminium en een elektrode van koper het geheim van de wonderlamp. Dit aluminium gaat langzaam in oplossing en moet na enkele maanden vervangen worden. Het zeewater (zout water) zelf wordt niet verbruikt, maar raakt verzadigd met aluminiumzouten. Daarom moet het na acht uur vervangen worden.

Bron <http://www.visionair.nl/ideeen/mensheid/zoutwaterlamp-werkt-op-zout-water/>

- 2 Teken de opstelling voor de “batterij” in de lamp zoals je hem met practicummaterialen zou bouwen.

Aan de aluminiumelektrode treedt een halfreactie op. Het redoxkoppel is $\text{Al}/\text{Al}(\text{OH})_3$.

- 3 Leid de halfreactie voor dit redoxkoppel af.
4 Leg uit of het aluminium als oxidator of als reductor optreedt.
5 Leg uit of deze elektrode dient als positieve of negatieve pool van de batterij.

Aan de koperelektrode treedt de andere halfreactie op waarin zuurstof en water een rol spelen.

- 6 Leg uit dat hier niet de halfreactie $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ zal optreden.
7 Stel de halfreactie op die plaatsvindt aan de koper elektrode.

De standaardelektrodepotentiaal van de halfreactie met $\text{Al}/\text{Al}(\text{OH})_3$ is 2,30 V.

- 8 Bereken met behulp van een gegeven uit Binas tabel 48 de theoretische spanning die deze “zoutwaterbatterij” zou kunnen leveren.
9 Leg uit of deze “zoutwaterbatterij” de berekende spanning van vraag 8 ook in werkelijkheid kan leveren.

In het stukje tekst uit de bron www.visionair.nl staat dat het zoute water niet wordt verbruikt.

- 10 Leg uit wat dan de rol is van het zoute water.
11 Teken in je antwoord van vraag 2 hoe het ladingtransport in de SALt batterij plaats vindt tijdens stroomlevering
12 Leg uit waardoor de batterij na verloop van tijd geen stroom meer levert.

De lamp is uitgebreid in het nieuws geweest in de media. In het onderstaande kader staat een aantal koppen van de artikelen vermeld:

Lamp op zeewater moet Filipijnen voorzien van licht (<http://www.metronieuws.nl/0>)

Zout water laat lamp hele nacht branden (www.joop.nl)

Ge-ni-aal deze lamp brandt op water en zout (<http://whocares.me/>)

Salt: lamp die enkel zout water nodig heeft om licht te geven (<http://www.want.nl/>)

Lamp brandt op water en zout (www.elektrotechniek365.nl/)

De koppen van de artikelen zijn aansprekend, maar de vraag is of ze de werking van de lamp volledig dekken.

- 13 Schrijf een reactie aan de auteurs van de koppen van deze artikelen (maximaal 30 woorden) waarin je uitlegt waarom de titel chemisch gezien niet helemaal past en op basis hiervan een voorstel doet voor een andere titel.

Versie 2

Bekijk het filmpje over de bouw van de lamp.

- Bouw zelf de batterij die in de SALT-lamp gebruikt wordt.
- Test je SALT-batterij.

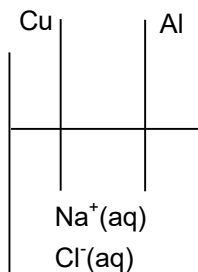
- Stel een onderzoeksplan op om te kijken of je met huis-tuin-keuken materialen een batterij kunt bouwen die meer spanning levert.
- Laat je onderzoeksplan controleren en voer het uit.
- Maak een beeld- of videoverslag van je onderzoek, resultaten en conclusies.

Een lamp laten branden op... zout water?

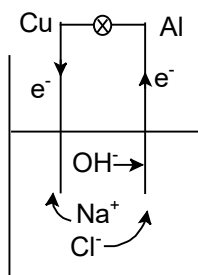
Versie 1

- 1 In de Filipijnen heeft men niet overal elektriciteit en gebruikt men daarom olielampen.
SALT lampen zijn overal inzetbaar en leveren geen brandgevaar op.

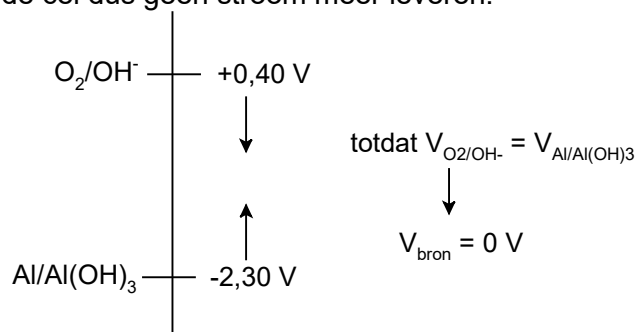
2



- 3 $\text{Al} + 3 \text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{e}^-$ $E^0 = -2,30 \text{ V}$
 4 Reductor: staat elektronen af.
 5 Er worden elektronen vrij gemaakt: negatieve elektrode.
 6 Cu kan alleen als reductor reageren, die rol is in deze cel voor aluminium weg gelegd dat een sterkere reductor is dan koper
 7 $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$ $E^0 = +0,40 \text{ V}$
 8 $V = 0,40 - (-2,30) = 2,70 \text{ V}$.
 9 Nee, want de standaardelektrodepotentiaal gaat uit van standaardomstandigheden en concentraties van 1 M. In de gebruikte cel zijn de concentraties zeker geen 1 M.
 10 Zorgt voor een gesloten stroomkring.
 11



- 12 Door de optredende halfreacties wordt de potentiaal van het redoxkoppel O_2/OH^- kleiner en die van het koppel $\text{Al}/\text{Al}(\text{OH})_3$ groter (= minder negatief). Op een gegeven moment zijn beide potentialen gelijk aan elkaar en is er geen spanningsverschil ($V_b = 0 \text{ V}$) en kan de cel dus geen stroom meer leveren.



- 13 In de reactie de notie dat spanning van de cel veroorzaakt wordt door het potentiaalverschil van de optredende halfreacties. Dat het opgelost zout wel nodig is voor een gesloten stroomkring.

Versie 2

In onderzoek kunnen leerlingen bijvoorbeeld werken aan:
 - Soort elektrolyt: azijn, bakpoeder, soda, fruitsap

- Concentratie NaCl-oplossing
- Elektrodemateriaal: verschillend? en zo ja welke?
- Elektrodemateriaal: alleen metalen of ook koolstof (norit als positieve elektrode, inrollen in het aluminiumfolie (zorgen voor goed contact)).

Artikel:

<http://brontechniek.nl/een-lamp-laten-branden-op-zout-water/>

KOOLDIOXIDE GEBONDEN IN CEMENT

Klas	5v
Subdomein	Chemische processen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten; zuurbase; redox
Trefwoorden	Kooldioxide, broeikaseffect, kalksteen, calciumsilicaat, calciumcarbonaat
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Delft Integraal, oktober 2015

Kooldioxide gebonden in cement

Als promovenda bij biotechnologie (TNW) ontwikkelde dr. Shiva Salek een proces dat rioolwaterzuivering en binding van CO₂ combineert met de groene productie van methaan en cement. Ze ontving er de Lettinga Award voor.

Omdat Salek de enige was op het congres over anaerobe vergisting (Santiago de Compostella, 2013) die vergisting wist te gebruiken voor de productie van grondstoffen in combinatie met vastlegging van CO₂ ontving ze de Lettinga Award ter waarde van 25 duizend euro. Salek werkt nu als product engineer bij Lely Industries in Maassluis. Het broeikasgas kooldioxide (CO₂) is de belangrijkste drijvende kracht achter de klimaatverandering. Als promovenda ontwikkelde dr. Shiva Salek een proces dat CO₂ bindt. De verdere ingrediënten zijn rioolwater en gemalen kalksteen. De eindproducten zijn schoon water, methaan en grondstof voor biocement, kunstmest of vulmateriaal (grout). In stappen verandert calciumsilicaat (uit kalksteen) door de binding van CO₂ in calciumcarbonaat CaCO₃. Calciumcarbonaat staat aan de basis van de cementindustrie.

Voor de eerste stap, het oplossen van het silicaat, is een zure omgeving vereist. De tweede stap, het neerslaan van het calciumcarbonaat heeft juist een alkalische (basische) omgeving nodig.

Salek gebruikt organische rotting (anaerobe vergisting) en de productie van vetzuren om een zure omgeving te maken en het calciumsilicaat op te lossen. Door de productie van methaan verderop in het proces stijgt de pH en slaat het calciumcarbonaat in het basische milieu neer.

Omdat Salek de enige was op het congres over anaerobe vergisting (Santiago de Compostella, 2013) die vergisting wist te gebruiken voor de productie van grondstoffen in combinatie met vastlegging van CO₂ ontving ze de Lettinga Award ter waarde van 25 duizend euro. Salek werkt nu als product engineer bij Lely Industries in Maassluis.



Dr. Shiva Salek maakte calciumcarbonaat door CO₂ te binden.

In het proces dat dr. Salek ontwikkelde, wordt onder andere het broeikasgas CO_2 vastgelegd.

- 1 Wat versta je onder een broeikasgas?
- 2 Waarom wordt bij broeikasgassen juist CO_2 vaak genoemd?

Een ingrediënt dat dr. Salek gebruikt is 'kalksteen'. Daarmee wordt in het artikel calium*silicaat* bedoeld. In een zure omgeving 'lost' calciumsilicaat, Ca_2SiO_4 , op. Dit 'oplossen' is een zuurbasereactie.

- 3 Geef de reactievergelijking voor het 'oplossen' van calciumsilicaat in een zure omgeving.
- 4 Leg uit dat dit 'oplossen' anders is dan het oplossen van bijvoorbeeld keukenzout in water.

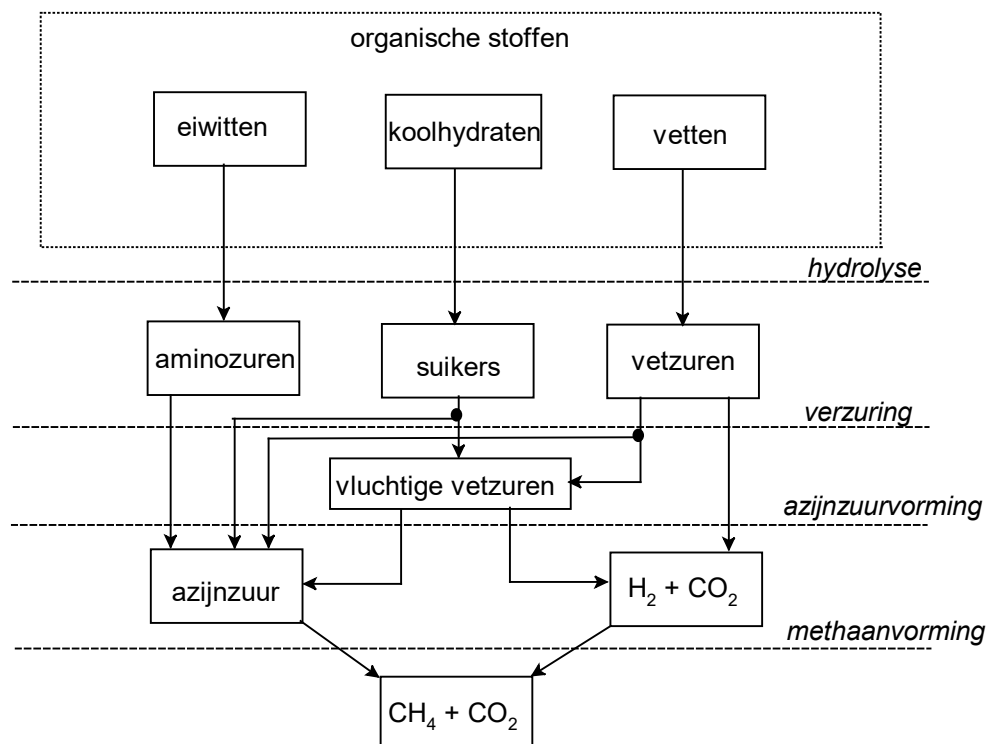
Uit het 'kalksteen' zijn Ca^{2+} ionen in oplossing gekomen. In een basische omgeving zal daarna CO_2 neerslaan als calciumcarbonaat.

- 5 Geef de reactievergelijking voor het binden van CO_2 door de vorming van calciumcarbonaat dat neerslaat.
- 6 Welke toepassingen van calciumcarbonaat worden in het artikel genoemd?

De vorming van carbonaationen uit koolstofdioxide heeft te maken met evenwichtsverschuivingen.

- 7 Licht deze uitspraak toe door aan te geven welke evenwichten daarbij betrokken zijn. Noteer de vergelijkingen.

Het gehele proces van dr. Salek omvat ook de zuivering van rioolwater, dat veel organische stoffen bevat. In onderstaande figuur zijn de omzettingen die plaatsvinden schematisch weergegeven.



(bron: Kennisbundeling covergisting)

De eerste stap is de hydrolyse van de organische stoffen.

