

de Volkskrant, 23 juli 2005

## Kanaal van 50 kilometer moet ecoramp afwenden



*Het Kawah Ijen meer heeft een pH waarde van 0,1*

**Amsterdam** – Een grote milieuramp in het oosten van het Indonesische eiland Java valt eigenlijk alleen af te wenden door het extreem zure (pH=0,1) water uit het kratermeer van de Ijen-vulkaan via een kanaal of pijpleiding naar zee te vervoeren.

Het water beweegt zich door de kraterwand naar een rivier. De effecten op mensen, dieren en planten zijn desastreus, constateerde dr. Ansje Löhr, die op 9 september op het onderwerp promoveerde. Oogsten mislukken en mensen worstelen met hun gezondheid.

Hoewel het probleem al lang bekend is, was dit het

eerste grote onderzoeksproject om alle milieueffecten te inventariseren. De laatste civieltechnische actie, een dam bedoeld om het water in de krater te houden en periodiek te lozen, dateert uit de koloniale tijd.

Löhr denkt dat afvoer van het water naar zee de enige oplossing is. 'Ik ben geen ingenieur, maar ik denk dat de stroming tussen Java en Bali sterk genoeg is om het zuur snel te verdunnen en de ecologische gevolgen van lozing te beperken. Maar het is wel vulkanisch gebied, dus dat compliceert de aanleg van een kanaal of een andere oplossing.' (cj)

1 Wat is er aan de hand in het oosten van het eiland Java?

2 Waarom zoekt men naar een oplossing voor het kratermeer van de Ijen-vulkaan op Java?

Mevrouw Ansje Löhr heeft alle milieu-effecten onderzocht.

3 Welke oplossing draagt mevrouw Löhr aan?

De afmetingen van het vulkaanmeer van de Ijen zijn lengte 700 meter, breedte 600 m en diepte 200 m.

De zuurgraad van dit vulkaanmeer wordt onder andere bepaald door HCl.

4 Bereken hoeveel mol HCl in het meer opgelost moet zijn om een pH van 0,1 te veroorzaken.

---

<http://www.vsi.esdm.go.id/pbumi/java/blawantxt.html>

## GEOCHEMISTRY

The Ijen Caldera covers an approximating 700km<sup>2</sup>, within which there is a very limited number of surface manifestations able to be geochemically analysed.

In the east, and lying at the end of a series of volcanics stretching from the west at G.Kunci and through G.Anyar, G.Genteng, Kawah Wurung on G.Gelaman and G.Kukusan, lies Kawah Ijen, an acid (pH <0.5) lake at ~39°C of extremely high chloride (30000 ppm) and sulphate (42500 ppm) content. To have a pH this low, it must be assumed that the water not only is steamheated and contains high residues of oxidised H<sub>2</sub>S but also has dissolved in it volatile gasses of a volcanic origin, such as HCl and HF. No fluoride levels are available.

---

*Caldera = grote trechtersvormige krater; stretching = zich uitstrekken; assumed = verondersteld, origin = oorsprong*

In het Engelstalige artikel staat dat in het Ijen meer 30.000 ppm Cl<sup>-</sup> aanwezig is.

5 Bereken op basis van dit gegeven [Cl<sup>-</sup>] van het Ijen meer.

6 Leg op basis van je antwoord op vraag 3 en 4 uit of een pH van 0,1 alleen afkomstig kan zijn van opgeloste HCl.

In het Engelstalige artikel staat dat ook HF de zuurgraad beïnvloedt.

7 Leg uit dat deze invloed veel minder groot is dan van HCl.

Er is ook sprake van H<sub>2</sub>S dat geoxideerd is (heeft gereageerd als reductor). Verder staat aangegeven dat er in het Ijen-meer SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> aanwezig is.

8 Leid de halfreactie af voor de omzetting van H<sub>2</sub>S in SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Mevrouw Löhr wil het zure water uit het meer naar zee leiden. Ze gaat er van uit dat daar voldoende verdunning kan optreden zodat de lozing van het zure het water geen problemen meer oplevert.

9 Bereken hoeveel m<sup>3</sup> water nodig is om de volledige inhoud van het zure meer van pH = 0,1 te brengen naar een pH = 7.

10 Denk je dat de afvoer van het zure water naar de zee van invloed is op de pH van het zeewater? Licht je antwoord toe.

Mevrouw Löhr stelt voor het zure water bijvoorbeeld via een pijpleiding naar zee te vervoeren.

11 Stel voor mevrouw Löhr een advies op, waarbij je uitlegt (o.a. met reactievergelijkingen) welke van de volgende materialen zeker niet gebruikt kunnen worden: aluminium, staal (ijzer), koper, PVC en beton.

## Ijen Vulkan op Java

1 Door een kratermeer met extreem zuur water dreigt een grote milieuramp.

2 Het water beweegt zich naar een rivier en zorgt voor veel problemen voor mensen, dieren en planten.

3 Afvoer van het zure water naar zee via een pijpleiding of een kanaal.

4  $V_{\text{meer}} = 700 \times 600 \times 200 = 84 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 84 \cdot 10^9 \text{ L}$ .  $\text{pH} = 0,1 \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-0,1} = 0,79 \text{ mol/L} \rightarrow 0,79 \text{ mol HCl/L} \rightarrow$   
aantal mol HCl in het meer =  $84 \cdot 10^9 \times 0,79 = 67 \cdot 10^9 \text{ mol HCl}$ .

5 Aangezien uit het artikel niet duidelijk is of het op massa-ppm of aantal-ppm gaat volgen hier twee mogelijke oplossingen:

*Massa-ppm:*  $30.000 \text{ massa-ppm} = \frac{300000\text{g}}{1000000\text{g}} = 0,030 \text{ g Cl}^-/\text{g water ofwel } 30 \text{ g Cl}^-/\text{L} \equiv 30/35,45 = 0,85 \text{ mol Cl}^-/\text{L}$

$\rightarrow$  molariteit HCl = 0,58 mol/L

*Aantal-ppm:* 30.000 ppm  $\text{Cl}^-$  betekent 30.000 mol  $\text{Cl}^-$  per  $10^6 \text{ mol H}_2\text{O}$ ;  $10^6 \text{ mol H}_2\text{O} \equiv 18,02 \cdot 10^6 \text{ g H}_2\text{O} \equiv 18,02 \cdot 10^3 \text{ L H}_2\text{O}$ .  $[\text{Cl}^-] = 30.000 \text{ mol}/18,02 \cdot 10^3 \text{ L} = 0,22 \text{ mol/L} \rightarrow$  molariteit HCl = 0,22 mol/L.

6 Nee, want 30.000 ppm  $\text{Cl}^- \equiv 0,58 \text{ mol HCl/L}$  of 0,22 mol HCl/L of terwijl de pH duidt op 0,79 mol HCl/L

7 HF is een zwak zuur en door de extreme lage pH zal het evenwicht  $\text{HF} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{F}^-$  naar links liggen waardoor er nauwelijks bijdrage is aan de lage pH van het meer.

8  $\text{H}_2\text{S} + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 10 \text{H}^+ + 8 \text{e}^-$

9  $V = 84 \cdot 10^9 \text{ L}$  aantal mol  $\text{H}_3\text{O}^+ = 84 \cdot 10^9 \times 0,79 = 66 \cdot 10^9$ ;  $\text{pH} = 7,0 \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L} \rightarrow 66 \cdot 10^9/V = 1,0 \cdot 10^{-7} \rightarrow V = 66 \cdot 10^9/1,0 \cdot 10^{-7} = 66 \cdot 10^{16}$  nodig  $66 \cdot 10^{16} - 84 \cdot 10^9 = 66 \cdot 10^{16} \text{ L water}$

10 Of het zure water invloed heeft zal afhangen van de sterkte van de stroming en menging op die plek in zee.

11

| materiaal    | toepasbaar | toelichting                                                                                               |
|--------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aluminium    | Nee        | $2 \text{Al} + 6 \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow 2 \text{Al}^{3+} + 6 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{H}_2$ |
| Staal(ijzer) | Nee        | $\text{Fe} + 2 \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$     |
| Koper        | Ja         | Cu reageert niet met een zure oplossing                                                                   |
| PVC          | Ja         | PVC reageert niet met een zure oplossing                                                                  |
| Beton        | Nee        | Beton is basisch en reageert dus met zuur water.                                                          |

Opmerking bij vraag 8: zeewater is licht basisch, voor de vereenvoudiging is de pH op 7 gesteld.

# Microreactoren produceren waterstof voor de laptop

**ENERGIE** De combinatie van een brandstofcel en een chemisch fabriekje dat methanol omzet in waterstof, kan de gebruiksduur van laptops vijf maal langer maken dan mogelijk is met de huidige accu's.

Marianne Vincken

**Eindhoven** - Schaalverkleining in de scheikundige technologie levert microreactoren met reactiekanaalen met een diameter tussen de 10 en de 500 micron. Zo komt een klein volume van de reagerende stof met een relatief groot wandoppervlak in contact. Dat heeft voordelen: reacties kunnen snel verlopen en de ontstane warmte valt snel af te voeren.

Een toepassing van zo'n microreactor is het omzetten van methanol in waterstof, dat vervolgens in een brandstofcel elektrische energie opwekt. Microreactor en brandstofcel kunnen geïntegreerd worden tot een accu voor bijvoorbeeld laptops. Maar ze kunnen

ook kleine verbrandingsmotoren vervangen met het grote voordeel dat de energieopwekking dan efficiënter, schoner en stiller is.

Erik Delsman promoveerde 2 juni op dit onderwerp aan de Technische Universiteit Eindhoven. Hij ontwierp een methanol-waterstofomzetter die bestaat uit drie van dergelijke microreactoren. In de eerste vindt de verdamping van de vloeibare brandstof, een mengsel van methanol en water, plaats. In de tweede reactor worden methanol en water onder invloed van een katalysator omgezet in waterstof en kooldioxide en een kleine hoeveelheid koolmonoxide, die de brandstof 'vergiftigt'.

In de laatste microreactor oxideert die koolmonoxide onder invloed van een katalysator verder. De microreactoren worden gemaakt door kanalen te etsen in 500 micron dikke roestvrijstalen platen. Door een aantal van die geëtste platen verspringend op

***In drie processtappen worden methanol en water omgezet in waterstof en kooldioxide***

elkaar te lassen, ontstaan de kanalen, die een karakteristieke afmetingen hebben van 0,4 x 0,3 x 40 mm (breedte bij hoogte bij lengte).

De drie modules samen, inclusief de verbindingen ertussen en de benodigde pompen en sensoren, zijn net zo groot als vijf pakjes sigaretten en leveren schoon waterstofrijk gas dat in een 100W-brandstofcel gebruikt kan worden voor opwekking van elektrische energie.

Het overall rendement bedraagt in dit ontwerp twintig procent, wat tussen het rendement voor batterijen (veertig procent) en dat voor verbrandingsmotoren (tien procent) in zit. Het voordeel zit in de hogere energiedichtheid die een langere gebruiksduur zonder opladen mogelijk maakt. 



In een laptop wordt de stroom geleverd door accu's. Die moet je regelmatig opladen.

Een brandstofcel zou de rol van de accu's kunnen overnemen. Maar ... hoe kom je aan de (kleine) hoeveelheden waterstof om die brandstofcel te laten werken?

Erik Delsman, promovendus aan de TU Eindhoven, heeft er een oplossing voor ontwikkeld: waterstof maken in *microreactoren*!

1 Welke twee processen zijn nodig om een laptop van stroom te voorzien?

2 Met welk proces heeft Erik Delsman zich beziggehouden?

Microreactoren bevatten nauwe kanaaltjes. Daardoor komt een klein volume van de stoffen die moeten reageren in contact met een relatief groot wandoppervlak.

3 Welke twee voordelen heeft dat?

4 Verloopt de omzetting van de methanol in één stap?

Als je meerdere reactiestappen wilt laten verlopen kun je niet met één reactor volstaan.

5 Hoe is dat probleem in de 'omzetter' opgelost?

6 Beschrijf de reactiestappen in de 'omzetter' in woorden.

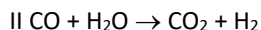
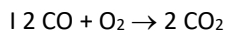
7 Geef het hele proces voor de productie van waterstofgas uitgaande van methanol en water weer in een blokschema.

De formule voor methanol is  $\text{CH}_4\text{O}$ .

8 Noteer de reactievergelijkingen van de reactie die optreedt in de tweede microreactor als er koolstofdioxide ontstaat.

9 Noteer de reactievergelijkingen van de reactie die optreedt in de tweede microreactor als er koolstofmonoxide ontstaat.

In de laatste reactiestap wordt koolstofmonoxide omgezet in koolstofdioxide. Hiervoor zijn twee reacties mogelijk



10 Leg uit waarom reactie I waarschijnlijk niet wordt gebruikt.

11 Leg uit waarom reactie II waarschijnlijk wel wordt gebruikt.

Na de laatste reactiestap is er 'schoon, waterstofrijk gas' geproduceerd.

12 Welke verbinding is er, naast waterstof, in dit schone gas aanwezig?

13 Schat het volume percentage waterstof in dit gas.

14 Wat moet er nu nog met dit gas gebeuren?

Micro-reactoren produceren waterstof voor de laptop.

1 Eerst methanol omzetten in waterstof, daarna met de waterstof in een brandstofcel elektrische stroom opwekken.

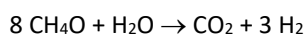
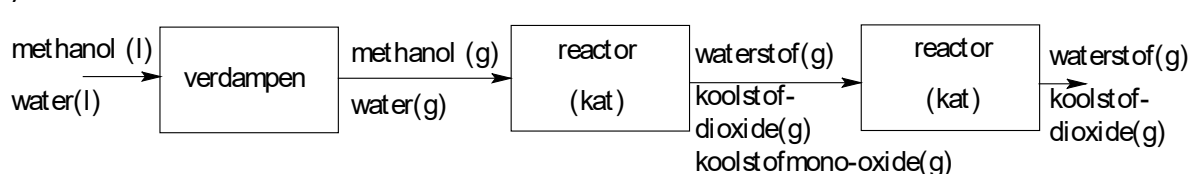
2 Met het ontwerpen van een methanol-waterstof-omzetter.

3 Reacties kunnen sneller verlopen; de ontstane warmte valt snel af te voeren.

4 Nee, er zijn drie stappen nodig voor de (volledige) omzetting.

5 Door de omzetter op te bouwen uit drie microreactoren na elkaar.

6 (1) Een mengsel van methanol en water wordt verdampt; (2) het dampmengsel wordt onder invloed van een katalysator omgezet in waterstof en koolstofdioxide (en een kleine hoeveelheid koolstofmonoxide); (3) het ontstane koolstofmonoxide wordt onder invloed een katalysator geoxideerd tot koolstofdioxide



10 Hiervoor is zuurstof nodig. In combinatie met het al aanwezige waterstofgas loop je het risico van knalgasvorming.

11 Met deze reactie verhoog je de productie van waterstofgas.

12  $\text{CO}_2$

13 De molverhouding  $\text{CO}_2 : \text{H}_2 = 1 : 3$  volgens de tweede reactievergelijking. Als er geen methanol- of waterdamp meer over is, dan is het volume percentage waterstof 75 %.

14 Het moet nog in de brandstofcel worden gebruikt voor het produceren van stroom voor de laptop.

Brabants Dagblad, 21 mei 2005

## Roestig marmer

**Vraag:** *Ik heb een tafeltje met een marmeren blad. Daar heeft een roestig voorwerp op gestaan. Het probleem is dat ik de roestplekken er niet meer vanaf krijg. Weet u misschien hoe ik die eraf zou kunnen krijgen?*

**E.Suurs (via e-mail)**

**Antwoord:** Roestplekken zijn inderdaad moeilijk te verwijderen. Afhankelijk van de ouderdom heb ik het geprobeerd met een sterke zoutoplossing. Vervolgens heb ik goed nagespoeld met citroensap. Er zijn verschillende andere mogelijkheden. Azijnconcentraat of bleekmiddel bijvoorbeeld. U kunt ook honderd gram oxaalzuur (kristallen of poeder) oplossen in een liter water. Een simpel middeltje is Cil-lit Beng. Ben wel voorzichtig met zuren op marmer want ze kunnen het materiaal aantasten.

**Jan de Veer, klusjesman**

Versie I

Als eerste tip voor het verwijderen van roest wordt in het artikel gegeven: een sterke zoutoplossing en citroensap.

Citroensap bevat onder andere citroenzuur (gebruik als formule voor citroenzuur:  $H_3Cit$ ). De zoutoplossing zorgt waarschijnlijk voor het weken van roest. Citroenzuur reageert via een zuur-base reactie met roest en daarbij ontstaat het complex ion  $FeCit_2^{3-}$ .

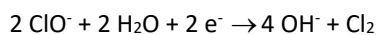
Gebruik als formule voor roest  $Fe_2O_3 \cdot n H_2O$ .

1 Geef de reactievergelijking voor de behandeling van roest met citroenzuur.

2 Leg uit wat het voordeel is van het ontstaan van het complexe ion.

Een tweede tip is: bleekmiddel.

Bleekmiddel is een oplossing van natriumchloride en natriumhypochloriet. Bleekmiddel zou mogelijk via een redoxreactie met roest kunnen reageren. De halfreactie voor bleekmiddel is



3 Leg uit dat roest niet via een redoxreactie met bleekmiddel kan reageren.

Een derde tip is: werken met een oplossing van oxaalzuur. Oxaalzuur kan zowel als zuur als reductor reageren.

4 Bereken de pH van de oplossing als je 100 g oxaalzuur oplost in een liter water.

5 Welke veiligheidsmaatregelen horen bij een dergelijke oplossing?

6 Geef de zuur-base reactie van een oxaalzuuroplossing met roest.

7 Welk nadeel heeft deze reactie

Nu de reactie met oxaalzuur als reductor

8 Leid met behulp van de halfreacties de redoxreactie die optreedt als je een oxaalzuuroplossing laat reageren met roest.

De klusjesman waarschuwt voor de aantasting van marmer door zuur.

9 Zoek in je Binasboek op wat marmer is. Noteer de naam en formule

10 Leg met behulp van een reactievergelijking uit waarom je met zuren op marmer voorzichtig moet zijn. Ga in je antwoord uit van een zure oplossing

Versie II

In deze opdracht ga je onderzoeken welk middel het meest geschikt is om roest te verwijderen.

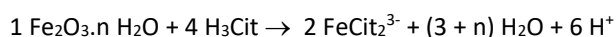
Maak eerst een plan van aanpak. Bespreek dit met de docent.

Noteer je waarnemingen en resultaten in een overzichtelijke tabel.

Licht je waarnemingen toe met een reactievergelijking

Roestig marmer

Versie I



2 Het blijft in oplossing, en je kunt het dus makkelijk weg spoelen.

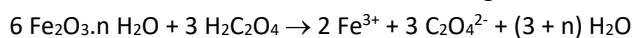
3 In roest is  $\text{Fe}^{3+}$  aanwezig, dit is een oxidator. Het bleekmiddel is ook een oxidator. Voor een redoxreactie is zowel een oxidator als een reductor nodig.

