

## OOK KNSB MAAKT MEDAILLES VAN MOBIELTJES

|                          |                                                                                        |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Klas</i>              | 3 hv                                                                                   |
| <i>Subdomein</i>         | Bindingen, structuren en eigenschappen                                                 |
| <i>Vaardigheid</i>       | Informatie                                                                             |
| <i>Specificaties</i>     | Stofeigenschappen                                                                      |
| <i>Trefwoorden</i>       | Metalen, edele, gehalte, massa, berekeningen, medailles, goud, zilver, brons, recyclen |
| <i>Vaardigheidsvraag</i> | Informatieverwerkingsvraag                                                             |

*www.bd.nl, 16 oktober 2017*



*De medailles van de Olympische Spelen in 2016 in Rio. © www.olympic.org*

## Ook KNSB maakt medailles van mobieltjes

**Schaatsbond KNSB gaat oude mobieltjes recyclen tot schaatsmedailles. Daarmee volgt de bond het voorbeeld van het Internationaal Olympisch Comité (IOC) dat op de Spelen van Rio al medailles uitdeelde die voor 30 procent uit gerecycleerd materiaal bestonden.**

*Marieke de Ruijter*

Tijdens drie grote schaatsevenementen zullen deze winter inzamelingsacties worden gehouden. Bezoekers kunnen hun oude mobiele telefoon inleveren. De edelmetalen die daarin verwerkt zijn worden gerecycled tot gouden, zilveren en bronzen medailles. „Onze schaatsfans kunnen straks zeggen dat de Nederlands kampioen een gouden medaille krijgt omgehangen, die is gemaakt van hun oude mobieltjes”, meldde Jeroen Kraaij, manager commerciële zaken van de KNSB.

Bij de NK afstanden, van 27 tot en met 29 oktober in Thialf, gaat de actie van start. Daarnaast kunnen mensen hun oude telefoons inleveren in alle KPN-winkels. Onder de deelnemers worden prijzen verloot. De eerste gerecyclede medailles worden uitgereikt tijdens de NK allround & sprint in januari. Op de Spelen van Tokio 2020 zijn de medailles ook gemaakt van edelmetalen uit gerecyclede mobiele telefoons.

De schaatsbond KNSB gaat oude mobieltjes recyclen tot schaatsmedailles. Onze schaatsfans kunnen straks zeggen dat de Nederlands kampioen een gouden medaille krijgt omgehangen, die is gemaakt van hun oude mobieltjes”, zegt Jeroen Kraaij, manager commerciële zaken van de KNSB. Hoe mooi is dat?

- 1 Waarom is het belangrijk, in het kader van duurzaamheid, dat mobieltjes gerecycled worden?

#### *Metalen*

In mobieltjes zitten de metalen goud, zilver, koper en tin om de elektronische onderdelen met elkaar te verbinden.

- 2 Noteer de symbolen van deze vier metalen.
- 3 Welke stofeigenschap van metalen is van belang voor het gebruik als verbinding tussen de elektronische onderdelen?

In het artikel staat “De edelmetalen die daarin verwerkt zijn ....”

- 4 Welke van de genoemde metalen uit de mobieltjes zijn edelmetalen?
- 5 Wat is een belangrijke stofeigenschap van edelmetalen?

#### *Mobieltjes*

Uit 1000 kg mobieltjes kun je 140 kg koper, 3 kg zilver, 300 gram goud en 3 gram platina winnen.

- 6 Noteer het symbool van platina.

Één iPhone bevat 0,034 g goud en 0,34 gram zilver.

- 7 Bereken hoeveel iPhones nodig zijn om na verwerking 300 gram goud te leveren.

In één iPhone zit 0,00034 g platina en 16 g koper.

In tabel 1 staan de huidige prijzen van diverse metalen

**Tabel 1**

| <i>metaal</i>       | <i>Goud</i> | <i>Zilver</i> | <i>Platina</i> | <i>Koper</i> |
|---------------------|-------------|---------------|----------------|--------------|
| <i>Prijs (€/kg)</i> | 34.800,-    | 463,-         | 25.200,-       | 4,40         |

- 8 Bereken welk bedrag één iPhone opbrengt als je de vier aanwezige metalen zuiver zou kunnen verkopen.

#### *Medailles*

Bij de olympische spelen zijn er regels voor de samenstelling van de medailles.

Een medaille weegt minimaal 300 gram, heeft een minimale diameter van 6 cm en een minimale dikte van 0,3 cm. Bij de Olympische winterspelen in 2018 in PyeongChang, Zuid Korea is de massa van de gouden medaille 586 g, de zilveren weegt 580 g en de bronzen 493 g.

Bij de gouden medailles is het niet alles goud wat er blinkt: een gouden medaille is niet volledig van goud maar bestaat voor het grootste deel uit zilver. Over het zilver zit een dun laagje goud dat bij alle gouden olympische medailles een massa van 6 gram heeft.

- 9 Leg uit waarom men geen medailles uit zal reiken die voor 100 % uit goud bestaan.

In tabel 2 staan de gegevens over de uitgereikte medailles van de Olympische Zomerspelen in Rio de Janeiro, Brazilië.

**Tabel 2**

|                          | <i>Massa medaille<br/>(gram)</i> | <i>Samenstelling medailles Rio de Janeiro<br/>(massaprocent)</i> |              |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|
| <i>Gouden medaille</i>   | 500                              | Zilver : 98,8 %                                                  | Goud: 6 gram |
| <i>Zilveren medaille</i> | 500                              | Zilver: 100 %                                                    |              |
| <i>Bronzen medaille</i>  | 500                              | Koper: 95 %                                                      | Zink: 5 %    |

- 10 Leg uit dat de gebruikte hoeveelheid goud van 6 gram voor een gouden medaille niet altijd hetzelfde percentage goud oplevert voor een medaille.
- 11 Bereken wat de verkoop van één gouden medaille gewonnen in Rio de Janeiro zou opleveren.

Uit informatie van de KNSB in tabel 3 blijkt dat er in totaal 12 medailles van elke 'kleur' te verdienen zijn tijdens de Nederlandse schaatskampioenschappen in Heerenveen in 2018. Hierbij gaan we ervan uit dat er geen medailles van dezelfde kleur bij een wedstrijd dubbel worden uitgereikt.

**Tabel 3**

|                        |                  |            |                                                                                             |
|------------------------|------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>KPN NK allround</b> | 27 - 28 jan 2018 | Heerenveen | Dames: 500m, 1500m, 3000m, 5000m (allround)<br>Heren: 500m, 1500m, 5000m, 10000m (allround) |
| <b>KPN NK sprint</b>   |                  |            | Dames/Heren: 500m (2x), 1000m (2x) (sprint)                                                 |

Waarschijnlijk zijn de medailles van de KNSB wat minder zwaar dan die van de Olympische Spelen.

- 12 Bereken hoeveel kg mobieltjes de KNSB nodig heeft als ze medailles van 200 g laat maken met de samenstelling van de medailles van Rio de Janeiro.
- 13 Leg uit of het inzamelen van de benodigde mobieltjes door de KNSB realiseerbaar is in de tijd tot de kampioenschappen.

Ook KNSB maakt medailles van mobieltjes

- 1 Men spreekt geen ertsvoorraden aan, maar hergebruikt kostbaar materiaal.
- 2 Au, Ag, Cu, Sn.
- 3 Elektrische geleidbaarheid.
- 4 Goud en zilver.
- 5 Edelmetalen worden niet of in mindere mate aangetast door stoffen in de lucht.
- 6 Pt
- 7 Aantal iPhones in 1000 kg = massa goud/massa goud in één iPhone =  $300/0,034 = 8822$  iPhones.

8

| metaal                                               | Goud                        | Zilver                     | Platina                       | Koper                                 |
|------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Prijs (€/kg)                                         | 34.800,-                    | 463,-                      | 25.200,-                      | 4,40                                  |
| Prijs per g (€)                                      | 34,80                       | 0,463                      | 25,20                         | $4,40 \cdot 10^{-3}$                  |
| Massa in een Iphone                                  | 0,034                       | 0,34                       | 0,00034                       | 16                                    |
| Prijs in één IPone (€)                               | $0,034 \times 34,80 = 1,18$ | $0,34 \times 0,463 = 0,16$ | $0,00034 \times 25,2 = 0,009$ | $16 \times 4,40 \cdot 10^{-3} = 0,07$ |
| Totale prijs = $1,18 + 0,16 + 0,009 + 0,07 = € 1,42$ |                             |                            |                               |                                       |

- 9 Stel een medaille van 500 g: kosten  $€34.800/2 = € 17.400$ . De kosten voor de medailles zijn dan erg groot.
- 10 De hoeveelheid goud is altijd 6 gram. Als de medaille echter een grotere massa heeft, wordt het massapercentage goud kleiner.
- 11 98,8 % zilver:  $0,988 \times 500 = 494$  g zilver  $\equiv 494 \times 0,463 = € 228,72$ . 6 g goud levert op  $6 \times 34,80 = € 208,80$ . De gouden medaille levert op:  $228,72 + 208,80 = € 437,52$ .
- 12

| medaille | Nodig voor 1 medaille                           | Nodig voor 12 medailles                                          |
|----------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Goud     | 6 g goud<br>$0,988 \times 200 = 197,6$ g zilver | $12 \times 6 = 72$ g goud<br>$12 \times 197,6 = 2371,2$ g zilver |
| Zilver   | 200 g zilver                                    | $12 \times 200 = 2400$ g zilver                                  |
| Brons    | $0,95 \times 200 = 190$ g koper                 | $12 \times 190$ g koper = 2280 g koper                           |

(de mobiele telefoons leveren geen zink)

Gegeven uit de opgave onder kopje mobieltjes: Uit 1000 kg mobieltjes kun je 140 kg koper, 3 kg zilver en 300 gram goud en 3 gram platina winnen.

Dus nodig:

- Voor het goud:  $72 \text{ g} \equiv (72/300) \times 1000 = 240$  kg mobieltjes
- Totaal aan zilver:  $2400 + 2371,2 = 4771,2 \text{ g} = 4,7712 \text{ kg} \equiv (4,771,2/3) \times 1000 = 1590$  kg mobieltjes.
- $2280 \text{ g koper} = 2,28 \text{ kg koper} \equiv (2,28/140) \times 1000 = 16$  kg mobieltjes.

De KNSB zal dus minimaal 1590 kg mobieltjes moeten inzamelen om voldoende zilver voor de medailles te hebben. De hoeveelheid goud en koper kan men ook uit die mobieltjes halen.

- 13 De KNSB heeft 1590 kg mobieltjes nodig. Uit het antwoord van vraag 7: in 1000 kg zitten 8822 iPhones. Er zouden dan  $(1590/1000) \times 8822 = 14027$  iPhones nodig zijn. Dat is een flink aantal om in een paar maanden ( in dit geval 4 maanden tussen publicatie en de wedstrijden) te verzamelen.

**Opmerking:** Op pagina 6 staat informatie over de medailles van de Winterspelen in PyeongChang. Eventueel kunt u in de opgave die gegevens gebruiken in plaats van die uit Rio de Janeiro

**Artikel:** <https://www.bd.nl/schaatsen/ook-knsb-maakt-medailles-van-mobieltjes~a0bedf4e/>  
Extra artikel zie pag 7

### **Prijzen metalen:**

De actuele gegevens van vraag 8 kunt u aanpassen door de volgende sites te raadplegen:

<https://www.amsterdamgold.com/info/goudprijs-en-zilverprijs/>

<https://oudkoperprijs.net/oud-koper-prijs.html>

### **Samenstelling medailles**

<https://sport.infonu.nl/kampioenschappen/127104-olympische-spelen-hoe-goud-is-een-gouden-medaille.html>

#### **Olympische Medaille - Samenstelling en vorm**

Elk jaar is de vorm en de samenstelling van een Olympische Medaille weer anders. Ook het gewicht verschilt. De vorm van de medaille is meestal aangepast op de plaats waar het evenement wordt georganiseerd. Slechts een aantal punten moeten worden gevolgd bij de productie van Olympische medailles. Deze regels zijn vastgesteld door het Internationaal Olympisch Comité. Daarin staat vastgesteld dat een gouden medaille van zilver moet zijn, omringd door 6 gram goud. Het percentage goud in de gouden medaille wordt dus kleiner, naarmate de medaille in gewicht toeneemt.

#### **Gouden medaille Londen 2012 - Percentage goud is 1,34%**

De gouden medaille van de Olympische Spelen in Londen was de duurste in tijden. Dit kwam niet alleen doordat de medailles veel zwaarder waren; maar ook omdat de prijzen van edelmetalen de periode ervoor zwaar was gestegen. De waarde van de medaille werd geschat op 520 euro.

#### **Samenstelling van de gouden medaille - Londen 2012**

- 92,5% zilver
- 6,16% brons
- 1,34% goud

#### **Gouden medaille Sotsji 2014 - Percentage goud is 1,13%**

De Olympische Medaille in Sotsji 2014 weegt 531 gram. Slechts 6 gram (het minimum aantal goud in een gouden medaille) bestaat uit goud. Het overige deel, 525 gram, bestaat uit zilver. De waarde van de medaille wordt geschat op 415 euro. Dit betekent dat de waarde van de medaille ongeveer 20 procent is achteruit gegaan op de vorige spelen.

#### **Samenstelling van de gouden medaille - Sotsji 2014**

- 98,87% zilver
- 1,13% goud

#### **Zilveren medaille Sotsji 2014 - Percentage zilver is 100%**

Het gehalte aan zilver op van een zilveren medaille in Sotsji 2014 was wel zoals te verwachten; de zilveren medaille bestaat namelijk enkel uit zilver. De waarde wordt hiermee geschat op zo'n 235 euro.

#### **Bronzen medaille Sotsji 2014**

Een bronzen medaille is een legering van de elementen koper, zink en tin. De waarde is hiermee nog geen €2,50.

### Waardevolle medaille

Waar het natuurlijk om gaat is de eer die je kunt behalen met het krijgen van een Olympisch medaille. Voor even ben je de beste in de wereld met jouw sport. Sporters trainen keihard voor het behalen van een medaille, daarom is het moment dat je een medaille bemachtigt natuurlijk onbetaalbaar.

<https://www.olympic.org/pyeongchang-2018-medals>

## PyeongChang 2018 Medals



The medals, which range in weight from 586 grams for the gold medal to 493 grams for the bronze, reflect the traditions and culture of the host nation. Their design was inspired by the texture of tree trunks, with the front bearing the Olympic rings and dynamic diagonal lines that reflect both the history of the Olympics and the determination of the participants. On the reverse, meanwhile, are stated the discipline, event and the PyeongChang 2018 emblem. In total, 259 sets of the medals have been made.

They are the work of celebrated South Korean designer Lee Suk-woo, who incorporated Hangeul – the Korean alphabet and the foundation of Korean culture – into their design through a series of consonants symbolising the effort of athletes from around the world, who will come together as one to compete at PyeongChang 2018.

The ribbon from which the medal hangs is an equally important part of the design and has been created using gapsa, a traditional South Korean fabric. The light teal and light red ribbon from which the medals hang is also embroidered with Hangeul patterns and other designs.

**Composition:** Gold : a silver medal with a purity of 99.9% plated with 6 g of gold. Silver: a silver medal with a purity of 99.9%. Bronze: a copper medal (Cu90-Zn10).

**Weight:** Gold: 586 g. Silver: 580 g. Bronze: 493 g.

**Diameter:** 92.5 mm

**Number of medals:** 259



© Roy Klompmaker

### **Strijden voor een gerecyclede gouden plak**

Jaap Meijers

***De edelmetalen voor de twaalf medailles van het NK Allround en Sprint op 27 en 28 januari 2018 in Thialf zijn aangeleverd door schaatsliefhebbers zelf.***

***Schaatsbond KNSB zamelde hiervoor de afgelopen maanden samen met sponsor KPN oude mobieltjes in, via de KPN-winkels en bij drie grote schaatswedstrijden.***

De ingezamelde telefoons gaan eerst naar recyclingbedrijf Coolrec. Hun fabriek in Dordrecht ontmantelt dagelijks enkele duizenden oude apparaten zoals koelkasten, wasmachines en stofzuigers, maar ook hoogwaardige elektronica zoals servers uit datacenters. Als de apparaten ontdaan zijn van schadelijke stoffen – in vakjargon heet dat depollutie – vermaalt Coolrec ze in shredders tot kleine stukjes plastic, aluminium, printplaat, glas, isolatieschuim en andere materialen. Op jaarbasis verwerkt het bedrijf meer dan 160.000 ton aan metalen en plastics.

In het geval van de telefoons moeten eerst de accu's en schermen worden verwijderd; dat gebeurt handmatig aan lopende banden. 'Dat is niet altijd even eenvoudig,' legt marketeer Ron Cramer van Coolrec uit. 'Bij veel telefoons kun je de onderdelen makkelijk loshalen, maar bij iPhones moet je ze er echt uit slopen.'

### **Net echt**

De schaatsmedailles zijn niet van massief goud; dat zou onbetaalbaar zijn. Olympische medailles worden volgens de voorschriften verguld met ten minste 6 g goud. Het basismateriaal voor zowel de gouden als de zilveren medailles is zilver. Zo weelderig hoeft het voor de KNSB allemaal niet. De schaatsmedailles zijn schijven met als basismateriaal tombak, een veelgebruikte, goedkope legering van koper en zink. Die komen in een badje te liggen van goud of zilver en krijgen zo een heel dun laagje goud. Om die badjes te vullen, zijn zo'n achtduizend telefoons nodig. Voor de bronzen medailles is geen verdere behandeling nodig, omdat tombak er al net zo uit ziet als brons.

Achtduizend mobieltjes ontmantelen kost Coolrec ruim een dag. Om de edelmetalen eruit te laten halen wordt de berg versnipperde printplaat naar het Belgische Umicore gestuurd, een van 's werelds grootste recyclingbedrijven voor edelmetalen.

Metalen van andere materialen scheiden kan hydrometallurgisch en pyrometallurgisch. Hydrometallurgisch scheiden werkt met sterke zuren, en pyrometallurgische scheiding is wat Umicore doet: door de metalen te smelten. Bij een temperatuur van 1200 °C verbranden plastics en worden metalen vloeibaar. De metalen scheiden zich vanzelf in twee lagen van koper en lood, vergelijkbaar met water en olie. In het koper zijn dan de edelmetalen opgelost; de overige metalen zitten in het nikkel en lood.

*Lees verder onder de foto*



*In afgedankte computers zitten tal van waardevolle grondstoffen*

'Urban mining' wordt het genoemd, het terugwinnen van hoogwaardige grondstoffen uit gebruikte spullen zoals mobiele telefoons. Door grondstoffen te recyclen hoeven er minder nieuwe grondstoffen uit de aarde gehaald te worden, en dat scheelt nogal. 'Om 1 g nieuw goud te verkrijgen, heb je 5.000 kg toxisch materiaal nodig en 10.000 l water', weet Cramer. 'De winning levert ook nog eens 17 ton CO<sub>2</sub>-vervuiling op. Die enkele gram goud heeft dus een enorme impact op het milieu, en dan heb ik het nog niet eens over de arbeidsomstandigheden in mijnen. Door goud terug te winnen ben je goed bezig. Alles wat wij doen is al 100 % verbetering.'

Omsmelten is ook een vervuilend proces, in de zin dat het veel energie vraagt en schadelijke stoffen uitstoot. Maar je moet het vergelijken met de winning van nieuw goud, aldus industrieel ecooloog René Kleijn van de Universiteit Leiden. 'In een mobiele telefoon zit meer goud dan in gouderts. Daarbij haal je niet alleen goud uit een telefoon, maar ook koper, zilver en andere materialen van waarde. Je blijft zitten met wat afvalstromen, maar minder dan wanneer je de hele telefoon als afval zou beschouwen.'

### **Eerlijke telefoon**

Het smelten van mobieltjes en printplaten kan niet echt schoner; dat proces is doorontwikkeld en dat is vrij basale chemie. Er is nog wel winst te behalen in hoe spullen in onze economie aan hun einde komen. Vooraan in de keten zouden producenten moeten zorgen voor apparaten die gemakkelijker te recyclen zijn, vindt Kleijn. Umicore heeft

immers het liefst schone printplaten, want batterijen en aluminium onderdelen werken verstorend in het smeltproces. Met name Apple heeft wat dat betreft een heel slecht imago, met vastgelijmde batterijen en cases die zich niet gemakkelijk uit elkaar laten halen. ‘Het moet in het ontwerp zitten dat je de batterij er gemakkelijk uit kunt halen. De Fairphone is helemaal op die leest geschoeid. Die is onder redelijke sociale omstandigheden geproduceerd en modulair opgebouwd. Je kunt onderdelen dus makkelijk vervangen of recyclen.’

Aan de andere kant van de keten zou elektronisch afval beter gescheiden ingezameld moeten worden. Met 24 kg per persoon per jaar is Nederland de vierde grootste producent van ‘e-waste’ en een groot deel daarvan komt nog terecht bij het restafval. Het CBS schatte in 2012 dat zo in totaal voor € 73 miljoen aan kostbare grondstoffen verloren gaat. Nienke Wind, evenementencoördinator van de KNSB: ‘Ik merk zeker dat ons project leeft, maar ook dat het nog niet zo bij mensen in de natuur zit om oude telefoons naar schaatstoernooien mee te nemen. Ik heb er zelf ook nog steeds een paar in de kast liggen, terwijl ik wél naar die toernooien ben geweest.’ Cramer ziet hetzelfde: ‘Ik heb twee volwassen dochters. Nou, die hebben ook elk drie telefoons nog in de la liggen. Zelfs met zo’n pa bij een recyclingbedrijf. Er is heel veel potentieel, maar de bereidheid moet nog wat meer komen.’