8 Wat versta je onder hydrolyse?

In het schema staan zowel vetzuren als vluchtige vetzuren vermeld.

9 Wat is het verschil tussen *vetzuren* en *vluchtige vetzuren* als je let op de bouw van de moleculen van de beide molecuulsoorten?

Het artikel schrijft: 'Door de productie van methaan verderop in het proces stijgt de pH'

10 Geef de halfreactie voor de omzetting van azijnzuur in onder andere methaan waaruit blijkt dat daardoor de pH stijgt.

In de inleiding van het artikel staat: "de *groene* productie van methaan en cement"

11 Leg uit waarom bij de productie van methaan en cement van dr. Salek sprake is van de term groen.

Kooldioxide gebonden in cement

- 1 Een broeikasgas laat wel zonlicht toe maar houdt uitgestraalde warmte van de aarde (deels) tegen.
- 2 Koolstofdioxidepercentage stijgt jaarlijks door de uitstoot van dit gas bij de verbranding van steenkolen en aardolieproducten,
- 3 $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 4 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{Ca}^{2+} + \text{H}_4\text{SiO}_4$.
- 4 Er treedt een chemische reactie op terwijl het oplossen van keukenzout slechts de ionen oplevert waaruit het is opgebouwd.
- 5 $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 + 2 \text{OH}^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.
- 6 Grondstof voor biocement, kunstmest of vulmateriaal.
- 7 De evenwichten: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$; $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$.
- 8 De afbraak van een stof door reactie met water.
- 9 Vluchtige vetzuren zullen makkelijker in dampvorm voorkomen doordat ze uit kleinere moleculen (korte alkylstaarten) bestaan.
- 10 $\text{CH}_3\text{COOH} + 6 \text{H}_2\text{O} + 8 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{CH}_4 + 8 \text{OH}^-$.
- 11 Voor de productie van methaan en cement wordt niet speciaal CO_2 geproduceerd (uit bijvoorbeeld fossiele brandstoffen), maar er wordt CO_2 verbruikt die zo niet kan bijdragen aan een verhoging van de hoeveelheid broeikasgas.

Literatuur: Salek S., 2013, Mineral CO_2 sequestration by environmental biotechnological processes, *Trends in Biotechnology*, 31 (3), 139–146.

BLIKSEMSNELLE MANIER OM MIERENZUUR TE MAKEN

Klas	5v
Subdomein	Industriële processen en groene chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Atomeconomie, E-factor, ΔE , duurzame brandstoffen
Trefwoorden	Mierenzuur, katalysator, waterstofeconomie
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

www.fluidsprocessing.nl, september 2015

‘Bliksemsnelle manier om mierenzuur te maken’

“Wellicht kan de procesindustrie in de nabije toekomst op een bliksemsnelle en veel goedkopere manier mierenzuur maken.” Dat zegt de van oorsprong Russische Evgeny Pidko, universitair docent en begeleider van zijn landgenoot fysisch chemicus Georgy Filonenko aan de Technische Universiteit Eindhoven. Laatstgenoemde promoveerde onlangs op het onderwerp: de productie van mierenzuur. Mierenzuur is een belangrijke potentiële energiebron voor de procesindustrie en is al een product dat wordt gefabriceerd. Pidko doet ook een oproep aan de procesindustrie om vervolgonderzoek te financieren. Evgeny Pidko heeft als onderzoeksonderwerp katalyse (hulpstoffen bij een chemische reactie). “Het grootste thema betreft het mechanisme van katalytische reacties,” zo begint hij. “Ik probeer te begrijpen hoe katalyse werkt op moleculaire schaal en gebruik die kennis om een beter proces of een nieuw proces te maken. Het laatste jaar is een katalysator gevonden en ontwikkeld die bliksemsnel waterstof en CO₂ kan omwerken tot mierenzuur. Zelfs tien keer sneller dan het meest bekende systeem ter wereld. En hetzelfde systeem kan de tegenovergestelde reactie geven. Bij een temperatuur van 65 graden is het mierenzuur stabiel maar verwarm je het naar 90 graden, dan komt het waterstof snel vrij. We hebben in feite een soort batterij gemaakt.”

Spin off

De hierboven genoemde katalysator is verder gebruikt door een groep studenten die een soort spin off maakte: een kleine modelauto die op mierenzuur kan rijden. Ze hebben daarvoor een brandstofcel met een soort reactor gekoppeld. “Het is een echte modelauto,” vertelt Pidko. De studenten proberen nu een dream team op te zetten om een echte auto te maken die op mierenzuur rijdt. Pidko is overigens begeleider van Georgy Filonenko die onlangs op dit onderwerp promoveerde. Dat was in het kader van een STW-project, waarvoor Pidko in 2010 een zogenoemde Veni-subsidie ontving.

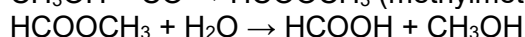
Waterstof

Laten we even bij het begin beginnen. Wat is het probleem van waterstof als energiebron? “Kijk, als je een gangbare brandstof wilt gebruiken, is dat op zich geen probleem. In vloeibare vorm kun je het gemakkelijk in je auto pompen, en dat binnen enkele minuten. Je hoeft niks bijzonders te doen. Maar waterstof is een gas. Je moet het onder hoge druk brengen en dat is niet zonder gevaar.” Waterstof is wel weer een goede brandstof van de toekomst. “Het is ‘s werelds meest voorkomende element en bij verbranding in een brandstofcel ontstaan geen schadelijke gassen. De opslag van pure waterstof vormt wel een probleem. Daarbij komt nog dat je het moet maken uit duurzame bronnen. 95 Procent van de waterstof die we nu gebruiken, komt uit olie of gas en dat moet voor een duurzame vorm anders.” Momenteel zijn meerdere onderzoeks - groepen bezig om de problemen met waterstof te tackelen. Het werkt ook andersom. Het mierenzuur blijkt een goede energiedrager te zijn. Het idee om mierenzuur uit CO₂ en waterstof te maken, is niet geheel nieuw. “Al enkele jaren is bekend dat waterstof met CO₂ is te combineren tot vloeibaar mierenzuur. Dat maakt dat je veel meer waterstof kan opslaan in hetzelfde volume. Maar de bottleneck vormde tot dusverre de snelheid waarmee de waterstof in het CO₂ wordt opgenomen en weer wordt vrijgegeven. Bovendien hoe is dit proces te controleren?” Tijdens experimenten stuitten twee bachelorstudenten Scheikundige Technology, die werkten onder begeleiding van Filonenko, op een katalysator die de reactie extreem snel liet verlopen: een complex van een organisch molecuul met een atoom van edelmetaal ruthenium. Pidko vervolgt: “Deze katalysator (hulpstof) is gewoon beschikbaar op de markt maar er is geen echte industriële toepassing en de prijs van de katalysator is hoog. In de door ons gevonden reactie moet je alleen geen hoge concentratie van deze katalysator gebruiken. Je hebt niet zoveel ruthenium nodig om deze reactie te versnellen. Je hebt ‘a few parts per million’ nodig: minder dan een procent.” (...)

Bij het proces dat in het artikel wordt genoemd wordt mierenzuur gemaakt.

- 1 Zoek de systematische naam van mierenzuur op en noteer die naam en de molecuulformule.
- 2 Teken de structuurformule van mierenzuur.
- 3 Geef de vergelijking van de reactie waarbij mierenzuur wordt gemaakt uit waterstofgas en koolstofdioxide.
- 4 Bereken de reactiewarmte, ΔE , voor deze vorming van mierenzuur.
- 5 Bepaal voor deze productie van mierenzuur de atomeconomie en de E -factor bij een rendement van 100 %.

Mierenzuur wordt tegenwoordig vaak geproduceerd uit methanol (dat vaak gevormd wordt uit fossiele brandstoffen) en koolstofmonoxide volgens een tweestaps reactie:



- 6 Stel de totale reactievergelijking op voor deze productiemethode van methanol.
- 7 Bepaal ook voor deze 'oude' productiewijze (zie vraag 3) de atomeconomie en de E -factor.
- 8 Geef twee redenen waarom het gunstig is om mierenzuur te maken met behulp van koolstofdioxide in plaats van uit methanol.

Eigenlijk is Georgy Filonenko gepromoveerd op het onderwerp katalyse.

- 9 Leg uit wat een katalysator is.

In het artikel staat:

"..... hetzelfde systeem kan de tegenovergestelde reactie geven. Bij een temperatuur van 65 graden is het mierenzuur stabiel maar verwarm je het naar 90 graden, dan komt het waterstof snel vrij."

- 10 Leg uit wat je kunt afleiden uit het feit dat het mierenzuur stabiel is bij 65 °C, maar weer ontleedt bij 90 °C. Gebruik hierbij onder andere de waarde van ΔE uit vraag 4.

De onderzoekers beweren in het artikel dat er een soort batterij is gemaakt. Het principe is gebruikt om een modelauto te maken.

- 11 Beredeneer met behulp van een definitie voor een batterij of je het met deze bewering eens bent.

De gevonden katalysator geeft veel grotere reactiesnelheden: *"Zelfs tien keer sneller dan het meest bekende systeem ter wereld"*, zegt het artikel.

- 12 Leg uit waarom de reactiesnelheid bij het toepassen van het systeem in de modelauto zo'n belangrijke factor is.

Dit proces kan een grote bijdrage leveren aan de zogenaamde waterstofeconomie.

- 13 Leg uit waarom waterstofgas gezien wordt als dé brandstof van de toekomst.

De verkregen waterstof moet dan wel aan een bepaalde voorwaarde voldoen om als duurzaam gezien te worden.

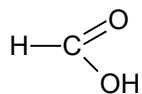
- 14 Welke voorwaarde is dit?

- 15 Bereken hoeveel gram waterstof 1,00 L mierenzuur maximaal kan leveren. De dichtheid van vloeibaar mierenzuur is $1,220 \text{ g cm}^{-3}$.
- 16 Leg uit waarom deze productie van mierenzuur een grote bijdrage kan leveren aan de waterstofeconomie.

Bliksemsnelle manier om mierenzuur te maken

1 Methaanzuur, HCOOH

2



3 $\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCOOH}$

4 $\Delta E = + 3,935 \cdot 10^5 - 4,25 \cdot 10^5 = - 0,315 \cdot 10^5 \text{ J}$

5 De atomeconomie is 100 %, omdat alle atomen uit de beginstoffen in het eindproduct terecht komen.

De *E*-factor is bij een opbrengst van 100 % gelijk aan nul, omdat er geen afval is.

6 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCOOH}$

7 Ook hier geldt dat de atomeconomie 100 % is en de *E*-factor nul.

8 Het methanol wordt meestal niet duurzaam geproduceerd. Het kan afkomstig zijn uit fossiele brandstoffen. Het koolstofdioxide veroorzaakt een versterkt broeikaseffect en heeft klimaatveranderingen tot gevolg. Dus het produceren met behulp van koolstofdioxide leidt tot minder verbruik van fossiele brandstoffen én neemt een broeikasgas weg.

9 Een katalysator is een stof die de reactiesnelheid beïnvloedt, maar niet wordt verbruikt bij de reactie.

10 Het moet een evenwichtsreactie zijn, waarbij verhoging van de temperatuur een verschuiving teweeg brengt naar de kant van waterstof en koolstofdioxide. Bij verhoging van de temperatuur verschuift een evenwicht naar de endotherme kant. Dat klopt met een exotherme reactie voor de vorming van mierenzuur (zie antwoord vraag 4).

11 Een batterij levert elektrische stroom uit chemische reacties aan twee elektroden. In de modelauto wordt het mierenzuur gebruikt om bij 90 °C te ontleden. Het waterstof kan dan gebruikt worden als brandstof in een brandstofcel. De reactor voor de productie van mierenzuur is op zichzelf dus geen batterij.

12 De snelheid is zo belangrijk omdat je in een auto een constante, vrij grote stroom brandstof moet hebben. De brandstof moet dus snel kunnen vrijkomen.

13 Het verbranden van waterstofgas levert alleen maar water op. Dus geen vervuiling.

Waterstof is bovendien het meest voorkomende element op aarde, dus grote voorraden.

14 Het waterstof moet op een duurzame manier zijn verkregen, dus bij voorbeeld met zonne-energie.

15 De massa van 1,00 L mierenzuur is $1,220 \cdot 10^3 \text{ g}$. Dit bevat $1,220 \cdot 10^3 / 46,026 = 26,51$ mol mierenzuur. Dit bevat $2 \times 26,51$ mol H-atomen, dus potentieel 26,51 mol H_2 . Dit komt overeen met $26,51 \times 2,016 = 53,48$ gram waterstof.

16 Waterstofgas is moeilijk op te slaan omdat het een gas is. Op deze manier berg je het tijdelijk op in de vorm van mierenzuur. Dit is een vloeistof. Zo neemt het dus een veel kleiner volume in en heb je ook geen hoge druk nodig. Wanneer je het waterstof nodig hebt laat je het snel weer vrijkomen.