4 100 g  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  in een liter water:  $100/90,0 = 1,11 \text{ mol } \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ .  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  is een zwak zuur

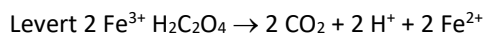
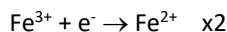
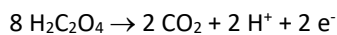
$$K_Z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HC}_2\text{O}_4^-]}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]} \rightarrow 5,9 \cdot 10^{-2} = \frac{x^2}{1,11} \rightarrow x = 0,26 = [\text{H}_3\text{O}^+], x \text{ niet te verwaarlozen}$$

$$5,9 \cdot 10^{-2} = \frac{x^2}{1,11 - x} \rightarrow x^2 + 5,9 \cdot 10^{-2} x - 6,55 \cdot 10^{-2} = 0 \rightarrow x = 0,23 = [\text{H}_3\text{O}^+] \rightarrow \text{pH} = 0,64$$

5 Bril, handschoenen, beschermende kleding.



7 De vaste stof moet met een oplossing reageren, duurt lang voordat alles heeft gereageerd.



9 Calciumcarbonaat,  $\text{CaCO}_3$

10  $\text{CaCO}_3$  bevat de base  $\text{CO}_3^{2-}$  die met het zuur reageert, het marmer wordt dus aangetast.



Versie II

Ook de invloed van het zout bij de methode met het citroensap onderzoeken.

Technisch Weekblad, 27 mei 2005

## Synthetische diamant beter dan Koh-i-Noor

**Haarlem** – Geofysici van het Carnegie Instituut in Washington hebben centimeters dikke 10 karaat diamanten in het lab gemaakt. De diamanten zijn volkomen kleurloos en nog harder dan natuurlijke diamanten. Volgens onderzoeksleider Russell Hemley kan hun groeirecept diamanten opleveren tot maar liefst 300 karaat.

Over het oorspronkelijke gewicht van 's werelds grootste diamant, de beroemde Koh-i-Noor, bestaan alleen legenden, maar toen de diamant in 1850 werd aangeboden aan koningin Victoria, was deze slechts 186 karaat.

Bij de groeitechniek, *chemical vapor deposition*, slaat gas direct als kristal neer.

De onderzoekers bombarderen een gas van waterstof en methaan in de reactorkamer met een plasma. Een complex chemisch proces leidt tot een 'regen' van koolstofatomen, die neervallen op het zaadkristal en zich in een rooster rangschikken. Na de kristalgroei worden de kristallen verhit tot 2000 graden Celsius en tien minuten blootgesteld aan een druk van 70.000 keer de atmosferische.

Met de nieuwe techniek halen de wetenschappers 0,1 centimeter kristalgroei per uur, ongeveer vijf keer zo snel als met andere synthetische technieken. Volgens Hemley zijn de kosten van synthetische diamant laag: 'Het diamanten tijdperk ligt voor ons'.(hk)

1 Licht de titel van het artikel toe.

Geofysici van het Carnegie Instituut hebben in het laboratorium diamanten gemaakt.

2 Wat is het voordeel van de nieuwe techniek die geofysici van het Carnegie Instituut toepassen?

De eenheid karaat voor diamanten betekent een massa van 0,2 g.

Uit aardgas ( $\text{CH}_4$ ) wordt de diamant gevormd. In feite is diamant opgebouwd uit een groot netwerk van koolstofatomen.

3 Bereken hoeveel liter aardgas ( $p_0$  en  $T = 298 \text{ K}$ ) er nodig is om een diamant van 300 karaat te maken.

In de rest van de ze opgave ga je het "complexe chemische proces" nader bekijken.

Onderstaande informatie van het Carnegie Instituut licht het proces, *chemical vapor deposition*, voor de vorming van synthetische diamant toe.

Bron: Carnegie Instituut

(Vertaling uit het Engels)

Een mengsel van methaan en waterstof wordt in een reactiekamer gekraakt tot mono-atomaire waterstof en koolwaterstofradicalen.

Bij de vorming van diamant uit methaangas en waterstofgas blijkt dat koolwaterstof-radicalen essentieel zijn voor de groei van de diamant.

4 Wat versta je onder een radicaal?

### Beschrijving van het proces:

#### *Initiatie*

*A waterstofmoleculen worden gesplitst in waterstofradicalen (waterstofatomen) bij 2000 °C onder invloed van een katalysator*

*B een waterstofradicaal reageert met een methaanmolecuul waarbij een methylradicaal en een waterstofmolecuul gevormd wordt.*

5 Geef de stappen A en B in vergelijkingen weer.

Onderzoek heeft uitgewezen dat de groei van diamant onafhankelijk is van het soort koolwaterstof. Dit komt overeen met het feit dat de meeste koolwaterstoffen reageren tot een stabiel product onder die

omstandigheden, te weten acetyleen (ethyn,  $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ ).

Als men dus aardgas als koolstofleverancier gebruikt moet het methaan uit aardgas eerst ethyn omgezet worden.

### De vorming van het monomeer ethyn

I Uit twee methylradicalen ontstaat ethaan

II Ethaan reageert met een waterstofradicaal tot een ethylradicaal en een waterstofmolecuul

III Het ethylradicaal wordt onder invloed van een katalysator omgezet in etheen en een waterstofradicaal

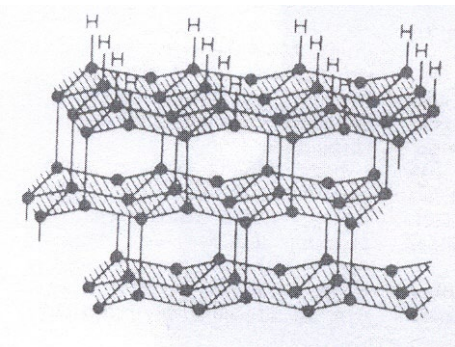
IV Etheen reageert met een waterstofradicaal tot een waterstofmolecuul en een ethenylradicaal

V Het ethenylradicaal wordt onder invloed van een katalysator omgezet in ethyn en er komt een waterstofradicaal vrij.

6 Geef de vorming van het monomeer ethyn via de stappen I tot en met V in vergelijkingen met structuurformules weer.

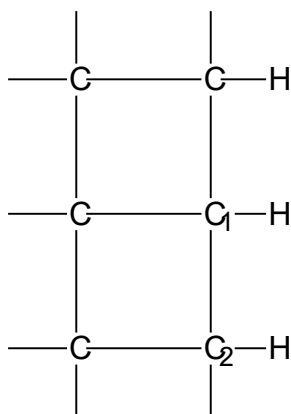
### De groei van de diamant

Het oppervlak van de diamant tijdens het groeien is bezet met waterstofatomen (figuur 1), dit voorkomt de vorming van grafiet aan de buitenkant:



Figuur 1

De eerste stap in de groei van de diamant is het maken van een reactieve positie op het diamantoppervlak. Het oppervlak van de diamant geven we als volgt weer:



Figuur 2

Het groeimechanisme voor het methaan/waterstofmengsel en het ethyn/zuurstofmengsel verschilt in het maken van de reactieve groei.

***Het maken van de reactieve positie in een ethyn/zuurstofmengsel***

In het ethyn/zuurstofmengsel ontstaan onder invloed van de katalysator zuurstofradicalen die vervolgens met ethyn reageren waardoor een ethynylradicaal en OH ontstaat. Dit ethynylradicaal gaat vervolgens een binding aan met een waterstofatoom (aan koolstofatoom 1) op het diamantoppervlak waardoor ethyn ontstaat en het koolstofatoom 1 (met een ongepaard elektron (radicaal) achterblijft.

7 Geef het mechanisme weer van het maken van de reactieve positie in een ethyn/zuurstofmengsel in vergelijkingen (structuurformules). Ga hierbij uit van de tekening in figuur 2.



***De reactieve positie in een methaan/waterstofmengsel en het verdere groeimechanisme***

A Een waterstofradicaal gaat een binding aan met het waterstofatoom aan koolstofatoom 1 en laat dit koolstofatoom als radicaal achter.

B Een ethynmolecuul nadert het koolstofradicaal op positie 1. Er vormt zich een binding tussen C1 en een koolstofatoom van het ethynmolecuul waardoor het andere C-atoom van ethyn een ongepaard elektron krijgt.

C De C-H binding van koolstofatoom 2 op het diamantoppervlak wordt verbroken. Het vrijgekomen waterstofatoom gaat een binding aan met het koolstofatoom met het ongepaarde elektron.

D Vervolgens vormt het koolstofradicaal 2 een binding met het buitenste koolstofatoom van het oorspronkelijke ethynmolecuul waardoor de aanwezige dubbele binding tussen de twee koolstofatomen van het molecuul enkel wordt. Een ongepaard elektron is dan aanwezig op dat koolstofatoom dat een binding aanging met C1.

E Op het koolstofatoom met het ongepaarde elektron valt dan weer een ethynmolecuul aan et cetera.

8 Geef de stappen A tot en met E in vergelijkingen (structuurformules) weer. Ga ook nu weer uit van de tekening in figuur 2.

9 Geef in een tekening aan welk deel van de ontstane structuur de kunstmatige diamant is.

Synthetische diamant beter dan Koh-i-Noor

1 De titel speelt in op de het feit dat de synthetische diamanten volkomen kleurloos en harder zijn dan natuurlijke diamanten. De bekendste natuurlijke diamant is de Koh-i-Noor.

2 Ze halen met de nieuwe techniek een kristalgroei die vijf keer zo snel is als van andere synthetische technieken.

3 Uit 1 mol  $\text{CH}_4$  kan 1 mol  $\text{C}_{\text{diamant}}$  ontstaan.  $300 \text{ karaat} \equiv 300 \times 0,2 = 60 \text{ g} \equiv 60/12,01 = 5,0 \text{ mol C} \equiv 5,0 \text{ mol CH}_4$   
 $\equiv 5,0 \times 24,5 = 1,2 \cdot 10^2 \text{ dm}^3 \text{ CH}_4$ .

4 Een deeltje met een ongepaard elektron.

5 A  $\text{H-H} \rightarrow 2 \text{ H}\cdot$  ; B  $\text{CH}_4 + \text{H}\cdot \rightarrow \text{CH}_3\cdot + \text{H-H}$

6 I  $2 \text{ CH}_3\cdot \rightarrow \text{CH}_3\text{-CH}_3$

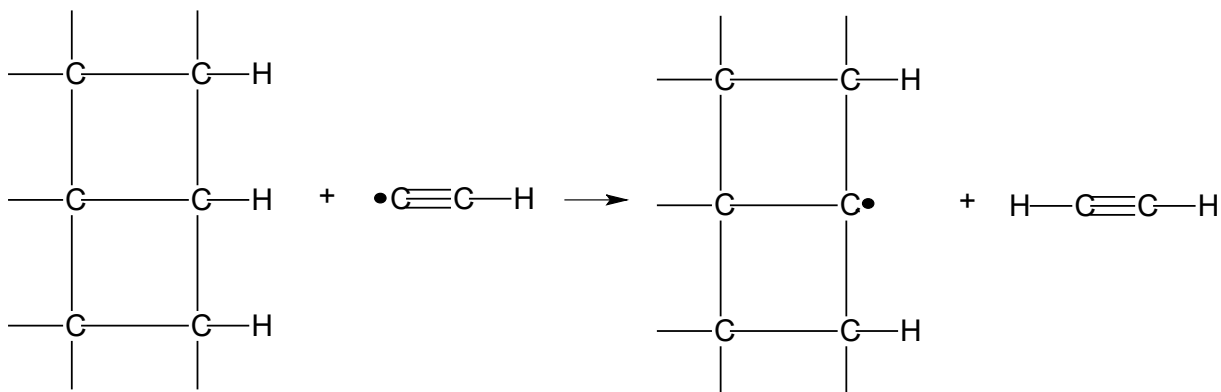
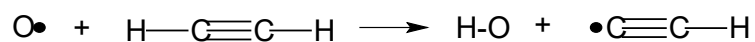
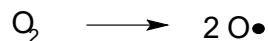
II  $\text{CH}_3\text{-CH}_3 + \text{H}\cdot \rightarrow \text{CH}_3\text{-H}_2\text{C}\cdot + \text{H-H}$

III  $\text{CH}_3\text{-H}_2\text{C}\cdot \xrightarrow{\text{kat}} \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}\cdot$

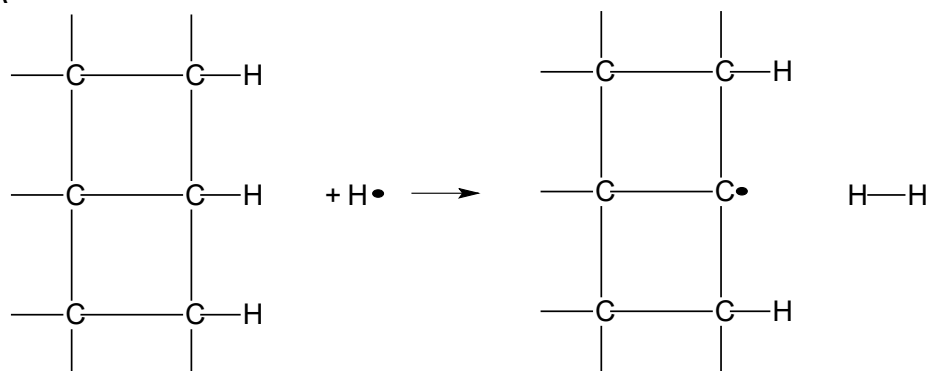
IV  $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}\cdot \rightarrow \text{CH}_2=\text{HC}\cdot + \text{H-H}$

V  $\text{CH}_2=\text{HC}\cdot \xrightarrow{\text{kat}} \text{HC}\equiv\text{CH} + \text{H}\cdot$

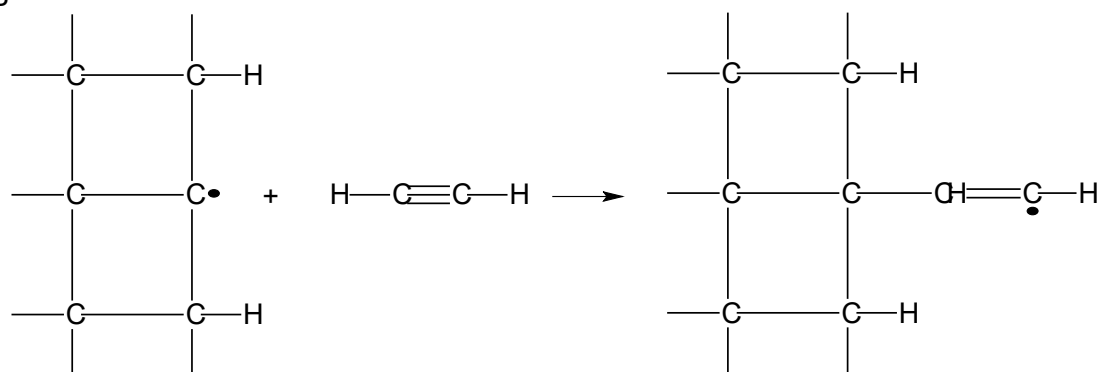
7



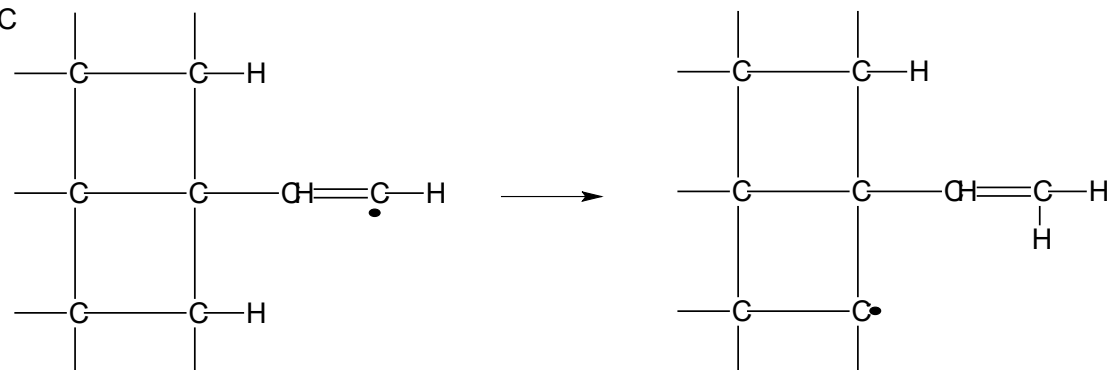
A



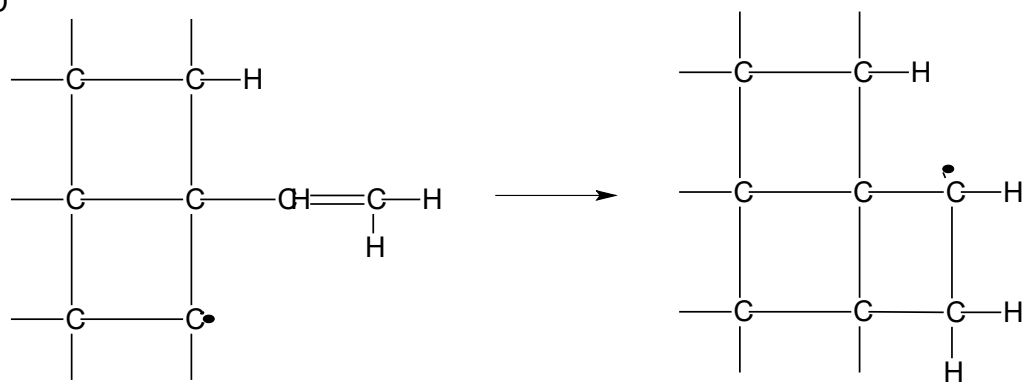
B



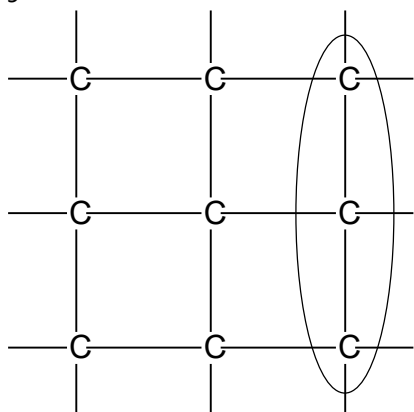
C



D



9



# Nobelprijs chemie voor partnerruil

Door onze redacteur  
KAREL KNIP

ROTTERDAM, 6 OKT. De Nobelprijs voor chemie, gisteren toegekend aan de Fransman Yves Chauvin en de Amerikanen Robert Grubbs en Richard Schrock, is de beloning voor tamelijk oud onderzoek, maar ook voor ontdekkingen die naar Nobel-begrippen nog heel nieuw zijn. De twee Amerikanen hebben na 1990 bruikbare toepassingen gevonden voor een vondst die Yves Chauvin al deed in 1970. Zó lang geleden, vindt Chauvin, dat hij zich zeer in verlegenheid gebracht toonde door de eer die hem nog op zijn 74-ste bereikte.