Edelmetaal is natuurlijk niet het enige dat hergebruikt kan worden. De linten die de winnende schaatsters om hun nek krijgen zijn gemaakt door een bedrijf dat promotiemateriaal recycleert – in dit geval zijn het oude Coolrec-vlaggen – en de doosjes waar de medailles in zitten zijn 3d-geprint, met het biologisch afbreekbare plastic PLA. Toch weet de KNSB nog niet zeker of het bij meer schaatstoernooien medailles uit gerecycled materiaal gaat uitreiken. Volgens Wind moet deze pilot aantonen of het lukt om genoeg mobieltjes in te zamelen.

Coolrec levert graag het nodige materiaal, zegt Cramer. ‘Zeker als je de edelmetalen ook uit andere afgedankte materialen wil halen, bijvoorbeeld uit hoogwaardige ict, dan kunnen we nog heel lang doorgaan.’ Gerecycled edelmetaal is er op zich genoeg. Elk jaar komt er zo’n

4.300 ton goud op de markt. Een derde daarvan is gerecycled goud, dat gewoon verkocht wordt op de wereldgoudmarkt tegen de courante goudprijs. Tijdens de vorige Olympische Zomer- én Winterspelen waren de medailles ook al gemaakt van gerecycled edelmetaal uit elektronisch afval. De organisatie van de Spelen in 2020 in Tokyo heeft ook al bekendgemaakt mobiele telefoons te gaan omsmelten.

Kleijn vindt dat de medailles voortaan altijd van hergebruikte materialen gemaakt moeten worden. 'Ik snap dat het leuk is om er een inzamelingsactie aan te koppelen. Daarmee laat je het publiek zien dat het een goed idee is om die telefoons uit de laadjes te halen. Als ze specifiek mobiele telefoons willen inzamelen voor dit doel, ja dan kan er voor dit doel schaarste optreden. Maar als de KNSB bij Umicore zou gaan vragen om goud dan zeggen ze geen nee. Er rollen daar genoeg goudstaven de fabriek uit.'

### **Appeltje voor de dorst**

In een milieujaarverslag over 2016 schreef Apple over zijn eigen inspanningen om waardevolle grondstoffen uit mobiele telefoons terug te winnen. Uit een berg van 100.000 iPhone 6-telefoons denkt Apple deze hoeveelheden materiaal te kunnen halen:

0,3 kg goud

0,4 kg platinametalen

7 kg zilver

55 kg tin

550 kg kobalt

3,5 kg wolfram

2,5 kg tantaal

Minder waardevol maar wel nuttig zijn de 1.900 kg aluminium en 800 kg koper. Deze iPhones bevatten verder 24 kg aan zeldzame aardelementen als yttrium, lanthanum, terbium, neodymium, gadolinium en praseodymium. Zulke elementen komen genoeg voor in de aardkorst, maar nagenoeg niet in geconcentreerde vorm.

De kostbare materialen terugwinnen is niet alleen belangrijk voor mens en milieu: ze raken ook op. Al het goud dat ooit boven de grond is gebracht, is bij elkaar niet meer dan een Olympisch zwembad vol. De hoeveelheid goud waarvan bekend is waar die in de grond zit, is naar schatting over twintig jaar op. Hetzelfde geldt voor zilver en zink. Nieuwe erts vinden kan nog wel, maar die naar boven halen wordt steeds moeilijker en duurder.

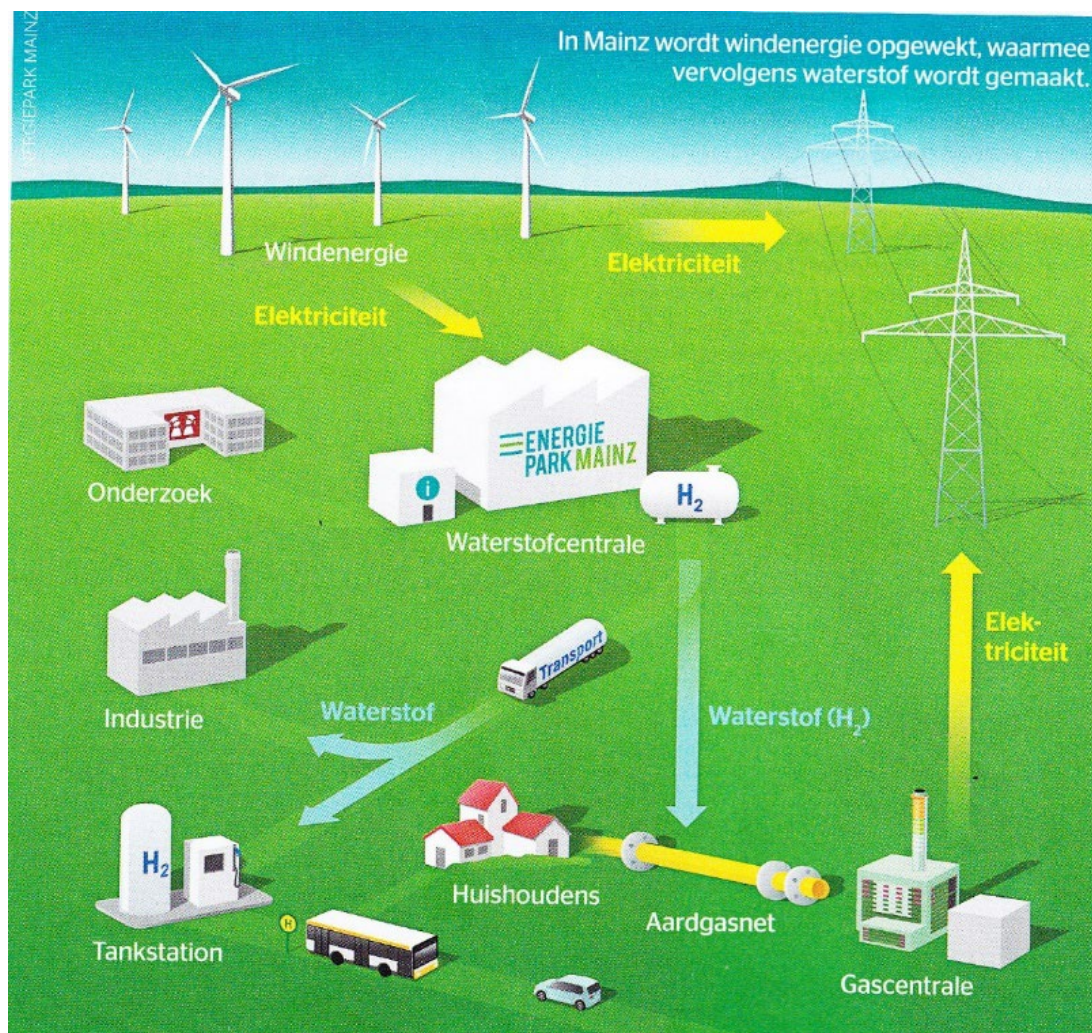
## GROEN GASSEN 1

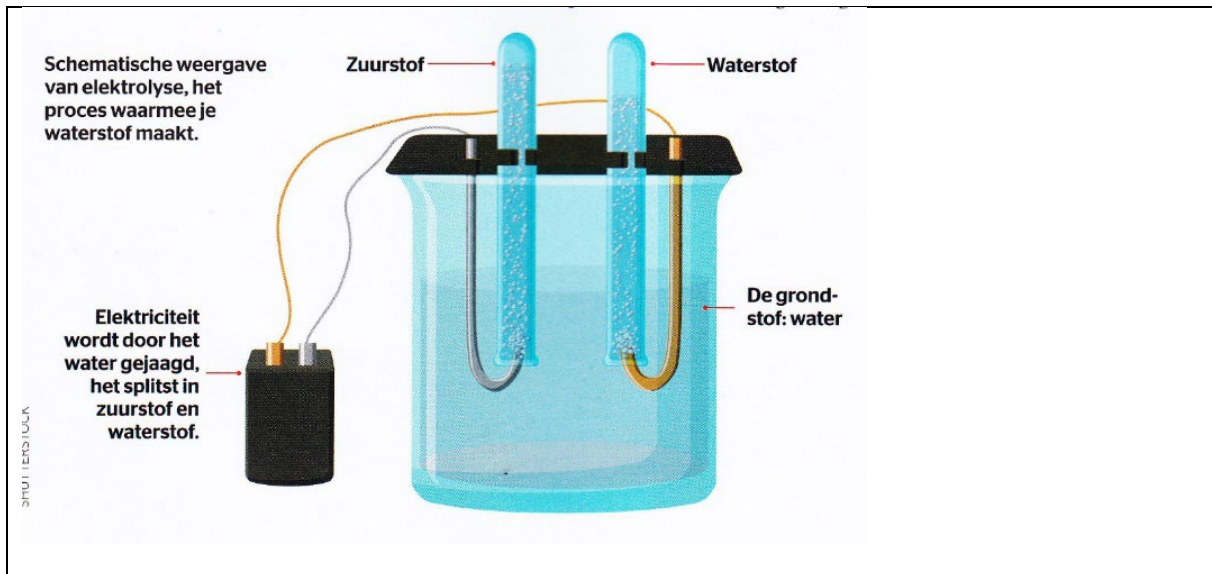
|                   |                                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------|
| Klas              | 3 hv                                                |
| Subdomein         | Processen en reacties                               |
| Vaardigheid       | Informatie                                          |
| Specificaties     | Verbrandingen                                       |
| Trefwoorden       | Waterstof, groene brandstof, elektrolyse, brandstof |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                              |

Quest, november 2017

# Groen Gas

De wereld van vandaag draait op olie, koren, gas en kernenergie. Oké, en wat biomassa, waterkracht en zonne- en windenergie. Maar de wereld van morgen? Misschien draait die wel op waterstof. Quest maakt vast een waterstofroadtrip door Duitsland.





Windenergie levert elektriciteit. Die kan aan het elektriciteitsnet worden toegevoerd of men kan er waterstof van maken.

Waterstof is een energiedrager, geen energiebron zoals bijvoorbeeld aardgas.

- 1 Leg het verschil uit tussen een energiebron en een energiedrager.

Waterstof kan gemaakt worden door elektrolyse van water.

- 2 Geef de vergelijking van de reactie die daarbij optreedt.
- 3 Leg uit of de elektrolyse van water endotherm of exotherm is.

De gevormde waterstof kan alleen groen genoemd worden als aan een bepaalde eis voldaan is.

- 4 Welke eis is dat?

De gevormde waterstof kan, zoals te zien is in de tekening, op verschillende manieren toegepast worden.

- 5 Welke manieren zijn dat?
- 6 Geef de reactievergelijking die daarbij met waterstof optreedt.
- 7 Leg uit dat hiermee een kringloop doorlopen is.

Er kan door huishoudens elektriciteit direct uit windenergie gebruikt worden of er kan elektriciteit opgewekt worden in een gascentrale.

- 8 Welk nadeel heeft het gebruik van de opwekking van elektriciteit via waterstof ten opzichte van de opwekking van elektriciteit uit windenergie?
- 9 Welk voordeel heeft het gebruik van de opwekking elektriciteit via waterstof ten opzichte van de opwekking van elektriciteit uit windenergie?

### *Groen gas* 1

- 1 Een energiebron komt in de natuur voor en er kan energie uit gewonnen worden.  
Een energiedrager bevat chemische energie die door een chemisch proces is gevormd.
- 2  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ .
- 3 Je hebt elektrische energie nodig dus het is een endotherm proces.
- 4 Groen gas als het gevormd is door middel van hernieuwbare energiebronnen.
- 5 Het kan gebruikt worden om in centrales elektrische energie op te wekken.  
Het kan gebruikt worden als brandstof voor motorvoertuigen.  
Het kan in de chemische industrie gebruikt worden.  
Het kan bijgemengd worden in het aardgasnetwerk
- 6  $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ .
- 7 Bij de elektrolyse is water omgezet in waterstof en zuurstof, bij de verbranding reageert waterstof met zuurstof tot water..
- 8 Je doorloopt daarbij meerdere processtappen waarbij energie verloren kan gaan.
- 9 Bij de vorming van waterstof kun je deze op elk gewenst moment gebruiken om elektriciteit op te wekken. Via windenergie maak je alleen elektriciteit als het waait.

## GROEN GASSEN 2

|                   |                                                                                 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 4 hv                                                                            |
| Subdomein         | Processen en reacties                                                           |
| Vaardigheid       | Informatie                                                                      |
| Specificaties     | Verbrandingen                                                                   |
| Trefwoorden       | Waterstof, groene brandstof, elektrolyse, brandstof, energiebron, energiedrager |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                                                          |

Quest, November 2017

# Groen Gassen

De wereld van vandaag draait op olie, koren, gas en kernenergie. Oké, en wat biomassa, waterkracht en zonne- en windenergie. Maar de wereld van morgen? Misschien draait die wel op waterstof. Quest maakt vast een waterstofroadtrip door Duitsland.

## Sommige Duitse huishoudens rijden niet alleen H<sub>2</sub>, ze koken en stoken er ook op

**Zzz.** Ik zit net lekker te dommelen op de achterbank, als ik iets harder in de stoel gedrukt word. De teller schiet omhoog: 160 kilometer per uur, 174.

Een elektromotor trekt nu eenmaal sneller op dan zo'n ouderwetse oliebrander. Ook maakt elektrisch rijden minder lawaai, en het trilt niet zo. Daarom voelt het niet alsof we enorm hard gaan als we de auto's rechts van ons voorbij snellen. Zzz, 180, het gaat soepel zo. Totdat een paar honderd meter voor ons een minder vlotte automobilist onze baan op stuurt. Tijd om het gaspedaal los te laten. Want tussen de wielen ligt weliswaar een elektromotor, toch doet het pedaal zijn naam eer aan. We rijden op waterstof. Eindelijk: de waterstofauto was in de vorige eeuw al voorspeld. Wij snellen in een Toyota Mirai door Duitsland, Hyundai lanceerde er al eerder een. Het eerste vliegtuig op waterstof is ook al gespot. Breekt waterstof eindelijk door? Waarom duurde het zo lang?

### Stoom komt terug

Je kunt niet, zoals bij olie of steenkool, boren of graven naar waterstof. Het moet geproduceerd worden. Een rondleiding door een tankstation van energiebedrijf Vattenfall laat zien dat dat midden in de stad Hamburg kan. Een 'elektrolyser' jaagt groene stroom door water, dat daardoor splitst in waterstof en zuurstof. De zuurstof verdwijnt in de lucht, de waterstof gaat in de tank. Tien liter water levert een kilo waterstof op, een volgetankte auto rijdt weg met vijf kilo. Het omgekeerde proces vindt plaats in de motor. Onder de koffiebekervouder ligt een 'brandstofcel'. Zuurstof en waterstof worden daarin weer bij elkaar gebracht, en daardoor ontstaan water en elektrische stroom. Die stroom drijft vervolgens de elektromotor van de auto aan, het water verdwijnt in de vorm van stoom. De tank zit binnen een paar minuten vol, zo blijkt tijdens een eerste waterstoftankbeurt. Volgens het boekje zou de Mirai nu weer meer dan 600 kilometer vooruit moeten kunnen, praktijktests leren dat het eerder 500 is. Ook prima.

De beschreven auto "rijdt op waterstof". Waterstof is een energiedrager, geen energiebron zoals bijvoorbeeld aardgas.

1 Leg het verschil uit tussen een energiebron en een energiedrager.

Waterstof kan gemaakt worden door elektrolyse van water.

- 2 Geef vergelijking van de reactie die daarbij optreedt.
- 3 Leg uit of de elektrolyse van water endotherm of exotherm is.

De gevormde waterstof kan alleen groen genoemd worden als aan een bepaalde eis voldaan is.

- 4 Welke eis is dat?

Volgens het artikel kan uit 10 liter water 1 kilo(gram) waterstof geproduceerd worden.

- 5 Laat via een berekening zien of dit juist is.

De beschreven auto heeft een elektromotor. Waterstof wordt in deze auto niet in de automotor verbrand maar in een brandstofcel. In een brandstofcel ontstaat daarbij elektriciteit.

- 6 Geef de vergelijking van de reactie van waterstof die daarin optreedt.
- 7 Leg uit dat hiermee een kringloop doorlopen is.

### *Groen gas* 2

- 1 Een energiebron komt in de natuur voor en er kan energie uit gewonnen worden.  
Een energiedrager bevat chemische energie die door een chemisch proces is gevormd.
- 2  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ .
- 3 Je hebt elektrische energie nodig dus het is een endotherm proces.
- 4 Groen gas als het gevormd is door middel van hernieuwbare energiebronnen.
- 5  $10 \text{ L water} \equiv 10 \times 0,998 = 9,98 \text{ kg water} = 9980 \text{ g} \equiv 9980/18,015 = 55,4 \text{ mol water}$ .  
Volgens de reactievergelijking ontstaat hieruit  $55,4 \text{ mol waterstof} \equiv 55,4 \times 2,016 = 1117 \text{ g} = 1,1 \text{ kg waterstof}$ . Komt dus goed overeen met "een kilo" uit het artikel.
- 6  $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ .
- 7 Bij de elektrolyse is water omgezet in waterstof en zuurstof, bij de verbranding reageert waterstof met zuurstof tot water..

## GROEN GASSEN 3

|                          |                                                                                          |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Klas</i>              | 5 hv                                                                                     |
| <i>Subdomein</i>         | Processen en reacties                                                                    |
| <i>Vaardigheid</i>       | Informatie                                                                               |
| <i>Specificaties</i>     | Brandstofcel                                                                             |
| <i>Trefwoorden</i>       | Waterstof, groene brandstof, elektrolyse, brandstofcel, ammoniak, mierenzuur, berekening |
| <i>Vaardigheidsvraag</i> | Informatiebegripsvraag                                                                   |

Quest, november 2017

# Groen Gassen

**De wereld van vandaag draait op olie, koren, gas en kernenergie. Oké, en wat biomassa, waterkracht en zonne- en windenergie. Maar de wereld van morgen? Misschien draait die wel op waterstof.**

## Hoge Druk

Een nadeel van rijden op waterstof is dat het spul onder hoge druk de tank in moet. De druk in de tank van stadsbussen op waterstof is 350 bar, die in personenauto's is 700 bar. Ter vergelijking de druk die je inademt is één bar. Bij het tankstation brengt een compressor de druk omhoog, opslagtanks moeten goed stevig zijn. Dat zorgt ervoor dat het plaatsen van een pompstation al gauw anderhalf miljoen euro kost. Richard van de Sanden, directeur van het Dutch Institute for Fundamental Energy Research, heeft een paar alternatieven in gedachten. Na het maken van waterstof kun je het spul verder omzetten in methaan, ammonia of mierenzuur. Methaan is een gas dat onder minder hoge druk in de tank kan, waarna de auto het splitst in waterstof om op te rijden en koolstofdioxide dat de lucht in gaat. Ammonia en mierenzuur zijn, met wat voorzorgsmaatregelen te tanken alsof het benzine is. De auto zet ammonia om in waterstof en stikstof, dat veilig de lucht in kan. Studenten van de TU Eindhoven presenteerden in juli 2017 een stadsbus die mierenzuur omzet in waterstof en kooldioxide. Een nadeel is dat het omzetten van waterstof in methaan, ammonia of mierenzuur geld kost en er gaat wat energie verloren bij die extra stappen

Er zijn stadsbussen en auto's die "op waterstof rijden". Waterstof is een energiedrager, geen energiebron zoals bijvoorbeeld aardgas.

- 1 Leg het verschil uit tussen een energiebron en een energiedrager.

Waterstof kan gemaakt worden door elektrolyse van water.

- 2 Geef de reactievergelijking die daarbij optreedt.
- 3 Leg uit of de elektrolyse van water endotherm of exotherm is.

Waterstof wordt in een elektrische auto 'verbrand' in een brandstofcel. In de brandstofcel ontstaat daarbij elektriciteit.

- 4 Geef de vergelijking van de reactie van waterstof die daarin optreedt.
- 5 Leg uit dat hiermee een kringloop doorlopen is.

Waterstof moet onder hoge druk de tank in.

- 6 Waarom moet het onder hoge druk de tank in?

Er zijn alternatieven voor het opslaan van waterstof. Daarbij wordt waterstof omgezet in een andere stof. Voorbeelden zijn omzetting in methaan, ammoniak of mierenzuur.

- 7 Geef de formules van deze drie stoffen.

Methaan kan worden geproduceerd uit waterstof en koolstofdioxide.

- 8 Geef de vergelijking van de reactie die daarbij optreedt. Bedenk welk product hierbij tevens ontstaat.

Ammoniak kan gemaakt worden door de reactie tussen waterstof en stikstof.

- 9 Geef de daarbij optredende reactie in een vergelijking weer.

In de tekst staat het volgende: *'De auto zet ammonia om in waterstof en stikstof'.*

- 10 Leg uit wat er chemisch gezien niet helemaal klopt in deze zin.

Om een auto te laten rijden moet er bij de omzetting energie vrij komen.

- 11 Licht toe waarom de beschreven omzetting geen energie zal leveren.

Om wel energie te leveren zal ammoniak verbrand moeten worden waarbij water en stikstof ontstaan.

- 12 Geef de reactievergelijking voor deze verbranding.
- 13 Laat via een berekening met vormingswarmten zien dat bij deze reactie warmte vrijkomt.

Mierenzuur staat ook in de belangstelling. Mierenzuur ontleedt vrij makkelijk in waterstof en koolstofdioxide.

- 14 Geef de daarbij optredende reactie in een vergelijking weer.

Ammoniak en mierenzuur zijn, met wat voorzorgsmaatregelen, te tanken alsof het benzine is.

- 15 Leg op microniveau uit waarom ammoniak en mierenzuur makkelijker als vloeistof voorkomen dan waterstof en methaan.

De te gebruiken waterstof kan alleen groen genoemd worden als aan een bepaalde eis voldaan is.

- 16 Welke eis is dat?

Een vuistregel is dat uit 10 liter water bij de elektrolyse 1 kilo waterstof geproduceerd kan worden.

- 17 Laat via een berekening zien of dit juist is.