Artikel:

<http://www.fluidsprocessing.nl/magazine/2015/FP2015-4p28.pdf>

PLASTIC FLESSENDOPPEN OMSMELTEN TOT SKATEBOARDS

Klas	5 hv, 6v
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Bouw stof en vervormbaarheid
Trefwoorden	Polyetheen, thermoplast, afval, recycleersymbool
Vaardigheidsvraag	Informatieverwerkingsvraag

www.bright.nl, 14 oktober 2015

Amsterdammers smelten plastic flessendoppen om tot skateboards



Deze skateboards zijn gemaakt van plastic doppen, verzameld op festivals. Doel: Mensen bewust maken dat plastic een waardevolle grondstof is.

Op festivals wordt er heel wat afgedronken en de flessen waar al die drank uit komt hebben vaak plastic doppen. Plastic Whale, de organisatie achter de WasteBoards, wil al die doppen verzamelen en omsmelten tot skateboards. Om de skateboards onder de mensen te brengen wil de organisatie een 'Mobiele WasteBoard Bakkerij' gaan maken, zo kunnen de skateboards op de festivals zelf al 'gebakken' worden.

De eerste doppen zullen worden ingezameld tijdens DGTL Festival, een dancefestival tijdens het Amsterdam Dance Event. De festivalorganisatie verwacht dan meer dan 30.000 doppen in te zamelen. Voor één WasteBoard zijn 200 doppen nodig, dat betekent dus dat er met de doppen van DGTL al 150 skateboards gemaakt kunnen worden. Verschillende versies van de skateboards zijn voor 99 dollar te koop.

Op de site <http://www.recyclingplatform.nl/recycling-processen/pet-flessen> staat “de doppen van de PET flessen zijn vaak van PE gemaakt”. PE is een polymeer.

- 1 Zoek in Binas op welk polymeer met PE wordt aangeduid en noteer de volledige naam.
- 2 Teken een stukje uit het midden van de polymeerketen van PE, teken minimaal drie monomeereenheden.
- 3 Teken het recycleersymbool dat op doppen van PE zal moeten staan.

Het procedé om WasteBoards te maken is relatief eenvoudig: de verzamelde doppen worden in een mal gedaan en in een hete oven gestopt. Na enkele uren haal je de mal uit de oven en is het WasteBoard klaar. Het mooie is dat elk WasteBoard volledig uniek is door de afwisseling van de kleuren van de doppen.

Bron:

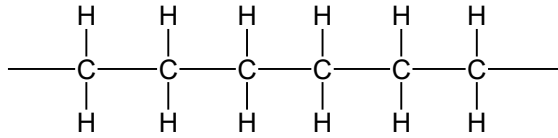
<https://www.hetkanwel.net/2015/10/29/skateboards-gemaakt-van-plastic-doppen-uit-de-amsterdamse-gracht/>

- 4 Leg op macroniveau uit waardoor de plastic doppen recyclebaar zijn.
- 5 Leg op microniveau uit waardoor de plastic doppen recyclebaar zijn.
- 6 Verklaar de naam 'wasteboard'.

Plastic flessendoppen omsmelten tot skateboards

1 Polyetheen (Binas tabel 66E).

2



3



4 PE-doppen worden bij verwarmen zacht en kunnen dan in een andere vorm omgezet worden (thermoplast).

5 PE bestaat uit polymeermoleculen met lineaire ketens die onderling via vanderwaalsbindingen verbonden zijn. Bij verwarmen worden die bindingen verbroken en bij afkoelen ontstaan er nieuwe..

6 Het skateboard is gemaakt van afval (waste).

<http://www.bright.nl/amsterdammers-smelten-plastic-flessendoppen-om-tot-skateboards> :

“Plastic Whale is een organisatie die zich al langer inzet tegen de vervuiling door plastic afval. Zo organiseerden ze al evenementen om vanuit bootjes plastic afval uit de Amsterdamse grachten te vissen. Vier jaar geleden begon oprichter Marius Smit al met een project om een boot te bouwen van plastic afval, die ging in 2014 te water. “

WATERZUIVERING KAN NOG KLIMAATVRIENDELIJKE

Klas	5,6v
Subdomein	Chemische processen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Lachgas, broeikaseffect, waterzuivering, Lewisstructuur
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Delft Integraal, oktober 2015

Waterzuivering kan nog klimaatvriendelijker

Als afvalwater nog beter wordt gezuiverd, komt er minder broeikasgas vrij. Dat zegt Mark van Loosdrecht, hoogleraar milieubiotechnologie en waterzuivering. Hij onderzoekt hoe er minder N₂O in de lucht kan komen.

N₂O is een partydrug, wist je dat?” lacht prof.dr.ir. Mark van Loosdrecht, hoogleraar milieubiotechnologie en waterzuivering. “Het heet ook wel lachgas. Slagroompatronen zijn er bijvoorbeeld mee gevuld.” Zo bezien lijkt lachgas een tamelijk onschuldig gas, voor al uw feesten en partijen. In werkelijkheid is distikstof-monoxide of N₂O een broeikasgas dat 320 keer zo sterk is als CO₂. Er hoeft dus maar heel weinig van in de lucht te komen om grote effecten te hebben.

Als we het klimaat een handje willen helpen, moeten we dus niet alleen focussen op het verminderen van de koolstofdioxideuitstoot, maar er ook voor zorgen dat er minder lachgas de lucht in komt. Met dat laatste houdt Van Loosdrecht zich bezig. Volgens hem kan zeven procent van de wereldwijde opwarming toegeschreven worden aan N₂O. Van alle broeikasgassen die uitgestoten worden tijdens de zuivering van afvalwater is soms wel tachtig procent N₂O. Hoe zit dat precies? Afvalwater zit van nature vol met stikstofverbindingen, zoals nitraat (NO₃) en ammonium (NH₃), die verwijderd moeten worden. Daarbij komt lachgas (N₂O) vrij, maar de vraag is door welke processen dat precies komt. Dat antwoord is te complex, bleek uit een promotieonderzoek in 2010. “Daarom gaan we nu een niveau dieper en focussen we ons in het lab op bacteriën”, zegt Van Loosdrecht. “Het probleem is nu dat N₂O door twee groepen bacteriën geproduceerd kan worden. De eerste zet ammonium om in nitraat, de tweede zet nitraat om in stikstofgas (N₂)”. Dat laatste gas is trouwens pas echt onschuldig, want tachtig procent van de lucht die we inademen bestaat eruit.

Van Loosdrecht probeert in het lab met zijn bacteriën vast te stellen bij welke condities N₂O wordt geproduceerd. Hij is daarom betrokken bij Nora, een vierjarig Europees onderzoeksprogramma voor broeikasemissies. Ook heeft hij een gastonderzoeker uit Spanje die die microbiologische kennis vertaald naar de water-zuivering, om te kijken of de uitstoot van lachgas in de praktijk ook lager wordt.

Bij de zuivering van afvalwater komt veel van het broeikasgas N_2O vrij. Prof. Mark van Loosdrecht houdt zich bezig met het verminderen van deze N_2O - uitstoot.

- 1 Geef de systematische naam van N_2O .
- 2 Wat doet een broeikasgas?
- 3 Waarom richt zich het onderzoek juist op N_2O ?

Afvalwater bevat stikstofverbindingen. In het artikel staan enkele stikstofverbindingen fout weergegeven.

- 4 Welke fouten staan er in het artikel?
- 5 Verbeter de foutieve namen en formules.

Omzettingen

Bodem bacteriën zetten ammoniumionen om in nitraationen.

- 6 Geef de vergelijking van deze halfreactie.

Daarna zetten weer andere bacteriën nitraationen om in stikstof, N_2 .

- 7 Geef de vergelijking van deze halfreactie.
- 8 Leg uit dat beide bacteriesoorten in symbiose leven met elkaar.
- 9 Geef ook de totaalvergelijking van de omzetting van ammoniumionen in stikstof.

De vorming van N_2O kan plaatsvinden als nevenreactie bij de omzetting van nitraationen in stikstof.

- 10 Geef de halfreactie van de omzetting van nitraationen in N_2O weer.

Het N_2O - molecuul

De structuurformule van N_2O kan op verschillende manieren weergegeven worden. Daarbij kun je denken aan de volgorde van de atomen in het molecuul en of het een gebogen of recht molecuul is.

- 11 Geef de mogelijke structuurformules van N_2O weer.
- 12 Bepaal uit het gegeven dat N_2O een polair molecuul is welke van de mogelijke structuurformules juist kunnen zijn.

De Lewisstructuur van N_2O geeft wellicht uitsluitsel wat de juiste structuurformule is.

- 13 Leid de Lewisstructuur van N_2O af.

Verder onderzoek

- 14 Wat probeert professor van Loosdrecht met zijn bacteriën vast te stellen?
- 15 Op welke resultaten hopen de onderzoekers?

Waterzuivering kan nog klimaatvriendelijker

- 1 Distikstofmono-oxide.
- 2 Een broeikasgas houdt een gedeelte van de warmte-uitstraling van de aarde tegen.
- 3 Het is een broeikasgas dat 320x zo sterk is als koolstofdioxide en vrijkomt bij processen in de natuur.
- 4 Nitraat wordt weergegeven als ongeladen deeltje: NO_3 . Ammonium wordt weergegeven als NH_3 .
- 5 Nitraationen: NO_3^- . Ammoniumionen: NH_4^+ .
- 6 $\text{NH}_4^+ + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 10 \text{H}^+ + 8 \text{e}^-$.
- 7 $2 \text{NO}_3^- + 12 \text{H}^+ + 10 \text{e}^- \rightarrow \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$.
- 8 De ene bacteriesoort heeft H^+ en elektronen nodig terwijl de andere soort die juist levert.
- 9 $5 \text{NH}_4^+ + 3 \text{NO}_3^- \rightarrow 4 \text{N}_2 + 9 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+$.
- 10 $2 \text{NO}_3^- + 10 \text{H}^+ + 8 \text{e}^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 5 \text{H}_2\text{O}$.
- 11 NNO recht, NNO gebogen, NON recht, NON gebogen.
- 12 Zowel NNO recht als gebogen en NON gebogen omdat daarbij het centrum van positieve lading en negatieve lading niet samenvalt, bij NON recht juist wel.
- 13 Lewisstructuur: 2 N = $2 \times 5 = 10$ valentie-elektronen; 1 O = 6 valentie-elektronen, dus samen 16 valentie-elektronen = 8 elektronenparen. De octetregel is van belang: 8-omringing. Dit levert als mogelijkheden op voor NNO:

$\text{N} \equiv \text{N}^+ - \text{O}^- \longleftrightarrow \text{N}^- = \text{N}^+ = \text{O}$. Je hebt een 2-omringing, dus een lineair molecuul. Dan is NON niet de juiste structuur want dan heeft N_2O geen dipoolmoment.

- 14 Bij welke omstandigheden N_2O wordt geproduceerd.
- 15 Dat de uitstoot van lachgas in de praktijk lager wordt.

AARDOLIEVRIJE PET-FLES KOMT ERAAN

Klas	5hv
Subdomein	Chemische processen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	PET-fles, recycling, biobased, Lidl, glycol, BTX, xylene
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemie Magazine, september 2015

CUMAPOL GAAT PILOTPLANT VOOR BIOBASED PET BOUWEN

AARDOLIEVRIJE PET-FLES KOMT ERAAN

Zo veel mogelijk PET recyclen, mechanisch of chemisch, en aanvullend biobased PET inzetten, dat is het doel van Cumapol in Emmen. Het bedrijf recyclet onder meer de ingezamelde PET-flessen van Lidl Nederland en heeft plannen voor een biobased demoplant.

Zo'n 60 procent van onze business is recycling van het polymeer PET", vertelt Marco Brons, directeur van Cumapol. Een belangrijke klant is Lidl Nederland, waarvoor het bedrijf in Emmen sinds vorig jaar de ingezamelde PET-flessen recyclet. Eerst haalt een externe partij de ongewenste zaken, zoals metaal, lijm en andere plastics (doppen) eruit, waarna het materiaal gewassen en versneden wordt. In de Cumapolfabriek worden de snippers in een extruder gegraneerd en vervolgens in de nacondensatie gezuiverd van alle verontreinigingen.

Lidl kan van de geproduceerde korrels weer PET-flessen maken of het bijmengen aan virgin PET. Afhankelijk van het type frisdrankfles van Lidl kan deze 25 tot wel 100 procent gerecyclede PET bevatten.

Chemisch recyclen

Naast mechanisch wil Brons, die van oorsprong chemisch technoloog is, binnenkort ook chemisch gaan recyclen. "Er zijn veel polyesterkwaliteiten in de markt die niet geschikt zijn voor mechanische recycling, maar die je wel prima chemisch kan recyclen." "We gaan depolymeriseren met glycol, waarbij we bij dezelfde temperatuur ook zuiveren, ontkleuren en direct weer polymeriseren, om energetisch zo gunstig mogelijk uit te komen. Bij andere vormen van chemisch recyclen moet je het product eerst afkoelen en daarna weer energie toevoegen."