De prijs gaat naar onderzoek aan de katalyse van een bepaald type, zeer bruikbare organisch-chemische reacties. Het is dus een prijs voor organische synthese, de discipline die zich bezig houdt met de vorming van nieuwe organische verbindingen, zoals medicijnen, herbiciden, kleurstoffen of plastics. Dat was lange tijd enigszins een 'hit-and-miss'-wetenschap waarvoor het Nobel-comité niet veel aandacht had. De alchemie was vaak nog te goed te herkennen en er is maar vier keer eerder een prijs voor gegeven.

De essentie van het beloonde werk werd gisteren getoond door een stijf dansje dat vier leden van de Zweedse academie van wetenschappen voor de gelegenheid opvoerden. Twee dansparen raken in contact, vormen opeens een dan-

sende cirkel van vier personen, laten weer los en blijken dan van partner te zijn gewisseld. AB en CD werden AC en BD.

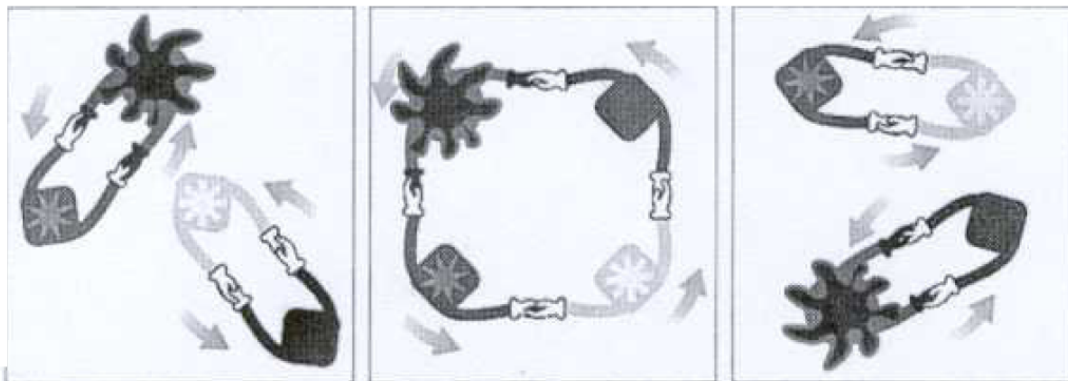
Vertaald naar de organische chemie beschrijft het een reactie tussen twee verbindingen die tijdens de reactie groepen loslaten en van plaats laten verwisselen. Die reacties zijn al bekend uit de jaren vijftig en werden gevonden binnen de industriële research rond plastics en kunststrubbers. Eén van de oudste beschrijft de vorming van buteen en etheen uit propen (voor te stellen als:  $AB + AB = AA + BB$ ). Deze reactie, en soortgelijke andere, werd mogelijk gemaakt door een tamelijk bizar metaalhoudend katalysator-mengsel dat min of meer proefondervindelijk was gevonden. Hoe het precies werkte was onduidelijk.

Men realiseerde zich dat de chemische partnerruil de weg wees naar synthese van heel gecompliceerde verbindingen en stak veel energie in verdere research. Nissim Calderon van Goodyear ontdekte gemeenschappelijke kenmerken van de reacties en introduceerde in 1964 en passant de term 'metathese'. Allerwege werd geprobeerd het mechanisme achter de metaal-katalyse te achterhalen. In Nederland probeerde de Amsterdamse chemisch technoloog Hans Mol dat rond 1968 met behulp van radioactief gelabelde verbindingen.

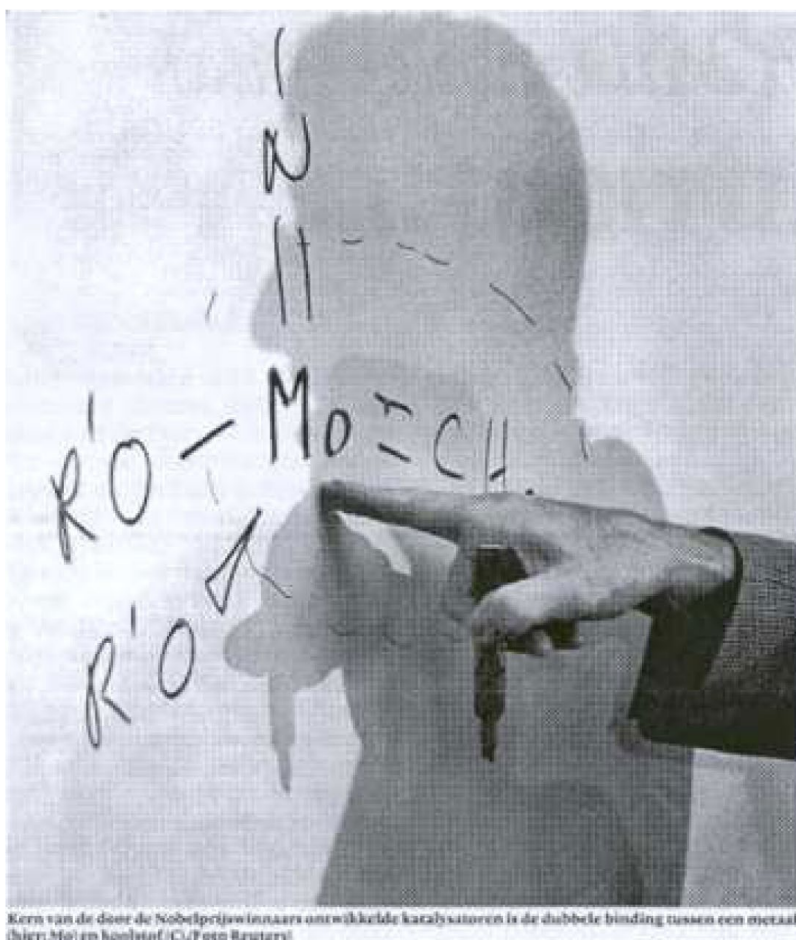
Uiteindelijk ontdekte Yves Chauvin, verbonden aan het Institut Français du Pétrole, in 1970 het gezochte werkingsmechanisme. Het metaal in het katalysator-mengsel bleek alleen in een dubbele binding met koolstof uit een organische groep actief. Dit soort metaal-verbinding is een metaal-carbeen, later een metaal-alkylide genoemd. Chauvin beschreef ook in detail hoe het carbeen tijdens de katalytische reactie reageerde en weer werd teruggevormd.

Er was een principe ontdekt dat breder toepasbaar leek. Het werd het startpunt van de research van Richard Schrock, eerst bij chemieconcern DuPont, later werkend talen, zoals tantaal, wolfram en molybdeen, op hun bruikbaarheid onderzocht. In 1990 vond zijn onderzoeksgroep een klasse uiterst functionele molybdeen-katalysatoren.

Een nieuwe doorbraak kwam van Robert Grubbs die een bruikbare katalysator op basis van rutenium vond. De rutenium-katalysatoren worden inmiddels op ruime schaal in laboratoria toegepast. Maar ook daarbuiten heeft de katalyse van de metathese, de chemische partnerruil, enorme toepassing gekregen, zowel in de farmaceutische als de petrochemische industrie.



De Nobelprijswinnende chemische reacties die met 'metathese' worden aangeduid zijn wel beschreven als een chemische dans. De deelnemende verbindingen zijn dan twee dansparen die zich even kort verenigen, van partner wisselen, en weer uiteengaan.



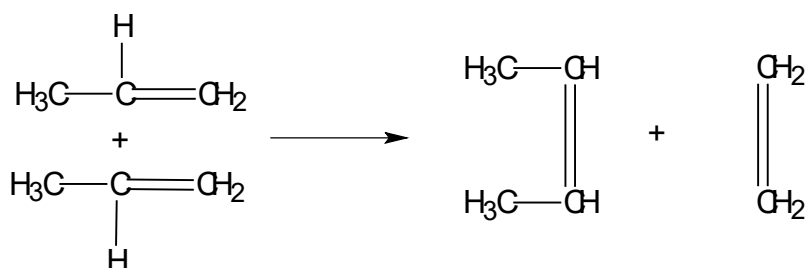
Er zijn Nobelprijzen voor heel veel gebieden, waaronder die voor de chemie.

1 Voor welke discipline binnen de chemie is de Nobelprijs voor de Chemie in 2005 uitgereikt?

De Nobelprijs voor Chemie 2005 is uitgereikt aan drie onderzoekers: Chauvin, Grubbs en Schrock.

2 Geef met maximaal twee of drie trefwoorden per persoon aan wat de essentie was van hun onderzoeken waarvoor ze de Nobelprijs kregen.

*De partnerruil of metathese.* Het woord is afgeleid uit de Griekse woorden meta (verandering) en thesis (plaats). In het artikel wordt de reactie tussen propenmoleculen als voorbeeld genoemd. In onderstaande reactievergelijking is dit weer gegeven.



In de zin "Een van de oudste beschrijft de vorming van buteen en etheen uit propen ....." is één van de namen chemisch gezien niet volledig juist.

3 Geef de juiste naam.

4 Neem de reactievergelijking waarin twee propenmoleculen reageren over. Geef door het gebruik van verschillende kleuren voor de betrokken koolstofatomen in de structuurformules aan hoe de partnerruil plaats vindt.

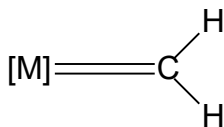
In tegenstelling tot wat bij metathese van propen gebeurt, ontstaan bij metathese van 2,3-dimethyl-2-buteen geen andere stoffen.

5 Leg dit uit aan de hand van een reactievergelijking zoals in vraag 4.

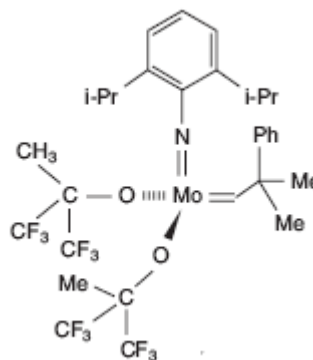
2-Methylpropen, een bijproduct bij het kraken van aardoliefracties, wordt gebruikt voor de bereiding van "neohexeen", 3,3-dimethyl-1-buteen, dat toegepast wordt in de parfumindustrie. Daartoe wordt uit 2-methylpropen eerst 2,4,4-trimethyl-2-penteen gemaakt. Het gevormde 2,4,4-trimethyl-2-penteen wordt met etheen omgezet in 2-methylpropen en neohexeen.

6 Leg aan de hand van een reactievergelijking uit of bij deze laatstgenoemde omzetting metathese optreedt.

Chauvin kreeg de Nobelprijs omdat hij ontdekte hoe metathese onder invloed van een 'metaal'katalysator verliep: metaalcarbeen of een metaal-alkylide. Een verkorte weergave van een metaalcarbeen/metaalalkylide is



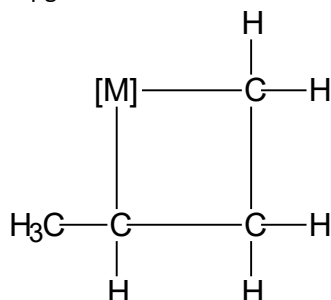
In de volgende figuur is de molybdeenkatalysator van Schrock weergegeven.



7 Geef in deze structuurformule duidelijk het metaalcarbeengedeelte aan.

Hierna volgt de omschrijving van het mechanisme volgens Chauvin voor de reactie van propen tot etheen en 2-buteen:

A Het metaalcarbeen deeltje reageert met één propenmolecuul, hierbij ontstaat door het openklappen van de dubbele binding en het vormen van enkele bindingen een vierring (met als zijgroep een methylgroep) die is opgebouwd uit het metaalatoom en drie koolstofatomen,



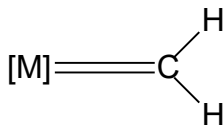
B Uit deze vierring splitst etheen af en ontstaat een metaalcarbeen dat een koolstofatoom meer heeft dan het oorspronkelijke metaalcarbeen

C het metaalcarbeen uit stap 2 vormt opnieuw een vierring met propen, de vierring is weer opgebouwd uit een metaalatoom en drie koolstofatomen.

D uit deze vierring splitst 2-buteen af en er ontstaat een metaalcarbeen.

8 Geef de stappen uit B tot en met D in structuurformules weer.

9 Leg uit of het metaalcarbeen



inderdaad als katalysator optreedt.

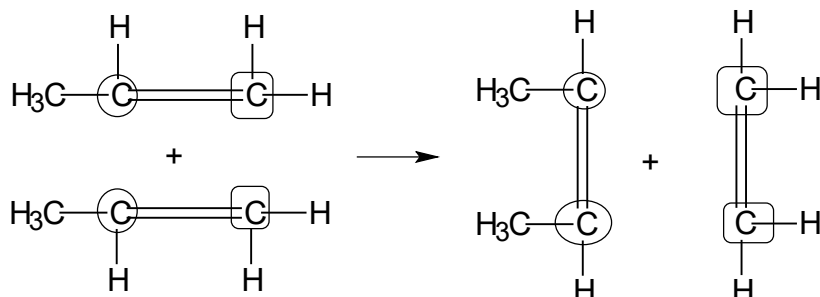
Nobelprijs Chemie 2005

1 De organische synthese.

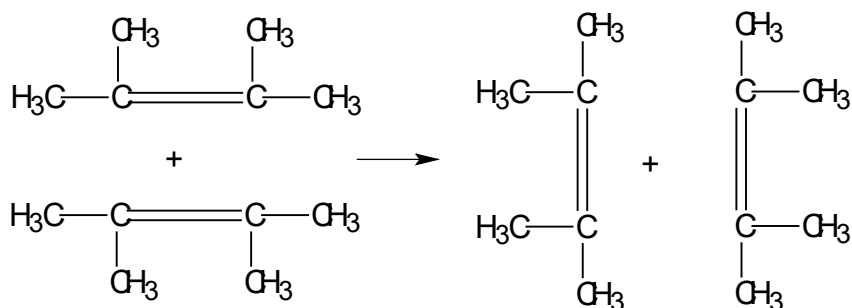
2 Chauvin: ontdekte het mechanisme met metaalcarbeen als katalysator; Schrock: uiterst functionele molybdeen-katalysator; Grubbs: ruteniumkatalysator.

3 Buteen moet 2-buteen zijn.

4



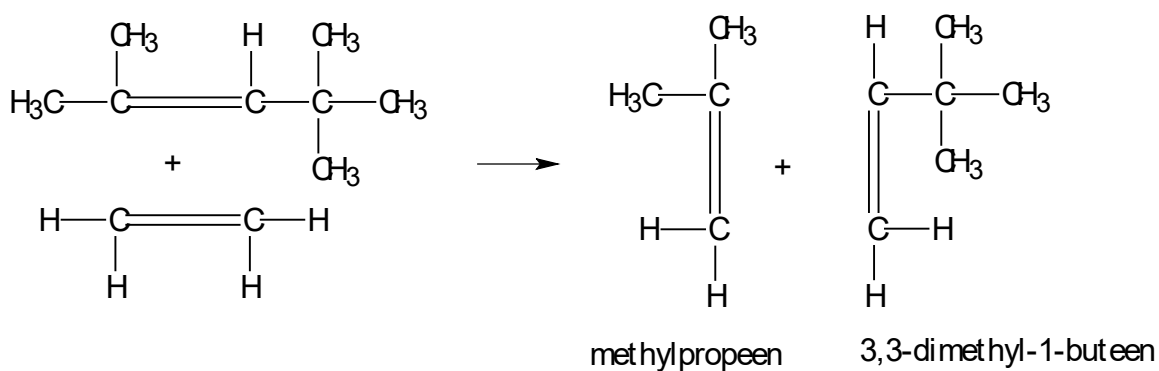
5



Producten zijn gelijk aan uitgangsstoffen

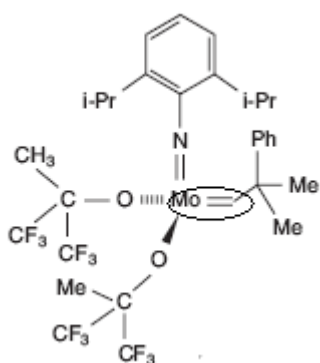
6

Metathese bij 2,4,4-trimethylpenteen en etheen geeft:

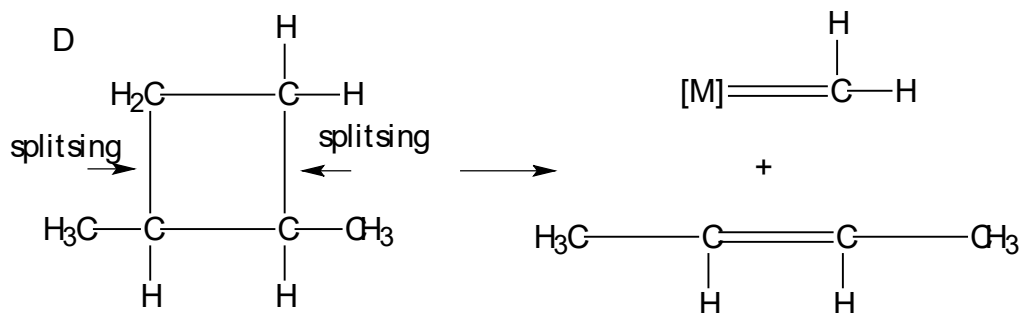
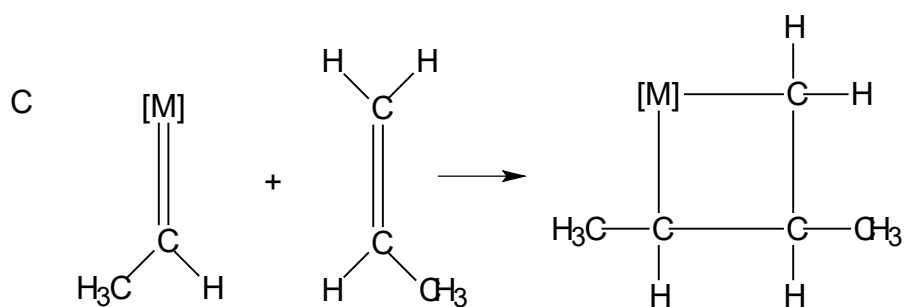
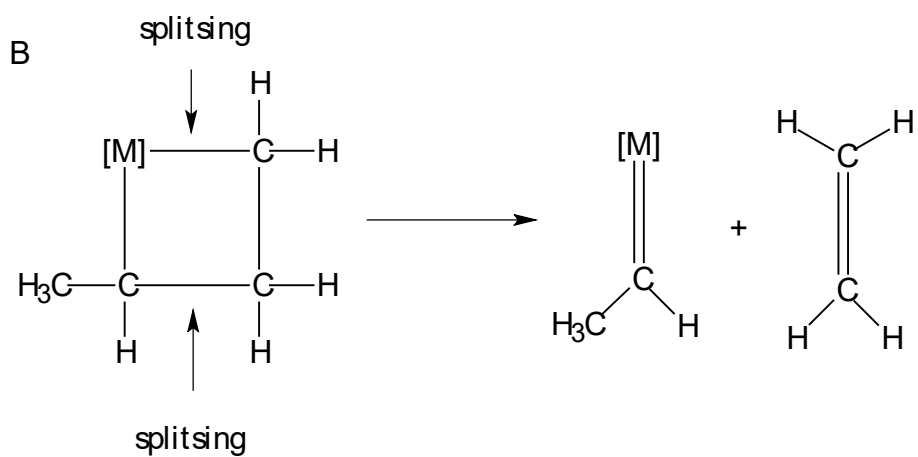


Het klopt!