### Groen gasen 3

- 1 Een energiebron komt in de natuur voor en er kan energie uit gewonnen worden.  
Een energiedrager bevat chemische energie die door een chemisch proces is gevormd.
- 2  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ .
- 3 Je hebt elektrische energie nodig dus het is een endotherm proces.
- 4  $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ .
- 5 Bij de elektrolyse is water omgezet in waterstof en zuurstof, bij de verbranding reageert waterstof met zuurstof tot water.
- 6 Alleen onder hoge druk zit er voldoende waterstof in de tank.
- 7 Methaan:  $\text{CH}_4$  ; ammoniak:  $\text{NH}_3$  ; mierenzuur:  $\text{CH}_2\text{O}_2$ .
- 8  $4 \text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ .
- 9  $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$ .
- 10 Ammonia is een oplossing van ammoniak in water en hier wordt de zuivere stof ammoniak bedoeld.
- 11 De vormingswarmte van ammoniak is  $-0,459 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  (exotherm), dus de ontleding is endotherm en kost dus energie.
- 12  $4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{N}_2$ .
- 13 Reactiewarmte  $\Delta E = 6 \times -2,42 \cdot 10^5 + 4 \times +0,459 \cdot 10^5 = -12,68 \cdot 10^5 \text{ J}$  (uitgegaan van de vorming van waterdamp).
- 14  $\text{CH}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ .
- 15 De moleculen van ammoniak en mierenzuur kunnen onderling H-bruggen vormen. De stoffen zijn daardoor al gauw vloeibaar.
- 16 Groen gas als het gevormd is door middel van hernieuwbare energiebronnen.
- 17  $10 \text{ L water} \equiv 10 \times 0,998 = 9,98 \text{ kg water} = 9980 \text{ g} \equiv 9980/18,015 = 55,4 \text{ mol water}$ .  
Volgens de reactievergelijking ontstaat hieruit  $55,4 \text{ mol waterstof} \equiv 55,4 \times 2,016 = 1117 \text{ g} = 1,1 \text{ kg waterstof}$ . Komt dus goed overeen met "1 kilo" uit de vuistregel.

## ER ZIT LEVEN IN DE OERSOEP

### versie 1

|                   |                                                                           |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 3,4 hv                                                                    |
| Subdomein         | Processen en reacties                                                     |
| Vaardigheid       | Onderzoeken                                                               |
| Specificaties     | Beginstoffen en reactieproducten, onderzoeksvraag,                        |
| Trefwoorden       | Reactievergelijkingen, hypothese, elementbehoud, Miller, Urey, aminozuren |
| Vaardigheidsvraag | Informatieverwerkingsvraag                                                |

### Versie 2

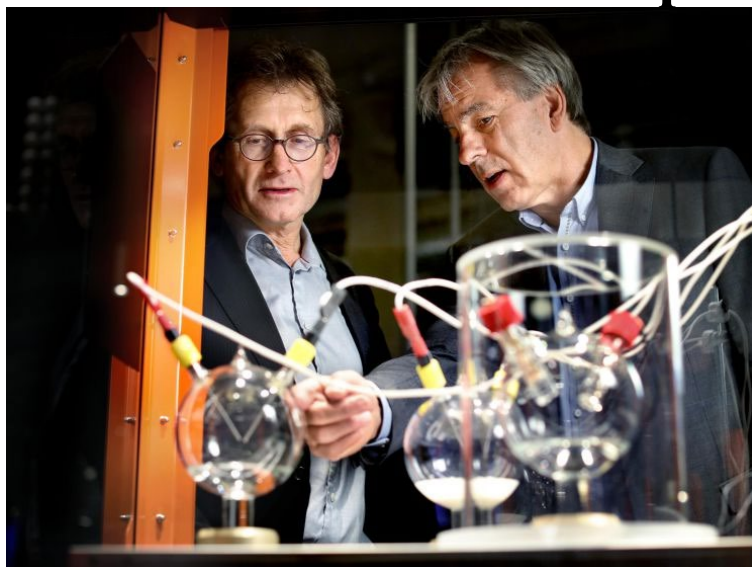
|                   |                                                                            |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 5 h                                                                        |
| Subdomein         | Chemie van het leven, Vakmethodes en veiligheid                            |
| Vaardigheid       | Onderzoeken                                                                |
| Specificaties     | Eiwitten, Massaspectrometrie, onderzoeksvraag                              |
| Trefwoorden       | Aminozuren, Miller-Urey, reactievergelijkingen, hypothese, polair, apolair |
| Vaardigheidsvraag | informatieverwerkingsvraag                                                 |

### Versie 3

|                   |                                                                            |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 5,6 v                                                                      |
| Subdomein         | Chemie van het leven, Vakmethodes en veiligheid                            |
| Vaardigheid       | Onderzoeken                                                                |
| Specificaties     | Eiwitten, Massaspectrometrie, onderzoeksvraag                              |
| Trefwoorden       | Aminozuren, Miller-Urey, reactievergelijkingen, hypothese, polair, apolair |
| Vaardigheidsvraag | informatieverwerkingsvraag                                                 |

[www.gooieneemlander.nl](http://www.gooieneemlander.nl), 13 oktober 2017

## Er zit leven in de oersoep



© Foto's DigiDaan

Ben Feringa (links) en Bert Meijer bij het nieuwe Miller-Urey experiment

Rien Floris

**Ontstaat er 'leven' in de oersoep als je die vijf jaar in een bol in Nemo laat staan pruttelen? Jazeker. Nobelprijswinnaar Ben Feringa en hoogleraar Organische Chemie Bert Meijer (TU Eindhoven) zien bouwstenen voor leven opborrelen in de soep. En ze willen nog wel even verder koken.**

Nemo Science Museum in Amsterdam herhaalde de afgelopen vijf jaar het uit 1953 daterende Miller-Urey-experiment. Dat was een zoektocht naar het ontstaan van leven. Miller en Urey gebruikten in hun 'soep' elementen waarvan ze dachten dat die miljarden jaren geleden aanwezig waren op de jonge aarde. Er was indertijd veel discussie over het experiment, maar het was ook een nieuwe kijk op experimenteel onderzoek naar de beginperiode van de aarde.

### **Spannend experiment**

„Een van de allerbelangrijkste vragen is ‘hoe is het leven ontstaan’. Juist daarom is deze oersoep een spannend experiment,” zegt professor Ben Feringa, hoogleraar Organische Chemie aan de Rijksuniversiteit Groningen.

Dat kunnen we in Nemo ook, dachten ze vijf jaar geleden. In een afgesloten glazen kolf werden de oerelementen methaan, ammoniak, water en waterstof vermengd. Uit het brouwsel borrelen bouwstenen voor leven op.



Door de oersoep die veel Nemo-bezoekers hebben kunnen zien staan, werd een hoog voltage (bliksem) gejaagd. Professor Bert Meijer was er direct bij betrokken,. Hij keek af en toe in de soepkom van Nemo, zag wat grijze prut ontstaan en kon zich niet voorstellen dat dit echt iets op zou kunnen leveren.

Maar de masterstudenten Marle Vleugels en Martin van Son van de TU Eindhoven vonden na een uitgebreide speurtocht in de 'oersoep' van Nemo drie soorten aminozuren: glycine, alanine en bèta-alanine.

Net als in het originele Miller-Urey experiment van meer dan zestig jaar geleden, zijn ook in de Nemo-versie 'bouwstenen voor leven' gevormd. „Ik ben echt verrast dat ook bij de bijzonder milde omstandigheden van dit experiment deze stoffen ontstaan”, zegt professor Bert Meijer

Het experiment laat in ieder geval zien dat aminozuren kunnen ontstaan én zich over een lange periode handhaven in de vermoedelijke condities van de jonge aarde.

### **UV-straling**

Meijer en Feringa gaven vrijdag het startschot voor een nieuw experiment met de oersoep die dit maal in drie kolven staat te pruttelen. Een is exact hetzelfde als het eerste experiment, aan de tweede is klei toegevoegd en de derde proefopstelling krijgt geen bliksems, maar UV-straling. Meijer hoopt dat dit gaat leiden tot de vorming van andere moleculen.

Zo hoopt Nemo straks iets te onthullen over het mysterie over hoe het leven op aarde is ontstaan.

*Versie 1, 3-4 havo/vwo*

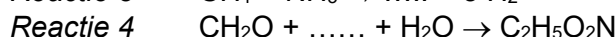
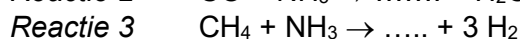
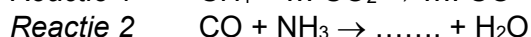
Vijf jaar geleden is in Nemo Science Museum in Amsterdam in samenwerking met professor Meijer van de TU Eindhoven een experiment gestart naar aanleiding van het originele Miller-Urey experiment. Er wordt daarbij gesproken over de “oersoep”.

- 1 Wat is de drijfveer om het experiment van Miller en Urey te herhalen?
- 2 Formuleer de onderzoeksvraag van de onderzoekers van de groep van professor Meijer die in het Nemo Science museum het experiment gestart hebben.
- 3 Waarom is professor Meijer verrast over de resultaten?
- 4 Waarom zal men in het Nemo Science museum met andere omstandigheden hebben gewerkt dan in het laboratorium van Miller en Urey?
- 5 Geef een omschrijving van de term “oersoep”.
- 6 Geef de algemene naam van de stoffen die in ieder geval in de oersoep zijn ontstaan.

De stof glycine (molecuulformule  $C_2H_5O_2N$ ) is een van de stoffen die in de oersoep is ontstaan.

- 7 Leg uit dat de atoomsoorten in een molecuul glycine inderdaad geleverd kunnen worden uit de ingrediënten van de oersoep.

De stof glycine wordt waarschijnlijk via de volgende stappen gevormd:



- 8 Maak de vergelijking van reactie 1 kloppend door de ontbrekende coëfficiënten op de stippeltjes in te vullen.

In de onvolledige reactievergelijkingen van de reacties 2,3 en 4 ontbreekt steeds één stof.

- 9 Leg uit dat het steeds om dezelfde stof gaat. Maak hiervoor de reactievergelijkingen kloppend.

In het artikel staat: “Meijer en Feringa gaven vrijdag het startschot voor een nieuw experiment met de oersoep die dit maal in drie kolven staat te pruttelen. Een is exact hetzelfde als het eerste experiment, aan de tweede is klei toegevoegd en de derde proefopstelling krijgt geen bliksems, maar UV-straling.”

- 10 Leg uit waarom men het eerste experiment exact herhaalt.
- 11 Leg uit waarom men bij het tweede experiment klei toevoegt.
- 12 Leg uit waarom men de eerste proef herhaalt met UV-straling in plaats van een hoog voltage (bliksem).

De titel van het artikel luidt: “Er zit leven in de oersoep”.

- 13 Leg uit of je het eens bent met het gebruik van het woord “leven” in de titel.

### *Versie 2, 5 havo*

Vijf jaar geleden is in Nemo Science Museum in Amsterdam in samenwerking met professor Meijer van de TU Eindhoven een experiment gestart naar aanleiding van het originele Miller-Urey experiment.

- 1 Wat is de drijfveer om het experiment van Miller en Urey te herhalen?
- 2 Formuleer de onderzoeksvraag van de onderzoekers van de groep van professor Meijer die in het Nemo Science museum het experiment gestart hebben.

Toen Meijer werd benaderd door Rob van Hattum van NEMO Science Museum om mee te werken aan een langdurige herhaling van het Miller-Urey-experiment vond hij dat een heel leuk idee, maar hij had zo z'n twijfels of het iets zou opleveren. "We moesten de omstandigheden van het originele experiment flink aanpassen. Bij een experiment in een museum vol kinderen staat de veiligheid natuurlijk voorop. Daarom moesten we werken bij veel lagere druk en een veel lagere temperatuur dan in de originele situatie. Ook de kracht van stroomstootjes moest flink omlaag."

Bron: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/oersoep-experiment-onverwacht-succesvol/>

- 3 Leg uit waarom het niet verwonderlijk is dat door aanpassing van de omstandigheden van het experiment het vijf jaar duurde voor er meetbare resultaten waren.

Het had nog behoorlijk wat voeten in de aarde, maar uiteindelijk lukte het de twee studenten om de potentiële aminozuren uit het mengsel te halen. Met behulp van nog weer andere technieken konden ze vervolgens aantonen dat er drie verschillende aminozuren zijn gevormd: glycine, alanine en bèta-alanine.

En er zijn heel sterke aanwijzingen dat er ook 4-aminobutanzuur is gevormd; een aminozuur dat we niet tegenkomen als bouwsteen van eiwitten. "Het is wel heel leuk dat we ook een niet-standaard aminozuur hebben gevonden", zegt Van Son.

Bron: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/oersoep-experiment-onverwacht-succesvol/>

### *Aminozuren*

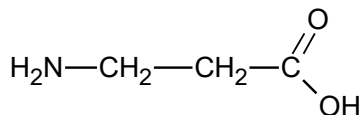
Er zijn in het NEMO experiment meerdere aminozuren gevormd.

- 4 Teken de structuurformule van de moleculen glycine en alanine.
- 5 Geef de rationale namen voor glycine en alanine.
- 6 Waarom worden aminozuren de bouwstenen voor leven genoemd?

Uit glycine en alanine kunnen eiwitten gevormd worden.

- 7 Teken een deel van een eiwitketen bestaand uit twee glycinemoleculen en twee alaninemoleculen die elkaar afwisselen in de keten.

De structuurformule van het beta-alanine molecuul staat in figuur 1.



*Figuur 1 Structuurformule beta-alanine*

8 Geef de rationele naam van beta-alanine.

Mogelijk is ook 4-aminobutaanzuur gevormd.

9 Teken de structuurformule van het molecuul van 4-aminobutaanzuur.

10 Wat bedoelt Van Son met de uitspraak “een niet-standaard aminozuur”.

### *Experimenten*

In het artikel “Er zit leven in de oersoep” staat: “Meijer en Feringa gaven vrijdag het startschot voor een nieuw experiment met de oersoep die dit maal in drie kolven staat te pruttelen. Een is exact hetzelfde als het eerste experiment, aan de tweede is klei toegevoegd en de derde proefopstelling krijgt geen bliksems, maar UV-straling.”

11 Leg uit waarom men het eerste experiment exact herhaalt.

12 Leg uit waarom men bij het tweede experiment klei toevoegt.

13 Leg uit waarom men de eerste proef herhaalt met UV-straling in plaats van een hoog voltage (bliksem).

De titel van het artikel luidt: “Er zit leven in de oersoep”.

14 Leg uit of je het eens bent met het gebruik van het woord “leven” in de titel.

### Versie 3, 5,6 vwo

Vijf jaar geleden is in Nemo Science Museum in Amsterdam in samenwerking met professor Meijer van de TU Eindhoven een experiment gestart naar aanleiding van het originele Miller-Urey experiment.

- 1 Wat is de drijfveer om het experiment van Miller en Urey te herhalen?
- 2 Formuleer de onderzoeksvraag van de onderzoekers van de groep van professor Meijer die in het Nemo Science museum het experiment gestart hebben.

Toen Meijer werd benaderd door Rob van Hattum van NEMO Science Museum om mee te werken aan een langdurige herhaling van het Miller-Urey-experiment vond hij dat een heel leuk idee, maar hij had zo z'n twijfels of het iets zou opleveren. "We moesten de omstandigheden van het originele experiment flink aanpassen. Bij een experiment in een museum vol kinderen staat de veiligheid natuurlijk voorop. Daarom moesten we werken bij veel lagere druk en een veel lagere temperatuur dan in de originele situatie. Ook de kracht van stroomstootjes moest flink omlaag."

Bron: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/oersoep-experiment-onverwacht-succesvol/>

- 3 Leg uit waarom het niet verwonderlijk is dat door aanpassing van de omstandigheden van het experiment het vijf jaar duurde voor er meetbare resultaten waren.

Het had nog behoorlijk wat voeten in de aarde, maar uiteindelijk lukte het de twee studenten om de potentiële aminozuren uit het mengsel te halen. Met behulp van nog weer andere technieken konden ze vervolgens aantonen dat er drie verschillende aminozuren zijn gevormd: glycine, alanine en bèta-alanine.

En er zijn heel sterke aanwijzingen dat er ook 4-aminobutaanzuur is gevormd; een aminozuur dat we niet tegenkomen als bouwsteen van eiwitten. "Het is wel heel leuk dat we ook een niet-standaard aminozuur hebben gevonden", zegt Van Son.

Bron: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/oersoep-experiment-onverwacht-succesvol/>

### Aminozuren

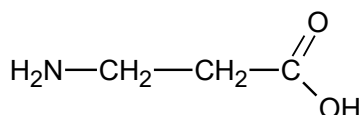
Er zijn in het NEMO experiment meerdere aminozuren gevormd.

- 4 Teken de structuurformule van de moleculen glycine en alanine.
- 5 Geef de rationale namen voor glycine en alanine.
- 6 Waarom worden aminozuren de bouwstenen van het leven genoemd?

Uit glycine en alanine kunnen eiwitten gevormd worden.

- 7 Teken een deel van een eiwitketen bestaand uit twee glycinemoleculen en twee alaninemoleculen die elkaar afwisselen in de keten.

De structuurformule van het beta-alanine molecuul staat in figuur 1.



### Figuur 1 Structuurformule beta-alanine

8 Geef de rationele naam van beta-alanine.

Mogelijk is ook 4-aminobutaanzuur gevormd.

9 Teken de structuurformule van het molecuul van 4-aminobutaanzuur.

10 Wat bedoelt Van Son met de uitspraak “een niet-standaard aminozuur”.

### HPLC

Als eerste stap wilden ze HPLC gebruiken, een techniek waarbij je een mengsel scheidt in de afzonderlijke componenten. “Maar aminozuren zijn te klein om direct te detecteren met HPLC”, legt Van Son uit. Koppeling aan een groter molecuul, een derivaat, was noodzakelijk en dat bood meteen de mogelijkheid tot selectie. Van Son: “We kozen een derivaat dat alleen zou binden aan amines,

Bron: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/oersoep-experiment-onverwacht-succesvol/>

High-performance liquid chromatography (HPLC; soms ook high-pressure liquid chromatography genoemd) is een scheidingsmethode; het is vloeistofchromatografie waarbij de mobiele fase onder hoge druk door een gepakte kolom wordt gepompt

Het doel van het gebruik van een derivaat is om een te onderzoeken stof vluchtiger en minder reactief te maken en zo het chromatografische gedrag te verbeteren. In het geval van aminozuren vervangt een derivaat de waterstofatomen van polaire functionele groepen door een niet-polaire groep.

11 Leg, op microniveau uit, waardoor de vervanging van de waterstofatomen van de polaire functionele groepen van aminozuren door een niet-polaire groep leidt tot vluchtigere stoffen.

Dit had ik vooraf niet gedacht.” Vleugels en Van Son hebben alleen naar aminozuren gezocht, maar er is vast nog meer te vinden. Daar heeft Meijer wel ideeën over. “Natuurlijk moeten we een slag om de arm houden, maar als ik naar de resultaten van de massaspectrometrie-bepalingen kijk, dan lijkt het er sterk op dat er langere ketens in het mengsel zitten. We gaan nu eerst zorgvuldig bepalen wat er precies aanwezig is, maar ik durf wel te zeggen dat we hier wellicht heel interessante moleculen tegenkomen.”

Bron: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/oersoep-experiment-onverwacht-succesvol/>

### Massaspectra

Vleugels en Van Son hebben ook massaspectrometrie-bepalingen gedaan.

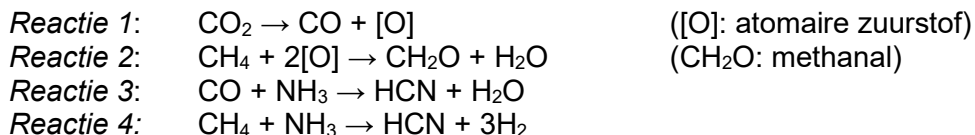
12 Leg uit welke waarde voor  $m/z$  voor de molecuulion piek in het spectrum zal hebben als beta-alanine aanwezig is.

13 Leg uit dat een piek met  $m/z = 30$  zal voorkomen in het massaspectrum als glycine of beta-alanine of 4-aminobutaanzuur aanwezig is. Laat de fragmentatie zien in de structuurformules.

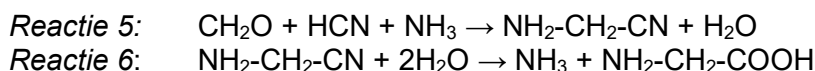
- 14 Leg uit welke kenmerkende piek naast de molecuulion piek aanwezig zal zijn als alanine aanwezig is. Laat de fragmentatie zien in de structuurformule.
- 15 Leg uit dat een piek in het massaspectrum met  $m/z = 58$  kan duiden op 4-aminobutaanzuur. Geef het fragment aan in de structuurformule.

### Synthese aminozuren

Miller en Urey hebben de volgende reactiestappen voorgesteld voor de synthese van aminozuren uit de oersoep ingrediënten:



Methanal, ammoniak en HCN reageren volgens de zogenaamde Strecker synthese tot onder andere aminozuren. De synthese van glycine verloopt via reactie 5 en 6:



- 16 Leg uit welk aldehyde in reactie 5 aanwezig moet zijn om in reactie 6 alfa-alanine als product te krijgen.
- 17 Leg uit dat als men in reactie 5 propanon gebruikt, er geen 4-aminobutaanzuur zal ontstaan.

### Experimenten

In het artikel “Er zit leven in de oersoep” staat: “Meijer en Feringa gaven vrijdag het startschot voor een nieuw experiment met de oersoep die dit maal in drie kolven staat te pruttelen. Een is exact hetzelfde als het eerste experiment, aan de tweede is klei toegevoegd en de derde proefopstelling krijgt geen bliksems, maar UV-straling.”

- 18 Leg uit waarom men het eerste experiment exact herhaalt.
- 19 Leg uit waarom men bij het tweede experiment klei toevoegt.
- 20 Leg uit waarom men de eerste proef herhaalt met UV-straling in plaats van een hoog voltage (bliksem).