Door bijmenging van biobased monomeren wil Brons de PET-productie nog verder vergroenen. Een voorproefje daarvan presenteerde Cumapol afgelopen voorjaar, na een ontwikkelingsfase van vier jaar. De doorbraak kwam na samenwerking met het Groningse BioBTX, dat erin geslaagd is uit biomassa BTX (benzeen, toluen en xyleen) te produceren. Brons: "BioBTX doet het eerste gedeelte van het proces (xylene), wij werken de xylene op tot paraxyleen en PTA, waar we polyester van kunnen maken. Het gaat nu nog om enkele grammen, maar uiteindelijk willen wij de grondstof leveren voor een volledig aardolievrije frisdrankfles."

Pilotplant

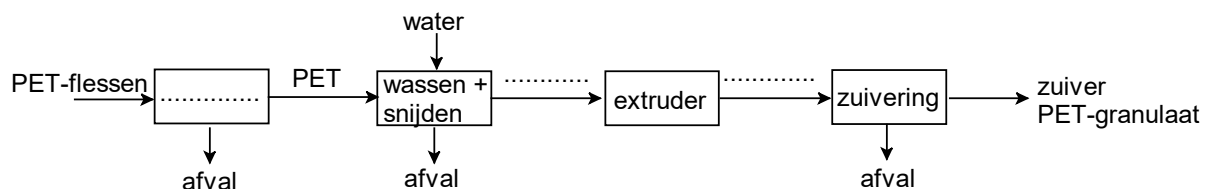
Er zijn al concrete plannen voor een biobased pilotplant voor PET, met een productie van een ton per jaar. "Die komt waarschijnlijk in een van de gebouwen hier in Emmen", aldus Brons. De voornaamste grondstof zal hout zijn. Het einddoel is een volledige biobased PET-fabriek met een capaciteit van zo'n 20 kiloton per jaar. Waarschijnlijk komt het eerste gedeelte – de omzetting van biomassa in bio-BTX – in Delfzijl, vanwege de aanvoer van biomassa. Daarna zal in de Cumapolfabriek de polymerisatie plaatsvinden. Gekeken wordt of er synergie mogelijk is met andere bedrijven. De fabriek staat gepland ergens tussen 2018 en 2020. "Maar de tijd vliegt", zegt Brons. "Ik denk dat het eerder 2020 wordt."

Recycling van PET-flessen is milieubewust. In het artikel wordt zowel een mechanische als een chemische recycling beschreven..

1 Wat is het grootste verschil tussen beide vormen van recycling?

Mechanisch

De mechanische recycling wordt uitvoerig besproken in het artikel. In onderstaand onvolledig blokschema wordt deze weergegeven.



2 Neem het onvolledige blokschema over en maak het compleet.

Chemisch

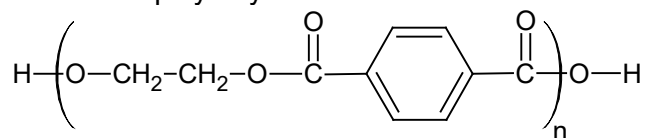
Bij de chemische recycling vindt depolymerisatie van PET plaats met behulp van glycol. Bij dezelfde temperatuur vindt ook weer polymerisatie plaats.

3 Leg uit dat het plaatsvinden van depolymerisatie en polymerisatie bij dezelfde temperatuur energetisch gunstig is..

Er wordt gesproken over biobased PET.

4 Leg uit of de chemische recycling leidt tot biobased PET.

PET staat voor polyethyleentereftalaat met als structuur:



5 Leg uit dat PET een polyester is.

6 Uit welke monomeren is PET ontstaan? Geef van de monomeren zowel de naam als de structuurformule.

Samen met BioBTX

De mogelijkheid van 'vergroenen' van de PET productie ontstond toen het bedrijf BioBTX erin slaagde om uit biomassa BTX te produceren.

7 Waar staat de afkorting BTX voor?

8 Geef van B en T de structuurformule en de systematische naam.

Het bedrijf Cumapol kan het 'groene' paraxyleen gebruiken voor de productie van biobased PET. In Binas is de rationele naam voor xylenen te vinden.

9 Welke xylenen zijn mogelijk? Geef de structuurformules met de namen.

10 Wat zal de aanduiding 'para' aangeven? Kijk goed naar de hierboven gegeven structuurformule van PET.

Het paraxyleen wordt door het bedrijf Cumapol geoxideerd tot benzeendicarbonzuur.

- 11 Teken de structuurformule van het gevormde benzeendicarbonzuur.
- 12 Geef de halfreactie van de omzetting van xyleen in benzeendicarbonzuur in structuurformules weer.

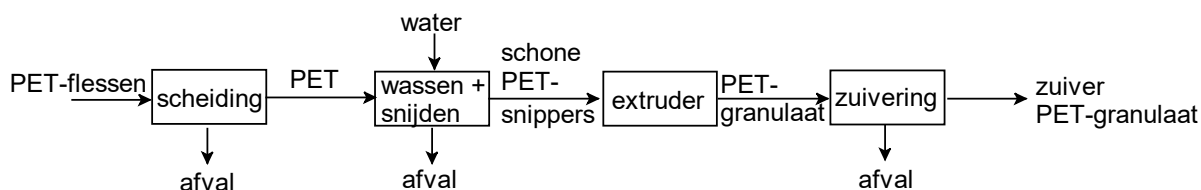
Cumapol is bezig met het opzetten van een biobased pilotplant.

- 13 Wat is het verschil tussen een biobased pilotplant en een biobased PET-fabriek?

Aardolievrije PET-fles komt eraan

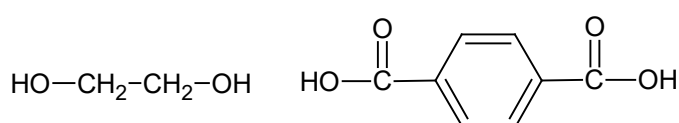
- 1 Bij mechanische recycling blijft PET onveranderd, bij een chemische recycling wordt het PET afgebroken en weer opnieuw opgebouwd.

2



- 3 Je hoeft dan niet af te koelen en opnieuw te verwarmen, je kunt direct verder.
 4 Nee, biobased betekent dat het gebaseerd is op grondstoffen die de natuur ons levert. Bij chemische recycling ga je uit van bestaand materiaal dat uit aardolie is gevormd.
 5 Het heeft een estergroep in de repeterende eenheid.

6

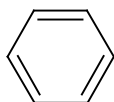


ethaan-1,2-diol

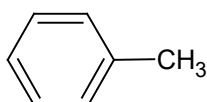
benzeen-1,4-dicarbonzuur

- 7 BTX staat voor benzeen, toluen, xyleen.

8

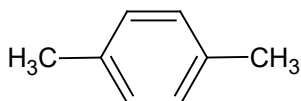


benzeen

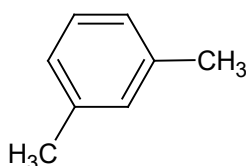


tolueen = methylbenzeen

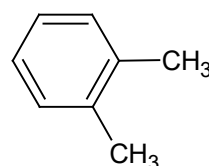
9



1,4-dimethylbenzeen



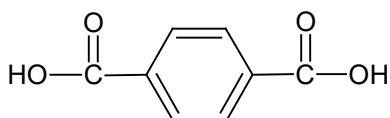
1,3-dimethylbenzeen



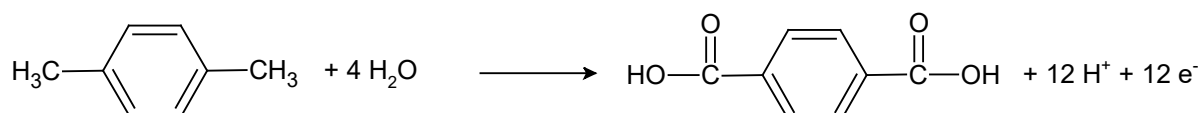
1,2-dimethylbenzeen

- 10 Para geeft de aanduiding 1,4 aan.

11



12



- 13 Een pilotplant betekent dat in een kleine proeffabriek wordt bekeken of het proces mogelijk is. In de echte fabriek vindt daarna dan op grote schaal de productie plaats.

CREATIEF MET HOUT

Klas	5v
Subdomein	Chemische processen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Hout, cellulose, hemicellulose, lignine, bio-ethanol
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemie Magazine, september 2015

CREATIEF MET HOUT

Een houtraffinaderij omringd door chemische bedrijven en onderzoeksinstituten, die samen nieuwe producten ontwikkelen en daarmee geld verdienen.” Klaas van der Vlist, innovatiemanager bij verpakkingsmultinational Smurfit Kappa, twijfelde niet toen hij de kans kreeg om het biobased fenomeen met eigen ogen te zien. Hij reisde mee naar Zweden met een excursie van het Dutch Biorefinery Cluster. “Het is een fantastische verknoping van bedrijven, researchorganisaties en een soort coördinerend ingenieursbureau.”

Zeer 2015

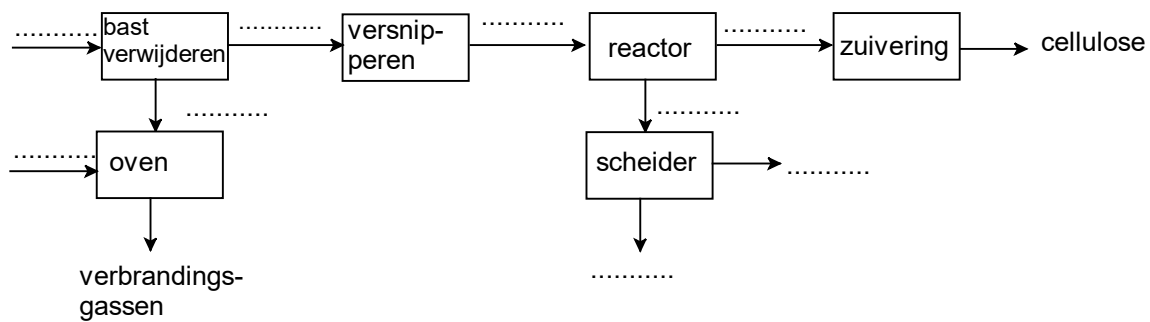
Wie het bioraffinaderijcluster in Örnsköldsvik wil bezoeken, rijdt vanuit Stockholm vijf uur stug door in noordelijke richting. Al die tijd bestaat het uitzicht uit naaldbossen. Het hart van de raffinaderij, Domsjö Fabriek, staat op de plek waar in 1903 een papiermolen op basis van hout verrees. Nu rollen per dag 15.000 bomen de fabriek in (1,6 miljoen kubieke meter hout per jaar). Als eerste wordt de bast verwijderd en verbrand samen met takken en zaagafval. De stam gaat door een versnipperaar, waarna het hout wordt gekookt met toevoeging van enzymen en chemicaliën. Lignine en hemicellulose lossen op. De achterblijvende cellulose wordt gewassen, gebleekt en gedroogd. Hemicellulose en lignine worden ook gescheiden, waarna de hemicellulose via fermentatie wordt omgezet in bioethanol.

Upgrade

De Domsjö-raffinaderij benut hout anders dan een traditionele pulpfabriek voor papier. De verkregen cellulose is zuiverder; ze bevat geen hemicellulose meer. Hemicellulose en lignine verlaten als aparte stromen de fabriek. De ‘upgrade’ in producten kost wel meer energie en chemie. Cellulose is overigens nog steeds het meest waardevolle product van Domsjö. Het levert ruim tweemaal meer op dan bio-ethanol of lignine. Een groot deel van de cellulose wordt omgezet in viscosevezels, ‘synthetisch’ katoen. De ethanolproductie op de site is in handen van het bedrijf Sekab. Fermentatie van reststromen van de papier- en pulpindustrie levert al sinds 1909 bio-ethanol. Door de houtraffinaderij is de productie toegenomen. Sekab ontwikkelde ook een proces om hele houtsnippers efficiënt om te zetten in bio-ethanol. Het gaat om een combinatie van enzymatische hydrolyse en vergisting. De demonstratiefabriek voor dit CelluAPP-proces draait sinds 2004 en produceert 15 miljoen liter bio-ethanol per jaar. De fabriek kan ook draaien op stro, bagasse (afval van suikerriet) of mais.

De cellulosefabriek in het Zweedse Örnsköldsvik staat midden in uitgestrekte bossen. Per dag rollen zo’n 15000 bomen de fabriek binnen.

- 1 Beschrijf het proces in de fabriek van boom tot de producten cellulose, hemicellulose en lignine.
- 2 Neem onderstaand onvolledig blokschema over en maak het compleet.



Naast zeer zuivere cellulose worden ook hemicellulose en lignine geproduceerd. De hemicellulose wordt in de fabriek door middel van hydrolyse en fermentatie omgezet in bio-ethanol.

- 3 Geef de reactievergelijking van de hydrolyse van hemicellulose, $(C_6H_{10}O_5)_n$, waarbij dit wordt omgezet in 'hapklare brokken' van glucose.
- 4 Geef de reactievergelijking van het fermentatieproces waarbij glucose reageert tot ethanol en koolstofdioxide.

Een groot deel van de cellulose wordt omgezet in viscosevezels.

- 5 Leg uit dat deze viscosevezels '*synthetische*' vezels genoemd worden.
- 6 Waarom wordt de cellulose niet, zoals hemicellulose, omgezet in bio-ethanol?