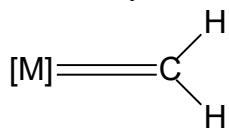
7



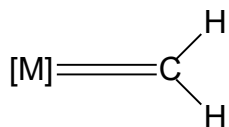




9 Ja, want je start met



en na de reactie heb je



weer terug. En dat is een van de kenmerken van een stof die als katalysator fungeert.

Technisch Weekblad, 25 november 2005.

## Teflon kogel smelt staal

**Haarlem** – Het Amerikaanse leger heeft een kogel ontwikkeld die zich als het ware door staal heen smelt. De kop van de kogel is een mengsel van aluminium, teflon en perchlooraat, bijeengehouden door een epoxyhars.

Inslag van de kogel veroorzaakt een reactie tussen het mengsel en aanwezige metalen, zoals staal, waardoor de temperatuur ter plekke razendsnel oploopt tot een graad of 3500. De rest van de kogel schiet vervolgens door naar binnen. Op dit moment worden kogels van uranium gebruikt om door staal heen te dringen. (ci)

1 Wat is het bijzondere aan de nieuwe kogel die ontwikkeld is?

Bij de reactie, die na de inslag van de kogel optreedt, loopt de temperatuur razendsnel op.

2 Hoe noemt men zo'n reactie waarbij de temperatuur stijgt?

De metaalatomen (ongeladen) zullen bij de reactie elektronen afstaan.

3 Hoe noem je het type reactie dat dit veroorzaakt?

In de tekst staat "(...) aanwezige metalen zoals staal (...)".

4 Welk metaal is nog meer aanwezig?

Het (kalium)perchloraat reageert met metalen. De vergelijking voor de optredende reactie is



5 Leg uit dat deze reactie een redoxreactie is.

Dat er in de kop van de kogel aluminium is gebruikt (en niet b.v. ijzerpoeder) heeft z'n reden. Je kunt dat onderzoeken door te berekenen hoeveel warmte er vrijkomt bij de reactie.

6 Zoek op hoeveel warmte er vrijkomt per mol gevormd oxide van elk van beide metalen en trek je conclusie.

7 Geef commentaar op de titel van het artikel.

Teflon kogel smelt staal.

1 De kogel *smelt* zich door staal.

2 Exotherme reactie.

3 Redoxreactie.

4 Aluminium

5  $3 \text{KClO}_4 + 8 \text{Fe} \rightarrow 3 \text{KCl} + 4 \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Fe wordt  $\text{Fe}^{3+}$ , Cl in  $\text{ClO}_4^-$  heeft de 'lading' 7+ en wordt  $\text{Cl}^-$ . Fe is dus de reductor,  $\text{ClO}_4^-$  de oxidator.

6 Je moet dan eerst nog de reactievergelijking met aluminium opschrijven:  $3 \text{KClO}_4 + 8 \text{Al} \rightarrow 3 \text{KCl} + 4 \text{Al}_2\text{O}_3$

Binas-tabel 57A: vorming van 1 mol  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (uit de elementen) levert  $8,22 \cdot 10^5 \text{ J}$

*idem* voor  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $16,70 \cdot 10^5 \text{ J}$

Met aluminium komt bij de reactie dus veel meer warmte vrij dan met ijzer.

7 De kogel is niet alleen van teflon gemaakt, de titel suggereert dat het teflon verantwoordelijk is voor het smelten van staal. De warmte voor het smelten wordt echter geleverd door de reactie tussen aluminium/ijzer en kaliumperchloraat.

# Schoolmelk met NaOH

Door een onzer redacteurs

**ROTTERDAM, 15 DEC.** Tussen de driehonderd en vierhonderd basisschoolleerlingen hebben afgelopen week een pakje chocolademelk gekregen, waarin ook het schoonmaakmiddel natriumhydroxide zat (NaOH). Dat heeft zuivelconcern Campina bevestigd. Volgens het bedrijf heeft dit geen gevolgen gehad voor de gezondheid van de leerlingen.

Campina ontdekte de verontreiniging afgelopen dinsdag. „We hebben onmiddellijk contact opgenomen met alle 2.200 scholen die chocolademelk bij ons afnemen”, zegt Bas van den Berg van Campina Nederland. Na overleg met de Voedsel en Waren Autori-

teit besloot Campina om de verontreiniging niet met advertenties bekend te maken. „Het gaat om chocolademelk die alleen op scholen wordt verspreid.”

Volgens Van den Berg heeft de verontreinigde melk hooguit „een vieze smaak en een licht branderig gevoel in de keel” veroorzaakt. Er zijn geen gezondheidsklachten gemeld bij Campina. Vanaf morgen hoopt het bedrijf weer nieuwe chocolademelk te leveren.

Het schoonmaakmiddel, een oplossing van NaOH, is door een lekkage in de chocolademelk terechtgekomen. Het is vergelijkbaar met een sterke sodaoplossing.

- 1 Waarvoor werd de verontreinigende stof gebruikt?
- 2 Hoe kwam deze stof in de chocolademelk terecht?

Volgens het artikel raakte de chocolademelk verontreinigd met een *oplossing* van NaOH.

- 3 Waarin zat de NaOH opgelost?
- 4 Welke deeltjes zitten er in een oplossing van NaOH?
- 5 Is deze oplossing zuur, neutraal of basisch? Leg uit waardoor je dat kunt weten.
- 6 Waaraan kon je merken dat er natriumhydroxide in de chocolademelk zat?

In Binas kun je in de tabel Veiligheid en Milieu gegevens opzoeken over gevaarlijke chemicaliën.

- 7 Zoek op wat de gevaren zijn als je natriumhydroxide *via de mond* binnenkrijgt.
- 8 Welke maatregelen worden dan aangeraden?

In je maag zit zoutzuur, dat o.a. helpt bij de vertering van je voedsel.

- 9 Zoek in Binas op wat zoutzuur is.
- 10 Welke ionen komen voor in zoutzuur?

Als je de verontreinigde chocolademelk had doorgeslikt, verliep er een chemische reactie in je maag tussen de verontreiniging en het in je maag aanwezige zoutzuur.

- 11 Geef de vergelijking van de reactie die dan optreedt.

Het artikel zegt nog over de oplossing van NaOH: "Het is vergelijkbaar met een sterke sodaoplossing".

- 12 Zoek in Binas op wat de naam van 'soda' is.
- 13 Leg uit waarom de oplossing van NaOH chemisch gezien vergelijkbaar is met een sterke soda-oplossing.
- 14 Schrijf de gevaren en de aanbevolen maatregelen van soda op en vergelijk die met die van natriumhydroxide.

15 Zijn beide stoffen even gevaarlijk? Licht je antwoord toe.

Schoolmelk met NaOH

1 Als schoonmaakmiddel.

2 Door een lekkage.

3 Water.

4  $\text{Na}^+$  ionen en  $\text{OH}^-$  ionen.

5 Basisch, door de  $\text{OH}^-$  ionen.

6 Aan een vieze smaak en een licht branderig gevoel in de keel.

7 III: Giftig bij inwendig gebruik. VI: Bijtend.

8 VII: A/Z, d.w.z. arts waarschuwen / naar ziekenhuis vervoeren.

9 Een oplossing van waterstofchloride in water.

10  $\text{H}^+/\text{H}_3\text{O}^+$  ionen en  $\text{Cl}^-$  ionen.

11  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

12 Natriumcarbonatdecahydraat.

13 Soda bevat de base  $\text{CO}_3^{2-}$ . In een soda-oplossing ontstaan door de reactie tussen  $\text{CO}_3^{2-}$  en  $\text{H}_2\text{O}$   $\text{OH}^-$  ionen.

14 Soda:III: Giftig bij inwendig gebruik. VI: -; VII: W – G Br, d.w.z. veel water laten drinken – geen braken opwekken.

15 Soda is niet bijtend, dus minder gevaarlijk.

Technisch Weekblad, 11 november 2005

# Fabriek voor biodiesel aan de Eemshaven

Herman Damveld

**Haarlem** – Nog deze maand begint de firma Biovalue samen met de Zeeuwse 'multi utility' onderneming Delta aan de Eemshaven in Groningen met de bouw van een fabriek voor biodiesel. De basis van het proces is het chemisch bewerken van koolzaadolie. Bij de bewerking komen naast biodiesel ook glycerine en koolzaadkoeken

vrij. De glycerine wordt na bewerking weer toegevoegd aan de biodiesel. Koolzaadkoeken kunnen dienen als veevoer.

De benodigde vergunningen voor de biodieselfabriek zijn afgegeven en naar verwachting start het bedrijf na een bouwtijd van veertien maanden. De fabriek zal jaarlijks 66.000 ton (80 miljoen liter) biodiesel produceren. Daarvoor zijn 60.000 hectares met koolzaad nodig.

De onderneming Sunoil bouwt in Emmen een biodieselfabriek voor afnemers in Duitsland. Daar ligt al een netwerk van tweeduizend pompstations en heft de overheid geen accijns op biodiesel. Sunoil wil de glycerine gebruiken als brandstof voor biogasinstallaties. De firma Argos Oil heeft plannen om in Pernis eveneens een biodiesel-fabriek te bouwen. 

Soms lees je in de krant (of zie je op TV) dat iemand 'slaolie' in de brandstoftank van z'n dieselauto giet. Die auto rijdt dan op (plantaardige) *olie*.

*Biodiesel* is wat anders: het is een stof die uit (plantaardige) olie *gemaakt* moet worden door een chemische bewerking.

1 Waaruit gaat de fabriek de biodiesel maken?

2 Wat ontstaat daarbij nog meer?

De aanduiding 'olie' wordt gebruikt als een plantaardig of dierlijk vet (een triglyceride) bij kamertemperatuur *vloeibaar* is.

3 Leg uit wat een triglyceride is. Zie Binas tabel 67B1.

In Binas staan drie kronkellijntjes in de formule van een triglyceride. Die geven de 'staarten' aan van de vetzuren die met glycerol hebben gereageerd. Formules van die vetzuren vind je ook in Binas.

4 Teken de structuurformules van de 'staarten' die op de kronkellijntjes moeten staan als gereageerd hebben: palmitinezuur, oliezuur en linolzuur.

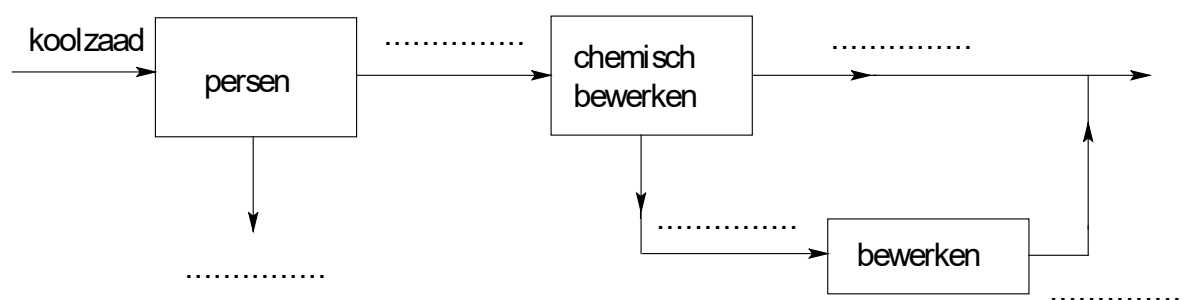
5 Geef de kronkellijntjes in het vet weer in de vorm  $-C_nH_m$ .

De namen palmitinezuur, oliezuur en linolzuur zijn zogenaamde *triviale* namen. In Binas kun je ook de bijbehorende modernere namen, de zogenaamde *rationele* namen vinden.

6 Zoek in Binas de rationele namen op van: palmitinezuur, oliezuur en linolzuur.

Het proces in de biodiesel-fabriek kun je in een schema weergeven. In het schema hieronder staan de bewerkingen in de blokjes, maar de stofnamen ontbreken.

7 Vul de stofnamen in die in het processchema ontbreken.





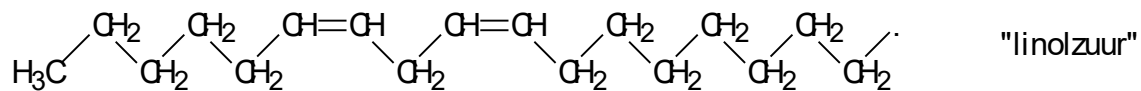
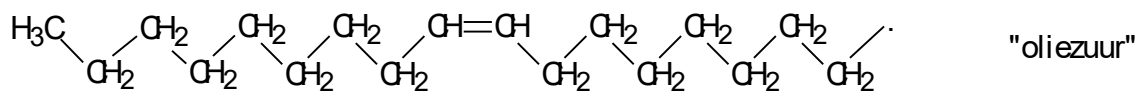
1 Uit koolzaadolie.

3 Uit tabel 67B1 kun je afleiden dat een triglyceride een verbinding is tussen glycerol en drie (meestal verschillende) vetzuren.

```

graph LR
    A[koolzaad] --> B[persen]
    B --> C[koolzaadolie]
    B --> D[koolzaadkoeken]
    C --> E[chemisch bewerken]
    E --> F[biodiesel]
    E --> G[glycerine]
    G --> H[bewerken]
    H --> F
    H --> I[bewerkte glycerine]
  
```

6 palmitinezuur: hexadecaanzuur; oliezuur: *cis*-9-octadeceenzuur; linolzuur: 9,12-octadecadien

[illegible]

Stadsblad, 4 januari 2006

# Vraag naar rubber is cyclische markt



Worden er in de wereld minder auto's verkocht, dan daalt ook de vraag naar rubber. Door de economische groei in Aziatische landen neemt de vraag naar natuurrubber al jaren toe. In Maleisië, Indonesië, Sri Lanka, India en Brazilië worden nieuwe plantages aangelegd. Sterker nog, in de wereld worden evenveel rubberbomen geëxploiteerd als dat er wereldbewoners zijn.

Voor synthetisch rubber dient aardolie als grondstof. Voor één autoband is ongeveer dertig liter aardolie nodig en voor een truckband zelfs 93 liter. Bovendien is er te weinig kwaliteitsstaal op de wereldmarkt verkrijgbaar, zodat recycling van banden zeer interessant is geworden. Investerings van de branche zijn ook op langere termijn zeer de moeite waard. Een

goede manier om het leven van een band te verlengen is door loopvlakvernieuwing, iets dat in de truckbranche veelvuldig wordt toegepast, waardoor banden vele honderdduizenden kilometers mee gaan. Maar voor iedere band is er uiteindelijk een einde aan het leven en dan is een goed opgezette inzamelketen voorwaarde voor verantwoord hergebruik.

## Oude banden voor 100 procent hergebruikt

Een goede band moet sterk zijn, over voldoende souplesse beschikken, duurzaam zijn en ongevoelig voor invloeden van weer en chemicaliën. En juist daardoor waren banden jarenlang moeilijk te recyclen. Maar door technologische ontwikkelingen is dat nu geen probleem meer en groeit zelfs de vraag naar gerecyclede rubberproducten in hoog tempo. Het is inmiddels zo dat gebruikte banden voor honderd procent hergebruikt kunnen en worden en daarmee is de berg oude banden flink geslonken.

1 Welke twee soorten rubber zijn er?

In Nederland rijden ongeveer 6 miljoen auto's rond.

Stel dat die auto's gemiddeld 2 banden per jaar vernieuwen.

2 Hoeveel oude banden komen er dan per jaar bij?

Aardolie is de grondstof voor synthetisch rubber.

3 Bereken hoeveel liter aardolie is nodig voor een gewone auto met 4 banden en een reserveband?

4 Waarom is het recyclen van autobanden steeds interessanter geworden?

5 Noem een methode om het leven van een band te verlengen.

In het stuk: "Oude banden voor 100% hergebruikt" staat dat autobanden moeilijk te recyclen zijn.

6 Welke eigenschappen hebben autobanden waardoor ze volgens het artikel zo moeilijk te recyclen zijn?

Om banden de eigenschappen te geven die in dat artikel genoemd worden banden gemaakt van een heleboel verschillende stoffen (uit "De afvalkrant").

Bij recyclen moet je zorgen, dat je de stoffen in een autoband eerst scheidt van elkaar.

Een autoband bestaat bijna voor **50%**  
**uit rubber, 20% uit roet, 20% uit staal.**  
De rest bestaat uit (circa 10%) **textiel,**  
**zinkoxide, zwavel** en **andere kleine**  
**fracties**, afhankelijk van het soort band.

7 Geef op basis van de informatie uit bovenstaand stukje tekst over de samenstelling van de autoband een reden waarom het zo moeilijk is om autobanden te recyclen.

Rubber is een koolwaterstof (C,H). Roet is koolstof, staal bestaat hoofdzakelijk uit het metaal ijzer. Textiel bevat de elementen koolstof, waterstof en zuurstof (C,H,O). Autobanden worden ook verbrand om energie op te wekken. Zinkoxide (ZnO) is een zout.

8 Welke verbrandingsproducten ontstaan als autobanden volledig verbranden?

Vul het tabelletje hieronder in

| Grondstof         | Na verbranding heb je: (geef de formules van de producten) |
|-------------------|------------------------------------------------------------|
| rubber (C,H)      |                                                            |
| Roet (C )         |                                                            |
| Staal (ijzer, Fe) | Verbrandt meestal niet.                                    |
| textiel (C,H,O)   |                                                            |
| Zinkoxide (ZnO)   |                                                            |
| Zwavel (S)        |                                                            |

Als autobanden verbrand worden, krijg je vaak zwarte roetwolken.

9 Hoe zou het komen dat die roetwolken ontstaan?

Volgens het MNP (Milieu en Natuur Planbureau geldt: "In Nederland zijn banden en remblokkengoed voor 1,6 miljoen kilo fijnstof per jaar."

Fijnstof bestaat uit kleine vaste deeltjes die in de lucht zweven

10 Hoe komt het dat autobanden ook zorgen voor fijnstof?

Vraag naar rubber is een cyclische markt

1 Natuurrubber en synthetisch rubber.

2 12 miljoen autobanden

3  $5 \times 30 = 150$  liter aardolie

4 Er is heel veel olie nodig voor nieuwe banden en er is maar weinig kwaliteitsstaal te koop (op de wereldmarkt verkrijgbaar)

5 Loopvlakvernieuwing

6 Een band moet sterk en soepel zijn, duurzaam zijn en ongevoelig voor weer en chemicaliën.

7 Omdat een band uit veel verschillende soorten grondstoffen bestaat.

8

| Grondstof         | Na verbranding heb je:                       |
|-------------------|----------------------------------------------|
| rubber (C,H)      | $\text{CO}_2$ (CO, C) + $\text{H}_2\text{O}$ |
| Roet (C)          | $\text{CO}_2$                                |
| Staal (IJzer, Fe) | Verbrandt meestal niet.                      |
| textiel (C,H,O)   | $\text{CO}_2$ (CO, C) + $\text{H}_2\text{O}$ |
| Zinkoxide (ZnO)   | Verbrandt niet                               |
| Zwavel (S)        | $\text{SO}_2$                                |

9 Als de koolwaterstoffen zeer onvolledig verbranden ontstaat roet. Er zit ook roet in autobanden

10 Autobanden slijten af, en die deeltjes komen in de lucht.

# Brouw je eigen toverdrank

## Wat heb je nodig?

- Rodekoolsap (dat maak je door de kool 10 minuten in een beetje water te koken)
- Maïzena (zetmeel van maïs)
- Ammonia (Voorzichtig! Smerig spul! Hang er niet te dicht met je neus boven, want het prikt in je neus en ogen.)
- Schoonmaak-azijn
- Zuiveringszout (verkrijgbaar bij de drogist)
- Betadine (jodium)
- Vitamine C bruistablet

### Verder heb je nodig:

- Water
- 6 glazen
- 1 theelepel
- 1 eetlepel

Staan alle spulletjes op het aanrecht?