De titel van het artikel luidt: “Er zit leven in de oersoep”.

- 21 Leg uit of je het eens bent met het gebruik van het woord “leven” in de titel.

## Er zit leven in de oersoep

### Versie 1

- 1 Men wil graag antwoord op de vraag: hoe is het leven ontstaan?
- 2 Ontstaan er bouwstenen in de oersoep, die van belang zijn voor het ontstaan van leven, als je die vijf jaar in een bol laat staan pruttelen?
- 3 De omstandigheden van het experiment waren bijzonder mild.
- 4 Vanwege de veiligheid.
- 5 Een mengsel van bestanddelen die ooit aanwezig zijn geweest.
- 6 Amino-zuren
- 7 De ingrediënten van de oersoep zijn: methaan, ammoniak, water en waterstof.

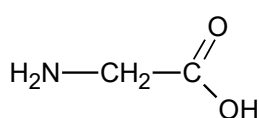
| Stof      | Molecuulformule  | Atoomsoorten |
|-----------|------------------|--------------|
| Methaan   | CH <sub>4</sub>  | C, H         |
| Ammoniak  | NH <sub>3</sub>  | N, H         |
| Water     | H <sub>2</sub> O | H, O         |
| Waterstof | H <sub>2</sub>   | H            |

De atoomsoorten die in glycine voorkomen, komen dus ook voor in de oersoep

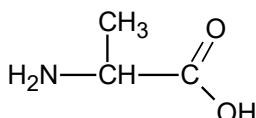
- 8  $\text{CH}_4 + 2 \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{CO} + \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
- 9 Reactie 2  $\text{CO} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{HCN} + \text{H}_2\text{O}$
- Reactie 3  $\text{CH}_4 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{HCN} + 3 \text{H}_2$
- Reactie 4  $\text{CH}_2\text{O} + \text{HCN} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$
- Het gaat om de stof HCN.
- 10 Je moet resultaten kunnen reproduceren. Eén experiment levert geen wetenschappelijk bewijs. Dit tweede experiment moet dus dezelfde resultaten leveren als het eerste experiment.
- 11 Misschien hebben stoffen zoals klei een rol gespeeld bij het ontstaan van het eerste leven
- 12 Er wordt nu op een andere manier energie toegevoerd. Men wil kijken of dit van invloed is.
- 13 Er worden bouwstenen voor leven gevormd, maar er is geen levend materiaal gevormd.

### Versie 2, 5 havo

- 1 Men wil graag antwoord op de vraag: hoe is het leven ontstaan?
- 2 Ontstaan er bouwstenen in de oersoep, die van belang zijn voor het ontstaan van leven, als je die vijf jaar in een bol in Nemo laat staan pruttelen?
- 3 Door de lagere druk en temperatuur is de reactiesnelheid kleiner dan bij het oorspronkelijke experiment van Miller en Urey.
- 4

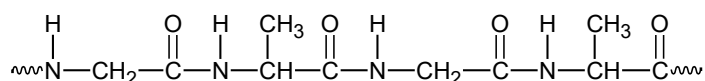


glycine



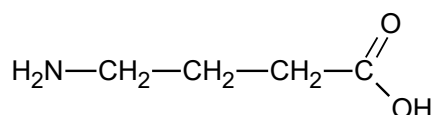
alanine

- 5 Glycine: 2-amino-ethaanzuur. Alanine: 2-aminopropaanzuur.
- 6 Eiwitten zijn opgebouwd uit amino-zuren. Eiwitten vervullen veel functies in levende wezens. Spieren zijn opgebouwd uit eiwitten, sommige hormonen zijn eiwitten. Ook antilichamen, die ervoor zorgen dat ziekteverwekkende stoffen in ons lichaam worden uitgeschakeld, zijn eiwitten. Je kunt het zo gek niet bedenken of er is wel een eiwit voor.
- 7



8 3-aminopropaanzuur

9

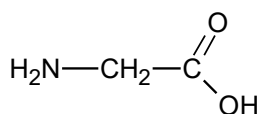


- 10 Eiwitten zijn opgebouwd uit alfa-aminozuren: dit zijn aminozuren waarin de carboxylgroep en de aminogroep aan hetzelfde koolstofatoom gebonden zijn. Men beschouwt alfa-aminozuren als de standaard aminozuren. 4-aminobutaanzuur is geen alfa-aminozuur.
- 11 Je moet resultaten kunnen reproduceren. Eén experiment levert geen wetenschappelijk bewijs. Dit tweede experiment moet dus dezelfde resultaten leveren als het eerste experiment.
- 12 Misschien hebben stoffen zoals klei een rol gespeeld bij het ontstaan van het eerste leven
- 13 Er wordt nu op een andere manier energie toegevoerd. Men wil kijken of dit van invloed is.
- 14 Er worden bouwstenen voor leven gevormd, maar er is geen levend materiaal gevormd.

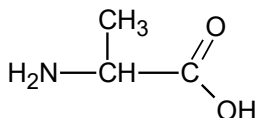
Versie 3, 5,6 vwo

- 1 Men wil graag antwoord op de vraag: hoe is het leven ontstaan?
- 2 Ontstaan er bouwstenen in de oersoep, die van belang zijn voor het ontstaan van leven, als je die vijf jaar in een bol in Nemo laat staan pruttelen?
- 3 Door de lagere druk en temperatuur is de reactiesnelheid kleiner dan bij het oorspronkelijke experiment van Miller en Urey.

4



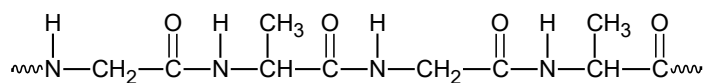
glycine



alanine

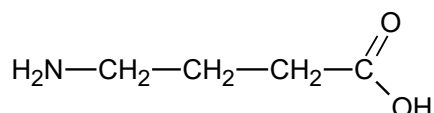
- 5 Glycine: 2-amino-ethaanzuur. Alanine: 2-aminopropaanzuur.
- 6 Eiwitten zijn opgebouwd uit aminozuren. Eiwitten vervullen veel functies in levende wezens. Spieren zijn opgebouwd uit eiwitten, sommige hormonen zijn eiwitten. Ook antilichamen, die ervoor zorgen dat ziekteverwekkende stoffen in ons lichaam worden uitgeschakeld, zijn eiwitten. Je kunt het zo gek niet bedenken of er is wel een eiwit voor.

7



8 3-aminopropaanzuur

9

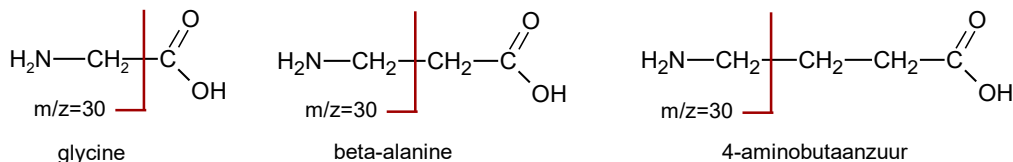


- 10 Eiwitten zijn opgebouwd uit alfa-aminozuren: dit zijn aminozuren waarin de carboxylgroep en de aminogroep aan hetzelfde koolstofatoom gebonden zijn. Men beschouwt alfa-aminozuren als de standaard aminozuren. 4-aminobutaanzuur is geen alfa-aminozuur.
- 11 Een vluchtigere stof wil zeggen de stof heeft een lager kookpunt. Tussen moleculen met -OH groepen en -NH-groepen kunnen waterstofbruggen optreden. Als de er echter apolaire groepen komen in plaats van de H-atomen, zijn er alleen vanderwaalskrachten

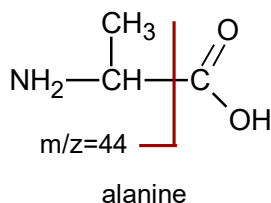
tussen de moleculen. Dit betekent een kleinere aantrekkingskracht tussen de moleculen, dus een lager kookpunt.

- 12 Molecuulmassa beta-alanine ( $\text{NH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-COOH}$ ) =  $3 \times 12,01 + 2 \times 16,00 + 14,01 + 7 \times 1,008 = 89,40$ . Voor de molecuulionpiek van beta-alanine geldt dan  $m/z = 89$ .

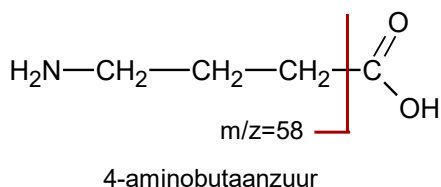
13



14

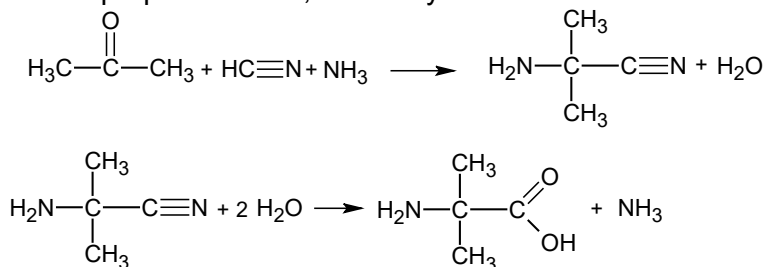


15



- 16 In reactie 5 zie je dat de oorspronkelijk dubbel gebonden O in methanal vervangen wordt door een  $\text{-NH}_2$  groep én een  $\text{-CN}$  groep in het product. De CN groep wordt uiteindelijk de COOH groep. Als je uitgaat van ethanal, zal de  $\text{-CH}_3$  groep naast de  $\text{-CHO}$  groep aan de C tussen de  $\text{-NH}_2$  groep en de  $\text{-COOH}$  groep blijven zitten

- 17 Vanuit propanon zal 2,2-dimethylaminoethaanzuur ontstaan



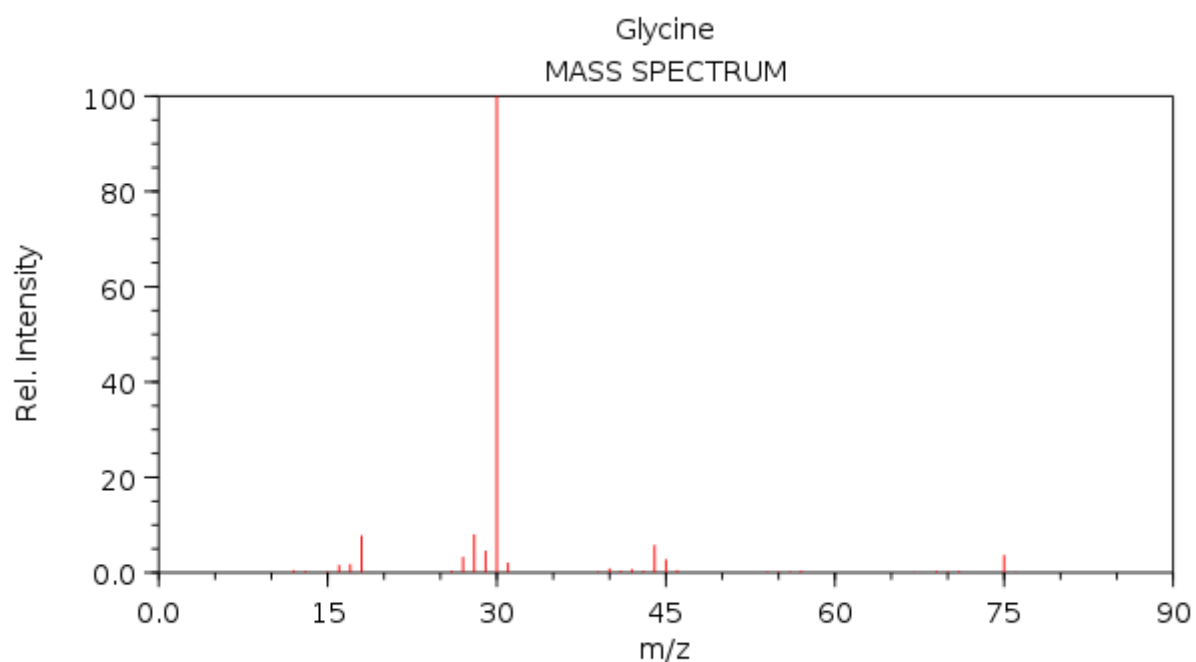
- 18 Je moet resultaten kunnen reproduceren. Eén experiment levert geen wetenschappelijk bewijs. Dit tweede experiment moet dus dezelfde resultaten leveren als het eerste experiment.
- 19 Misschien hebben stoffen zoals klei een rol gespeeld bij het ontstaan van het eerste leven
- 20 Er wordt nu op een andere manier energie toegevoerd. Men wil kijken of dit van invloed is.
- 21 Er worden bouwstenen voor leven gevormd, maar er is geen levend materiaal gevormd.

**Opmerking** In de opgave is onderzoek mbt HPLC en MS gescheiden. Hoogstwaarschijnlijk zijn die technieken gekoppeld in het onderzoek bij de TU/e. Er was ten tijde van het ontwerpen van deze opgave nog geen wetenschappelijke publicatie te vinden.

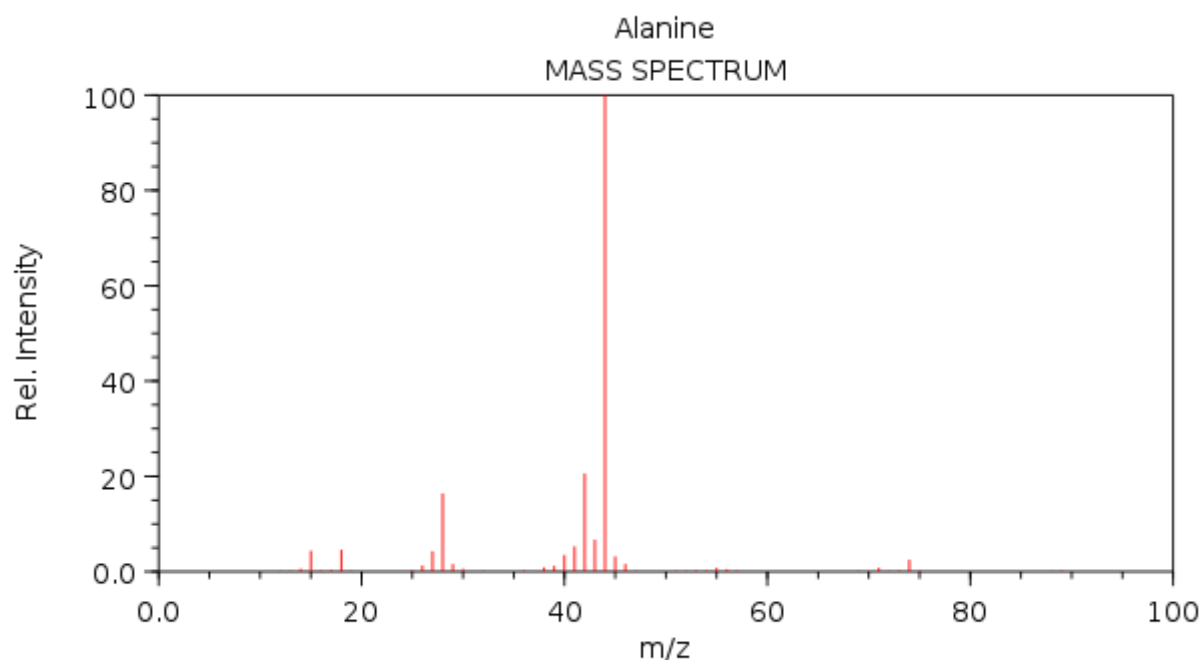
**Artikel:** <https://www.gooieneemlander.nl/nieuws/er-zit-leven-de-oersoep>

**Achtergrondinformatie t.b.v. versie 3 5,6 vwo**

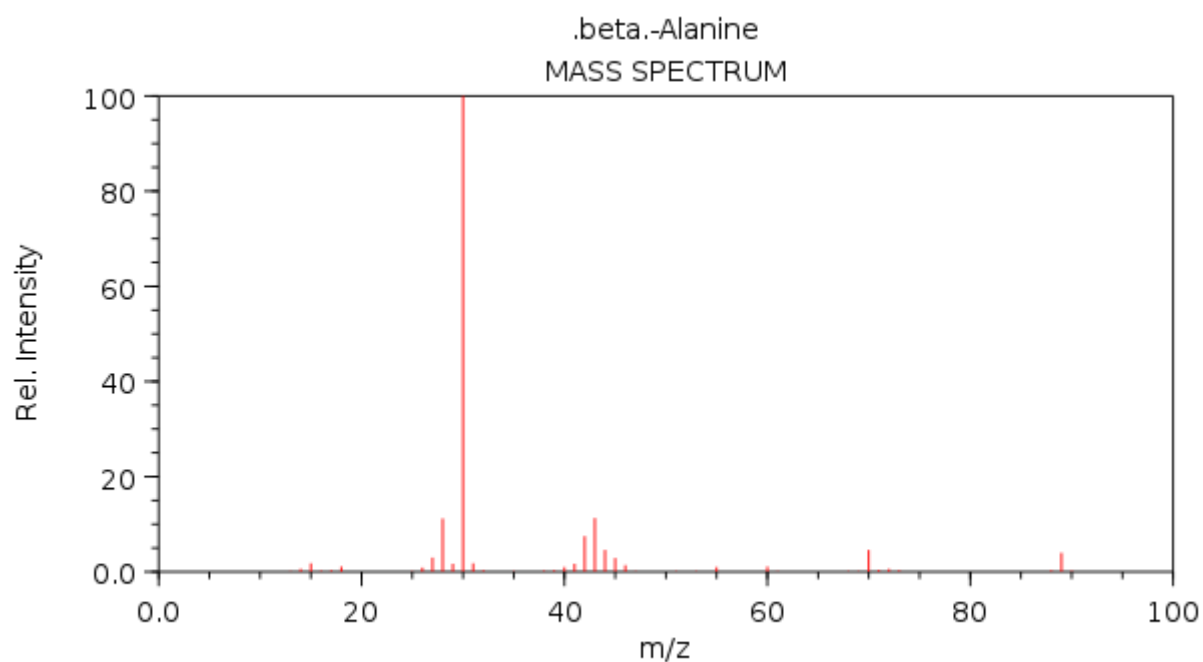
**1 Massaspectra glycine alfa- en beta-alanine en 4-aminobutaamzuur.**



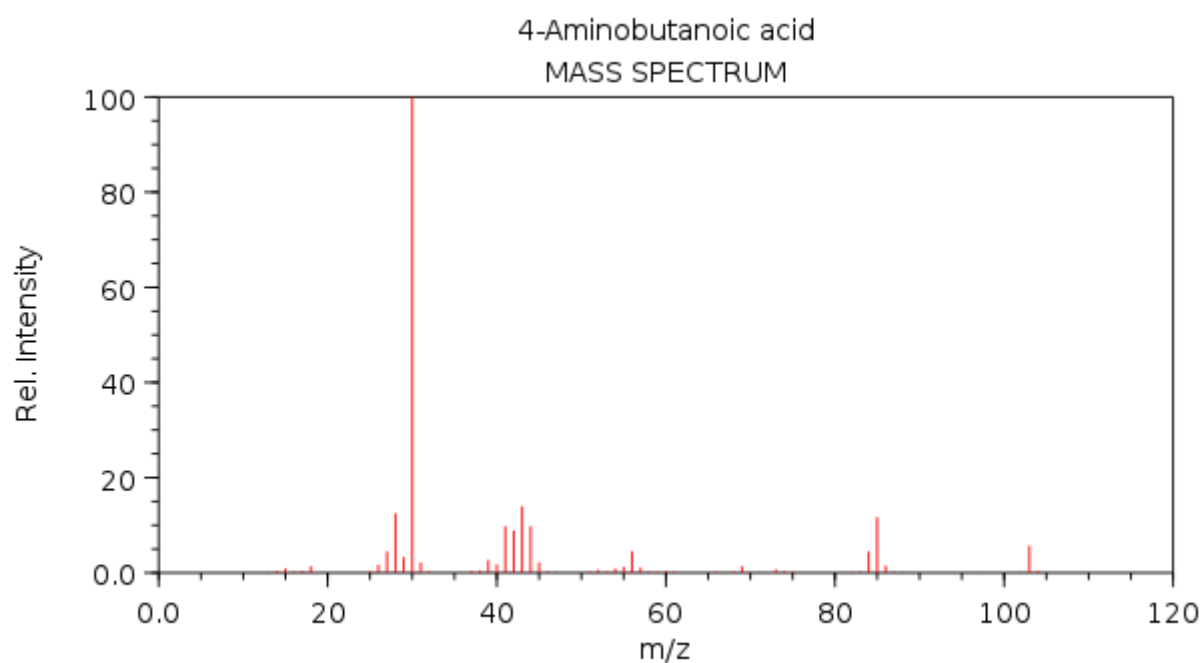
NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)



NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)



NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)

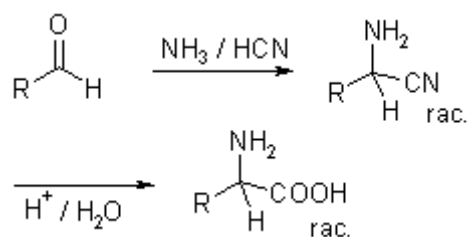


NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)

## 2 Mechanisme Streckersynthese aminozuren

Bron: <http://canov.jergym.cz/mechanic/pravidl2/str/st.htm>

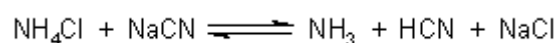
### Strecker Synthesis



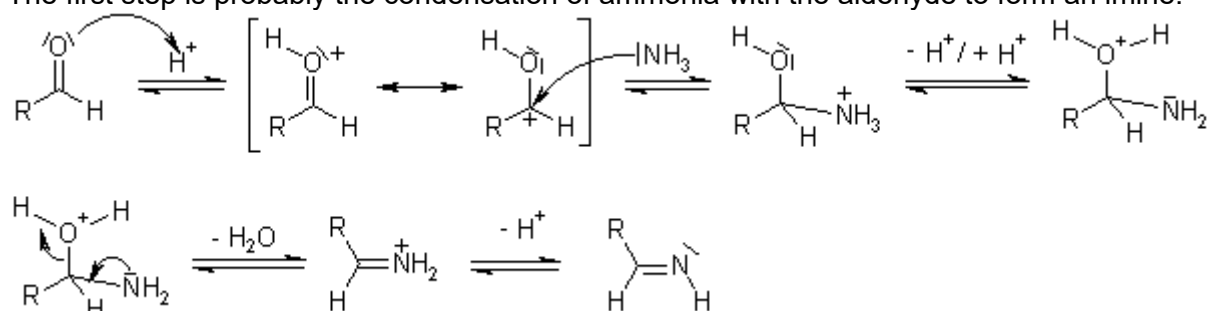
The Strecker Synthesis is a preparation of α-aminonitriles, which are versatile intermediates for the synthesis of amino acids via hydrolysis of the nitrile.