Het bedrijf Sekab verwerkt al lang de reststromen van de papier- en pulpindustrie. Sekab heeft een nieuw proces ontwikkeld. In dit CelluAPP proces worden hele houtsnippers omgezet in bio-ethanol door een combinatie van enzymatische hydrolyse en vergisting. Jaarlijks wordt er zo 15 miljoen liter bio-ethanol geproduceerd.

- 7 Bereken hoeveel kg cellulose daarbij jaarlijks wordt omgezet.

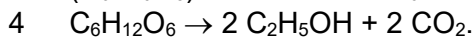
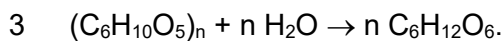
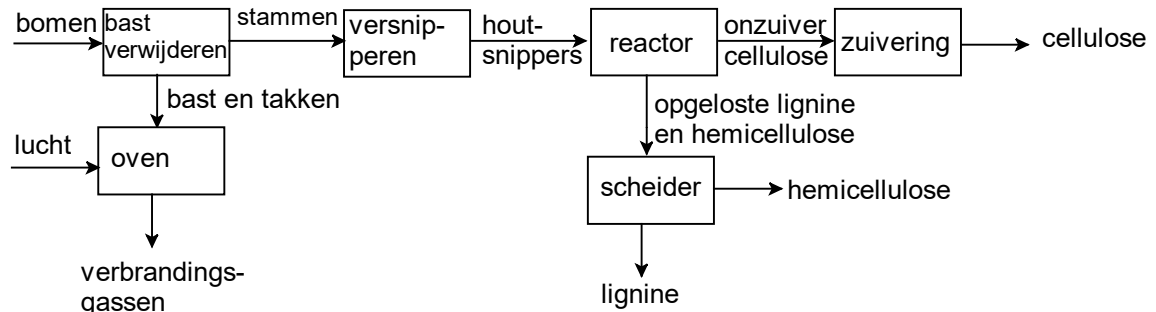
In het artikel worden de 'Domsjö Fabriek' een bioraffinaderij genoemd.

- 8 Leg uit of je dit een juiste benaming vindt door vergelijking met een olieraffinaderij.

Creatief met hout

- 1 De bomen worden allereerst ontdaan van blad en schors, daarna versnipperd en gekookt met enzymen en chemicaliën. Lignine en hemicellulose lossen op, cellulose niet en kan dus afgescheiden worden en na zuivering verder gebruikt worden. Hemicellulose en lignine worden gescheiden van elkaar.

2



5 Ze worden in een fabriek gemaakt door mensen.

6 Als cellulose brengt het veel meer op, het dubbele zelfs.

7 15 miljoen liter bioethanol = $15 \cdot 10^6 \times 0,80 = 12 \cdot 10^6$ kg bioethanol

En dan, *alternatief 1*

$12 \cdot 10^6$ kg bioethanol = $12 \cdot 10^6 / 46,07 = 2,6 \cdot 10^5$ kmol. 2 kmol ethanol is gevormd uit 1 kmol glucose en n kmol glucose is gevormd uit 1 kmol cellulose, dus 1 kmol glucose dan gevormd uit $1/n$ kmol cellulose. Hieruit volgt dat $2,6 \cdot 10^5$ kmol glucose gevormd is uit $1,3 \cdot 10^5/n$ kmol cellulose. Molaire massa cellulose = $n \times 162,14$ g. Dus dan $1,3 \cdot 10^5/n \times n \times 162,14 = 2,1 \cdot 10^7$ kg cellulose.

of: *alternatief 2*

$12 \cdot 10^6$ kg bioethanol. Bouwsteen cellulose: $C_6H_{10}O_5$; ethanol: C_2H_5OH ; 1 mol bouwsteen cellulose levert 2 mol C_2H_5OH ; ofwel massarverhouding bouwsteen cellulose : ethanol = $162,14 : 2 \times 46,07$. Dus er is nodig $(162,14/2 \times 46,07) \times 12 \cdot 10^6 = 2,1 \cdot 10^7$ kg cellulose

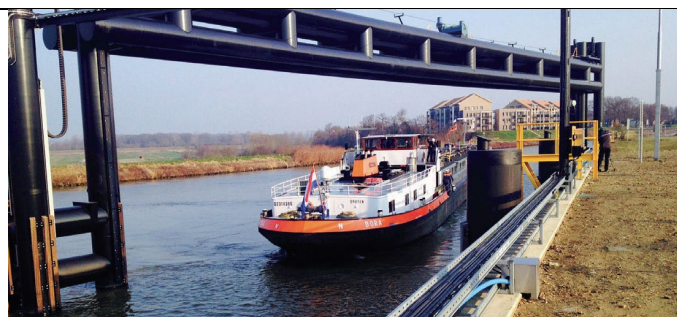
- 8 Olieraffinaderijen zijn leveranciers van de bouwstenen voor de chemische industrie. Een raffinaderij is in feite niets anders dan een fabriek waarbij in een destillatiekolom de componenten van aardolie gescheiden worden, om daarna verder verwerkt te worden tot basischemicaliën voor de industrie.

Een bioraffinaderij doet precies hetzelfde, maar dan op basis van biologische producten (landbouwproducten of andere biomassa). Door middel van een combinatie van fysische, chemische en biotechnologische processen wordt de bio-grondstof verwerkt tot bouwstenen voor bio-based producten (materialen, chemicaliën, brandstoffen en energie).

OCI NITROGEN OPENT HAVENTERMINAL

Klas	5v
Subdomein	Chemische processen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Kunstmest, OCI Nitrogen, ammoniak, ureum, urean, melamine
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemie Magazine, september 2015



EXTRA AAN- EN AFVOERROUTE VOOR AMMONIAK EN UREAN

OCI NITROGEN OPENT HAVENTERMINAL IN STEIN

Kunstmestfabrikant OCI Nitrogen in Geleen opende 8 september een terminal inde haven van Stein. “Door deze strategische investering beschikken wij nu over een extra aan- en afvoerroute voor ammoniak en vloeibare kunstmest”, meldt plantmanager Patric de Konink.

Tekst: Adriaan van Hooijdonk

Ammoniak is van groot belang voor de fabrieken van OCI Nitrogen en andere chemiebedrijven op het Chemelot-terrein in Geleen. Het is niet alleen een basisgrondstof voor urean (vloeibare kunstmest), maar ook een essentiële chemische bouwsteen voor tal van andere producten, zoals melamine. Toch hoopt De Konink zo min mogelijk gebruik te maken van de nieuwe terminal voor de aanvoer van ammoniak. “Want dat betekent dat onze twee ammoniakfabrieken voldoende produceren om in de eigen behoefte en die van andere bedrijven op het Chemelotterrein te voorzien. Maar mocht een van de fabrieken toch onverhoopt uitvallen, dan hebben wij nu een extra aanvoerroute”, licht de plantmanager de reden toe voor het project, dat vierenhalf jaar geleden van start ging. “Naast ammoniaktransport per trein kunnen wij nu ook binnenvaartschepen inzetten. Dat komt goed uit omdat ook de overheid de voorkeur geeft aan transport van gevaarlijke stoffen over water.”

OCI Nitrogen heeft de afgelopen jaren drie ondergrondse, parallel gelegen pijpleidingen laten aanleggen die de productielocatie op het Chemelot-terrein verbinden met de haven van Stein. In de terminal komen de leidingen bovengronds. Operators bedienen vanuit een lokale controlekamer de installatie die de binnenvaartschepen met behulp van een pneumatische laadarm verbindt.

Beveiligingsmaatregelen

Eén leiding gebruikt het bedrijf in noodgevallen voor de aanvoer van ammoniak, terwijl de tweede urean transporteert. Voorheen ging deze vloeibare kunstmest vooral met vrachtwagens naar opslagtanks elders in het land, waarna een deel van het product in schepen werd verladen om afnemers te bedienen. De derde leiding is aangelegd voor toekomstige toepassingen.

Sprinklerinstallatie

OCI Nitrogen heeft voor de gehele ammoniakleiding een modern lekdetectiesysteem aangelegd, die bij de detectie van ammoniak direct de installatie veiligstelt. Bovendien is er een automatische sprinklerinstallatie als er bij de haven onverhoopt toch ammoniak vrij mocht komen. Daarmee kan het bedrijf de vrijgekomen ammoniak met water afvangen.

Kunstmestfabrikant OCI Nitrogen opende 8 september 2015 een belangrijke terminal in de buurt van hun fabriek.

- 1 Welke twee stoffen zullen via die terminal aan- en afgevoerd gaan worden?

OCI Nitrogen maakt diverse kunstmest soorten waaronder het vloeibare urean, een mengsel van 50% ammoniumnitraat en 50% ureum, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$.

- 2 Geef de formule van ammoniumnitraat.
3 Geef het oplossen van ammoniumnitraat in een vergelijking weer.
4 Zoek in Binas de systematische naam van ureum op en verklaar die naam.

Als veiligheidsmaatregel is er in de terminal een automatische sprinklerinstallatie aangebracht om vrijgekomen ammoniak af te vangen.

- 5 Leg uit dat hiermee de vrijgekomen ammoniak goed afgevangen kan worden.

Ammoniak is een basisgrondstof waarmee onder meer ureum gemaakt kan worden. Hierbij reageert ammoniak met koolstofdioxide.

- 6 Geef de vergelijking van de reactie tussen ammoniak en koolstofdioxide.
7 Teken de structuurformule van ureum.

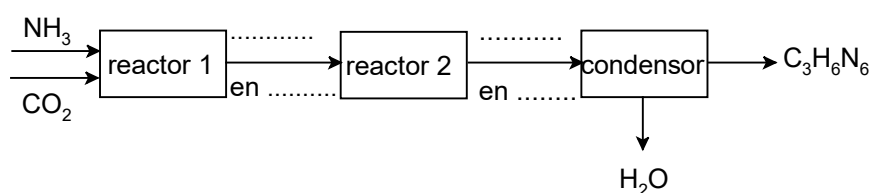
Ook kan ammoniak gebruikt worden om er de verbinding melamine, $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$, mee te maken. Ook hierbij reageert ammoniak met koolstofdioxide.

- 8 Geef ook hiervan de reactievergelijking.

De vorming van melamine is een vervolg op de productie van ureum.

- 9 Teken de structuurformule van melamine als gegeven is dat het een 6-ring is met drie aminogroepen als zijketen.

Het gehele proces van beginstoffen ammoniak en koolstofdioxide tot de vorming van melamine is in het onderstaande onvolledige blokschema weergegeven.



- 10 Neem het blokschema over en maak het compleet.

Ureum lost zeer goed op in water, de oplosbaarheid is 1080 g L^{-1} .

- 11 Leg uit waardoor ureum zo goed oplost in water.

Melamine daarentegen lost maar zeer matig op in water, de oplosbaarheid is $3,2 \text{ g L}^{-1}$.

- 12 Leg uit dat je dit niet zou verwachten voor melamine.
13 Geef een mogelijke verklaring voor de zeer matige oplosbaarheid van melamine.

Melamine heeft een smeltpunt van 345 °C, ureum een smeltpunt van 133 °C.

14 Geef een verklaring op microniveau voor dit verschil.

Urean (30N)

Urean is een vloeibare meststof bestaande uit een mengsel van ammoniumnitraat en ureum. De Urean van OCI Agro bevat stikstof in drie verschillende vormen: ureumstikstof; nitraatstikstof en ammoniumstikstof. Planten kunnen nitraat direct opnemen, terwijl ureum en het grootste gedeelte ammonium eerst moeten worden omgezet in nitraat via bodemreacties. De snelheid van deze omzetting is afhankelijk van de bodemtemperatuur en de vochtvoorziening.

(bron: website ICI Nitrogen)

Urean bevat 30% stikstof.

15 Laat via een berekening zien dat dit juist is als ammoniumnitraat en ureum in gelijke massahoeveelheden gemengd zijn.

Planten kunnen nitraat rechtevreeks opnemen, terwijl ammoniumionen eerst omgezet moeten worden in nitraationen door bodembacteriën.

16 Geef de halfreactie van de omzetting van ammoniumionen in nitraationen.

De snelheid van deze omzetting is afhankelijk van de bodemtemperatuur en de vochtvoorziening.

17 Licht deze afhankelijkheid toe.

OCI Nitrogen opent haventerminal

1 Ammoniak en vloeibare kunstmest.

2 NH_4NO_3 .

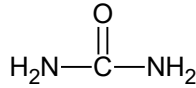
3 $\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$.

4 Diamide van koolzuur: di=2; amide= NH_2 ; koolzuur = CO_2 . Uit de reactie van ammoniak en koolzuur ontstaat ureum.

5 Ammoniak lost prima op in water en vormt (op microniveau) daarbij waterstofbruggen.

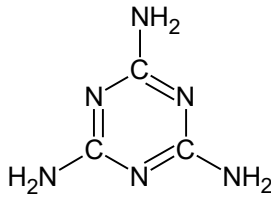
6 $2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$.