## Vul dan de glazen:

**GLAS 1:** 3 eetlepels rodekoolsap en een kwart theelepel maïzena. Je kunt de rode kool ook een tijdje laten weken in koud water. Het water wordt dan niet blauw/paars, maar rood.

**GLAS 2:** 1 eetlepel ammonia

**GLAS 3:** 2 eetlepels schoonmaak-azijn

**GLAS 4:** 2 theelepels zuiveringszout en 2 eetlepels water

**GLAS 5:** 10 druppels betadine

**GLAS 6:** ½ vitamine C bruistablet en 2 eetlepels water

In het Brabants Dagblad stond een artikel hoe je een toverdrank moest maken. We hebben maar een stukje van de pagina waar dit opstond kunnen redden, want bij het maken van de toverdrank hadden we heel erg gemorst.

Op dat stukje staat in ieder geval wat je nodig hebt en wat er in de glazen moet.

Let op:

- In plaats van maïzena kun je ook een andere meel gebruiken
- In plaats van zuiveringszout kun je ook rijsmiddel (natriumbicarbonaat) gebruiken
- In plaats van Betadine kun je ook jodium of Lugol (van de biologieles) gebruiken.

Opdracht:

Zoek met een groepje uit in welke volgorde alles bij elkaar gedaan moet worden om het mooiste effect te krijgen en om de mooiste toverdrank te maken.

Als je van alles hebt uitgeprobeerd moet je daar een presentatie van maken.

Voorbeelden van presentaties:

Als je gaat presenteren, moet je eerst het werk verdelen: Wie doet de proef en wie vertelt?

1 Gewoon zes glazen op de tafel en in de juiste volgorde alles bij elkaar doen. Ondertussen vertel je wat je bij elkaar doet.

Het is natuurlijk ook de bedoeling dat je weet waarom iets gebeurt. Dat moet je er ook bij vertellen. Waarom iets gebeurt kun je opzoeken op het Internet.

2 Maak een Power Point. Voer de proefjes voor de klas uit, leg in de PowerPointpresentatie uit hoe alles gaat. Je hoeft je dan alleen maar voor te stellen, en verder met de muis klikken om verder te gaan

Het is natuurlijk ook de bedoeling dat je weet waarom iets gebeurt. Waarom iets gebeurt kun je opzoeken op het Internet.

3 Andere soorten Presentaties: Met de overheadprojector of Posters maken of een Website bouwen. Ook kun je een artikel schrijven met plaatjes voor de schoolkrant.

Je moet er wel steeds bijzetten waarom iets gebeurt. Waarom iets gebeurt kun je opzoeken op het Internet.

Internet:

<http://www.c3.nl/kids/nl/main.asp?mainid=616>

<http://www.c3.nl/kids/nl/page615.asp>

<http://www.chemaco.nl/Grondstoffen%20voor%20bruistabletten.htm>

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Jodium#Opmerkelijke\\_eigenschappen](http://nl.wikipedia.org/wiki/Jodium#Opmerkelijke_eigenschappen) (kijk bij toepassingen)

<http://www.thuisexperimenteren.nl/science/zetmeel/zetmeel.htm>

## BROUW JE EIGEN TOVERDRANK

De bladzijde uit het Brabants Dagblad komt vrijwel regelrecht van de site van C3:

<http://www.c3.nl/kids/nl/page492.asp>

Naam: Kettingreactie

Voorbeeld voor de beoordeling van de presentatie

**Beoordeling Presentatie**

**Klas.....**

Namen van de leerlingen die de presentatie doen:.....

Naam van de beoordelaar:.....

| <b>Zeer goed</b>                                                                                                                               | <b>Voldoende</b>                                                           | <b>Moet nog verbeterd worden</b>                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <i>3 punten per onderdeel</i>                                                                                                                  | <i>2 punten per onderdeel</i>                                              | <i>1 punt per onderdeel</i>                                          |
| De proeven lukken. De proeven worden in een leuke volgorde uitgevoerd.                                                                         | De meeste proeven gaan goed. De volgorde is meestal leuk                   | De proeven worden niet in een leuke volgorde uitgevoerd of mislukken |
| Het verhaal dat bij de proefjes wordt verteld (of op de Power Point staat enzovoorts) is waar <b>(hieronder staat wat ze moeten vertellen)</b> | Het verhaal klopt meestal wel, maar soms niet.                             | Het verhaal klopt meestal niet.                                      |
| De uitleg over wat er bij de proefjes gebeurt klopt steeds                                                                                     | De uitleg over wat er bij de proefjes gebeurt klopt meestal wel, soms niet | De uitleg over wat er bij de proefjes gebeurt klopt meestal niet     |
| Het vertellen en de proefjes doen gebeurt langzaam en duidelijk                                                                                | Het vertellen en de proefjes doen gaat redelijk langzaam en duidelijk      | Het groepje doet de proeven en het vertellen te snel en onduidelijk  |

Uitleg bij de proefjes:

1Als je de eerste beker bij de tweede doet wordt het rodekoolsap groen. Dit komt doordat rodekoolsap een indicator is, die in een basische vloeistof groen kleurt. Basisch is het tegenovergestelde van zuur.

2Wanneer je de tweede beker vervolgens bij de derde beker doet wordt de vloeistof rood. Door het toevoegen van de schoonmaakazijn is de vloeistof zuur geworden. In een zure oplossing kleurt het rodekoolsap rood.

3In de vierde beker reageert de zure vloeistof met het zuiveringszout en ontstaat er een gas. Daardoor gaat de oplossing erg bruisen. Het gas wat ontstaat noemen we koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>). Dit gas zit ook in de lucht en in frisdrank.

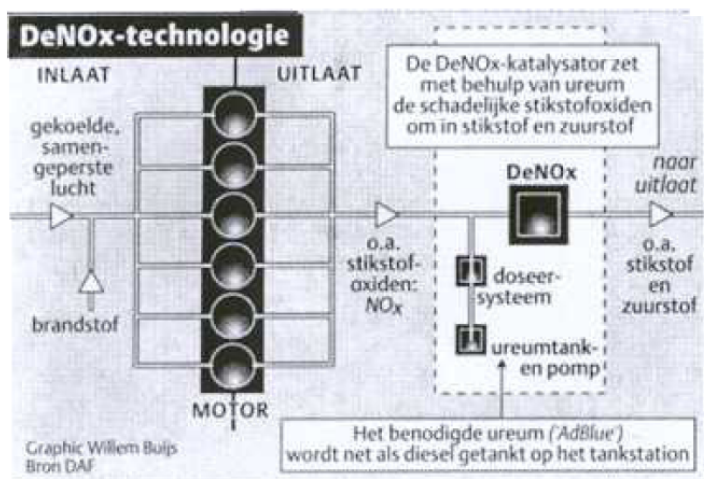
4Als je de vierde beker bij de vijfde beker voegt, wordt de oplossing donker van kleur. Als zetmeel (wat al in de vloeistof zit vanaf beker 1) in aanraking komt met betadine kleurt het zetmeel blauw.

5 Vitamine C bruistablet in de zesde beker haalt het zetmeel en de betadine uit elkaar, waardoor de oplossing weer rood wordt. Er treedt vervolgens een redoxreactie op tussen het jood uit betadine en vitamine C. Doordat de blauwe kleur van het jood-zetmeel complex weer verdwijnt, wordt de rode kleur van de rodekool weer zichtbaar.



Brabants Dagblad, 17 september 2005

# Truckfabrikant DAF heeft roefilter niet nodig



Met eigen technologie voldoet DAF al aan de Europese milieu-eisen voor dieselmotoren in vrachtauto's. Geen roefilters bij nodig. Toch is daar op den duur niet aan te ontkomen.



door Ben Ackermans

Enigszins gespannen kijkt vrachtwagenproducent DAF Trucks uit naar Prinsjesdag. Wat zal Pieter van Geel uit de hoge hoed toveren omtrent roefilters op dieselmotoren? Jan Kruithof, hoofd voorontwikkeling motoren bij het bedrijf in Eindhoven, hoopt er het beste van. Tegen te houden is het niet. Maar gelukkig is hij er niet mee. DAF is namelijk niet zo van de roefilters. Nog niet. „Het is niet dat we er op tegen zijn. We doen er al vijftien jaar proeven mee. Maar de techniek is nog niet voldoende uitgerijpt. Roefilters doorkruisen onze eigen inspanningen om schonere motoren te maken.” Op de komende Bedrijfsauto RAI presenteert DAF de nieuwe

XF 105 vrachtwagen, voorzien van de in Eindhoven ontwikkelde Paccar MX-motor. Die voldoet aan de nieuwste Europese eisen voor de uitstoot van milieubelastende stoffen. De motor is schoner dankzij de zogeheten DeNOx-katalysator. Via een verstuurder in de uitlaat wordt daarbij de stof ureum (handelsnaam: AdBlue) ingespoten. Aan de pomp moet dat straks apart worden getankt. Vijf van de zeven Europese

vrachtwagenfabrikanten passen dit systeem reeds toe. Bij de invoering van Euro 5 zullen ze het allemaal doen. (...)

Want als staatssecretaris Van Geel belastingvoordeel aankondigt op motoren met roefilters, zal de klant daar toch om vragen. Wanneer een gemeente-bestuur de deur van de binnenstad op slot gooit voor vrachtwagens zonder roefilter is er ook een probleem. (...)

Volgens Kruithof is er nog een lange weg te gaan om roefilters en zware dieselmotoren betrouwbaar aan elkaar te koppelen.

Hoewel Van Geel over de DAF-gegevens beschikt, aan roefilters zal niet te ontkomen zijn. DAF moet mee. „Natuurlijk zijn we aan het bekijken hoe snel we iets kunnen aanbieden.” Maar Kruithof betreurt dat hij te weinig tijd krijgt om met iets goeds te komen. Hij snapt ook wel dat Van Geel onder druk staat. „Maar het is kortetermijndenken. Politieke motieven spelen een grotere rol dan de feitelijke onderbouwing.”

► [www.brabantsdagblad.nl/fijnstof](http://www.brabantsdagblad.nl/fijnstof)

| DE FEITEN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Euro-normen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Per 1 oktober wordt de zogeheten Euro 4-norm van kracht: uitlaatgassen mogen dan nog slechts 3,5 gram stikstofoxiden (NOx) en 0,02 gram fijn stof per kilowatt-uur bevatten.</li><li>• In 2009 gaat de Euro 5-norm gelden. De toegestane emissie van fijn stof verandert dan niet,</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>maar die van stikstofoxiden moet naar 2 gram/KWh gedaald zijn.</li><li>• De nieuwe vrachtwagen van DAF, die begin 2006 in productie komt, kan naar keuze worden uitgerust met een motor die voldoet aan de normen Euro 4 of Euro 5.</li></ul> |



De dieselmotoren van DAF zijn schoner geworden omdat ze bij DAF de hoeveelheid stikstofoxiden hebben weten te verminderen. Stikstofoxiden veroorzaken zure regen. De hoeveelheid stikstofoxiden verminderen ze door ureum,  $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$ , in de uitlaatgassen te spuiten. Dit wordt uitgelegd op het plaatje: "De NOx-technologie". Daar staat in, dat ureum met de stikstofoxiden reageert tot o.a. stikstof en zuurstof. De vergelijking van deze reactie noteer je als volgt:  $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2 + \dots$

1 Leg uit waarom er "o.a." staat (of waarom in de RV staat "+.....")

2 Wordt bij deze reactie ook de hoeveelheid fijn stof (=koolstofdeeltjes) verminderd?

In werkelijkheid is dit proces iets ingewikkelder. Door de DeNOx-katalysator wordt de ureum afgebroken tot ammoniak,  $\text{NH}_3$ . Als ammoniak reageert met stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ) ontstaan er stikstof, zuurstof en water.

3 Geef daarvan de reactievergelijking

De roetdeeltjes (C) kunnen reageren met de gevormde zuurstof. Daarbij kunnen twee verschillende koolstofoxiden ontstaan.

4 Geef de namen van deze twee koolstofoxiden.

#### *De feiten*

5 Als 1 liter stikstofdioxide-gas 46 gram weegt, hoeveel liter gas mag er dan per 1 oktober 2005 nog per kilowatt-uur nog geproduceerd worden door een motor?

6 Hoeveel fijn stof en hoeveel stikstofoxiden per kWh is bij de Euro-5 norm nog toegestaan?

7 Waarom is Daf niet gelukkig met de verplichting om roetfilters in de DAF motoren in te bouwen?

8 Wanneer gaan alle vrachtwagenfabrikanten de DeNOx techniek toepassen?

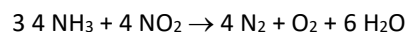
9 Welk probleem zal er zijn als vrachtwagens AdBlue (= verdund ureum) moeten tanken?

10 Leg uit of de titel van het artikel past bij de inhoud van het artikel.

Truckfabrikant DAF heeft roetfilter niet nodig

1 Voor de reactie heb je ook nog C en H atomen.

2 Nee



4 Koolstofdioxide en koolstofmonooxide

5 massa                46            3,5

volume              1            0,08      Dus 0,08 liter

6 0,02 gram fijn stof en 2 gram stikstofoxiden per kWh

7 De techniek is nog niet voldoende uitgerijpt. DAF houdt zich bezig met de DeNOx katalysator en minder met de roetfilters.

8 Bij de invoering van Euro 5 (in 2009)

9 Alle tankstations moeten het dan wel verkopen.

10 Nee, de titel gaat over het gebruik van een roetfilter, het artikel gaat over het DeNOx systeem.

Zie ook Chemie Aktueel nummer 39.

## AFVAL

### BLIK WORDT VLIEGTUIG

De Bossche Omroep, 23 oktober 2005



Ga naar de site die in het artikel wordt genoemd. ([www.kringloopblik.nl](http://www.kringloopblik.nl))

Doe van de site het "Intro rondje blik" en beantwoord de onderstaande vragen:

- 1 Noem de vijf stappen van blik in de kringloop.
  - 2 Schrijf vier producten op die gemaakt worden van gerecycled blik.
  - 3 Hoeveel procent van blik wordt gerecycled?
- Ging het te snel? Kijk dan op de site, dan kun je het nog eens doen.

Klik (in de onderste balk) op: "*Feiten en cijfers*", kies voor "*blik op getallen*"

4 Bekijk de grafiek en controleer of het % blik dat wordt gerecycled inderdaad zoveel is als je bij vraag 3 hebt gevonden.

In het artikel staat, dat ze van blik (ijzer) vliegtuigen maken.

Ga naar de site: [http://www.lennotech.com/periodiek\\_systeem.htm](http://www.lennotech.com/periodiek_systeem.htm)

5 Klik daar op Fe (ijzer) en schrijf op hoeveel gram (g) een blokje ijzer van  $1 \text{ cm}^3$  ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) weegt en zoek ook op wat een zelfde blokje aluminium weegt.

6 Waarom is aluminium dus veel geschikter dan ijzer om vliegtuigen van te maken?

## Scheidingswijzer glas:

### Wel in de glasbak:

- flessen van wijn, sappen, bier zonder statiegeld
- potten van pindakaas, jam, spaghetti saus, kruiden
- parfum- en medicijnflesjes

### Niet in de glasbak:

- ovenschalen, koffiekannen en ander hittebestendig glas
- drinkglazen
- theekopjes, bloempotten en ander porselein
- jeneverkruiken, aardewerk en andere stenen producten
- spiegels, ruiten, TL-, gloei- en spaarlampen



## Scheidingswijzer papier

### Wel bij het oudpapier:

- kranten, tijdschriften, reclame-drukwerk (zonder plastic hoesje)
- (venster)enveloppen
- dozen van PC's, schoenen, waspoeder, diervoeding
- doosjes van hagelslag, thee, eieren, lampen e.d.
- golfkarton, papieren zakken/tassen

### Niet bij het oudpapier:

- nat, vuil en/of vet papier en karton, zoals pizza- en taartdozen
- drankenverpakkingen en ander geplastificeerd papier
- behang
- plastic zakken/tassen
- sanitair papier (gebruikt)

## SCHEIDINGSWIJZER GLAS EN PAPIER

1 Zou jij gebruikt sanitair papier in de glasbak doen? Waarom niet?

2 Waarom mogen beerglazen die bij scheikunde gebruikt worden niet in de glasbak?

Lees het artikel "het is toch karton, maar wel vies"

3 Noem twee redenen waarom pizzadozen niet bij het oud papier mogen.

4 Hoe kun je testen of aan de binnenkant van een kartonnen doos of pak plastic zit?

## DOE DE AFVALRACE

## Doe de Afvalrace

Het lijkt zo simpel: glas in de glasbak, fruitschillen bij het gft. Maar bent u echt op de hoogte van alle afvalscheidingsregels? In welke afvalbak hoort bijvoorbeeld een oude videoband? Of een oude stofzuiger? Test uw kennis op een speelse manier in "De Afvalrace". Het spel vindt u op [www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl).

1 Doe de afvalrace: [www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl)

Het spel staat in de rechterkolom:

- ◆ Milieutrends consumenten
- ◆ Indirecte energiespel
- ◆ Afvalrace
- ◆ Bereken uw voordeel
- ◆ Campagnes

Met de pijltjes rechts gaan de producten een andere kant op  
Met de pijltjes midden onder verschuif je de afvalbakken

2 Vul je naam in (als je dat wil).

Hoeveel fouten had je? .....

Wat was je tijd? .....

3 Ga naar je foute antwoorden, kies er één uit, klik op: Klik voor meer info



Schrijf zo kort mogelijk op welke informatie daar staat.

MILIEUCENTRAAL GEEFT ANTWOORD

## **milieu** **centraal geeft antwoord**

### **Vraag:**

**Zijn alle spuitbussen Klein Chemisch Afval?**

### **Antwoord:**

Nee, een lege spuitbus hoort niet bij het Klein Chemisch Afval (KCA) thuis. Of iets KCA is wordt bepaald door de inhoud, en niet door de verpakking. En een spuitbus is een verpakking. Of de inhoud KCA is, ziet u aan het KCA-logo (een container met een kruis erdoor) op de verpakking.



Spuitbussen met het KCA-logo, die nog niet leeg zijn, kunt u inleveren bij de chemokar of het afvalscheidingsstation van uw gemeente. Alle lege spuitbussen mogen bij het huishoudelijk restafval. Ze worden dan gerecycled. 85 procent van de lege spuitbussen en andere metalen verpakkingen wordt gerecycled.