### Mechanism of the Strecker Synthesis

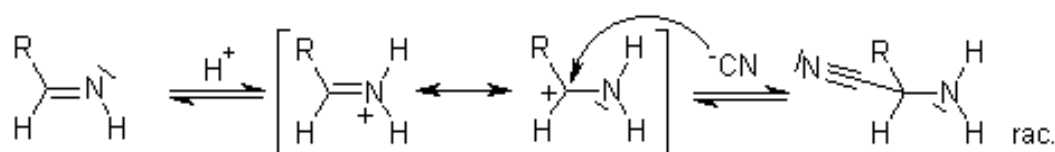
The reaction is promoted by acid, and HCN must be supplied or generated *in situ* from cyanide salts - in the latter case, one equivalent of acid is consumed in the reaction.



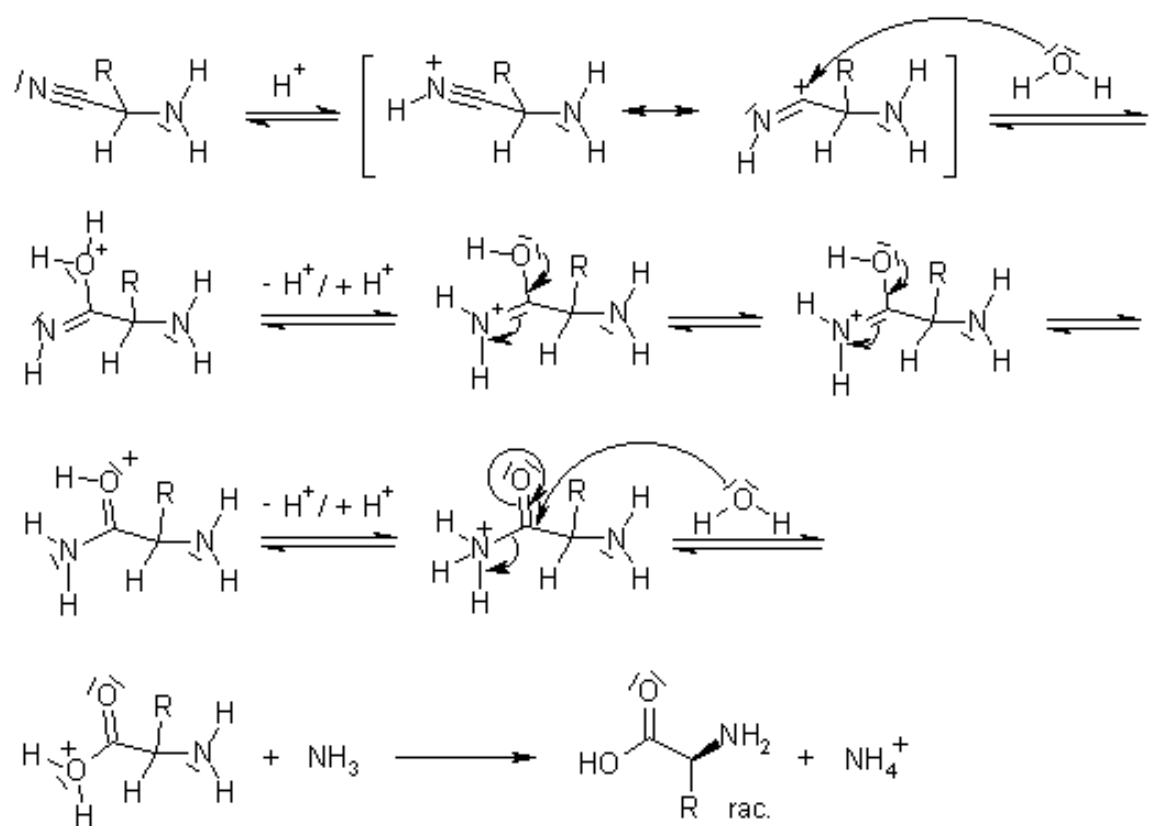
The first step is probably the condensation of ammonia with the aldehyde to form an imine:



The cyanide adds as a nucleophile to the imine carbon, generating the α-aminonitrile:



This product may optionally be hydrolysed to the corresponding α-amino acid:

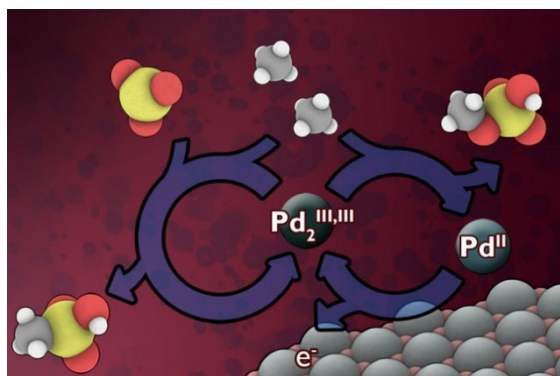


## A NEW WAY TO HARNESS WASTED METHANE

|                   |                                                                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 5 v                                                                               |
| Subdomein         | Processen en reacties                                                             |
| Vaardigheid       | Informatie                                                                        |
| Specificaties     | Verbrandingen                                                                     |
| Trefwoorden       | Methaan, affakkelen, milieu, broeikasgas, methanol, duurzaam, Engelstalig artikel |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                                                            |

ACS, Central Science, 17 oktober 2017

### A new way to harness wasted methane



MIT chemistry professor Yogesh Surendranath and three colleagues have found a way to use electricity, which could potentially come from renewable sources, to convert methane into derivatives of methanol. The researchers developed a low-temperature electrochemical process that would continuously replenish a catalyst material that can rapidly carry out the conversion.

David L. Chandler | MIT News Office

Many oil wells burn off methane — the largest component of natural gas — in a process called flaring, which currently wastes 150 billion cubic meters of the gas each year and generates a staggering 400 million tons of carbon dioxide, making this process a significant contributor to global warming. Letting the gas escape unburned would lead to even greater environmental harm, however, because methane is an even more potent greenhouse gas than carbon dioxide is.

The wells where methane is flared away are primarily being exploited for their petroleum; the methane is simply a byproduct. In places where it is convenient to do so, methane is captured and used to generate electrical power or produce chemicals. However, special equipment is needed to cool and pressurize methane gas, and special pressurized containers or pipelines are needed to transport it. In many places, such as offshore oil platforms or remote oil fields far from the needed infrastructure, that's just not economically viable.

But now, MIT chemistry professor Yogesh Surendranath and three colleagues have found a way to use electricity, which could potentially come from renewable sources, to convert methane into derivatives of methanol, a liquid that can be made into automotive fuel or used as a precursor to a variety of chemical products. Existing industrial processes for converting methane to liquid intermediate chemical forms requires very high operating temperatures and large, capital-intensive equipment. Instead, the researchers have developed a low-temperature electrochemical process that would continuously replenish a catalyst material that can rapidly carry out the conversion. This technology could potentially lead to “a relatively low-cost, on-site addition to existing wellhead operations,”

says Surendranath, who is the Paul M. Cook Career Development Assistant Professor in MIT's Department of Chemistry.

The result of the reaction is a pair of liquid chemicals, methyl bisulfate and methanesulfonic acid, which can be further processed to make liquid methanol, a valuable chemical intermediate to fuels, plastics, and pharmaceuticals. The additional processing steps needed to make methanol remain very challenging and must be perfected before this technology can be implemented on an industrial scale. The researchers are actively refining their method to tackle these technological hurdles.

Methaan is het hoofdbestanddeel van aardgas. Bij veel oliebronnen waar ook aardgas vrijkomt, wordt dit afgefakkeld (Engels: flaring). Affakkelen van methaan betekent dat methaan bij de winning van aardolie verbrand wordt. Jaarlijks wordt zo'n 150 biljoen m<sup>3</sup> methaan afgefakkeld. Daarbij zou volgens het artikel zo'n 400 miljoen ton koolstofdioxide gevormd worden.

- 1 Geef de reactievergelijking voor de verbranding van methaan.
- 2 Laat via een berekening zien of de genoemde getallen met elkaar overeenkomen. Let op: 1 biljoen betekent in Amerika 10<sup>9</sup>.

Het Nederlandse aardgasverbruik is al jaren stabiel tussen de 40 en de 50 miljard kubieke meter. Nederlands aardgas bevat circa 80% methaan.

- 3 Bereken hoeveel jaar Nederland in zijn behoefte aan aardgas zou kunnen voorzien met de genoemde jaarlijkse affakkeling van methaan.

Affakkelen is nog altijd beter dan het zomaar vrijlaten van methaan in de atmosfeer.

- 4 Leg uit waarom dit een juiste bewering is.

#### *Methaan omzetten*

In het artikel wordt een nieuwe methode beschreven om methaan om te zetten in methanol.

- 5 Waarom is de *nieuwe* methode wel interessant om methaan om te zetten in methanol en de *oude* methode niet?
- 6 Wat kan het nieuwe proces nog duurzamer maken?

Het nieuwe proces maakt gebruik van een speciaal soort katalysator. In de tekening zie je schematisch de werking van de katalysator weergegeven.

- 7 Hoe kun je uit de tekening afleiden dat Pd<sup>2+</sup> als katalysator dienst doet?

De katalysator katalyseert twee reacties: ten eerste de reactie tussen methaan en zwavelzuur waarbij methylwaterstofsulfaat ontstaat en ten tweede de reactie tussen methaan en zwaveltrioxide waarbij methylwaterstofsulfiet gevormd wordt.

- 8 Geef de reactie tussen methaan en zwaveltrioxide in een vergelijking weer.
- 9 Leg uit of Pd<sup>2+</sup> of Pd<sup>3+</sup> bij deze reactie als katalysator dient.
- 10 Geef de halfreacties die optreden bij de reactie tussen methaan en zwavelzuur.
- 11 Geef ook de totaalvergelijking van deze reactie.

De gevormde verbindingen, methylwaterstofsulfaat en methylwaterstofsulfiet, worden daarna omgezet in methanol. Methylwaterstofsulfaat reageert daarbij met water, methylwaterstofsulfiet met zuurstof.

- 12 Geef de vergelijkingen van de reacties die daarbij optreden.
- 13 Leg uit dat hiermee hergebruik van de zwavelverbindingen mogelijk wordt gemaakt.

Ondanks dat de nieuwe methode veelbelovend is, blijft het nog de vraag of het totaalproces rendabel is.

- 14 Waar richt het onderzoek van professor Surendranath en zijn collega's zich nu nog op?

### *A new way to harness wasted methane*

- 1  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ .
- 2 150 biljoen  $\text{m}^3 = 150 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  methaan.  $\rho = 0,72 \text{ kg m}^{-3}$ , dus  $150 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \equiv 150 \cdot 10^9 \times 0,72 = 1,08 \cdot 10^{11} \text{ kg CH}_4$ .  $M(\text{CH}_4) = 16,043 \text{ g mol}^{-1}$ .  $1,08 \cdot 10^{11} \text{ kg} = 1,08 \cdot 10^{14} \text{ g}$  methaan.  
Omrekenen naar aantal mol:  $1,08 \cdot 10^{14} \text{ g} / 16,043 \text{ g mol}^{-1} = 6,7 \cdot 10^{12} \text{ mol CH}_4$ . Hieruit ontstaat bij volledige verbranding  $6,7 \cdot 10^{12} \text{ mol CO}_2$ .  $M(\text{CO}_2) = 44,010 \text{ g mol}^{-1}$ . Dus dan gevormd  $6,7 \cdot 10^{12} \text{ mol} \times 44,010 \text{ g mol}^{-1} = 3,0 \cdot 10^{14} \text{ g} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ ton} = 300 \text{ miljoen ton CO}_2$ . Dit komt dus niet overeen met de in het artikel genoemde 400 miljoen ton.
- 3 150 biljoen  $\text{m}^3 = 150 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  methaan per jaar. 50 miljard  $\text{m}^3$  aardgas is er jaarlijks nodig. Dit bevat 80% methaan =  $80/100 \times 50 = 40$  miljard  $\text{m}^3$  methaan per jaar. Dus dan kan er  $150 \text{ miljard m}^3 / 40 \text{ miljard m}^3 \text{ per jaar} = 3,8$  jaar in de behoefte van Nederland worden voorzien.
- 4 Het broeikas effect van methaan is vele malen groter dan dat van koolstofdioxide.
- 5 De onderzoekers hebben een proces ontwikkeld om bij lage temperatuur via een elektrochemisch proces en onder invloed van een katalysator de omzetting voldoende snel te laten verlopen.  
Het oude proces heeft een hoge temperatuur en een kostbare chemische fabriek nodig. Dat is lastig op afgelegen plaatsen.
- 6 Als de benodigde elektrische energie via hernieuwbare bronnen opgewekt wordt.
- 7  $\text{Pd}^{2+}$  wordt in de rechter kringloop omgezet in  $\text{Pd}^{3+}$  waarna  $\text{Pd}^{3+}$  weer omgezet wordt in  $\text{Pd}^{2+}$ . Het deeltje wordt dus wel gebruikt maar niet verbruikt.
- 8  $\text{CH}_4 + \text{SO}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{HSO}_3$ .
- 9  $\text{Pd}^{3+}$  staat ook in de linker kringloop weergegeven, echter  $\text{Pd}^{2+}$  niet. Dus zal  $\text{Pd}^{3+}$  als katalysator dienen.
- 10 Oxidator:  $\text{Pd}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Pd}^{2+}$ .  
Reductor:  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{HSO}_4 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ .
- 11  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{Pd}^{3+} \rightarrow \text{CH}_3\text{HSO}_4 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{Pd}^{2+}$ .
- 12  $\text{CH}_3\text{HSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_4$ .  
 $2 \text{CH}_3\text{HSO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{OH} + 2 \text{SO}_3$ .
- 13 De eerder in het proces gebruikte zwavelverbindingen worden nu weer terug gevormd.
- 14 De laatste stappen in het proces moeten nog op industriële schaal uitvoerbaar en betaalbaar gemaakt worden.

## MILD PROCES OM EEN GEWOON MINERAAL OM TE ZETTEN IN KUNSTMEST

|                   |                                                   |
|-------------------|---------------------------------------------------|
| Klas              | 4 hv                                              |
| Subdomein         | Bindingen, structuren en eigenschappen            |
| Vaardigheid       | Informatie                                        |
| Specificaties     | Oplosbaarheid zouten,                             |
| Trefwoorden       | Groener proces, kunstmest, blokschema, ionrooster |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                            |

[www.chemistryworld.com](http://www.chemistryworld.com), 10 oktober 2017

### Mild proces om een gewoon mineraal om te zetten in kunstmest

Het proces kan transportkosten verlagen en de boeren geld besparen. Wetenschappers in de VS hebben een hydrothermisch proces ontwikkeld om plaatselijk gesteente te veranderen in goedkoop en effectief kunstmest.

Het is een urgent probleem om de steeds uitdijende wereldbevolking te kunnen voeden. Kunstmest levert noodzakelijke voedingsstoffen als kalium, stikstof en fosfor voor de bodem. Het verbetert de opbrengst van de oogst en voedselproductie. Boeren over de hele wereld gebruiken kaliumhoudende kunstmest (kali), vaak kaliumchloride, dat geproduceerd wordt uit een erts, genaamd sylviniet. Drie landen produceren samen het grootste deel van de kali: Canada, Rusland en Wit-Rusland.



Veldspaat, Bron: Shutterstock

Duizenden mijlen weg van deze kali-bronnen, op het zuidelijk halfrond, ligt Brazilië. Brazilië heeft gigantische agrarische gebieden en is de producent van maïs en soja, evenals een grote vlees exporteur, vooral naar China. Echter de bodem is van een slechte kwaliteit. Daarom importeert Brazilië enorme hoeveelheden kali. 90% hiervan maakt de lange, complexe en dure reis van Saskatchewan in Canada. Men is dus op zoek naar lokale, goedkope en duurzame kaliumbronnen.

Een team wetenschappers aan MIT, geïnspireerd door de situatie in Brazilië, begon te experimenteren met kaliumbronnen. Zo ontdekten ze kaliveldspaat, een gewoon mineraal dat veel voorkomt in een mineraal dat ultrakaliumhoudend syeniet wordt genoemd. Ultrakaliumhoudend syeniet is een kristallijne steensoort dat lijkt op graniet. De aardkorst bestaat voor ongeveer 12 % uit dit soort gesteentes. Het wordt overal op aarde gevonden en is gemakkelijk te delven. Echter, tot nog toe werd gedacht dat deze kaliveldspaten niet-reactief zijn, waardoor ze slechte kunstmesten zijn.

Davide Ciceri en zijn collega's denken dat ze dit kunnen veranderen door milde chemische omzetting. Het lijkt op verwerken in een reactor. Hun methode heeft geen kostbare en energie- en water-intensieve scheidingsmethoden en rekristallisatie processen nodig, legt hun collega Antione Allanore uit. Eerst voegden ze syeniet en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bij elkaar in een stalen molen. Daarna gebruikten ze een autoclaaf om hydrothermisch bij  $200\text{ }^\circ\text{C}$  het poeder gedurende 5 uur te verhitten. Ze droogden het resultaat, een modderige vloeistof, gedurende een nacht in een oven en vermaalden de vaste stof die achterbleef. Het product is 'veranderde veldspaat'.

Experimenten met uitspoelen tonen aan dat kaliumionen samen met andere micro voedingsstoffen kunnen uitspoelen naar de bodem. Ongeveer twee keer zoveel als voor de bewerking. Kaliveldspaat is goedkoop te winnen, heeft minder transportkosten en het proces is groener. Het team aan MIT gelooft dat deze methode in belangrijke mate Braziliaanse boeren ten goede zal komen.

Een mineraal is een stof uit de bodem met een bepaalde samenstelling. Sylvinit is een mineraal dat voornamelijk uit kaliumchloride bestaat.

1 Geef de formule van kaliumchloride.

Kaliumchloride wordt gemakkelijk uitgespoeld naar het grondwater.

2 Leg uit waardoor kaliumchloride gemakkelijk uitspoelt naar het grondwater.

Een kaliumbevattend mineraal is ultrakaliumhoudend syeniet. Daarin komt het 'gewone' mineraal kaliveldspaat voor, met de formule  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{s})$ . Dit is een dubbelzout, het bevat drie ionsoorten.

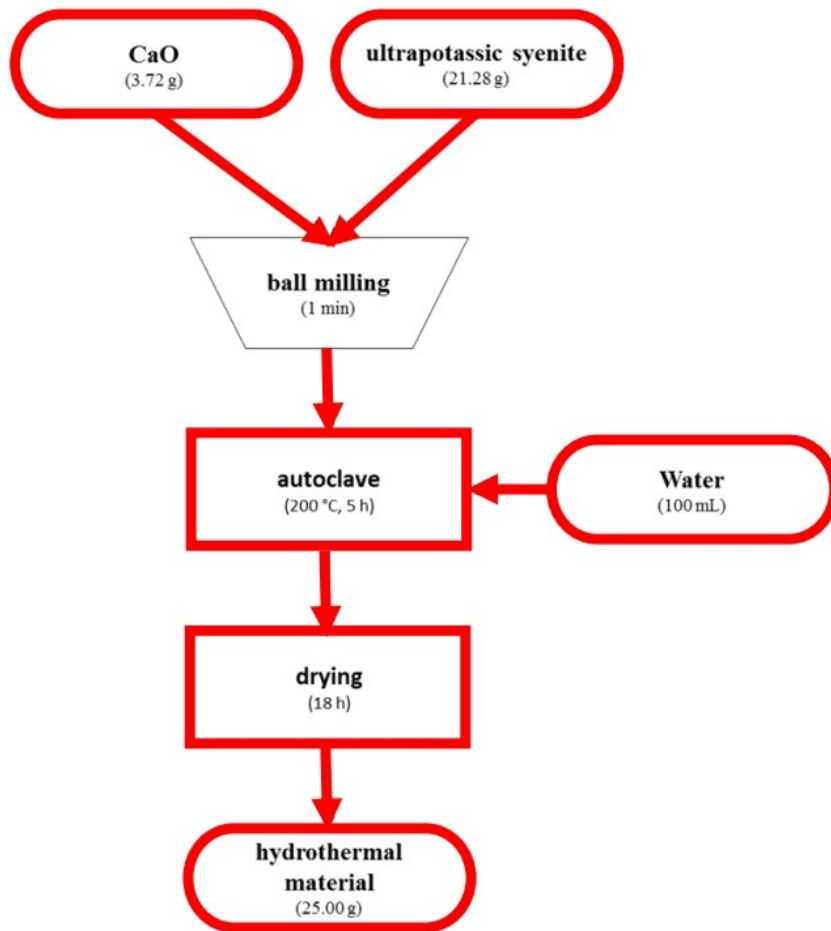
3 Leg de term dubbelzout uit.