7

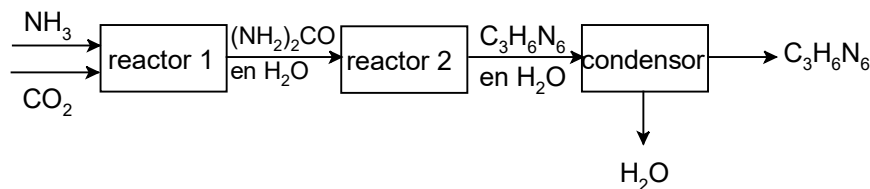


8 $6 \text{NH}_3 + 3 \text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6 + 6 \text{H}_2\text{O}$.

9



10



11 Ureum heeft twee aminogroepen die met water waterstofbruggen kunnen vormen.

12 Melamine heeft ook drie aminogroepen die waterstofbruggen kunnen vormen.

13 Melamine zal met zichzelf waterstofbruggen vormen en daardoor niet makkelijk waterstofbruggen met water vormen.

14 Melamine heeft een veel groter molecuul dan ureum en door de aanwezigheid van zes stikstofatomen per molecuul kan het ook meer waterstofbruggen vormen.

15 Urean: per 100 g heb je 50 g ammoniumnitraat en 50 g ureum. 50 g ammoniumnitraat bevat $50 \times 28/80 = 17,5$ g N. 50 g ureum bevat $50 \times 28/60 = 23,3$ g N. Totaal dus per 100 g dan 30,8 g. In procenten dan 31%, een kleine afwijking van de genoemde 30%.

16 $\text{NH}_4^+ + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 10 \text{H}^+ + 8 \text{e}^-$.

17 Als de temperatuur hoger is zullen de reacties sneller verlopen. Vocht: bacteriën hebben vocht (water) nodig om hun werk te doen.

WEERBARSTIGE STIKSTOFOXIDES

<i>Klas</i>	4 hv
<i>Subdomein</i>	Bindingen, structuren en eigenschappen
<i>Vaardigheid</i>	Informatie
<i>Specificaties</i>	Stofeigenschappen, bindingen, covalentie
<i>Trefwoorden</i>	Diesel, katalysator, vervuiling
<i>Vaardigheidsvraag</i>	Informatie-begripsvraag

<http://www.chemieisoveral.nl/weerbarstige-stikstofoxides>, 14 oktober 2015

Weerbarstige stikstofoxides



Hoe lastig is het om een schone diesel te maken?

Elf miljoen dieselauto's van Volkswagen komen superschoon uit de test, maar zijn supervuil op de weg. Dan stoten ze tot wel veertig keer méér stikstofoxides uit dan is toegestaan. 's Werelds grootste autofabrikant heeft vanwege 'dieselgate' het boetekleed moeten aantrekken. Maar wat is precies de achtergrond van deze ferme stikstofemissie? Daarvoor duiken we de chemie in.

Schone diesel, lastige lucht

Bij de verbranding van diesel of benzine zijn stikstofoxides een lastig bijproduct. Dat is niet omdat die brandstoffen niet schoon zouden zijn. Het probleem zit 'm in de lucht hier op aarde. Die bevat gratis zuurstof die de verbranding mogelijk maakt. Alleen zit er in lucht voor elke liter zuurstof ook bijna vier liter stikstof. Dat is nauwelijks reactief en dat is maar goed ook, anders zouden we niet kunnen ademen. Maar omdat in automotoren de temperatuur behoorlijk hoog is, reageert daar altijd wel een klein beetje stikstof met zuurstof. Het resultaat van die reactie zijn stikstofoxides. Er zijn allerlei soorten stikstofoxides maar de meest relevante zijn NO, NO₂ en NO₃. Chemici duiden die aan met NO_x en dat spreken ze uit als 'en-oo-iks'. Maar je hoort op radio en tv ook vaak 'noks' zeggen.

Stikstofoxides zijn veel reactiever dan stikstof zelf en dat kan bijvoorbeeld in stedelijke gebieden met druk verkeer tot gezondheidsproblemen leiden. Daarom moeten autofabrikanten ze onschadelijk maken. Dat gebeurt in de uitlaat van de auto, door de katalysator. Met behulp van edelmetalen als platina, palladium en rhodium verwijdert dit chemisch technologische hoogstandje niet alleen de stikstofoxides, maar ook koolmonoxide en bepaalde koolwaterstoffen uit het uitlaatgas.

Extra maatregelen

Niets aan de hand dus, zou je zeggen. Voor wat betreft benzineauto's klopt dat. Maar dieselmotoren werken bij hogere temperatuur en druk. Daardoor reageert in een dieselmotor méér stikstof met zuurstof en produceert deze dus meer NO_x dan een benzinemotor. Om de NO_x emissie van dieselauto's op het niveau van benzineauto's te brengen, zijn extra technische maatregelen nodig. De overheid dwingt autofabrikanten daartoe met steeds strengere emissielimieten.

Onder druk van die emissieregels zijn inmiddels speciale 'deNox' katalysatorsystemen ontwikkeld voor dieselmotoren. Sommige slaan stikstofoxides tijdelijk op om ze later weer 'weg te branden' met behulp van wat extra brandstof. Andere systemen vergroten de capaciteit van stikstofverwijdering met een ureum-oplossing. Die ontleedt in het uitlaatsysteem tot ammoniak en dat helpt de stikstofoxides onschadelijk te maken. Het is dus in principe mogelijk een dieselauto te produceren met minimale emissie van stikstofoxides.

Gissen



Het is gissen waarom Volkswagen elf miljoen TDI's wel heeft uitrust met een deNO_x systeem, maar dit met behulp van een softwaretruc alleen inschakelt om goed uit emissietests te komen. Bij normaal autorijden blijft het uitgeschakeld. Veel media veronderstellen dat Volkswagen dit doet om te verbloemen dat de deNO_x systemen ten koste gaan van het vermogen en het brandstofverbruik. Maar misschien is er ook iets anders aan de hand, speculeert een Amerikaanse chemieblogger, die tamelijk goed is ingevoerd in katalysetechnologie. Het zou wel eens zo kunnen zijn dat de deNO_x technologie van Volkswagen nog niet voldoende uitontwikkeld is. De katalysatorsystemen zouden onvoldoende stabiel zijn, niet lang genoeg meegaan, of, erger nog, in extra motorslijtage resulteren. Daardoor zouden ze niet geschikt zijn voor intensief en langdurig gebruik, maar wel goed genoeg om de Volkswagens te laten slagen voor de emissietest.

Bij de verbranding in een automotor ontstaan door de hoge temperatuur stikstofoxides. De stikstofoxides die kunnen ontstaan zijn onder andere NO en NO₂. Dit zijn moleculaire stoffen.

- 1 Leg uit wat voor soort bindingen er in deze stoffen aanwezig zijn.
- 2 Geef de systematische namen van deze twee stikstofoxides.
- 3 Bereken het aantal elektronen dat aanwezig is in één molecuul NO en het aantal elektronen dat aanwezig is in één molecuul NO₂.
- 4 Bedenk een reden waarom deze stoffen zo reactief zijn.
- 5 Geef de reactievergelijking voor het ontstaan van NO in de automotor.

In de uitlaat van een auto worden allerlei verontreinigende stoffen onschadelijk gemaakt met behulp van een katalysator. Deze katalysator hoeft tijdens de levensduur van een auto niet vervangen te worden. In de uitlaat zitten behalve de katalysator ook zuurstofsensoren, die

met precies de juiste zuurstoftoevoer voor een maximale omzetting van de schadelijke stoffen moeten zorgen.

- 6 Leg uit hoe het komt dat de katalysator de gehele levensduur van een auto meegaat.
- 7 Geef de reactievergelijking voor het omzetten van koolstofmono-oxide in koolstofdioxide met behulp van de katalysator als er zuurstof aanwezig is..
- 8 Geef de reactievergelijking voor het omzetten van NO_2 in stikstof met behulp van de katalysator.

Bij dieselmotoren is de lucht/brandstof verhouding groter dan bij een benzine auto.

- 9 Beredeneer of het makkelijker of moeilijker is om bij dieselmotoren alle NO_x weer om te zetten in stikstofgas dan bij een benzinemotor.

Er is de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan om betere katalysatoren te vinden om de uitlaatgassen te 'de NO_x -en'. Dit betekent ontdoen van NO_x .

Eén van de oplossingen is om bij hoge temperatuur een oplossing van ureum, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, in de stroom uitlaatgassen te spuiten. Het ureum ontleedt met het water in ammoniak en koolstofdioxide.

- 10 Geef de vergelijking van de reactie waarbij ureum met water reageert.
- 11 Leg uit of de term ontleding hier juist is gebruikt.
- 12 Geef de reactievergelijking waarbij ammoniakgas het NO_2 omzet in onder andere stikstofgas.

Een deel van de Volkswagens met dieselmotoren is uitgerust met dit ureumsysteem. De autobezitters had dan eigenlijk iets moeten opvallen bij het gebruik van de auto.

- 13 Leg uit wat de autobezitters had moeten opvallen.

In het artikel wordt gegist naar de redenen waarom het bedrijf Volkswagen de deNox soms uitgeschakeld laat. Er wordt een aantal redenen genoemd.

- 14 Noem drie van deze redenen.

Weerbarstige stikstofoxides

- 1 In moleculaire stoffen worden de atomen bijeengehouden door (polaire) atoombindingen. Het zijn gassen dus tussen de moleculen zijn er geen bindingen.
- 2 Monostikstofmono-oxide; monostikstofdioxide.
- 3 NO: $7 + 8 = 15$ elektronen
NO₂: $7 + 2 \times 8 = 23$ elektronen
- 4 Bij atoombindingen wordt de binding verzorgd door elektronenparen. Bij NO en NO₂ is er steeds een oneven aantal elektronen, dus altijd één ongepaard elektron. Dat wil graag met een ander elektron een paar (binding) vormen, daardoor is het molecuul reactief.
- 5 $N_2 + O_2 \rightarrow 2 NO$
- 6 Een katalysator wordt gebruikt, maar niet verbruikt. Dus de katalysator raakt niet op.
- 7 $2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$
- 8 $2 NO_2 \rightarrow N_2 + 2 O_2$
- 9 Moeilijker omdat er nog heel veel zuurstof aanwezig is, die nog met de stikstof kan reageren. Bovendien is de temperatuur in de motor hoger dan bij een benzinemotor waardoor zich meer NO_x vormt.
- 10 $CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow CO_2 + 2 NH_3$
- 11 Nee, want het ureum *reageert* met water.
- 12 $8 NH_3 + 6 NO_2 \rightarrow 7 N_2 + 12 H_2O$
- 13 Als er ureum wordt gebruikt om te helpen met het omzetten van de stikstofoxides, moet toch regelmatig het ureum aangevuld worden.
- 14
 - Het kan ten koste gaan van het brandstofverbruik.
 - Het kan ten koste gaan van het motorvermogen.
 - Mogelijk is de katalysator is niet voldoende stabiel.

AKZONOBEL WERKT AAN BUSINESSCASE RECYCLINGFABRIEK

Klas	5hv
Subdomein	Chemische processen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Recycling, afvalverwerking, synthesesegas
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemie Magazine, september 2015



AKZONOBEL WERKT AAN BUSINESSCASE RECYCLINGFABRIEK

AkzoNobel maakt deel uit van een Nederlands samenwerkingsverband dat samen met het Canadese Enerkem onderzoekt hoe lokale afvalstromen, waaronder gemeentelijk restafval en agrarisch afval, kunnen dienen als grondstof voor chemische producten. *RD&I operations manager* Martijn van Loon van AkzoNobel is nauw betrokken bij het project. “Enerkem heeft vorig jaar in Canada een fabriek opgestart waarin het bedrijf uit huishoudelijk afval via vergassing synthesesegas maakt”, vertelt hij. “De onderneming verwerkt 100.000 ton afval per jaar, de eerste fabriek ter wereld op commerciële schaal.” Met veertien partners, waaronder afvalverwerkers, chemiebedrijven en regionale ontwikkelingsmaatschappijen, onderzoekt AkzoNobel nu of er ook zo’n fabriek in Nederland kan komen. Mogelijke locaties: Rotterdam of Delfzijl. “Eerst hebben we gekeken of er in Nederland genoeg huishoudelijk afval beschikbaar is en welke prijs hiervoor wordt betaald. Vervolgens benaderden wij partijen in de keten om de businesscase verder uit te werken”, licht Van Loon toe.

Peter Nieuwenhuizen, *RD&I-director Speciality Chemicals* van AkzoNobel, geeft aan dat de bouw van diverse factoren afhankelijk is. “De prijsontwikkeling van het afval bijvoorbeeld, en de opbrengst aan chemische producten, zoals methanol. Ook moeten we het benodigde kapitaal aantrekken voor de investering van vele tientallen miljoenen euro’s. Verder gaat het om nieuwe technologie die de nodige risico’s met zich meebrengt.”

Het bedrijf AkzoNobel onderzoekt of lokale afvalstromen kunnen dienen als grondstof voor chemische producten. Uit huishoudelijk afval wil men synthesesegas, een mengsel van CO en H₂, maken. Huishoudelijk afval bevat organische verbindingen zoals cellulose, (C₆H₁₀O₅)_n.