Heeft u andere vragen over afval, verpakkingen en het milieu? Bijvoorbeeld of kurken bij het gft-afval mogen? Bel de Milieu Centraal Informatielijn 0900 – 1719 (15 cpm) of surf naar [www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl). U vindt hier praktische informatie over de vele mogelijkheden om in het dagelijkse leven rekening te houden met energie en milieu.

Deze informatie wordt u aangeboden door Milieu Centraal in samenwerking met SVM-PACT.

- 1 Wat betekent de afkorting KCA?
- 2 Waar moet een lege spuitbus bij? Bij het KCA of bij het oude blik? Leg uit waarom.
- 3 Er zit nog een beetje verf in de spuitbus. Bij het KCA of bij het oude blik? Leg uit waarom.

Op een spuitbus staat het KCA-logo (een container met een kruis erdoor).

4 De spuitbus is leeg. Mag deze spuitbus dan in de afvalbak?

5 Hoeveel procent van metalen wordt er gerecycled?

## Afval

### Blik wordt vliegtuig

- 1 Gooi het blikje bij het afval, magneten scheiden blik van de rest van het afval, blik wordt gesmolten, verwerkt tot nieuw metaal, van dit metaal worden nieuwe producten gemaakt.
- 2 Pedaalemmer, trein, wekker, schaatsen.
- 3 80%
- 4 Nee, hier wordt 70% genoemd.
- 5 IJzer  $7,8 \text{ g/cm}^3$ , aluminium  $2,7 \text{ g/cm}^3$
- 6 Aluminium is veel lichter per  $\text{cm}^3$ , heeft een veel kleinere dichtheid.

### Scheidingswijzer glas en papier

- 1 In het artikel staat dat het niet bij het oud papier mag. Het is vies (het is gebruikt toiletpapier).
- 2 Hittebestendig glas mag niet in de glasbak.
- 3 Ze zijn vet en vies en er zit vaak plastic aan de binnenkant.
- 4 Als er geen plastic in zit, kun je het scheuren.

### Milieucentraal geeft antwoord

- 1 Klein chemisch afval.
- 2 Bij het blik, want dan heb je alleen nog maar een verpakking.
- 3 Omdat er verf inzit bij het KCA.
- 4 Ja. Een lege spuitbus is gewoon blik.
- 5 85%

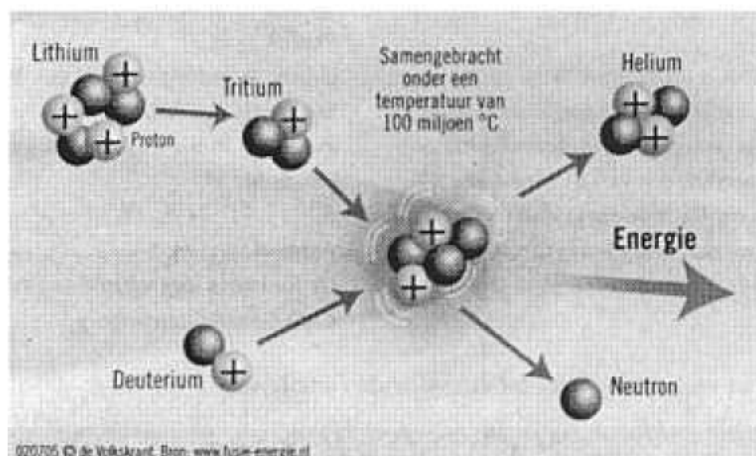
Op <http://home.wanadoo.nl/hoewerkthet/tech/spuitbus.html> kunnen leerlingen opzoeken hoe een spuitbus werkt.

De Volkskrant, 2 juli 2005

Frankrijk heeft deze week  
de kernfusiereactor ITER  
toegewezen gekregen.

Door **Michael Persson**

### Kernfusie



### Een zon op aarde

De grondstoffen voor ITER zijn lithium en deuterium. Het lithium wordt eerst bestraald met neutronen, waardoor elke kern uiteenvalt in drie tritiumkernen. Dat gebeurt in een mantel die om het donutvormige reactorvat heen ligt. Het tritium wordt vervolgens met

deuterium gemengd en in de reactor gespoten. Die is zo heet dat atoomkernen en elektronen van elkaar worden gescheiden. De tritiumkernen smelten samen met deuterium, waarbij helium en neutronen ontstaan. Het helium wordt afgezo-gen. De energie wordt

via een warmtewisselaar in de mantel afgevoerd, waarna het (met een stoomturbine) in elektriciteit wordt omgezet. De neutronen worden opgevangen en weer gebruikt om lithium te bestralen. Per saldo ontstaan er geen neutronen. Er is dus geen kettingreactie.

Kernfusie verloopt op onze zon bij zeer hoge temperatuur. In het artikel wordt een onderzoek beschreven dat bij nabootsing van de kernfusie men deze temperatuur moet opwekken..

1 Welke temperatuur moet er heersen in de reactor?

Bij de kernfusie worden in eerste instantie lithiatomen bestraald met neutronen.

2 Geef de vergelijking kernreactie die daarbij optreedt. Bekijk hiervoor goed de tekening.

Daarna smelten deuteriumkernen en tritiumkernen in de reactor samen tot nieuwe kernen.

3 Welke nieuwe kern ontstaat er? Geef zowel de naam als de samenstelling van de kern.

4 Is de nieuwe kern stabiel? Licht je antwoord toe.

5 Geef de vergelijking van de optredende kernreactie van de vorming van de nieuwe kern.

De ontstane kernen vallen uiteen in heliumkernen en neutronen.

6 Geef de vergelijking van de optredende kernreactie.

De vrijkomende energie kan gebruikt worden om elektriciteit op te wekken.

7 Hoe gaat dat in zijn werk?

In het artikel staat dat er "per saldo geen neutronen ontstaan".

8 Laat zien aan de hand van de optredende kernreacties dat dit juist is.

Een zon op aarde

1 Een temperatuur van 100 miljoen °C.

2  ${}^6_3\text{Li} + 3 {}^1_0\text{n} \rightarrow 3 {}^3_1\text{H}$ .

3 Nieuwe kern is He-5, dus 2 protonen en 3 neutronen in de kern.

4 Nee, want de nieuwe kern valt snel uiteen.

5  ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^5_2\text{He}$ .

6  ${}^5_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ .

7 De energie wordt gebruikt om er stoom mee te maken. De stoom laat een turbine draaien die een dynamo aandrijft waarbij elektrische stroom ontstaat.

8 Drie tritiumkernen leveren drie He-5 kernen op. Drie He-5 kernen leveren weer drie neutronen op. Dit zijn precies de neutronen die in de eerste kernreactie opgenomen zijn.



Technisch Weekblad, 4 november 2005

## **GaN-chip maakt waterstof aan**

**Tokio** – Onderzoekers van de universiteit van Tokio hebben chips van galliumnitride en van indiumgalliumnitride gemaakt die zonlicht direct gebruiken om water te ontleden in waterstof en zuurstof (fotokatalyse). De crux zit in de speciale kristallisatie van de materialen, die bekend zijn uit de fotonica.

De efficiëntie van de eerste kristallen is met 0,7 procent lager dan die van titaniumdioxide, een bekende fotokatalysator, maar de Japanners denken dat er nog veel winst te boeken valt, zodat uiteindelijk veertig procent van de zonne-energie in het waterstof belandt. Dat is veel hoger dan bij zonnecellen die eerst elektriciteit opwekken om die vervolgens voor elektrolyse te gebruiken. (ci)

Zonne-energie willen we graag opvangen en gebruiken. Met zonnecellen kun je zonne-energie omzetten in elektriciteit.

1 Welke omzetting kun je met de elektriciteit dan laten verlopen?

Onderzoekers hebben chips van galliumnitride en indiumgalliumnitride gemaakt. GaN-chips gebruikt men om met het zonlicht direct water te ontleden.

2 Leg uit dat men bij dit proces van fotokatalyse spreekt.

3 Geef de vergelijking van de optredende reactie.

4 Waarom wil men zo graag water ontleden?

5 Geef de formule van galliumnitride.

6 Leg uit dat galliumnitride een zout is.

Dubbelzouten bestaan uit drie (of meer)soorten ionen.

7 Leg uit dat indiumgalliumnitride een dubbelzout is.

8 Geef de formule van indiumgalliumnitride.

Titaniumdioxide is een bekende fotokatalysator.

9 Geef de formule van titaniumdioxide.

10 Leg uit dat de naam titaniumdioxide chemisch gezien fout is.

11 Geef de juiste naam voor titaniumdioxide.

GaN-chip maakt waterstof aan

1 water ontleden in waterstof en zuurstof.

2 Het is een ontleding onder invloed van licht en met behulp van een katalysator.

3  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ .

4 De gevormde waterstof kan als brandstof dienen. Men wil nieuwe brandstoffen ontwikkelen omdat de olievoorraad eindig is en het einde daarvan in zicht komt. Voordeel van waterstof is dat je het op kunt slaan en dat je de erin opgeslagen energie kunt gebruiken wanneer je wilt.

5 GaN.

6 Het is een verbinding van een metaalion en een niet-metaalion.

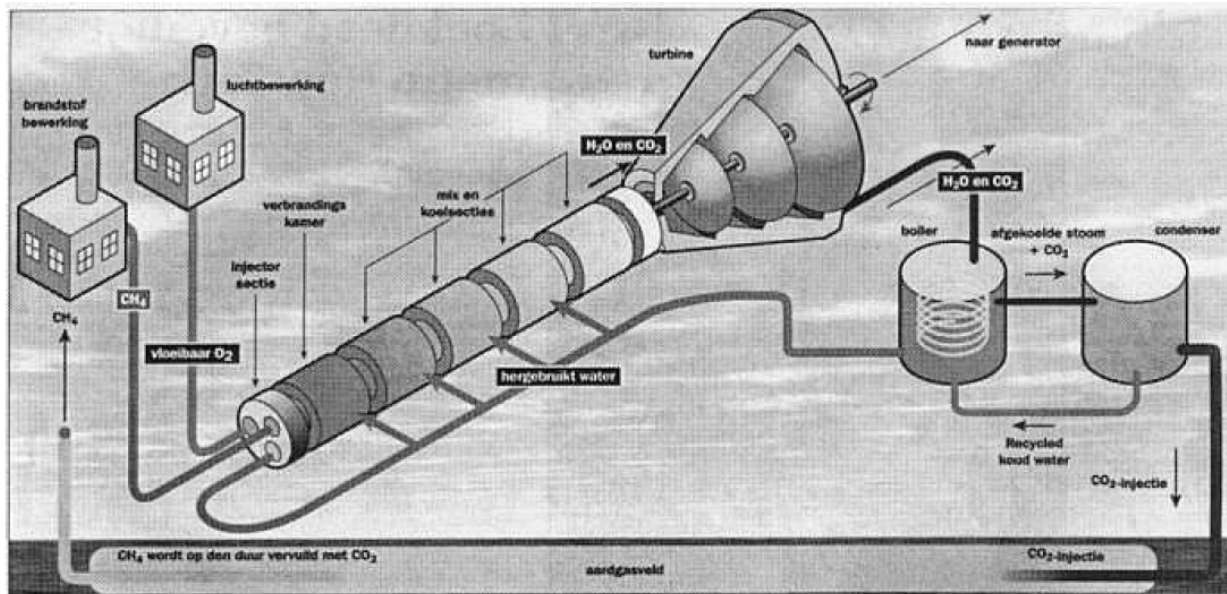
7 Het is een samenvoegsel van indiumnitride en galliumnitride.

8  $\text{InGaN}_2$ . Of:  $\text{InN.GaN}$ .

9  $\text{TiO}_2$ .

10 Het is een zout, dus dan mag je geen 'di' in de naam zetten.

11 Titanium(IV)oxide.



Schematische weergave van de Zero Emission Power Plant, zoals gepland in Drachten

## ZEPPen voor het milieu

tekst: Rijkert Knoppers, illustratie: Erwin Suvaal

Drachten krijgt de eerste commerciële gasgestookte elektriciteitscentrale ter wereld die geheel klimaatneutraal is. Tenminste, als de financiering van het honderd miljoen euro kostende project rondkomt. De centrale van 50 MW gaat met een jaarlijkse productie van ongeveer 375 GWh voldoende elektriciteit produceren voor honderdduizend huishoudens per jaar.

Initiatiefnemer van dit plan is het in Bunnik gevestigde SEQ Nederland bv. Het bedrijf hoopt de 'Zero Emission Power Plant' centrale (ZEPP) te realiseren door twee technieken te combineren. Allereerst vindt de opwekking van de elektrische stroom plaats met behulp van een door het Amerikaanse bedrijf Clean Energy Systems ontwikkelde innovatieve gasgenerator. Als brandstof kan elke bron dienen zolang deze maar koolstof, waterstof en zuurstof bevat. Behalve aardgas kan dat bijvoorbeeld ook methaan, alcohol, waterstof, petroleum, kolengas of biomassa zijn. Een eis

is dat de brandstof gasvormig en vrij van deeltjes is. De verbranding binnen dit oxy-fuel proces gebeurt met zuivere zuurstof. (...)

In het geval van de geplande 50 MW installatie in Drachten zal de gasgenerator een doorsnee krijgen van ongeveer 40 centimeter, de lengte komt op 3 me-

ter. De totale elektriciteitscentrale, inclusief de installatie voor de productie van het zuurstof, vereist een oppervlak van 800 bij 1.200 meter.

Dankzij de verbranding met zuurstof produceert de centrale als afval alleen  $CO_2$  en waterdamp. De stroom

stroomt na gebruik in de turbine naar een condensor, waarna de gecondenseerde stoom opnieuw in het proces in gebruik kan. De 275 kiloton per jaar geproduceerde hoeveelheid  $CO_2$  is eenvoudig op te vangen.

(...)

**'Opslag van  $CO_2$  in lege gasvelden is een bewezen techniek'**

ZEPP is een van de mogelijke manieren om zonder schadelijke emissies elektriciteit op te wekken.

1 Waar staat de afkorting ZEPP voor?

2 Welke brandstoffen kunnen in een ZEPP-centrale toegepast worden?

3 Aan welke eisen moet de brandstof minimaal voldoen?

Men gebruikt bij de verbranding zuivere zuurstof.

4 Hoe kan men uit lucht zuivere zuurstof halen?

Men injecteert water in de hete verbrandingsgassen.

5 Leg uit dat daardoor de temperatuur van de verbrandingsgassen daalt.

6 Leg uit dat de hete stoom die daarbij ontstaat een turbine in werking kan zetten.

7 Hoe verloopt de vorming van elektriciteit verder?

De centrale produceert als afval alleen koolstofdioxide en water.

8 Geef de reactievergelijking van de verbranding van methaan in de ZEPP-centrale.

9 Waarom zal men in een ZEPP-centrale zuivere zuurstof gebruiken en geen lucht?

Jaarlijks produceert men 275 kiloton koolstofdioxide.

10 Bereken hoeveel kg methaan er dan verbrand is. Gegeven: 1 ton = 1000 kg.

De tekening in het artikel kun je vertalen naar een blokschema.

11 Maak een compleet blokschema van de ZEPP.

## ZEPPen voor het milieu

1 ZEPP staat voor Zero Emission Power Plant.

2 Aardgas, methaan, alcohol, waterstof, petroleum, kolengas, biomassa.

3 De brandstof moet gasvormig en vrij van vaste deeltjes zijn.

4 Lucht vloeibaar maken en dan door destillatie scheiden in stikstof en zuurstof. (opmerking in de eerset destillatietrap wordt stikstofgas gescheiden van zuurstof en de overige gassen, in de tweede trap wordt zuurstof gescheiden van de overige gassen).

5 Voor het verdampen van het water is energie nodig. Deze energie wordt door de hete verbrandingsgassen geleverd.

6 De hete stoom heeft een hoge druk, wordt zeer sterk vooruitgestuwd en zet de schoepen van de turbine daardoor in beweging.

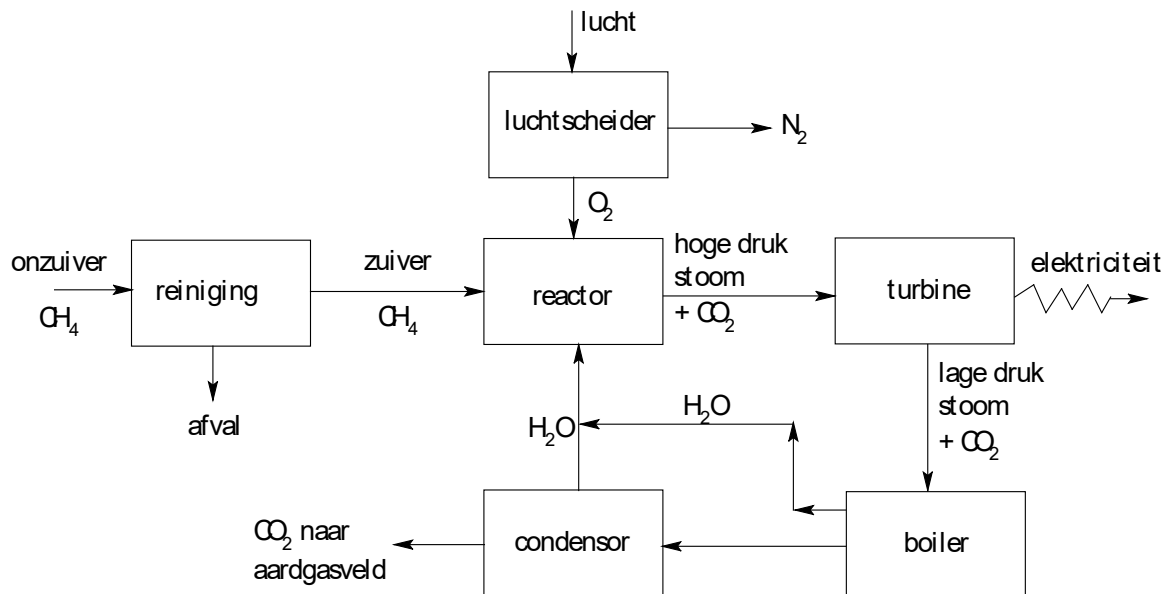
7 De draaiende turbine drijft een dynamo aan die elektriciteit opwekt.

8  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ .

9 Zero Emission betekent dat er geen andere stoffen mogen ontstaan. Als men lucht gebruikt, kunnen er ook stikstofoxiden ontstaan.

10  $275 \text{ kiloton} = 275/44,01 = 6,25 \text{ kilotonmol CO}_2$ . Dus dan ook  $6,25 \text{ kilotonmol CH}_4 = 6,25 \times 16,04 = 100 \text{ kiloton methaan} = 100 \text{ miljoen kg}$ .