4 Geef de formules van de drie ionsoorten.

Men is in Brazilië op zoek gegaan naar een grondstof ter plekke, die kaliumionen kan afgeven aan de bodem. Die grondstof is gevonden in het ultrakaliumhoudend syeniet.

5 Geef drie redenen waarom het beter is om uit te gaan van de grondstof ter plekke.

In figuur 1 staat een blokschema voor de bewerking van de grondstof ultrakaliumhoudend syeniet (ultrapotassic syenite).



Figuur 1

In het artikel wordt gesproken over  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , in het blokschema staat de formule  $\text{CaO}(\text{s})$ . Door vocht wordt  $\text{CaO}(\text{s})$  omgezet in  $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$ .

6 Geef de vergelijking van deze reactie.

Bij de *ball milling* worden de stoffen tussen stalen kogels verpoederd. Alleen het verpoederen heeft in theorie al een positief effect op het vrijmaken van kalium.

7 Leg uit waarom het verpoederen in theorie een gunstig effect heeft.

Een kristalletje kaliveldspaat van 1 mm doorsnede zou er 520.000 jaar over doen om helemaal op te lossen in het grondwater. Er moet dus nog meer gebeuren om de kaliumionen vrij te maken dan alleen vermalen.

8 Leg uit in wat voor type rooster de deeltjes in  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{s})$  zitten.

9 Welke binding(en) is/zijn aanwezig tussen welk soort deeltje?

Na de behandeling bij 200 °C in de autoclaaf bevinden zich in het bewerkte materiaal naast het kaliveldspaat ook stoffen als tobermoriet,  $\text{Ca}_5(\text{Si}_3\text{O}_8)_2(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{s})$  en albiet,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8(\text{s})$ .

10 Leg uit wat er gebeurd is in het rooster van ultrakaliumhoudend syeniet om kaliveldspaat en de andere genoemde stoffen te verkrijgen.

Bij het gebruik van het “veranderde veldspaat” komen veel meer kaliumionen beschikbaar in de bodem dan bij het gebruik van onbewerkt kaliveldspaat.

11 Leg uit hoe dit komt.

Uit het blokschema blijkt dat er geen afvalstoffen zijn naast water.

12 Leid dit uit het blokschema af.

### Mild proces om een gewoon mineraal om te zetten in kunstmest

- 1  $\text{KCl(s)}$
- 2  $\text{KCl(s)}$  is goed oplosbaar in water. Bij de eerste regenbui lost het op en verdwijnt voor een deel in het grondwater.
- 3 Een dubbelzout bevat meer dan twee ionen.
- 4 De optelsom van de ladingen moet nul zijn:  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  en  $\text{Si}_3\text{O}_8^{4-}$ .
- 5
  - goedkoop te winnen
  - minder transportkosten
  - duurzamer proces
- 6  $\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(s)}$
- 7 Bij het verpoederen krijg je een veel groter (deeltjes)oppervlak. Het loskomen van  $\text{K}^+$  ionen zal dan beter kunnen verlopen.
- 8 Het is een zout, dus de ionen bevinden zich in een ionrooster.
- 9 De bindingen in een ionrooster zijn de ionbindingen, deze zijn sterk.
- 10 Er zijn ionen uitgewisseld met elkaar. In plaats van  $\text{K}^+$  zit er bijvoorbeeld  $\text{Na}^+$  of  $\text{Ca}^{2+}$ .
- 11 De  $\text{K}^+$  ionen zitten nog steeds in een vaste stof, die niet goed oplosbaar is in water. Maar er komen wel meer  $\text{K}^+$  ionen vrij dan voor de bewerking.
- 12 Volgens het blokschema wordt er 3,72 g  $\text{CaO}$  en 21,28 g veldspaat bijeengevoegd. Het eindproduct is 25,00 g. Dit is gelijk aan  $3,72 \text{ g} + 21,28 \text{ g}$ .

### Het oorspronkelijke Engelstalige artikel

<https://www.chemistryworld.com/news/mild-method-turns-common-mineral-into-fertiliser/3008112.article>

#### MILD METHOD TURNS COMMON MINERAL INTO FERTILISER

Process could cut transportation costs and save farmers money

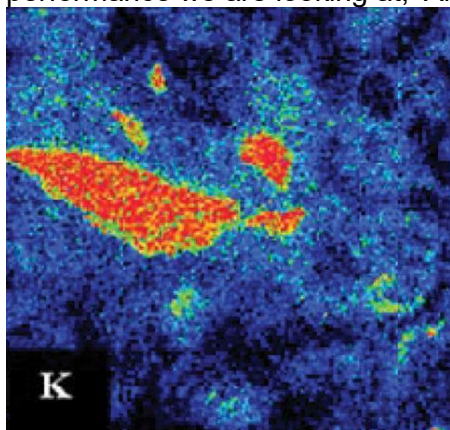
Scientists in the US have developed a hydrothermal process to turn local rocks into cheap and effective fertiliser.

Feeding the world's ever-growing population is an urgent global challenge. Fertilisers provide key soil nutrients, like potassium, nitrogen and phosphorus, improving crop yields and food production. Farmers all over the globe use potassium (potash) fertilisers, typically  $\text{KCl}$ , which manufacturers mine from an ore called sylvinite. Three countries mine the majority of potash: Canada, Russia and Belarus.

Thousands of miles from these potash sources, in the southern hemisphere, lies Brazil. Brazil has huge swathes of agricultural land and is a major corn and soy producer, as well as a big meat exporter, particularly to China. However, the soil is poor quality. As a result, Brazil imports huge amounts of potash fertiliser and 90% of this makes the lengthy, complex and expensive trip from Saskatchewan in Canada. So, the hunt is on for local, cheap and sustainable potassium sources.

A team at the Massachusetts Institute of Technology (MIT), inspired by the farming situation in Brazil, started looking for abundant sources of potassium. They came across potassium feldspar, a common mineral that makes up the majority of a rock called ultrapotassic syenite. Ultrapotassic syenite is a crystalline rock, similar in appearance to granite, that makes up around 12% of the Earth's crust. It is found across the globe, including in Brazil, and is also easy to mine. However, potassium feldspars were previously thought to be unreactive, making them poor fertilisers.

Now, with fairly mild chemical processing that MIT's Davide Ciceri describes as 'accelerated weathering in an autoclave', Ciceri and his colleagues think they can change this. Their processing method removes the need for costly and energy- and water-intensive separation and recrystallisation processes, explains fellow team member Antione Allanore. First, they combined syenite and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in a steel ball mill. Then they used an autoclave to hydrothermally heat the powder at  $200^\circ\text{C}$  for 5 hours. They dried the resulting slurry overnight in a laboratory oven, and then crushed the solid cake using an agate mortar and pestle. Altered feldspar makes up the majority of the final hydrothermal material. 'Everything that came into the process will end up in the product, in a form that is suitable for the performance we are looking at,' Allanore adds.



Source: *Royal Society of Chemistry*

Potassium is twice as available in the material after processing.

Leaching tests show that potassium is now available in the final product, along with other micronutrients. Potassium feldspar is cheap to mine, has lower associated transportation costs and is greener to process, so Allanore and Ciceri believe their method will significantly benefit Brazilian farmers.

[David Manning](#), a fertiliser expert at Newcastle University, UK, describes the hydrothermal alteration process as a new way of solving a very old problem. The hydrothermal material, he says, 'seems particularly well suited to tropical soils – where need is greatest.'

The team's alkaline hydrothermal alteration, also occurs naturally in some geological environments, says Ciceri. Industry already uses similar processes, for example the Bayer process that refines bauxite into alumina. This makes the group optimistic that their process will work on other potassium resources.

## JE PLASTIC FLESJE KAN BINNENKORT VAN SUIKER ZIJN

### Versie 1

|                   |                                                                              |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 5,6 v                                                                        |
| Subdomein         | Processen en reacties                                                        |
| Vaardigheid       | Informatie                                                                   |
| Specificaties     | Polymerisaties                                                               |
| Trefwoorden       | Thymidine, mannose, desoxyribose, carbonaatgroep, stijfheid, polymeer, amorf |
| Vaardigheidsvraag | Informatieverwerkingsvraag                                                   |

### Versie 2

|                   |                                                            |
|-------------------|------------------------------------------------------------|
| Klas              | 5 h                                                        |
| Subdomein         | Processen en reacties                                      |
| Vaardigheid       | Informatie                                                 |
| Specificaties     | Polymerisaties                                             |
| Trefwoorden       | Thymidine, mannose, desoxyribose, carbonaatgroep, polymeer |
| Vaardigheidsvraag | Informatieverwerkingsvraag                                 |

*www.bright.nl, 11 oktober 2017*

## Je plastic flesje kan binnenkort van suiker zijn

**Deze biologisch afbreekbare plasticvervanger bestaat uit suiker en is keihard.**

'Je bent niet van suiker', hoorde je je moeder zeggen als ze vond dat je best naar buiten kon bij slecht weer. Dat suiker niet goed tegen regen kan, wordt nu als voordeel ingezet om plastic afval te beperken. Dat is hard nodig, gezien de groeiende hoeveelheid plasticsoep in de oceaan.

Als het niet lukt het afval te beperken, kunnen we het afval schoon maken, zodat het niet meer schadelijk is. Dat hebben de mensen van The New Plastics Economy gedacht. Zo is aan de Universiteit van Bath in Engeland een biologisch afbreekbaar plastic zonder chemicaliën ontwikkeld.

De plasticvervanger bestaat hoofdzakelijk uit suiker. Het in de natuur voorkomende suiker thymidine wordt op kamertemperatuur en onder lage druk gebonden met CO<sub>2</sub>. Het ontstane polycarbonaat, een hard soort kunststof, is zo sterk dat het zelfs geschikt is om er flessen, brillenglazen en krasbestendige smartphonecovers van te maken.

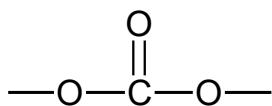
### Versie 1, 5,6 vwo

Een plastic flesje gemaakt van suiker en CO<sub>2</sub> lijkt de toekomst te hebben.

- 1 Welke twee milieuproblemen worden aangepakt als grootschalige productie van dit nieuwe plastic werkelijkheid wordt?

### Polycarbonaat

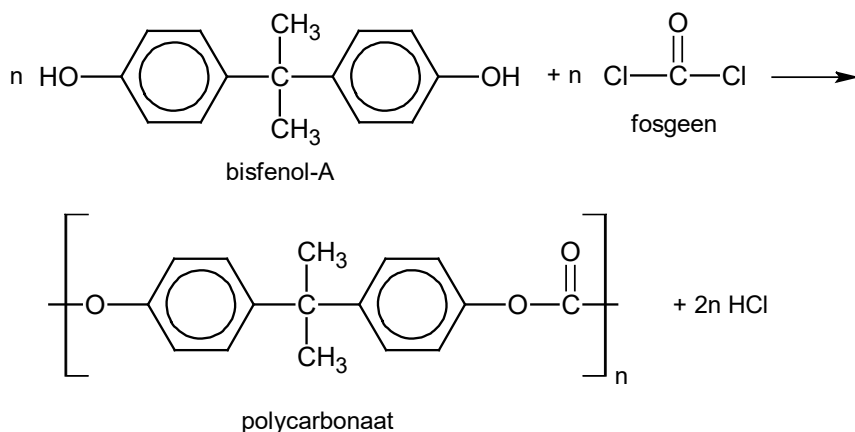
Polycarbonaten zijn polymeren waarbij in de ketens carbonaatgroepen voorkomen (zie figuur 1).



Figuur 1 Carbonaatgroepbinding

Een polycarbonaat is een stevig, hard en helder transparant materiaal dat in tegenstelling tot de meeste andere kunststoffen hoge temperaturen aankan. Het is makkelijk in gebruik en wordt daarom veel toegepast op een groot aantal gebieden.

Een voorbeeld van een veel gebruikt polycarbonaat is het polymeer dat gemaakt wordt uit bisfenol-A en fosgeen (zie figuur 2). Beide grondstoffen hebben met betrekking tot de gezondheid geen goede naam.



Figuur 2 Vorming polycarbonaat

De hardheid en stevigheid van dit polycarbonaat wordt veroorzaakt door een stijve polymeerketen

2 Leg uit waardoor die stijve polymeerketen veroorzaakt wordt.

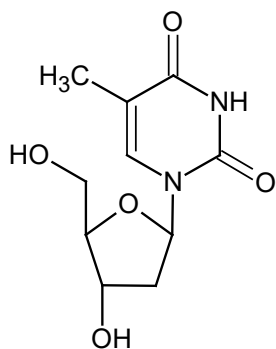
Een polycarbonaat is transparant.

3 Is er dan sprake van een amorfe of een kristallijne structuur?

4 Leg uit waardoor het door jou gekozen antwoord op vraag 3 veroorzaakt wordt.

### Thymidine

De onderzoekers van de Universiteit van Bath hebben als uitgangsstof voor een biologisch afbreekbare polycarbonaat de stof thymidine (structuurformule zie figuur 3) gebruikt.



Figuur 3 Structuurformule thymidine.

In het artikel staat: “het in de natuur voorkomende suiker thymidine....”.

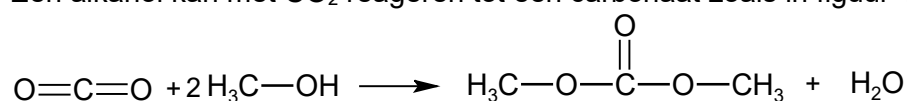
- 5 Leg uit dat thymidine geen suiker is door de beide delen van het molecuul te benoemen. Maak hierbij gebruik van Binas.

In de toelichting op de site van de Universiteit van Bath staat: “*Because thymidine is already present in the body, it means this plastic will be bio-compatible*”. Vertaald: “Omdat thymidine al aanwezig is in het lichaam, betekent dit dat dit plastic bio-compatibel zal zijn”.

- 6 Leg uit op welke manier je thymidine in het lichaam aantreft.

#### Reactie met CO<sub>2</sub>

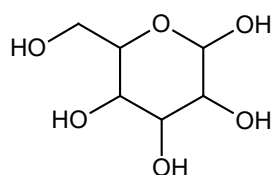
Een alkanol kan met CO<sub>2</sub> reageren tot een carbonaat zoals in figuur 4 is weergegeven.



Figuur 4 Reactie van CO<sub>2</sub> met methanol

- 7 Noteer de vergelijking van de reactie van thymidine met CO<sub>2</sub> in structuurformules.

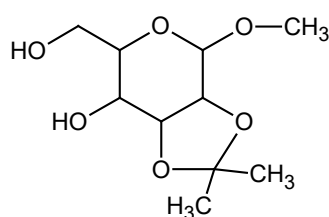
De onderzoekers uit Bath hebben ook gewerkt met suikers als mannose en ribose.



mannose

Figuur 5 Structuurformule mannose

Bij mannose en ribose moet men echter eerst het molecuul aanpassen voordat men het met CO<sub>2</sub> kan laten reageren.

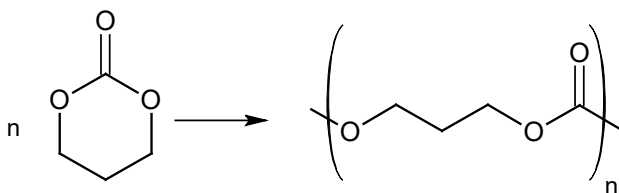


Figuur 6 Aangepast mannosemolecuul

- 8 Leg uit waarom men de structuur van mannose zal aanpassen voordat men het met CO<sub>2</sub> laat reageren.
- 9 Teken de structuurformule van een molecuul dat kan ontstaan als men onaangepast mannose met voldoende CO<sub>2</sub> laat reageren

#### Polymerisatie

Een cyclisch carbonaat kan met behulp van een katalysator polymeriseren, zie figuur 7.



Figuur 7 Polymerisatie cyclisch carbonaat

- 10 Teken een stukje uit de polymeerketen (minimaal drie monomeereenheden) die ontstaat als je het product van de reactie van thymidine met  $\text{CO}_2$  polymeriseert met behulp van een katalysator.
- 11 Leg op microniveau uit waardoor dit polycarbonaat nog stijver, harder zal zijn dan het polycarbonaat uit figuur 2.

In het artikel staat: “Zo is aan de Universiteit van Bath in Engeland een biologisch afbreekbaar plastic zonder chemicaliën ontwikkeld.”

- 12 Geef je mening over het stukje “zonder chemicaliën ontwikkeld ” uit deze zin.

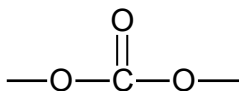
*Versie 2, 5 havo*

Een plastic flesje gemaakt van suiker en  $\text{CO}_2$  lijkt de toekomst te hebben.

- 1 Welke twee milieuproblemen worden aangepakt als grootschalige productie van dit nieuwe plastic werkelijkheid wordt?

*Polycarbonaat*

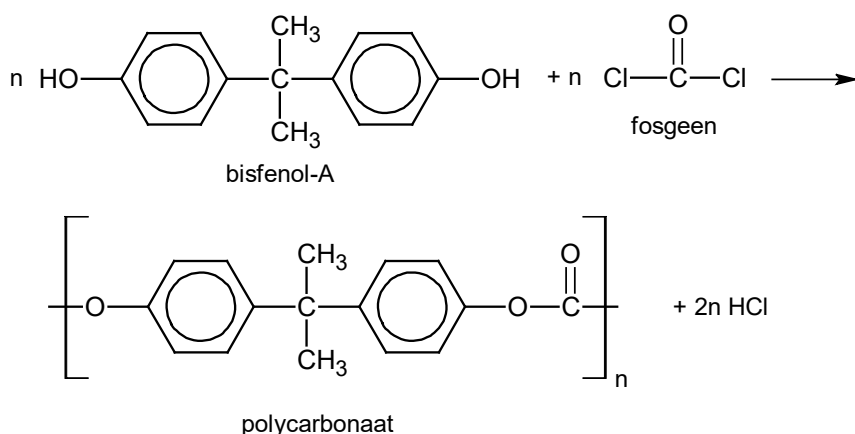
Polycarbonaten zijn polymeren waarbij in de ketens carbonaatgroepen voorkomen (zie figuur 1).



Figuur 1 Carbonaatgroepbinding

Een polycarbonaat is een stevig, hard en helder transparant materiaal dat in tegenstelling tot de meeste andere kunststoffen hoge temperaturen aankan. Het is makkelijk in gebruik en wordt daarom veel toegepast op een groot aantal gebieden.

Een voorbeeld van een veel gebruikt polycarbonaat is het polymeer dat gemaakt wordt uit bisfenol-A en fosgeen (zie figuur 2). Beide grondstoffen hebben met betrekking tot de gezondheid geen goede naam.

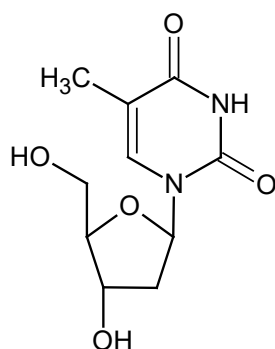


*Figuur 2 Vorming polycarbonaat*

De hardheid en stevigheid van dit polycarbonaat wordt veroorzaakt door een stijve polymeerketen

### *Thymidine*

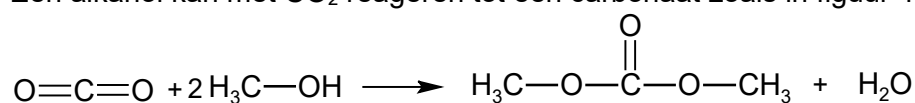
De onderzoekers van de Universiteit van Bath hebben als uitgangsstof voor een biologisch afbreekbare polycarbonaat de stof thymidine (structuurformule zie figuur 3) gebruikt.



*Figuur 3 Structuurformule thymidine.*

### *Reactie met CO<sub>2</sub>*

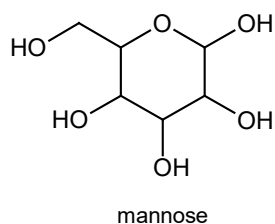
Een alkanol kan met CO<sub>2</sub> reageren tot een carbonaat zoals in figuur 4 is weergegeven.



*Figuur 4 Reactie van CO<sub>2</sub> met methanol*

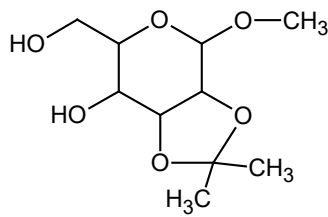
2 Noteer de vergelijking van de reactie van thymidine met CO<sub>2</sub> in structuurformules.

De onderzoekers uit Bath hebben ook gewerkt met suikers als mannose en ribose.



*Figuur 5 Structuurformule mannose*

Bij mannose en ribose moet men echter eerst het molecuul aanpassen voordat men het met  $\text{CO}_2$  kan laten reageren.

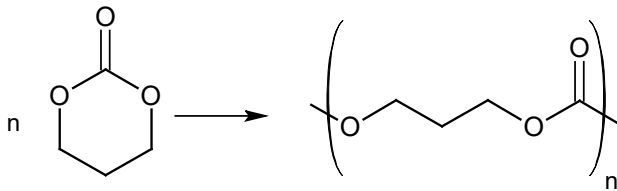


*Figuur 6 Aangepast mannosemolecuul*

- 3 Leg uit waarom men de structuur van mannose zal aanpassen voordat men het met  $\text{CO}_2$  laat reageren.
- 4 Teken de structuurformule van een molecuul dat kan ontstaan als men onaangepast mannose met voldoende  $\text{CO}_2$  laat reageren

### *Polymerisatie*

Een cyclisch carbonaat kan met behulp van een katalysator polymeriseren, zie figuur 7.



*Figuur 7 Polymerisatie cyclisch carbonaat*

- 5 Teken een stukje uit de polymeerketen (minimaal drie monomeereenheden) die ontstaat als je het product van de reactie van thymidine met  $\text{CO}_2$  polymeriseert met behulp van een katalysator.
- 6 Leg op microniveau uit waardoor dit polycarbonaat nog stijver, harder zal zijn dan het polycarbonaat uit figuur 2.