1 Geef de reactievergelijking van de omzetting van cellulose in synthesesegas..

De eerste stappen in het businessplan zijn vragen zoals kan er voldoende huishoudelijk afval aangeleverd worden en wat is daarvan de prijs.

2 Leg uit dat dit de juiste eerste vragen zijn.

3 Welke factoren gaan ook nog een rol spelen of de nieuwe fabriek er komt?

Synthesegas kan als brandstof dienen of als grondstof voor de vorming van een product zoals methanol.

- 4 Geef de reactievergelijking voor de verbranding van synthesegas.
- 5 Geef de reactievergelijking voor de vorming van methanol uit synthesegas.
- 6 Wat maakt methanol als grondstof zo'n gewild product?

AkzoNobel werkt aan businesscase recyclingfabriek

- 1 $(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow 6n CO + 6n H_2$.
- 2 Als er niet voldoende aanvoer van huishoudelijk afval is, wordt de fabriek nooit rendabel. En het moet ook betaalbaar blijven omdat anders de producten die de fabriek levert te duur worden.
- 3 De prijsontwikkeling van het afval, prijsontwikkeling van een product zoals methanol; prijsontwikkeling brandstoffen; of er voldoende startkapitaal komt; risico van het slagen van de nieuwe technologie.
- 4 $CO + H_2 + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2$.
- 5 $CO + 2 H_2 \rightarrow CH_3OH$.
- 6 Je kunt het als grondstof voor veel andere stoffen/producten gebruiken.

SMARTPHONE WERKT EEN WEEK OP BRANDSTOFCEL

Klas	5hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Brandstofcel, redoxreacties
Trefwoorden	Waterstof, brandstofcel, milieu
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.engineersonline.nl, 25 augustus 2015

Smartphone werkt een week op brandstofcel



De miniatuur brandstofcel van Intelligent Energy past in een bestaande iPhone 6, naast de accu.

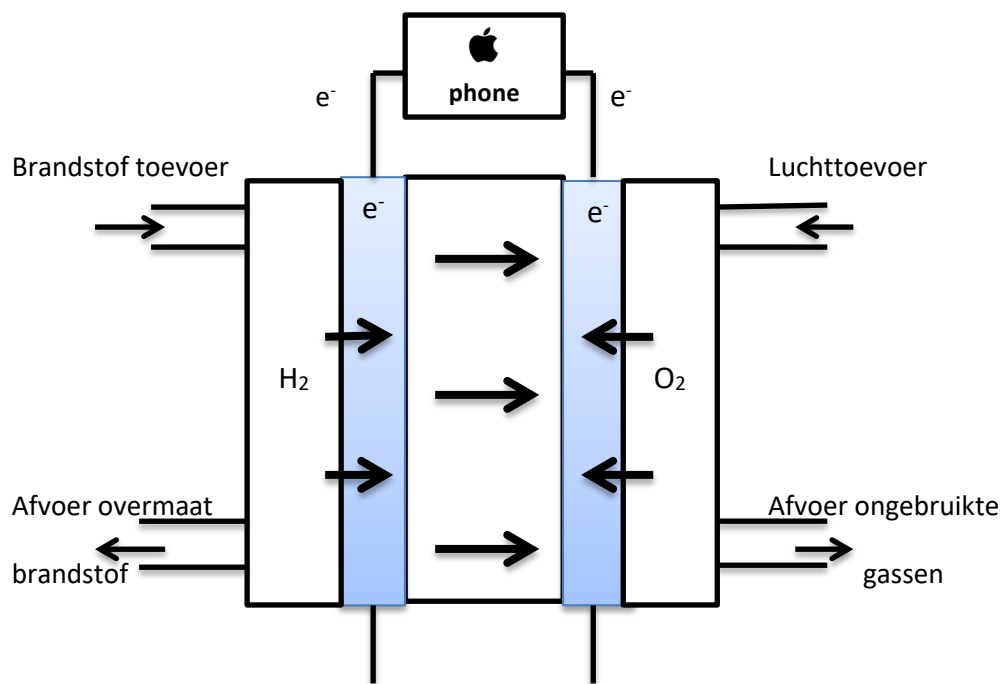
Een Brits technologiebedrijf meldt een belangrijk doorbraak op het gebied van smartphone-technologie. Het bedrijf ontwikkelde een iPhone die een week blijft werken zonder bijladen. Dat kan dank zij een ingebouwde brandstofcel.

Intelligent Energy in Loughborough (VK) maakte een werkend prototype van een iPhone 6 met zowel een herlaadbare accu als een eigen technologie waarmee elektriciteit wordt opgewekt door het combineren van waterstof en zuurstof. De 'afvalproducten' bij dat proces zijn slechts kleine hoeveelheden water en warmte.

Het bedrijf heeft de brandstofcel ingebouwd in de iPhone 6 zonder dat er iets aan de grootte of de vorm van het toestel is veranderd. Het enige cosmetische verschil met de gangbare telefoon zijn ventilatiegaatjes, zodat de minuscule hoeveelheid waterdamp kan ontsnappen.

Op het prototype van de iPhone met brandstofcel, dat werd getoond aan de Britse krant The Telegraph, wordt het waterstofgas bijgevuld via een aangepaste hoofdtelefoonaansluiting. Voor commerciële introductie wil het bedrijf nog een wegwerp-cartridge ontwikkelen die in de telefoon past en die genoeg waterstof bevat voor een week normaal gebruik.

De *brandstofcel* is een bijzonder soort elektrochemische cel is. In de brandstofcel reageren waterstof en zuurstof elk aan een andere elektrode. In figuur 1 is een schematische tekening van de brandstofcel weergegeven.



Figuur 1 Schematische tekening brandstofcel

- 1 Neem de schematische tekening van figuur 1 over en geef daarin aan:
 - hoe de elektronenstroom loopt bij een werkende cel.
 - welke elektrode de positieve pool is en welke de negatieve pool.
 - geef aan waar in de tekening het elektrolyt zich bevindt.
- 2 Noteer voor elke elektrode de halfreactie die er optreedt tijdens stroomlevering.
- 3 Leg uit welke stof in de brandstofcel de oxidator is en welke de reductor.
- 4 Stel de vergelijking op van de totaalreactie.
- 5 Zoek in Binas tabel 48 de standaard electrode potentiaal (V_0) op bij de halfreacties van vraag 2 en noteer deze achter de juiste halfreactie.
- 6 Bereken de bronspanning (V_{bron}) voor deze brandstofcel cel onder standaardomstandigheden.

Het prototype van de iPhone 6 is uitgevoerd met zowel een herlaadbare accu als een brandstofcel. Een “normale” iPhone 6 heeft een accu die een spanning levert van 3,8V. Stel dat je de iPhone alleen met brandstofcellen wilt uitvoeren.

- 7 Laat met een berekening zien hoeveel brandstofcellen je dan nodig zou hebben. (Rond de uitkomst af op een geheel getal.)
- 8 Hoe moeten deze brandstofcellen geschakeld worden?

Afvalproducten bij het proces in de cel zijn slechts kleine hoeveelheden water en warmte. Toch zijn er ook nadelen voor het gebruik van dit type brandstofcel als accu te bedenken, bijvoorbeeld het gevaar van het gebruik van waterstofgas.

- 9 Leg uit welk gevaar het gebruik van waterstofgas in een brandstofcel oplevert.

Waterstofgas moet gemaakt worden. Dit wordt vaak gedaan door elektrolyse van water.

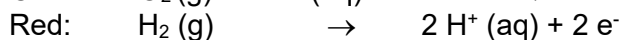
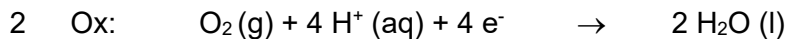
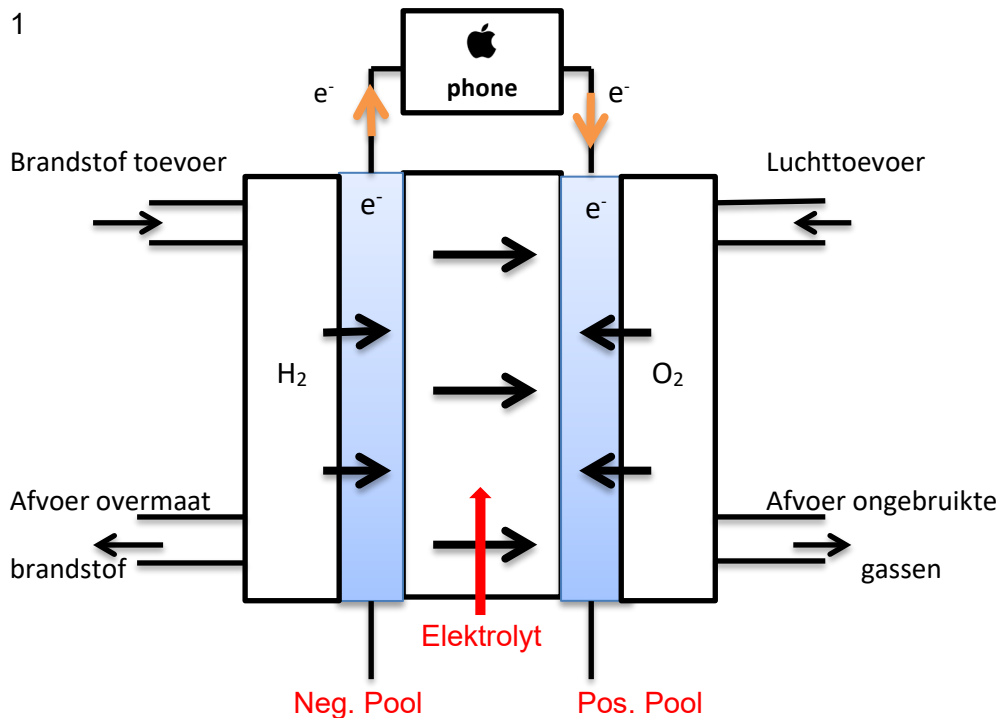
- 10 Wat is elektrolyse voor type proces?

Uit het antwoord dat je bij vraag 11 hebt gegeven kun je een nadeel halen voor het milieu met betrekking tot het gebruik van waterstof in een brandstofcel.

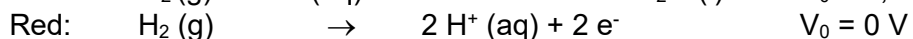
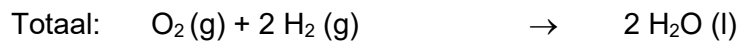
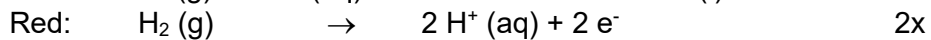
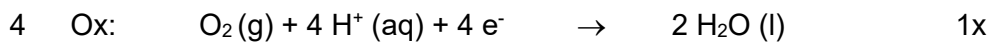
- 11 Welk nadeel zal bedoeld worden?
- 12 Hoe zou je dit nadeel kunnen vermijden?

Uitwerkingen:

1



3 Oxidator: zuurstof want neemt elektronen op. Reductor: waterstof want staat elektronen af.



6 $V_{\text{bron}} = 1,23 - 0 = 1,23 V$

7 $V = 3,8 V$, dus $3,8 / 1,23 = 3,1$ is afgerond 3 brandstofcellen nodig, maar in praktijk zal 4 beter werken.

8 De brandstofcellen moeten dan in serie geschakeld worden.

9 Accu van brandstofcellen mag zeker geen waterstof lekken. Waterstof is zeer brandbaar en bij de juiste verhouding van waterstof en zuurstof explosief.

10 Elektrolyse is een ontledingsreactie met behulp van elektriciteit.

11 Voor de elektrolyse is elektriciteit nodig en dus koolstofdioxide uitstoot in het milieu als er geen alternatief opgewekte energie gebruikt wordt..

12 Gebruik een duurzame energiebron bij de elektrolyse.

LANCERING STUDENTENRAKET TU DELFT MISLUKT

Klas	5 v
Subdomein	Reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Redoxreacties, energie
Trefwoorden	Raketten, sorbitol, lachgas
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.volkskrant.nl, 15 oktober 2015

Lancering studentenraket TU Delft mislukt

De lancering van de zelfgebouwde raket door leden van Delft Aerospace Rocket Engineering, is mislukt. Op het moment dat de raket het lanceerplatform in Zuid-Spanje moest verlaten, haperde de ontsteker, waardoor de motor niet ontbrandde.



Door: Bard van de Weijer

De Stratos II⁺ raket moest vanmiddag een hoogte bereiken van 50 kilometer. Dat is halverwege de 'officiële' grens waar de ruimte begint. Het oude record staat op 12,5 kilometer en is ook in handen van de Delftenaren.

Of de studenten de komende dagen een nieuwe poging wagen, is nog niet bekend. Het team gaat onderzoeken waarom de ontsteker niet goed heeft gewerkt. (...)