11



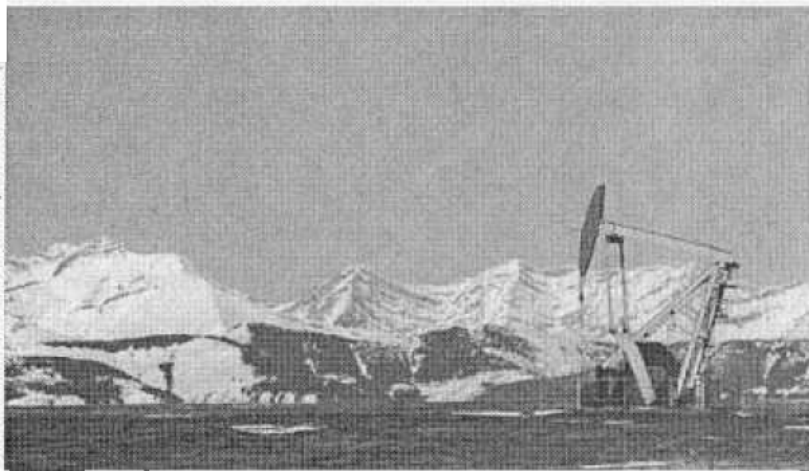
NRC Handelsblad, 28 mei 2005

## Radioactief verval van metalen toont verleden van olievelden

Enorme olievoorraden in het westen van Canada zijn circa 200 miljoen jaar geleden ontstaan en hebben zich daarna over een periode van 90 miljoen jaar verplaatst naar hun huidige vindplaatsen. Het is voor het eerst dat de oorsprong en de migratie van olie zo nauwkeurig is geda- teerd. Beide geologen die het speurwerk verrichtten maakten gebruik van een geologische 'klok' op basis van het radioactief verval van twee zeldzame metalen, rhenium en osmium. Een soortgelijke aanpak is in principe mogelijk voor het dateren van andere voorraden, waar ook ter wereld (*Science*, 27 mei).

Olie en gas ontstaan in de aardkorst uit de omzetting van organisch materiaal bij hoge temperatuur en druk, maar worden niet noodzakelijkerwijs gevonden op de plek waar ze zijn gevormd. Reconstructie van de migratie door de verschillende lagen in de aardkorst naar de oppervlakte of naar verzamelplaatsen is moeilijk. Dat maakt het voorspellen van de uitgestrektheid van bekende olievoorraden en het ontdekken van nieuwe vindplaatsen erg lastig en vooral kostbaar.

David Selby en Robert Creaser van de universiteiten van Alberta in Canada en Durham in Engeland kwamen op het idee om op aardolie een binnen de geologie beken-



● **Olieveld nabij Longview, Alberta, Canada. Via een chemische vingerafdruk hebben wetenschappers nu de geologische oorsprong van de olievoorraden achterhaald.**

de dateringsmethode toe te passen. Volgens hen hopen de zeldzame metalen rhenium en osmium zich op in het organisch materiaal dat de basis vormt voor de vorming van olie en gas. Zolang de olie in beweging is zijn de hoeveelheden van deze twee metalen in gesteente en olie identiek, maar eenmaal in een reservoir aangekomen neemt de hoeveelheid radioactief renium-187 af doordat dit verval naar osmium-187.

Door de onderlinge verhouding van deze twee atomen te bepalen – voor olie afkomstig uit de zogeheten teerzanden in de Canadese provincie Alberta – konden Selby

en Creaser bepalen hoeveel tijd was verstreken sinds het moment dat de olie in dit veld was aangekomen. Bovendien wisten ze een schatting te maken van de oorspronkelijk aanwezige hoeveelheden van beide metalen, waarmee ze een vingerafdruk verkregen van de geologische formatie waarin de olie oorspronkelijk was gevormd. Daarmee beslechtten ze een zich al jaren voortslepende discussie over deze enorme olievoorraden: die blijken nu een gemeenschappelijke oorsprong te hebben die veel ouder is dan tot nu toe was gesuggereerd.

**Rob van den Berg**

De wetenschappers Selby en Creaser hebben een dateringsmethode voor aardolie ontwikkeld.

- 1 Waarvan was deze methode al bekend?
- 2 Wat wilden Selby en Creaser weten?
- 3 Wat hebben ze gemeten?
- 4 Beschrijf kort hoe Selby en Creaser het antwoord op hun vraag vonden.

De wetenschappers hebben gekeken naar het verval van renium-187. Renium-187 verval tot osmium-187.

- 5 Wat gebeurt er dan in de kern van renium-187 tijdens dit verval.
- 6 Geef vergelijking van de kernreactie die bij dit verval optreedt.
- 7 Hoe kan men uit de onderlinge verhouding van deze twee atomen de ouderdom bepalen van het olieveld in de bodem?

#### Radioactief verval

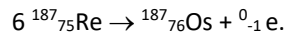
1 Binnen de geologie.

2 Hoeveel tijd er was verlopen sinds de olie in het huidige veld was aangekomen.

3 De hoeveelheden renium en osmium.

4 Ze bepaalden de verhouding tussen de hoeveelheden renium en osmium en berekenden daaruit de tijd die was verstreken sinds de olie in het veld was aangekomen.

5 Een neutron wordt omgezet in een proton en elektron. Het elektron wordt uitgestoten.



7 Je moet dan de halfwaardetijd van Re-187 weten. Daaruit kun je dan bepalen hoe oud het olieveld is als je de verhouding Re-187/Os-187 weet.



## de claim

4-in-1, die laatste trend in vaatwaspoeders, is alweer achterhaald. Marktleider Sun (Unilever) introduceerde afgelopen week een poeder-tablet verpakt in een doorzichtig gel-achtig zakje. De tablet gaat mét (biologisch afbreekbare) verpakking de vaatwasser in. Voor nog meer gemak; de belangrijkste drijfveer achter de nieuwigheid.

Vaatwastabletten van Sun, en van concurrent Calgonit en vele huismerken, zitten gewoonlijk in een stevig kunststof hoesje. Dat jasje, gecoat met een dun laagje aluminium, houdt waterdamp tegen. De tablet valt dan niet uiteen in de kartonnen doos in het keukenkastje.

Maar dat hoesje is supersterk en moeilijk open te krijgen. De schaar is altijd zoek, en de tanden gebruiken om het zakje open te scheuren, is ook niet alles. Daarom is er die nieuwe Sun 4-in-1 plus, bedacht na consumentenonderzoek.

De *plus* staat voor het dunne verpakkingshoesje dat gemaakt is van een in water oplosbare film. Niet duurder, net zo goed wassend maar wel gemakkelijker dan wat er nu aan wastabletten op de markt is, claimt Sun.(...)

Het nieuwe verpakkingshoesje van Sun is gemaakt van polyvinylalcohol (pva). Komt dat in aanraking met een eerste golf waswater, dan breekt het open, binnen enkele seconden. Na een paar minuten is het gel-hoesje helemaal opgelost en zit het poeder in het waswater. Daar kan het zijn werk doen: bleken, eiwitten afbreken en aankloekresten van borden en kopjes losweken.

Unilever heeft ervaring met oplosbare alcohol-hoesjes. Vijf jaar geleden heeft Robijn gelkussentjes met een vloeibaar wasmiddel op de markt gebracht, voor de fijnwas.

Broer Scholtens

Jouw beurt om de vaat in de afwasmachine te stoppen? LET OP: het nieuwe (plus) tablet van SUN moet met verpakking in de machine.

1 Waardoor kan dat?

Het nieuwe verpakkingshoesje van Sun-tabletten is gemaakt van polyvinylalcohol (pva). Vinylalcohol is het monomeer waaruit het polymeer pva is gemaakt. Vinylalcohol betekent dat je etheen hebt waarbij een waterstofatoom vervangen is door een hydroxylgroep.

2 Geef de structuurformule van vinylalcohol.

3 Geef de systematische naam van vinylalcohol.

4 Teken een stukje van de keten van het polymeer pva, polyvinylalcohol, minimaal drie monomeereenheden.

5 Leg uit dat pva goed oplosbaar is in water.

Pva is biologisch afbreekbaar, het reageert in het afbraakproces met zuurstof.

6 Geef de reactievergelijking die optreedt bij het afbraakproces van pva (gebruik voor pva de formule  $(C_2H_4O)_n$ ).

Je gaat nu zelf onderzoek doen naar de wateroplosbaarheid van pva.

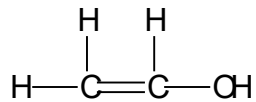
7 Opdracht: onderzoek de invloed van de temperatuur op de oplossnelheid van pva.



Oplosbaar hoesje

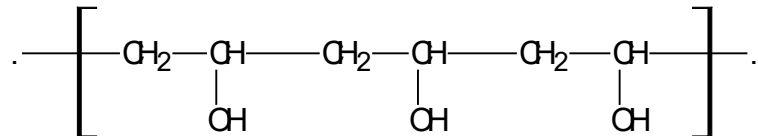
1 Doordat de verpakking snel oplost in water.

2



3 Ethenol of hydroxyethen.

4



5 Pva heeft heel veel OH-groepen die met water H-bruggen kunnen vormen.

6  $2 (\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4n \text{CO}_2 + 4n \text{H}_2\text{O}$

7 De leerling moet goed in de gaten hebben dat slechts één factor anders mag zijn: de temperatuur. De leerling zal temperaturen kiezen tussen 10 en 100 °C.

Intermediair, 28 april 2005

## Zuurstofarm

**Is er in de winter minder zuurstof in de lucht, doordat er geen blaadjes aan de bomen zijn?**

*Sandra van Rijswijck, Delft*

■ 'Dat zou niet best zijn', zegt Marjan van Elsland van de Bomenstichting in Utrecht. 'Dan zouden we nog afhankelijker zijn van bomen dan nu. Gelukkig zorgen luchtstromingen dat de atmosfeer zich wereldwijd mengt. Als hier de bomen kaal zijn, is het aan de andere kant van de wereld zomer. Bovendien hebben we naaldbomen en grassen, die de koolstofkringloop gaande houden.'

Bomen hebben ook een dag-nachtritme, vertelt ze. 'In de nacht ademen ze zonder dat het bladgroen zuurstof afstaat. Dan wordt dus zuurstof aan de atmosfeer onttrokken. Maar dat merk je evenmin. De mens draagt met lucht

van de oceaan is te groot.'

Ook in de oceaan heeft fotosynthese plaats door algen en sommige bacteriën. Ze maken suikers aan uit water en kooldioxide, een proces waarbij zuurstof vrijkomt.

Door fotosynthese wordt jaarlijks 0,02 procent van de zuurstof in de atmosfeer verversd. Dat komt overeen met driehonderd miljard ton zuurstof. Bijna de helft daarvan komt door fotosynthese in oceanen, de rest door planten en bacteriën op het land. Het gaat dus om kleine fracties van het totaal aan zuurstof. Fluctuaties zijn daardoor nauwelijks merkbaar.

Andere effecten overheersen, meent Peter Boersma (Amsterdam). 'In de winter is door de lagere temperatuur de dichtheid van lucht groter. Er gaan daardoor meer moleculen in een liter lucht. Dat betekent dat je bij elke ademhaling meer zuurstof binnenkrijgt.'

Bomen hebben een dag-nachtritme. Overdag produceren zij zuurstof, 's nachts verbruiken zij zuurstof.

1 Hoe heet het proces waarmee bomen zuurstof produceren?

2 Geef de reactievergelijking van dit proces.

Dit proces zorgt voor verversing van 0,02% van de hoeveelheid zuurstof in de atmosfeer.

3 Met hoeveel ton zuurstof komt dit overeen? Haal de rest van je gegevens uit het artikel.

4 Bereken de totale hoeveelheid zuurstof in de atmosfeer, uitgedrukt in aantal kg. Gegeven: 1 ton = 1000 kg.

Marjan van Elsland heeft het ook over de koolstofkringloop.

5 Wat wordt daarmee bedoeld?

6 Geef als laatste antwoord op de vraag van Sandra van Rijswijck.

## Zuurstofarm

1 Fotosynthese.

2  $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$ .

3 Driehonderd miljard ton.

4 Totaal 100% =  $100/0,02 \times 300 \cdot 10^9 \text{ ton} = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ ton zuurstof} = 1,5 \cdot 10^{18} \text{ kg zuurstof}$ .

5 Dat koolstof als koolstofdioxide reageert tot suikers. Suikers die uiteindelijk weer omgezet worden in koolstofdioxide. Koolstof doorloopt daarbij dus een kringloop.

6 Nee, want de hoeveelheid zuurstof die door de bomen aangemaakt wordt, is zo gering dat dit nauwelijks invloed heeft op de totale hoeveelheid zuurstof in de atmosfeer.

Agrarisch Dagblad, 17 september 2005

# 'Geef kansen niet uit handen'

DOOR MARISKA VERMAAS

Voorzitter Willy Schutte van LTO Noord-Flevoland ziet veel toekomst in energie. "Als we ons meer gaan richten op energiegevoelens is de landbouw in Europa veiliggesteld." Schutte benadrukt wel dat de landbouw hierbij een deel van de leiding in handen moet houden. "We moeten voorkomen dat het net zo wordt als bij de aardappelen, die voor een prijs die 4 keer zo hoog is als de telersprijs in de supermarkt liggen."

Schutte denkt dat veel moet worden samengewerkt om grote installaties te bouwen. "Als iedere boer zijn eigen co-vergistingsinstallatie heeft, snoepen anderen te veel van de marges af."

Kansen voor biobrandstoffen zijn er zeker. De Europese Unie heeft afgesproken dat dit jaar 2 procent van de benodigde transportbrandstof uit biobrandstof moet bestaan. In 2010 ligt dit op 5,75 procent van de totale benodigde hoeveelheid brandstof.

"Deze afspraak is niet alleen gemaakt uit milieutechnisch oogpunt, maar ook op politieke gronden. Europa wil minder afhankelijk worden van de oliestaten", zegt Gerard Born van Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO).

Nederland heeft nog geen concrete invulling voor dit plan. Er zijn 2 opties: het bijmengen van bio-ethanol bij benzine of het bijmengen van plantaardige of dierlijke oliën bij diesel.

In Nederland gebruikte het wegverkeer in 2003 4,2 miljoen ton benzine en 6,3 miljoen ton diesel. Dit betekent dat er 84.000 ton bio-ethanol bijgemengd zou moeten worden om aan de 2 procentnorm te voldoen.

Voor 1 ton ethanol is 3 ton droge stof aan graan of 3,2 ton droge

Terwijl veel boeren zich vol enthousiasme op energie als neventak storten, blijken de mogelijkheden in Nederland nog tegen te vallen. Hoe groot kan de rol zijn van de Nederlandse landbouw op de energiemarkt?

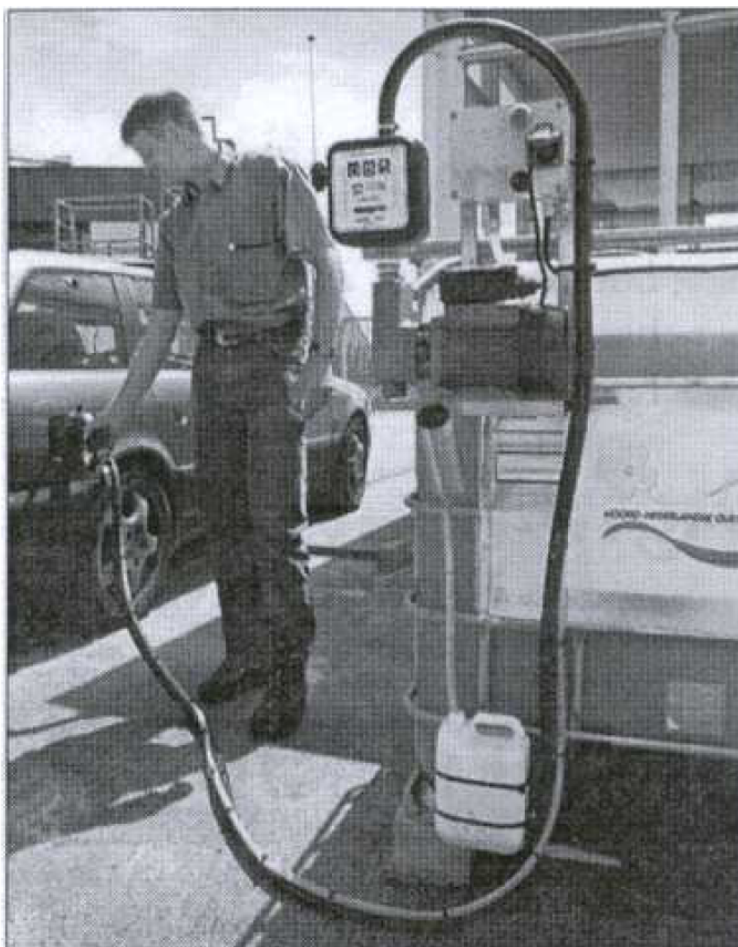
stof aan maïs nodig. Voor aardappelen en suikerbieten is 10 ton vers product voor 1 ton ethanol nodig.

Met 8 ton droge stof per hectare uit graan betekent dit dat er 48.750 hectare graan geteeld moet worden om voldoende ethanol te kunnen produceren. Dat is een kwart van het totale

areaal graan in Nederland. Uit onderzoek blijkt echter wel dat de kosten van ethanol uit graan veel hoger zijn dan wanneer ethanol wordt gewonnen uit afvalproducten.

De teelt van koolzaad voor olieproductie is met de huidige gewasopbrengsten niet rendabel. De opbrengst ligt op dit moment rond de 3.200 kilo per hectare, wat een saldo oplevert van 233 euro per hectare. Dat is minder dan het saldo van 508 euro van een hectare graan.

De verwachtingen zijn dat het saldo van koolzaad gaat verbeteren. "De kennisontwikkeling van het gewas loopt achter. De verwachting is wel dat de opbrengst van het gewas snel omhoog kan, waardoor het saldo aantrekkelijker wordt", aldus Borm.



Een automobilist gooit zijn auto vol met biobrandstof.

Foto ANP

De EU heeft afgesproken dat in 2006 2% van de benodigde transportbrandstof uit biobrandstof moet bestaan.

1 Waarom wil de EU dat? Noem twee redenen.

Nederland heeft twee opties om dit doel te bereiken.

2 Welke twee opties zijn dat?

3 Leg uit hoe de genoemde 84000 ton bio-ethanol is berekend.

De hoeveelheid van 84000 ton geeft eigenlijk geen reëel beeld van de benodigde hoeveelheid bio-ethanol.

4 Wat ontbreekt in de berekening van vraag 3?

Stel Nederland wil kiezen voor één van beide opties.

5 Bereken voor elk van de twee opties hoeveel ton van welke biobrandstof bijgemengd moet worden.

6 Bereken het percentage bio-ethanol in benzine als de berekende hoeveelheid aan benzine wordt toegevoegd.

7 Bereken hoeveel ton biobrandstoffen er in 2010 nodig is bij gelijkblijvend gebruik.

#### *Bio-ethanol uit graan*

Graan bevat onder andere zetmeel. Het zetmeel (amylose) moet eerst worden omgezet in glucose. Daarna wordt de glucose vergist tot ethanol en koolstofdioxide.

8 Geef beide reacties in vergelijkingen weer, gebruik molecuulformules.

Het artikel meldt dat voor de productie van 1 ton ethanol 3 ton droge stof aan graan nodig.

9 Bereken het massapercentage zetmeel in droge stof aan graan.

#### *Bio-ethanol uit suikerbieten*

Gebruik je suikerbieten, waarin kristalsuiker zit, dan is voor 1 ton ethanol 10 ton aan suikerbieten nodig.

10 Hoe wint men de suiker uit suikerbieten?

De bietsuiker (kristalsuiker) kan omgezet worden in ethanol en koolstofdioxide. Hierbij is ook water nodig.