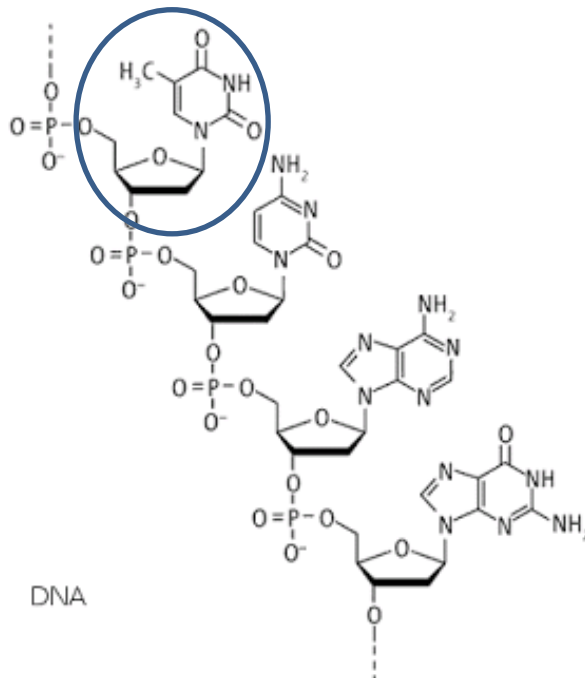
In het artikel staat: “Zo is aan de Universiteit van Bath in Engeland een biologisch afbreekbaar plastic zonder chemicaliën ontwikkeld.”

- 7 Geef je mening over het stukje “zonder chemicaliën ontwikkeld ” uit deze zin.

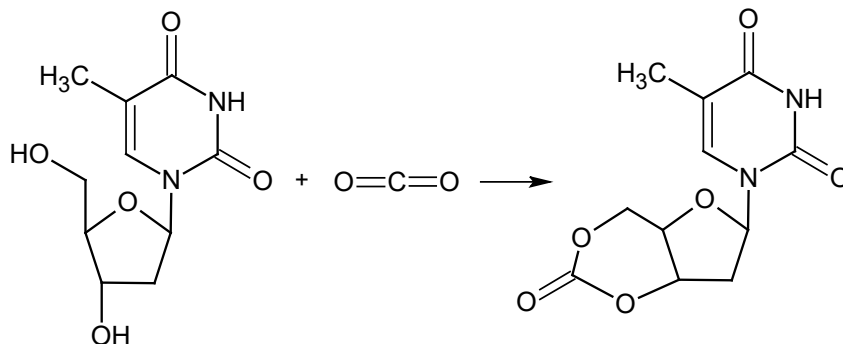
*Je plastic flesje kan binnenkort van suiker zijn*

*Versie 1, 5, 6 vwo*

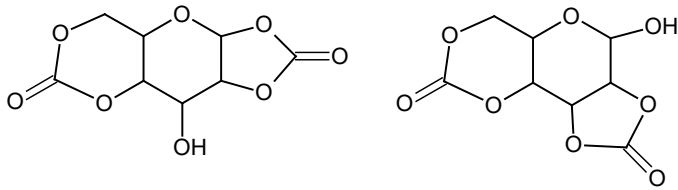
- 1 Gebruik van CO<sub>2</sub> leidt tot vermindering van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer. Het is biologisch afbreekbaar plastic dat men maakt, dit betekent dat het plastic na verloop van tijd verdwenen is.
- 2 De ketenstijfheid wordt veroorzaakt door de benzeenringen in de polymeerketen. Er is daardoor verminderde draaibaarheid in de polymeerketen.
- 3 Amorfe structuur.
- 4 Door de ketenstijfheid treedt er inflexibiliteit op en kunnen ketens zich niet geordend rangschikken en is er verminderde mobiliteit. Dit levert een niet-kristallijne rangschikking op.
- 5 Thymidine is opgebouwd uit 2-desoxyribose (Binas tabel 67 F1), dat behoort tot de monosachariden, en de base thymine (Binas tabel 71 A). Thymidine is een desoxyribonucleoside.
- 6 Thymidine (omcirkeld in figuur hierna) maakt deel uit van DNA (Binas tabel 71 C). 2-desoxyribose vormt samen met de fosfaatgroep de n van een DNA keten. Thymine fungeert als base, die mede de koppeling legt met een andere DNA keten.



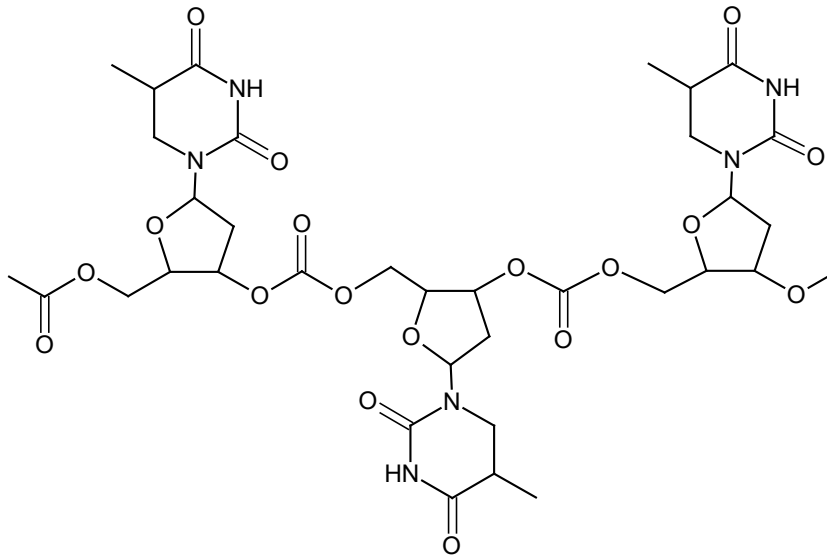
7



- 8 Er zitten te veel OH-groepen aan het molecuul die met CO<sub>2</sub> kunnen reageren. Enkele dienen geblokkeerd te worden om een "monomeer" als thymidine te krijgen.
- 9 Bijvoorbeeld:



10

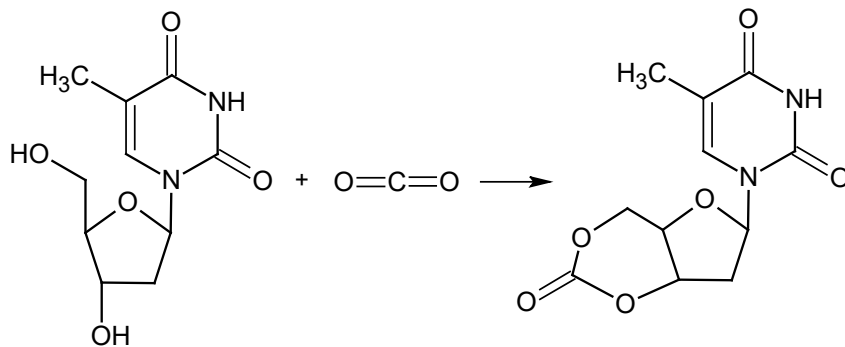


- 11 Er zit niet alleen een ring in de keten, 2-desoxyribose, maar daar hangt ook nog een grote groep, thymine, aan. Dit zorgt voor een nog grotere immobiliteit.
- 12 Bijvoorbeeld "Suiker"(thymidine) en  $\text{CO}_2$  zijn ook chemicaliën maar wel 'vriendelijk' en lichaamseigen

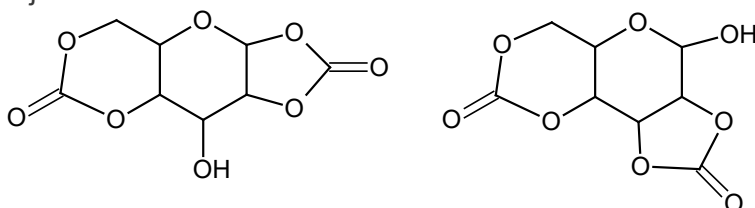
#### Versie 2, 5 havo

- 1 Gebruik van  $\text{CO}_2$  leidt tot vermindering van de hoeveelheid  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer. Het is biologisch afbreekbaar plastic dat men maakt, dit betekent dat het plastic na verloop van tijd verdwenen is.

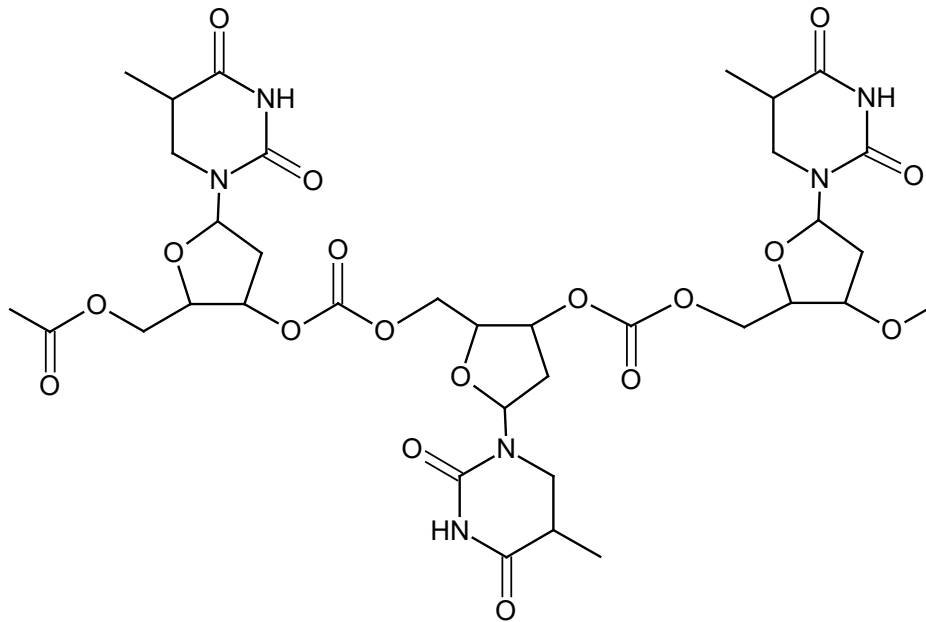
2



- 3 Er zitten te veel OH-groepen die met  $\text{CO}_2$  kunnen reageren. Enkele dienen geblokkeerd te worden om een "monomeer" als thymidine te krijgen.
- 4 Bijvoorbeeld:



5



- 6 Er zit niet alleen een ring in de keten, 2-desoxyribose, maar daar hangt ook nog een grote groep, thymine, aan. Dit zorgt voor een nog grotere immobiliteit.
- 7 Bijvoorbeeld "Suiker"(thymidine) en CO<sub>2</sub> zijn ook chemicaliën maar wel 'vriendelijk' en lichaamseigen

**Artikel:** <https://www.bright.nl/nieuws/je-plastic-flesje-kan-binnenkort-van-suiker-zijn>

### Opmerkingen

- 1 Op de site van de Universiteit van Bath: "The crucial difference for the resulting plastic is that it can be degraded back into carbon dioxide and sugar using the enzymes found in soil bacteria.
- 2 Bij het onderzoek in Bath heeft men de -NH groep in thymine nog beschermd door er een -NCH<sub>3</sub> groep van te maken.
- 3 Video: Check out "Biodegradable BPA-free drinks bottles could be made from sugar and fizz" from University of Bath at <https://www.youtube.com/watch?v=SFaroRWACEI>

## STALLUCHT WASSEN GEEFT GEEN MILIEUWINST

|                   |                                                                                                                      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 5 v                                                                                                                  |
| Subdomein         | Processen en reacties                                                                                                |
| Vaardigheid       | Informatie                                                                                                           |
| Specificaties     | Zuren en basen                                                                                                       |
| Trefwoorden       | Ammoniak, stallucht wassen, chemische wasser, biologische wasser, zwavelzuur, nitriet, nitraat, milieu, halfreacties |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                                                                                               |

www.C2W.nl, 23 oktober 2017

### Stallucht wassen geeft geen milieuwinst

De provincie Noord-Brabant neemt maatregelen om uitstoot van ammoniak en fijnstof door de intensieve veehouderij te beperken. Varkenshouders betwisten de aanpak en stappen naar de rechter.



‘Dit leidt voor hen tot meerkosten. Niet alleen vergeleken met het buitenland, maar ook ten opzichte van collega-varkenshouders in andere provincies. De provincie doorbreekt zo op een ongeoorloofde manier de marktordening’, stelde Ingrid Jansen, voorzitter van de Producenten Organisatie Varkenshouderij (POV) onlangs in een persbericht waarin de varkenshouders juridische stappen tegen de provincie aankondigen.

#### Milieuwinst ‘nihil’

Het persbericht noemt de milieuwinst van de voorgestelde maatregelen ‘nihil’. Maar wat bedoelen de varkenshouders daarmee? Werken de luchtwassers die zij moeten aanschaffen in de praktijk zo slecht? Ron Kleuskens van het bedrijf INNO+ in Panningen, specialist op het gebied van klimaattechniek en luchtreiniging voor de intensieve veehouderij en industrie, kan zich dat niet voorstellen. ‘De intensieve veehouderij gebruikt luchtwassers al jaren veelvuldig.’

Kleuskens legt uit dat de varkenshouders kunnen kiezen voor chemische wassers, waarin de ammoniak met een zwavelzuuroplossing reageert tot ammoniumsulfaat, en biologische wassers, waarin micro-organismen het ammoniak omzetten in nitriet, nitraat en uiteindelijk stikstofgas. Beide systemen vinden ongeveer evenveel toepassing. Behalve ammoniak, vangen luchtwassers ook een deel van het fijnstof weg en tot op zekere hoogte vieze luchtjes.

#### Economische ruimte

Navraag leert dat ook de POV geen problemen heeft met de effectiviteit van luchtwassers. ‘Het is mede aan luchtwassers te danken dat de ammoniakuitstoot door de varkenshouderij sinds 1990 met 80 % is gedaald en de uitstoot van fijnstof sinds 1995 met 38 %’, zegt voorzitter Jansen. Het ontbreekt de varkenshouders dus in haar ogen niet aan de benodigde techniek, maar aan economische ruimte om die verplichte investeringen op korte termijn te doen.

Ammoniak en fijnstof zijn bij de intensieve veehouderij de boosdoeners voor het milieu. De uitstoot ervan wordt bestreden met luchtwassers.

De POV heeft geen problemen met de effectiviteit van luchtwassers in varkensstallen.

- 1 Waar heeft het POV dan wel problemen mee?
- 2 Welke twee vormen van luchtwassers zijn er?

Met behulp van luchtwassers wordt ammoniak uit de stallucht weggenomen. Dit gaat verzuring van het milieu tegen.

- 3 Leg uit dat het vreemd is om ammoniak als verzuurder van het milieu te noemen.

De stallucht kan met een zwavelzuuroplossing gewassen worden waarbij ammoniumsulfaat oplossing gevormd wordt.

- 4 Geef de vergelijking van de reactie tussen ammoniak en een zwavelzuuroplossing.
- 5 Waarvoor zou je het product van deze reactie kunnen gebruiken? Licht je antwoord toe.

Het wassen van de stallucht kan ook biologisch uitgevoerd worden. Daarbij zetten bacteriën de ammoniak om in nitriet, vervolgens in nitraat en uiteindelijk in stikstof.

- 6 Geef de drie halfreacties die daarbij achtereenvolgens plaatsvinden.

De titel van het artikel komt niet overeen met de inhoud.

- 7 Licht dit toe.

*Stallucht wassen geeft geen milieuwinst*

- 1 Het kostenaspect: varkenshouders in Noord-Brabant zijn duurder uit dan varkenshouders in andere provincies.
- 2 De chemische luchtwasser met zwavelzuur en de biologische luchtwasser met behulp van bacteriën.
- 3 Ammoniak is een base.
- 4  $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$ .
- 5 Het bevat stikstof en zwavel dus goed bruikbaar als kunstmest in gebieden met tekorten.
- 6 Ammoniak in nitriet:  $\text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_2^- + 7 \text{H}^+ + 6 \text{e}^-$ .  
Nitriet in nitraat:  $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ .  
Nitraat in stikstof:  $2 \text{NO}_3^- + 12 \text{H}^+ + 10 \text{e}^- \rightarrow \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ .
- 7 Stallucht wassen geeft wel milieuwinst want je gaat de verzuring tegen door ammoniak weg te vangen uit stallucht. Het gaat om de meerkosten in Noord-Brabant ten opzichte van de andere provincies.

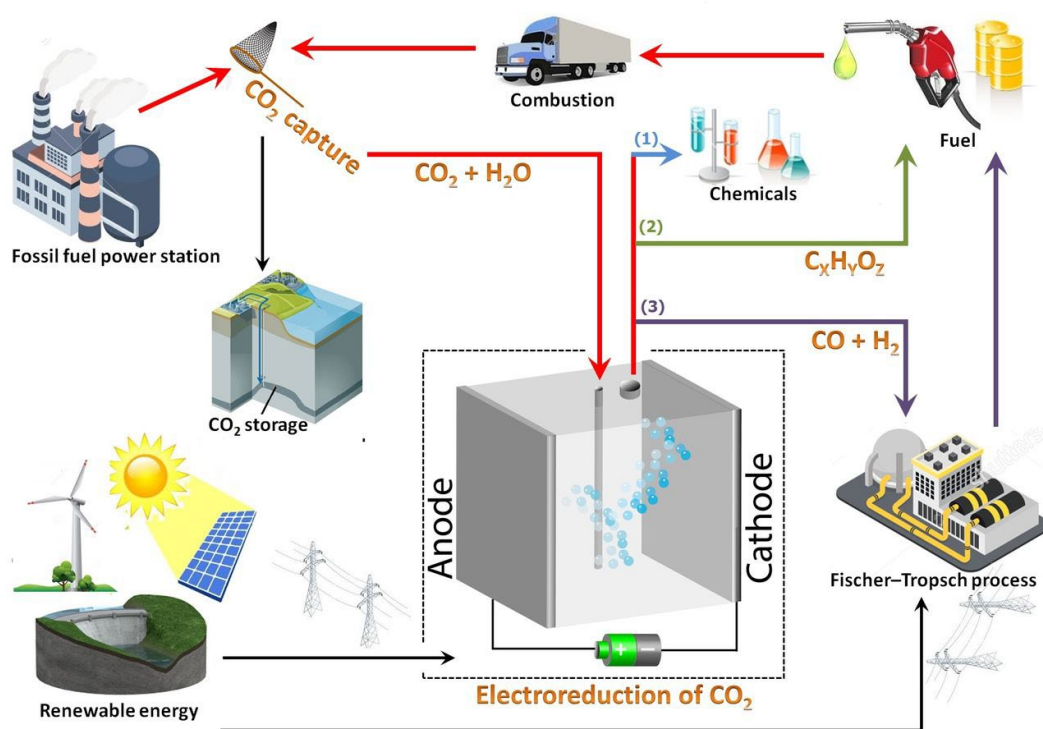
## ONDERZOEKER TU DELFT TOVERT LUCHT OM IN ALCOHOL

|                   |                                              |
|-------------------|----------------------------------------------|
| Klas              | 5 v                                          |
| Subdomein         | Processen en reacties                        |
| Vaardigheid       | Informatie                                   |
| Specificaties     | Halfreacties                                 |
| Trefwoorden       | Elektroreductie, koolstofcyclus, katalysator |
| Vaardigheidsvraag | Informatie-begripsvraag                      |

www.tudelft.nl, 11 september 2017

# Onderzoeker TU Delft tovert lucht om in alcohol

Het klinkt bijna te mooi om waar te zijn, maar TU Delft-promovendus Ming Ma heeft echt een manier gevonden om alcohol uit de lucht te halen. Wat nauwkeuriger gezegd heeft hij een manier ontdekt om het elektroreductieproces van  $\text{CO}_2$  zo effectief en nauwkeurig te beheersen dat er een breed scala aan nuttige producten, waaronder alcohol, mee kan worden geproduceerd. Zo kan  $\text{CO}_2$  als hulpbron worden ingezet, wat weleens cruciaal kan blijken te zijn bij het tegengaan van klimaatverandering. Hij promoveert op 14 september.



### Koolstof afvangen en gebruiken

Voor het verminderen van de concentratie  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer zou het afvangen en gebruiken van koolstof (*carbon capture and utilization*, CCU) weleens een goed alternatief kunnen blijken te zijn voor het afvangen en vastleggen van koolstof (*carbon capture and sequestration*, CCS). De elektrochemische reductie van  $\text{CO}_2$ , waarbij brandstof en waardevolle chemicaliën ontstaan, wordt al enige tijd als veelbelovende oplossing gezien. Bij dit proces wordt de afgevangen  $\text{CO}_2$  omgezet in koolstofmonoxide (CO), methaan ( $\text{CH}_4$ ), ethyleen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) of zelfs vloeistoffen zoals mierenzuur ( $\text{HCOOH}$ ), methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ).

en ethanol ( $C_2H_5OH$ ).

Vanwege hun hoge energiedichtheid kunnen koolwaterstoffen binnen de huidige energie-infrastructuur direct en gemakkelijk als brandstof worden gebruikt. De productie van CO is ook heel interessant, omdat het als grondstof voor het Fischer-Tropsch-proces kan worden gebruikt, een technologie die in de industrie al breed wordt toegepast om syngas (koolstofmonoxide plus waterstof ( $H_2$ )) om te zetten in waardevolle chemicaliën zoals methanol en synthetische brandstoffen (denk aan diesel). De afbeelding hieronder laat deze drie verschillende processen zien en de manier waarop de koolstofcyclus mogelijkserwijs met behulp van elektroreductie van  $CO_2$  zou kunnen worden gesloten.