Zoetjesraket

Stratos II is een raket van het type waarvoor ze bij 'echte' ruimtevaartorganisaties bewondering hebben. De zelfontwikkelde aandrijving is hybride; de brandstof is zowel vast als gasvormig. Dat gas is distikstofmonoxide, ook wel bekend als lachgas, dat onder druk in vloeibare vorm in een aluminium pijp van ruim 4 meter wordt bewaard. Het deel boven in de tank wordt gasvormig en stroomt via een leiding en de bewuste gasklep naar de verbrandingskamer onder in de raket. Daar zit de vaste brandstof, die bestaat uit paraffine, aluminiumpoeder en koffievoetjes.

Het betreft sorbitol, het spul waarmee je koffie zoet maakt. Mensen lopen er slecht op (daarom worden we er niet dik van), maar er zit wel degelijk veel energie in. Energie waar een raketmotor lekker op draait. Zodra het lachgas (N₂O) de verbrandingskamer instroomt, dient de zuurstof uit het gas als oxidator voor de verbranding. (...)

Onder het kopje “Zoetjesraket” staan in het artikel de ingrediënten die gebruikt worden om door reactie met elkaar de stuwkracht van de raket te leveren. In het artikel wordt gesproken over koffievoetjes als onderdeel van de brandstof van de raket. In koffievoetjes is de werkzame stof sorbitol aanwezig.

- 1 Leg uit, aan de hand van een gegeven in het artikel, of sorbitol in de betreffende reactie als reductor of als oxidator reageert.

De molecuulformule van sorbitol is $C_6H_{14}O_6$. Bij de halfreactie van sorbitol ontstaan uitsluitend CO_2 en H^+ -ionen.

- 2 Stel de halfreactie op voor de omzetting van sorbitol in neutraal milieu.

In het artikel staat dat in de verbrandingskamer sorbitol met lachgas (N_2O) reageert.

- 3 Zoek de halfreactie van lachgas in zuur milieu op in Binas. Noteer deze halfreactie en pas hem vervolgens aan voor een halfreactie in neutraal milieu.
- 4 Stel uit de beide halfreacties (antwoord 2 en 3 (neutraal milieu)) de vergelijking voor de totaalreactie op tussen sorbitol en lachgas.
(Als je bij vraag 3 geen antwoord hebt gevonden, gebruik dan de halfreactie van lachgas in zuur milieu zoals in Binas vermeld staat.)

Om de raket op een hoogte van 50 km te krijgen is veel energie nodig. Bij de reactie tussen sorbitol en lachgas moet dus zeer veel energie vrijkomen.

- 5 Bepaal de energieverandering ΔE van de reactie tussen sorbitol en lachgas. Ga er hierbij van uit dat alle producten in gasvormige toestand ontstaan.
Gegeven: Vormingswarmte van sorbitol = $-13,537 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$.

In de tekst staat dat er ook nog een metaal aanwezig is in de brandstof. Dit metaal levert ook een reactie op met het lachgas.

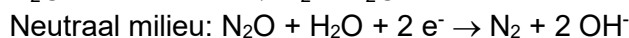
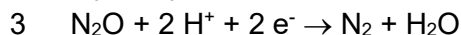
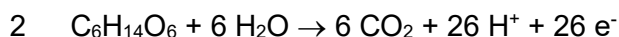
- 6 Geef de redoxreactie tussen lachgas en het betreffende metaal in neutraal milieu.
(Indien je geen antwoord hebt op vraag 3, gebruik de halfreactie van lachgas in zuur milieu.)

In veel raketten wordt zuurstof gebruikt om te reageren met de brandstof. In deze raket wordt echter lachgas gebruikt.

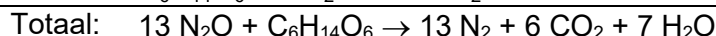
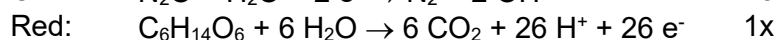
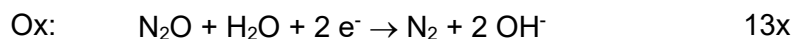
- 7 Leg uit waarom lachgas een betere keuze is voor de verbranding van sorbitol dan zuivere zuurstof. Gebruik in je antwoord de vormingswarmte van lachgas.

Lancering studentenraket TU Delft mislukt

- 1 Sorbitol reageert als reductor. In de tekst staat namelijk dat N_2O wordt gebruikt als oxidator.

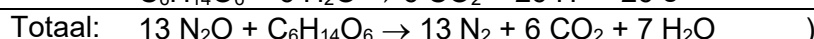
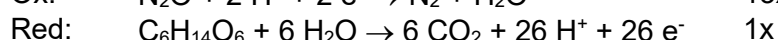
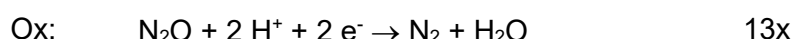


- 4 Halfreactie neutraal milieu



(Er wordt 26 H^+ en 26 OH^- omgezet in 26 H_2O . Voor de reactiepijl staan $13 + 6 = 19$ H_2O , dus blijven er na de reactiepijl $26 - 19 = 7 \text{H}_2\text{O}$ over).

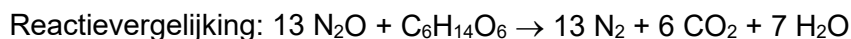
(halfreactie zuur milieu:



- 5 $\Delta E_r^0 = \Delta E_{f,\text{producten}}^0 - \Delta E_{f,\text{reactanten}}^0$

Gegevens:

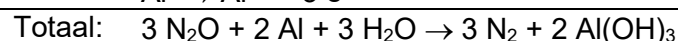
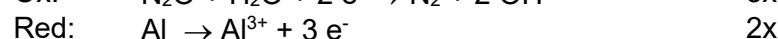
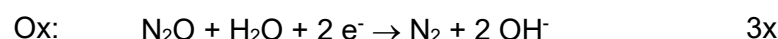
Stof	ΔE_f^0 (J mol ⁻¹)
N_2O	$0,816 \times 10^5$
$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$	$-13,537 \times 10^5$
N_2	0
CO_2	$-3,935 \times 10^5$
H_2O (g)	$-2,52 \times 10^5$



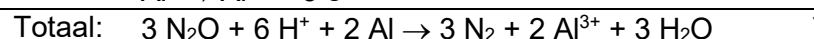
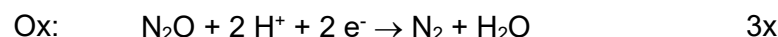
$$\Delta E_r^0 = 13 \cdot \Delta E_f^0(\text{N}_2) + 6 \cdot \Delta E_f^0(\text{CO}_2) + 7 \cdot \Delta E_f^0(\text{H}_2\text{O}) - (13 \cdot \Delta E_f^0(\text{N}_2\text{O}) + \Delta E_f^0(\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6))$$

$$\Delta E = (0 + 6 \cdot -3,935 + 7 \cdot -2,52 - (13 \cdot 0,816 - 13,537)) \cdot 10^5 = -38,32 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$$

- 6 Halfreactie neutraal milieu:

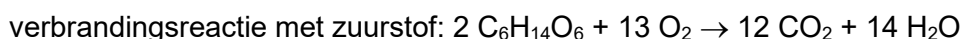


(Halfreactie zuur milieu:



- 7

De



Voor beide verbrandingen geldt: 1 mol $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6 \equiv 6 \text{mol CO}_2 \equiv 7 \text{mol H}_2\text{O}$. Dat maakt dus geen verschil uit.

De vormingswarmte van zuurstof is 0 J mol^{-1} . Die van lachgas (N_2O) is $0,816 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. Dit betekent dat er $13 \times 0,816 \times 10^5 = 1,06 \times 10^6 \text{ J mol}^{-1}$ minder energie vrijkomt als je zuurstof gebruikt in plaats van lachgas.

Het lachgas zorgt dus voor een extra hoeveelheid energie die vrijkomt in de reactie.

Opmerking: vraag 4 en 5 zijn gekoppeld. Eventueel kunt u vraag 4 vervangen door:

Leid op basis van de beide halfreacties af dat de vergelijking voor de totaalreactie tussen sorbitol en lachgas is: $13 \text{ N}_2\text{O} + \text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6 \rightarrow 13 \text{ N}_2 + 6 \text{ CO}_2 + 7 \text{ H}_2\text{O}$

Artikel:

<http://www.volkskrant.nl/wetenschap/lancering-studentenraket-tu-delft-mislukt~a4163853/>

Lancering: De lancering is op 20 oktober 2015 geslaagd:

<https://www.youtube.com/watch?v=lcXskiv1iyg>

Bron artikel: <http://www.tudelft.nl/nl/actueel/laatste-nieuws/artikel/detail/missie-geslaagd-studentraket-bereikt-215-km-hoogte/>, zie hierna. Ook dit artikel kunt u gebruiken.

Missie geslaagd: studentenraket bereikt 21,5 km hoogte

20 oktober 2015



Het was een dag gespannen wachten op de goede windrichting, maar vanmiddag om 16:33 u. schoot ie omhoog vanaf een basis aan de Spaanse zuidkust. De raket Stratos-II+, gebouwd door een groep studenten van de TU Delft bereikte een hoogte van 21.457 m. Daarmee verpulverden ze hun eigen Europese en studenten hoogterecord van 12.5 km.

De raket had drie experimenten aan boord en is helemaal door de studenten zelf ontwikkeld en gebouwd, inclusief het belangrijkste onderdeel: de raketmotor. Deze is 'hybride'. De brandstofkern bestaat uit een mengsel van aluminiumpoeder, kaarsvet en sorbitol (koffiezoetjes), waar onder hoge druk lachgas doorheen geblazen wordt. Na de succesvolle lancering kunnen de studenten zich helemaal gaan richten op hun volgende, en ultieme doel: als eerste studentengroep met een raket de grens van de ruimte halen (100 km).

Hoogterecord

In 2009 lanceerden de studenten al Stratos I. Deze voorganger bereikte toen een hoogte van 12,5 km, een Europees hoogterecord voor zelfbouwruketten. In oktober vorig jaar werd er een poging ondernomen om het record opnieuw aan te scherpen met de Stratos II, maar dat lukte niet. Een van de veiligheidssystemen, het 'Flight Abort System' haperde en een lekkende oxidatortank gooide op het laatste moment roet in het eten. "Gelukkig heeft dit ons de tijd gegeven om extra testen uit te voeren, en waar nodig verbeteringen aan te brengen" aldus projectleider Jeroen Wink van DARE. In de week van 13 oktober gaat het studententeam DARE opnieuw een poging wagen op een lanceerbasis in Zuid-Spanje, met een verbeterde raket, de Stratos II+.

Verbeteringen

De raket heeft een aantal grote verbeteringen doorgemaakt ten opzichte van vorig jaar. Het Flight Abort System is volledig opnieuw ontworpen, om er zeker van te zijn dat de vlucht niet onnodig afgebroken zal worden. Daarnaast is het onderdeel waar vorig jaar het lek ontstond verbeterd. "We hebben bovendien de ergonomie van de raket verbeterd, waardoor we een stuk makkelijker onderdelen kunnen verwisselen. De vorige keer hadden we het

probleem dat je ook bij moderne auto's ziet: om een koplampje te vervangen moet soms de hele bumper eraf. Zoiets hadden we ook bij Stratos-II, maar nu zijn de onderdelen veel toegankelijker" aldus Ralph Huijsman, teamlid en student luchtvaart- en ruimtevaarttechniek.

Hybride raketmotor

Ook de raketmotor zelf is opnieuw onder de loep genomen. De motor levert genoeg stuwkracht om een kleine auto te lanceren, en is door de studenten zelf ontworpen, gebouwd en getest. De raketmotor werd dit jaar vier keer ontstoken in een bunker van TNO in Rijswijk, terwijl deze aan de grond is verankerd. Het gebruikte motortype is een hybride, een tussenvorm tussen een raket met vaste brandstof en een raket met vloeibare brandstof. "Het lawaai van de motor is overweldigend" vertelt Jeroen Wink. "Het is fantastisch om dan je eigen raket te zien vliegen."

Lachgas, kaarsvet en koffiezoetjes

De hybride raketmotor van de Stratos II+ heeft een verbrandingskamer met vaste brandstof waar een oxidator (lachgas) in gespoten wordt. Als stuwstof van de motor gebruiken de studenten een opvallende brandstofcombinatie met ingrediënten die ook te vinden zijn in koffiezoetjes en kaarsvet. In combinatie met het lachgas levert deze opmerkelijke samenstelling, een efficiënte voortstuwing. De raket ging 2545 km/h, ongeveer twee keer de snelheid van het geluid.

Experimenten

Stratos II+ neemt drie experimenten mee. Het belangrijkste is een radioastronomieexperiment van de Radboud Universiteit, dat meet hoe ver radiostraling uit de ruimte in de atmosfeer doordringt. Daarnaast vliegt er een experiment mee dat positie- en snelheidsbepaling zonder GPS uitvoert. Mede met dit experiment kan de hoogte van de vlucht bepaald worden. Tot slot is er een technisch experiment aan boord dat beelden vanuit de raket live naar de grond stuurt.