### **Nauwkeurige afstemming van het proces**

Ming Ma beschrijft in zijn proefschrift de processen die op nanoschaal plaatsvinden wanneer verschillende metalen worden gebruikt bij de elektroreductie van  $CO_2$ . Wanneer bijvoorbeeld koperen nanodraden in het proces worden gebruikt, ontstaan er koolwaterstoffen, terwijl er bij zilveren en gouden nanodraden CO wordt geproduceerd. Ma heeft bovendien ontdekt dat het proces zeer nauwkeurig kan worden gereguleerd door de lengte van de gebruikte nanodraden en de stroomsterkte aan te passen. Door de juiste waarden voor deze kenmerken te kiezen kan hij elk gewenst koolstofproduct maken, en combinaties in elke gewenste verhouding, en zo de hulpstoffen produceren voor de drie hierboven beschreven vervolprocessen. Met metaallegeringen zijn nog interessantere resultaten te bereiken. Als er alleen platina wordt gebruikt ontstaat er waterstof, en bij goud CO, maar wordt er een legering van deze twee metalen gebruikt, dan blijken er ineens relatief grote hoeveelheden mierenzuur ( $HCOOH$ ) te worden geproduceerd. Mierenzuur is een veelbelovende stof voor gebruik in brandstofcellen.  
(....)

Onderzoeker Ming Ma gebruikt  $CO_2$  uit de lucht voor allerlei reacties. Maar alcohol uit de lucht? Die titel is misleidend.

- 1 Wat is er misleidend aan de titel?
- 2 Geef een, chemisch gezien, betere titel.

In het artikel wordt beweerd dat CCU een betere oplossing is voor het klimaatprobleem dan CCS.

- 3 Licht de termen CCU en CCS toe.
- 4 Leg uit waarom CCU een betere oplossing is voor het klimaatprobleem.

Bij CCS zijn er voorstellen om het  $CO_2(g)$  op te bergen.

- 5 Geef voorbeelden van plekken waar  $CO_2(g)$  opgeborgen kan worden.
- 6 Beredeneer waarom grote groepen mensen deze manier van opbergen van  $CO_2(g)$  gevaarlijk vinden.

Bij de meeste verbrandingen/oxidaties ontstaat  $CO_2(g)$ . In het artikel spreekt men juist van de elektroreductie van  $CO_2(g)$ .

- 7 Leg uit waarom in het artikel wordt gesproken over de elektroreductie van  $CO_2(g)$ .
- 8 Geef de drie verschillende groepen stoffen aan die kunnen ontstaan bij de elektroreductie.

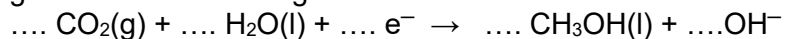
Uit de figuur in het artikel kun je aflezen waar men CCS en CCU wil inzetten. Er is één plek in de figuur waar dat moeilijk zal gaan.

9 Welke plek is dit?

Bij de elektroreductie leidt men  $\text{CO}_2(\text{g})$  en water in de cel. Aan de positieve elektrode reageert  $\text{H}_2\text{O}$  als :  $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 4 \text{H}^+(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{e}^-$ . Aan de negatieve elektrode reageert het  $\text{CO}_2$ . Om  $\text{CO}(\text{g})$  te vormen neemt  $\text{CO}_2$  2 elektronen op.

10 Geef de halfreactie waarbij  $\text{CO}(\text{g})$  en  $\text{OH}^-(\text{aq})$  ontstaan.

Om methanol te vormen heeft Ming Ma een legering van goud en zilver als katalysator gebruikt. De onvolledige halfreactie luidt:



11 Maak deze onvolledige halfreactie kloppend.

Een katalysator moet selectief zijn voor een bepaald proces. Onderzoeker Ming Ma heeft voor allerlei soorten nano-draden de selectiviteit onderzocht.

12 Welke variabelen heeft hij in het onderzoek toegepast?

13 Waarom is vooral de mogelijke productie van mierenzuur veelbelovend?

### *Onderzoeker TU delft tovert lucht om in alcohol*

- 1 Er wordt slechts de koolstofdioxide uit de lucht gebruikt.
- 2 Bij voorbeeld: Onderzoeker TU Delft maakt van CO<sub>2</sub> uit de lucht alcohol.
- 3 CCS = *carbon capture and sequestration*; CCU = *carbon capture and utilization*. CCS is een proces waarbij koolstofdioxide wordt opgeslagen, CCU is een proces waarbij koolstofdioxide gebruikt wordt als grondstof.
- 4 Bij CCU gebruik je het CO<sub>2</sub> als grondstof. Het verdwijnt daardoor. Bij CCS sla je het alleen maar op.
- 5 Opslaan in oude zoutkoepels of onder de zee in leeggehaalde methaanhoudende lagen.
- 6 Stel je voor dat alle CO<sub>2</sub> opeens kan ontsnappen door een of andere natuurramp. CO<sub>2</sub>(g) is zwaarder dan lucht. Dan stikken alle mensen in de omgeving.
- 7 Bij het verbranden spreek je van een oxidatie. Hier moet het tegengestelde gebeuren: reductie.
- 8 Synthetische brandstoffen, grondstoffen voor andere producten en koolstofmonoxide.
- 9 Bij de uitstoot door het verkeer. Bij geen enkele auto wordt CO<sub>2</sub>(g) afgevangen!
- 10  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + 2 \text{OH}^-(\text{l})$
- 11  $\text{CO}_2(\text{g}) + 5 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 6 \text{e}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) + 6 \text{OH}^-$
- 12 Verschillende metalen en legeringen, de lengte van de draden en de stroomsterkte.
- 13 Omdat (vloeibaar) mierenzuur in brandstofcellen kan worden gebruikt en (als vloeistof) gemakkelijk kan worden opgeslagen.

Artikel: <https://www.tudelft.nl/2017/tu-delft/onderzoeker-tu-delft-tovert-lucht-om-in-alcohol/>

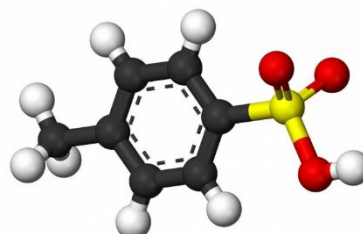
## ORGANISCH ZUUR LOST BOOM OP

|                   |                                                      |
|-------------------|------------------------------------------------------|
| Klas              | 4 v                                                  |
| Subdomein         | Processen en reacties                                |
| Vaardigheid       | Informatie                                           |
| Specificaties     | Polymeren                                            |
| Trefwoorden       | Hout, lignine, cellulose, hydrotroop, <i>p</i> -TsOH |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                               |

www.C2W.nl, 21 september 2017

### Organisch zuur lost boom op

**Paratolueensulfonzuur is het perfecte oplosmiddel voor bomen. Bij 80 °C los je er 90% van de lignine in populierenhoutsnippen binnen 20 minuten mee op en daarna kun je het nog eenvoudig recyclen ook, schrijven Chinese onderzoekers in *Science Advances*.**



Het idee daarbij is dat het zuur (ook bekend als tosylzuur, afgekort *p*-TsOH) werkt als hydrotroop. Het zal de lignine wel een beetje depolymeriseren door etherbindingen te verbreken, maar de werking zit vooral in het feit dat het de oplosbaarheid van lignine in water versterkt. De depolymerisatie lijkt overigens wel belangrijk om het materiaal fysiek los te krijgen van de (ligno)cellulose, het andere hoofdbestanddeel van hout.

Op die lignocellulose heeft *p*-TsOH dit effect niet. De behandeling levert dus een onoplosbare cellulosemassa op, die je afzonderlijk verder kunt verwerken tot bijvoorbeeld suikers, en een ligninehoudende *p*-TsOH-oplossing.

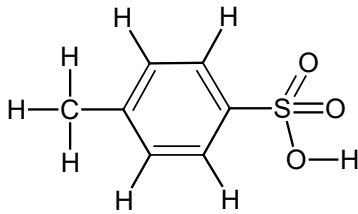
Om de lignine daar weer uit te krijgen hoeft je er alleen maar meer water bij te doen. Beneden een bepaalde concentratie (ongeveer 11,5 gewichtsprocent *p*-TsOH) verdwijnt ineens de hydrotroopwerking en slaat de lignine vanzelf neer in de vorm van nanodeeltjes.

Tot slot damp je het overvloedige water er weer uit en koel je de oplossing af tot kamertemperatuur. Dat verlaagt de oplosbaarheid van *p*-TsOH dusdanig dat het overgrote deel zal uitkristalliseren, klaar voor hergebruik.

Er zijn wel meer van zulke hydrotropen bekend, maar tot nu toe hadden die 10 uur nodig bij 150 °C om hetzelfde effect te bereiken. De klassieke voorbehandeling met loog, vooral bedoeld om de cellulose vrij te maken als basis voor biobrandstof, kost 2 uur bij 150 °C. Tel uit je winst.

*bron: Science Advances*

Hout is grotendeels opgebouwd uit cellulose en lignine. Chinese onderzoekers hebben een methode gevonden om de lignine van de cellulose te scheiden. De hulpstof daarbij is tosylzuur, afgekort: *p*-TsOH. Tosylzuur is een organisch zuur, een zogenaamd sulfonzuur. De structuurformule van het tosylzuurmolecuul staat in figuur 1.



Figuur 1, Structuurformule tosylzuurmolecuul

- 1 Neem de structuurformule van tosylzuur over en geef hierin aan welk H-atoom ervoor zorgt dat tosylzuur een zuur is..
- 2 Leg uit welke atomen in een tosylzuurmolecuul niet de te verwachten covalentie hebben.

Tosylzuur werkt als een hydrotroop.

- 3 Leg uit wat een hydrotroop doet.

De scheiding van lignine en cellulose verloopt in verschillende stappen.

- 4 Welke stappen zijn dat?
- 5 Leg uit welke scheidingsmethode(n) in het proces toegepast worden.
- 6 Leg uit op welk principe(s) de scheidingsmethode(n) in het proces berust(en) .

Het tosylzuur kan hergebruikt worden.

- 7 Waarom zul je toch ook extra tosylzuur moeten toevoegen?

Tijdens het proces depolymeriseert de lignine gedeeltelijk.

- 8 Wat versta je onder depolymerisatie?
- 9 Waarom is die depolymerisatie nodig?

Het gehele proces kun je in een blokschema weergeven.

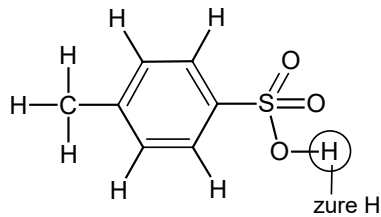
- 10 Geef het blokschema voor het proces van houtsnippers tot lignine.
- 11 Leg uit waarom men gesnipperd hout gebruikt.

Tot nu toe werd, vooral om de cellulose vrij te maken, gedurende twee uur natronloog toegepast bij 150 °C. Dit wordt in het artikel afgedaan met de opmerking 'Tel uit je winst'.

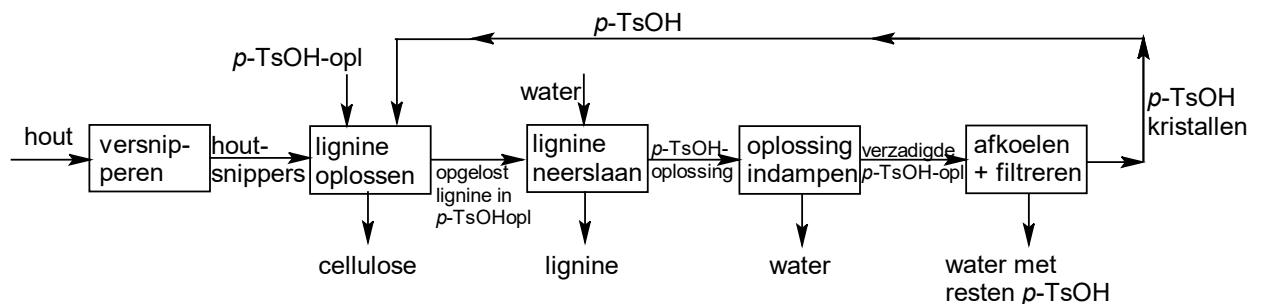
- 12 Licht deze opmerking toe.

## Organisch zuur lost boom op

1



- 2 Het zwavelatoom heeft niet de covalentie 2 die je zou verwachten.
- 3 Een hydrotroop versterkt selectief de oplosbaarheid van een bepaalde stof in water.
- 4 Allereerst wordt het hout versnipperd. Daarna voegt men een oplossing van *p*-TsOH in water toe. Het lignine lost er in op, de cellulose niet. Het cellulose kan daarna verwijderd worden uit de oplossing. Het mengsel van *p*-TsOH, lignine en water wordt daarna verdund met water totdat het hydrotrope gedrag plots stopt en de lignine neerslaat. Na scheiding van dit mengsel, dampst men de oplossing in en bij afkoeling tot kamertemperatuur kristalliseert het overgrote deel van de *p*-TsOH uit. Dit kan daarna hergebruikt worden.
- 5 Filtratie/afschepjen bij het mengsel van vast cellulose en lignine-oplossing  
Filtratie bij scheiding van het lignine van de oplossing van *p*-TsOH in water.  
Indampen/destillatie bij verwijdering van (overmaat) water.  
Filtratie bij de afscheiding van *p*-TsOH kristallen
- 6 Bij hout: verschil in oplosbaarheid / dichtheid.  
Bij lignine: verschil in oplosbaarheid. Bij oplossing *p*-TsOH en water: verschil in kookpunt.
- 7 Omdat een deel van het zuur bij het afkoelen in het water achterblijft (niet alles kristalliseert).
- 8 Gedeeltelijke afbraak van het polymeer.
- 9 Nodig om ervoor te zorgen dat het lignine in de zure oplossing oplost.
- 10



- 11 Houtsnippers hebben een groot aanrakingsoppervlak.
- 12 De 'oude' werkwijze kost veel meer energie vanwege een veel hogere temperatuur en een langere tijd, dus is veel duurder. De nieuwe methode is veel sneller en verloopt bij lagere temperatuur.

## DE KRACHT VAN AMMONIAK

|                   |                                                                    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 4 hv                                                               |
| Subdomein         | Processen en reacties                                              |
| Vaardigheid       | Informatie                                                         |
| Specificaties     | Verbrandingen                                                      |
| Trefwoorden       | Waterstof, groene brandstof, elektrolyse, brandstof, energiedrager |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                                             |

Chemie Magazine, oktober 2017

**DE KRACHT VAN AMMONIAK**

ISPT  
Institute for Sustainable Process Technology

### DE KRACHT VAN AMMONIAK

Ammoniak is een essentiële grondstof voor kunstmest en een bouwsteen voor de chemische industrie. Voor de productie van ammoniak wordt waterstof ( $H_2$ ) en stikstof ( $N_2$ ) gebruikt. De stikstof die hiervoor nodig is wordt afgevangen uit de lucht. De waterstof wordt echter nog steeds gewonnen uit aardgas, methaan ( $CH_4$ ). OCI Nitrogen wil de waterstof die nu gewonnen wordt uit aardgas, in de toekomst elektrisch gaan produceren uit water met behulp van zon en wind. Ammoniak en kunstmest op die wijze gemaakt zijn duurzaam en circulair. Het proces is technisch mogelijk en dan stoot OCI veel minder  $CO_2$  uit. Jongsma: "OCI Nitrogen zoekt nu financiering om een elektrolyser van 10 megawatt op zijn plant neer te zetten om hiermee te experimenteren. De

technologie is niet zo nieuw, maar die inpassen in een bestaand productieproces wel. 10 megawatt is al een behoorlijke hoeveelheid stroom, maar je moet je ook realiseren dat er uiteindelijk een capaciteit van 2000 megawatt nodig is om in de gehele behoefte aan waterstof te voorzien. Ook AkzoNobel probeert al elektrochemisch waterstof te maken."

NUON en de TU Delft onderzoeken momenteel, als onderdeel van het project *Power to Ammonia* van ISPT, hoe ammoniak te gebruiken als voeding voor de gascentrale in de Eemshaven. Ook Statoil en Gasunie zijn partners in dit project. "Ammoniak biedt mogelijkheden om overschotten aan duurzame energie op te slaan en later te gebruiken", aldus Jongsma. "Daarbij komt geen  $CO_2$  vrij, het is een koolstofvrije brandstof. Ze kunnen de ammoniak ook elders in de wereld maken uit zonne- of windenergie en die importeren."

Ammoniak wordt geproduceerd door de reactie tussen waterstof en stikstof.

1 Geef de optredende reactie in een vergelijking weer.

In de tekst staat dat de stikstof 'afgevangen' wordt uit de lucht.

2 Leg uit hoe dat 'afvangen' uitgevoerd kan worden.

De waterstof wordt verkregen uit methaan door het methaan te laten reageren met stoom. Hierbij ontstaat naast waterstof ook koolstofdioxide.

3 Geef de optredende reactie in een vergelijking weer.

4 Beschrijf hoe je het mengsel van koolstofdioxide en waterstof met behulp van kalkwater zou kunnen scheiden.

Ammoniak is een energiedrager, geen energiebron zoals bijvoorbeeld aardgas.

5 Leg het verschil uit tussen een energiebron en een energiedrager.

De benodigde waterstof kan ook op een duurzame wijze gevormd worden door elektrolyse van water

6 Geef de reactievergelijking die daarbij optreedt.

7 Leg uit of de elektrolyse van water endotherm of exotherm is.

De gevormde waterstof mag alleen duurzaam genoemd worden als aan een bepaalde eis voldaan is.

8 Welke eis is dat?

### **Waterstof als energiedrager**

Om waterstof te verkrijgen, moeten we het vrijmaken uit chemische verbindingen. Onttrekken we waterstof aan water, dan vergt dat aan energie  $2,4 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ . Dezelfde energie komt bij verbranding natuurlijk weer vrij.

*Bron: nemokennislink.nl*

Het bedrijf OCI Nitrogen wil in eerste instantie een elektrolyser van 10 megawatt op zijn plant neerzetten. Uiteindelijk is een capaciteit van 2000 megawatt nodig om in de gehele behoefte aan waterstof te voorzien.

9 Bereken hoeveel kg waterstof er maximaal per seconde geproduceerd kan worden met een elektrolyser van 10 megawatt.

10 Bereken hoeveel kg waterstof er maximaal per etmaal geproduceerd kan worden met een elektrolyser van 2000 megawatt.

11 Waarom staat er bij vraag 9 en 10 het woord 'maximaal'?

### **Power to ammonia**

Ammoniak kan gebruikt worden als voeding voor de gascentrale in de Eemshaven. Ammoniak geeft bij verbranding als reactieproducten water en stikstof.

12 Geef de reactievergelijking van deze verbranding.

13 Bereken het energie-effect  $\Delta E$  van deze reactie.

Ammoniak kan direct gebruikt worden maar kan ook opgeslagen worden om later te gebruiken. Ammoniak is makkelijker als vloeistof op te slaan dan waterstof.

- 14 Wanneer zal men besluiten om elektrische energie, geproduceerd door windmolens, te gebruiken om er ammoniak mee te vormen?
- 15 Leg uit dat bij gebruik van ammoniak als brandstof een kringloop doorlopen is.

### De kracht van ammoniak

- 1  $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$ .
- 2 De lucht vloeibaar maken en deze dan destilleren. Populair gezegd zal de stikstof dan als eerste verdampen omdat stikstof vluchtiger is (een lager kookpunt heeft) dan zuurstof. *Zie de opmerking na vraag 15.*
- 3  $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2$ .
- 4 Koolstofdioxide is in oplossing koolzuur en reageert met de base  $\text{OH}^-$  tot carbonaationen. Deze carbonaationen slaan neer als calciumcarbonaat en het gas waterstof is na droging zuiver.
- 5 Een energiebron komt in de natuur voor en er kan energie uit gewonnen worden. Een energiedrager bevat chemische energie die door een chemisch proces is gevormd en waaruit de energie weer kan worden vrijgemaakt.
- 6  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ .
- 7 Je hebt elektrische energie nodig dus het is een endotherm proces.
- 8 Duurzaam als het gevormd is door middel van hernieuwbare energiebronnen.
- 9  $10 \text{ MW} = 10^7 \text{ W} = 10^7 \text{ J s}^{-1}$ .  
*Met gegevens uit kadertje:* Dus dan ontstaat  $10^7/2,4 \cdot 10^5 \text{ mol s}^{-1} = 41,7 \text{ mol s}^{-1} = 41,7 \times 2,018 = 84,0 \text{ g s}^{-1} = 8,4 \cdot 10^{-2} \text{ kg s}^{-1}$ .  
*Met gegevens uit Binas:* Dus dan ontstaat  $10^7/2,42 \cdot 10^5 \text{ mol s}^{-1} = 41,3 \text{ mol s}^{-1} = 41,3 \times 2,018 = 83,4 \text{ g s}^{-1} = 8,3 \cdot 10^{-2} \text{ kg s}^{-1}$ .
- 10  $2000 \text{ MW} \equiv 200 \times 8,3 \cdot 10^{-2} = 17 \text{ kg s}^{-1} \equiv 17 \times 24 \times 3600 = 1,4 \cdot 10^6 \text{ kg per etmaal}$ .
- 11 Er zal altijd verlies aan energie optreden, bijvoorbeeld in de vorm van warmte.
- 12  $4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ .
- 13  $\Delta E = 6 \times -2,86 \cdot 10^5 + 4 \times +0,459 \cdot 10^5 = -1,53 \cdot 10^6 \text{ J}$ .
- 14 Als er een overschot aan elektrische energie geproduceerd wordt. De overmaat elektrische energie kan dan gebruikt worden om er ammoniak mee te maken.
- 15 Je bent bij de ammoniakproductie begonnen met stikstof en water (de laatste voor de waterstof). Uiteindelijk zijn dit ook weer de reactieproducten bij de verbranding van ammoniak.

**Opmerking n.a.v. antwoord 2:** Strikt genomen is deze uitleg niet juist! Er verdampt namelijk een mengsel van stikstof en zuurstof dat rijker is aan stikstof dan de kokende vloeistof, maar nog wel zuurstof bevat. Pas bij een destillatiekolom met een flink aantal schotels komt er nagenoeg zuivere stikstof over de top van de kolom.