11 Geef de reactievergelijking van deze omzetting in molecuulformules. Kristalsuiker (sacharose) =  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

12 Bereken hoeveel ton suiker nodig is voor de productie van 1 ton ethanol.

13 Bereken het massapercentage suiker in de suikerbieten.

Boeren zien veel toekomst "in energie".

14 Leg uit welk belang ze daarbij hebben.

15 Waarop baseren de boeren zich bij die visie?

## Kansen voor biobrandstoffen

- 1 De EU wil het om het milieu te ontlasten en om minder afhankelijk te worden van de oliestaten.
- 2 Bijmenging van bio-ethanol uit graan aan benzine en bijmenging van biodiesel uit plantaardige/dierlijke oliën aan diesel.
- 3 Het wegverkeer gebruikte in 2003 4,2 miljoen ton benzine. Neem daarvan  $0,02 \times 4,2 \cdot 10^6 = 8,4 \cdot 10^4$  ton.
- 4 Deze 84000 ton is alleen berekend op de hoeveelheid benzine. De hoeveelheid diesel is daarbij buiten beschouwing gebleven.
- 5 Totaal 10,5 miljoen ton transportbrandstof.  $2\% = 210000$  ton. Dus 210000 ton bio-ethanol aan benzine toevoegen, of 210000 ton biodiesel aan diesel.
- 6  $(210000/4,2 \cdot 10^6) \times 100\% = 5\%$ .
- 7  $5,75\% = 5,75/100 \times 10,5$  miljoen ton = 664000 ton.
- 8  $(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow n C_6H_{12}O_6$ . Vergisting:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$ .
- 9 Gevormde 1 ton ethanol  $\equiv 1000/46 = 21,7$  kmol. Gevormd uit  $21,7/2 = 10,9$  kmol glucose. Molaire massa zetmeel = 162 g/mol. 10,9 kmol glucose gevormd uit  $10,9/n$  kmol zetmeel  $\equiv 10,9/n \times n \times 162 = 1760$  kg zetmeel. Massapercentage =  $(1760/3000) \times 100\% = 59\%$ .
- 10 Suikerbieten maalt men fijn. Men kookt de stukjes suikerbieten met warm water, filtreert en dampst de ontstane suikeroplossing in. Als laatste centrifugeert men de suikerstroop waarbij kristalsuiker ontstaat.
- 11  $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 4 C_2H_5OH + 4 CO_2$ .
- 12 Productie van 1 ton = 1000 kg ethanol  $\equiv 1000/46,07 = 21,7$  kmol ethanol. Gevormd uit  $21,7/4 = 5,43$  kmol suiker  $\equiv 5,43 \times 342,30 = 1900$  kg suiker.
- 13 Massapercentage =  $(1900/10000) \times 100\% = 18\%$ .
- 14 Als ze zich meer gaan richten op energiegewassen is de landbouw in Europa veilig gesteld.
- 15 Op de afspraken van de Europese Unie: 2% biobrandstoffen toevoegen dit jaar; 5,75 % biobrandstoffen toevoegen in het jaar 2010.

Agrarisch Dagblad, 1-10-2005

# Bio-ethanol uit zetmeel niet goed voor klimaat

Biobrandstoffen krijgen een impuls van de overheid. Het verbranden ervan zou ook goed zijn voor het klimaat. Dat is mooi, maar volgens Lucas Reijnders helaas te mooi om waar te zijn.

DOOR LUCAS REIJNDERS

OPINIE

**D**e regering 'mend jaar' euro ter beschikking stellen voor de accijnsvrijstelling van biobrandstoffen die worden toegepast in auto's, zoals bio-ethanol gemaakt uit zetmeel en biodiesel gemaakt uit koolzaadolie. Vanuit LTO Nederland wordt ervoor geijverd dit bedrag te vergroten.

Het verbranden van deze biobrandstoffen wordt vooral aangeprezen met het oog op de klimaatproblematiek. Ze worden vaak klimaatneutraal genoemd. Dat is mooi, maar het is helaas te mooi om helemaal waar te zijn.

Om de biobrandstoffen als bio-ethanol, biodiesel en palmolie te produceren en af te leveren, worden als regel fossiele brandstoffen ingezet. Gemotoriseerd transport, het maken van kunstmest, het persen en raffineren van olie en het destilleren van ethanol verbruiken forse hoeveelheden fossiele brandstoffen.

Over de vraag hoeveel daarvan nodig is voor het maken van biobrandstoffen, zijn verschillende berekeningen in omloop. Het meest gestudeerd is op bio-ethanol, dat in industrielanden wordt gemaakt uit graan- of maïszetmeel. Studies die buiten de wetenschappelijke vakpers om worden gepubliceerd, komen er in de regel op uit dat wat be-

## Veel fossiele brandstoffen nodig voor biobrandstof

treft CO<sub>2</sub> uitstoot 40 tot 60 procent van de winst die met biobrandstoffen kan worden bereikt ongedaan wordt gemaakt door de



Voor de productie van biodiesel is veel fossiele brandstof nodig.

inzet van fossiele brandstoffen. Studies die in de wetenschappelijke vakpers verschijnen, rekenen voor dat dit percentage minstens 80 procent is.

Per kilo bio-ethanol gaat volgens de berekeningen in wetenschappelijke pers 2,1 tot 3 kilo kooldioxide afkomstig van fossiele brandstoffen de lucht in. Voor biodiesel en palmolie is de situatie vermoedelijk iets, maar niet veel, gunstiger. Biobrandstoffen als bio-ethanol uit zetmeel, biodiesel en palmolie zijn alleen al om deze redenen helemaal niet klimaatneutraal.

Daar komt nog bij dat de teelt die nodig is voor deze biobrandstoffen er in de praktijk toe leidt dat distikstofoxide en koolstof van biologische oorsprong de at-

## Stimuleer gebruik afval plantaardige productie

mosfeer in gaat. Spectaculair is de koolstofverhuizing van ecosysteem naar atmosfeer bij de omzetting van tropenbos in palmolie plantages. Studies wijzen verder uit dat in de Europese Unie per kilo bio-ethanol het equivalent van 0,5 tot 2,1 kilo kooldioxide de lucht in gaat door distikstofoxideuitstoot en verlies van koolstof uit de akkerbodem. In geval van biodiesel is dit nog wat meer.

In dit licht is de door de rege-

ring voor 2006 beoogde stimulering van bioethanol uit zetmeel, van biodiesel uit koolzaadolie en van palmolie waarschijnlijk contraproductief wat betreft het tegengaan van klimaatverandering.

Niet alle biobrandstoffen zijn slecht voor het klimaat. Mits goed behandeld, kan overschietend afvalhout uit duurzaam beheerde bossen een aanmerkelijke, in milieupolitischer verantwoordelijke bijdrage leveren aan de elektriciteitsvoorziening.

Ook ziet het er naar uit dat het mogelijk is dit soort hout verantwoord te benutten voor het maken van vloeibare autobrandstoffen, bijvoorbeeld met behulp van Fischer-Tropsch-synthese. Shell is daar bijvoorbeeld ook actief mee bezig.

Daarnaast zijn bijvoorbeeld ook afval uit de plantaardige agrarische productie, waarvoor geen plaats is in het veevoer of in de compostproductie, bruikbaar als basis voor verantwoorde biobrandstof. De 70 miljoen euro die door de regering is vrijgemaakt voor accijnsvrijstelling, kan beter worden besteed aan zulk soort biobrandstoffen of aan de uitbreiding van het windmolenpark.

□ Lucas Reijnders is hoogleraar milieukunde aan de Universiteit van Amsterdam en de Open Universiteit Nederland

Fossiele brandstoffen worden momenteel nog het meest gebruikt.

1 Noteer de vier toepassingen van fossiele brandstoffen die in het artikel worden genoemd.

Biobrandstoffen krijgen een impuls van de overheid.

2 Welke biobrandstoffen worden genoemd en waaruit worden ze gemaakt?

3 Waarom wordt het verbranden van biobrandstoffen aangeprezen?

Het gebruik van biobrandstoffen is volgens Lucas Reijnders minder rooskleurig voor het milieu als het in eerste instantie lijkt.

4 Waarom is het gebruik volgens Lucas Reijnders minder rooskleurig?

#### *Bio-ethanol*

Zetmeel,  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , wordt bij de productie van ethanol eerst afgebroken tot glucose.

5 Geef deze afbraakreactie in een vergelijking met molecuulformules weer.

De glucose wordt daarna vergist tot ethanol en koolstofdioxide.

6 Geef de vergelijking van deze vergistingsreactie in molecuulformules.

7 Waarom kost het zuiver in handen krijgen van ethanol zoveel energie?

#### *Klimaatneutraal*

Per kilo(gram) geproduceerd bio-ethanol gaat 2,1 tot 3 kg koolstofdioxide afkomstig van fossiele brandstoffen de lucht in.

8 Bereken hoeveel kg koolstofdioxide vrijkomt bij de verbranding van 1 kg ethanol.

9 Bereken welk massapercentage van de totale CO<sub>2</sub> uitstoot dan afkomstig is van de fossiele brandstoffen.

Biobrandstoffen worden klimaatneutraal genoemd.

10 Wat bedoelt men met klimaatneutraal als men het heeft over biobrandstoffen?

11 Leg uit dat het gebruik van biobrandstoffen niet klimaatneutraal is.

Lucas Reijnders komt met alternatieve voorstellen.

12 Welke aanpak levert volgens Lucas Reijnders wel een flinke milieuwinst op?



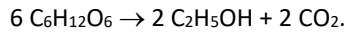
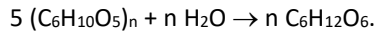
## Bio-ethanol uit zetmeel

1 Gemotoriseerd transport, het maken van kunstmest, het persen en raffineren van olie, het destilleren van ethanol.

2 Bio-ethanol uit zetmeel en biodiesel uit koolzaadolie.

3 Met het oog op de klimaatproblematiek.

4 Om biobrandstoffen te kunnen produceren en af te leveren, worden meestal fossiele brandstoffen ingezet.



7 Je moet dan de alcohol via destillatie scheiden van het water en dat kost heel veel energie.

8  $1000 \text{ g ethanol} \equiv 1000/46,07 = 21,7 \text{ mol}$ . Dan  $2 \times 21,7 = 43,4 \text{ mol koolstofdioxide} \equiv 43,4 \times 44,01 = 1910 \text{ g} = 1,9 \text{ kg koolstofdioxide}$ .

9 Minimaal: Per kg bio-ethanol komt minimaal 2,1 kg CO<sub>2</sub> vrij van de fossiel brandstof en 1,9 kg bij de verbranding van de ethanol. Dus totaal komt 4,0 kg CO<sub>2</sub> vrij. Massapercentage CO<sub>2</sub> uit fossiele brandstof =  $(2,1/4,0) \cdot 100\% = 52 \%$ .

Maximaal: Per kg bio-ethanol komt maximaal 3 kg CO<sub>2</sub> vrij van de fossiel brandstof en 1,9 kg bij de verbranding van de ethanol. Dus totaal komt 4,9 kg CO<sub>2</sub> vrij. Massapercentage CO<sub>2</sub> uit fossiele brandstof =  $(3/4,9) \cdot 100\% = 61 \%$ .

10 Men bedoelt dan dat er evenveel koolstofdioxide vrijkomt bij de verbranding als er bij de vorming in de natuur is vastgelegd.

11 Voor de productie en het transporteren worden fossiele brandstoffen ingezet die ook koolstofdioxide produceren.

12 Gebruik van afvalhout en plantaardig afval uit de agrarische industrie in plaats van geteelde zetmeel. Inzet bij de elektriciteitsvoorziening in plaats van gebruik als autobrandstof.

# De chemie van een Rembrandt

ANTON DUISTERWINKEL

**V**erblekende verven. Witte puisten. Een doffe film over het schilderij. Plakkaten verf die wegzakken. Allemaal het gevolg van chemische processen die de olieverfschilderijen van Hollandse meesters bedreigen. Restaurator en onderzoeker van traditionele verf dr. Leslie Carlyle probeert de chemie achter deze ellende te ontrafelen, in het kader van het De Mayerne-programma van NWO. Haar Hart-project is erop gericht om een Historisch Accurate ReconsTructie te vinden.

Doek, verf en vernis kunnen bijdragen aan het verval van schilderijen en dus ook aan het herstel ervan. Voor haar onderzoek heeft Carlyle zich geconcentreerd op de grondverf. Dit is de laag olieverf die als eerste op het doek wordt gesmeerd en zo de basis van de schildering vormt. Lijnolie en het pigment loodwit ( $\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ) vormen de belangrijkste bestanddelen van de grondverf. Carlyle heeft geprobeerd om deze materialen van Van Gogh en zijn tijdgenoten zo goed mogelijk na te bootsen. Daardoor weet de restaurator nu veel meer over de samenstelling, de verwerking en de veroudering van oude olieverven. (...)

## BROEIENDE PAARDENMEST

Loodwitmaker Jef Seynaeve heeft geen geheimen, "want dan kom je niet vooruit." Achter zijn atelier staat een grote zwarte kunststof kist – vol paardenmest, zo te zien. Daarin, vertelt de Vlaamse kunstschilder en beëdigde restaurator, staan aardewerkpotten met wat azijn. Op nokjes in de potten staat een spiraal van lood heel langzaam loodwit te worden. De mest broeit en verwarmt het geheel tot 70 °C. Azijsdampen en koolzuur zetten het lood om in loodcarbonaat-loodhydroxide.

Al 35 jaar is Seynaeve, docent in ruste, bezig oude productiemethoden van olieverf en bestanddelen nieuw leven in te blazen. Proefondervindelijk komt hij erachter hoe je de oude recepten kunt nabootsen met moderne middelen. "Als de nokjes te klein zijn, zakt het lood in de azijn en gaat het fout. Verder moet je

beslist voldoende paardenmest gebruiken. En het azijn mag niet te geconcentreerd zijn." De Franse chemicus J.A.C. Chaptal (1756-1832) dacht dat de sterke internationale positie van de Nederlandse loodwitindustrie rond 1800 lag aan de bierazijn die erin gebruikt werd. Seynaeve gebruikte eerst gewoon verdunde pro-analyse azijn en is later overgestapt op alcoholazijn, beide met goed gevolg.

Na een paar weken tilt Seynaeve het lood voorzichtig uit de pot en schudt het wit er af. "Niet krabben, want dan krijg je stukjes lood in de verf." Het schelpwit, zoals het tussenproduct heet om zijn specifieke vorm, maalt Seynaeve met wat water. Het poeder wast hij tot acht keer toe met regenwater ("dat is kalkvrij") om loodsuikers (loodacetaat), azijnresten en blauwgroene koperverontreinigingen te verwijderen. Dit alles met handschoenen aan en een masker op, want loodwit is erg giftig. Uiteindelijk maakt Seynaeve er een loodwitolieverf van. "Prachtig thixotroop, zodra je de streek neerzet, blijft hij staan". Zo kun je structuren zeer natuurgetrouw nabootsen, laat hij zien aan een portret dat hij schilderde van zijn moeder.

Meer informatie: [www.nwo.nl/demayerne](http://www.nwo.nl/demayerne)

## LOODVRIJ IN DE NEGENTIENDE EEUW

Eind negentiende eeuw was de luchtvervuiling zo sterk dat het loodwit aangetast werd. Jaap Boon (FOM-Amolf en hoogleraar Uva): "We weten nu dat het loodwit reageerde met  $\text{H}_2\text{S}$  uit de lucht tot loodsulfide, dat zwart is." Maar de schilders zagen alleen zwarte stipjes ontstaan in de grondverf en besloten loodvrij te gaan werken. Het alternatief, zinkwit ofwel zinkoxide, bleek erger dan de kwaal. "Zink complexeert veel minder goed dan lood, en met een beetje vocht uit de lucht reageert het tot zinkzepen", legt Boon uit. Het gevolg is dat de verf verandert in een laag die veel lijkt op tandpasta. De verflaag hecht slecht en kan zelfs gedeeltelijk wegglijden. "Het zure daaraan", vertelt Boon, "is dat het allemaal onnodig was. Het loodsulfide reageert uiteindelijk door tot loodsulfaat. En dat is weer gewoon wit." Daar gaan wel jaren overheen, dat wel.

Loodwit is een pigment, een vaste stof die als kleurstof wordt gebruikt.

1 Welke kleur heeft loodwit?

2 Geef de formule van loodwit.

Loodwit is een zogenaamd dubbelzout. Dubbelzouten bestaan uit drie (of meer) soorten ionen.

3 Leg uit dat loodwit een dubbelzout is.

Het maken van loodwit wordt door Jef Seynaeve op een traditionele wijze gedaan.

4 Hoe maakt hij loodwit?

Het artikel zegt: "Azijndampen en koolzuur zetten het lood om in loodcarbonaat-loodhydroxide.

5 Leg uit dat je hier met een redoxreactie te maken hebt.

Bij de reactie wordt ook zuurstof gebruikt en er ontstaat naast loodwit ook loodacetaat.

6 Geef de vergelijking van de optredende reactie waarbij lood wordt omgezet in loodwit.

Jef maalt het schelpwit met water. Daarna wast hij tot acht keer om onder andere lood(II)acetaat en azijnresten te verwijderen.

7 Leg uit dat door het wassen met water een scheiding optreedt tussen loodwit en de beide hierboven genoemde stoffen.

De aantasting van loodwit vindt plaats door luchtverontreiniging. Met name door waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ )

8 Geef de vergelijking van de reactie tussen loodwit en waterstofsulfide.

Als alternatief voor loodwit ging men zinkoxide gebruiken.

9 Welke nadelen bracht het gebruik van zinkoxide met zich mee?

Volgens Jef was het vervangen van loodwit door zinkoxide niet nodig geweest.

10 Waarom niet?

11 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als lood(II)sulfide met zuurstof reageert.

12 Waarom zal men toch overgestapt zijn op zinkoxide?

Loodwit

1 Wit.

2  $\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ .

3 Het is een mengsel van lood(II)carbonaat en lood(II)hydroxide.

4 Hij zet een spiraal van lood in aardewerkpotten met wat azijn. De potten staan in een kunststofkist waarin broeiende paardenmest het geheel tot 70 °C verwarmt.

5 Lood als metaal wordt omgezet in loodionen:  $\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^-$ .

6  $6 \text{Pb} + 4 \text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{CO}_2 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2 + 2 \text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2$

7 Loodwit lost niet in water op, de andere twee stoffen wel en kunnen dus zo verwijderd worden.

8  $\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2 + 2 \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2 \text{PbS} + 3 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ .

9 Zink complexeert veel minder goed dan lood. Met een beetje vocht reageert zinkoxide tot zinkzeep waardoor verglijding kan optreden.

10 Na verloop van tijd reageert lood(II)sulfide tot lood(II)sulfaat dat weer wit van kleur is.

11  $\text{PbS} + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{PbSO}_4$ .

12 De omzetting van het zwarte lood(II)sulfide in lood(II)sulfaat duurt jaren.

# Kauwen op aardoliederivaten

**Eskimo's kauwden op walvishuid, Chinezen op kuikenpoten en Maya's op sapodillosap. De moderne mens kauwt op moleculen uit aardolie, harsen uit dennenbomen en het vulmiddel krijt of talk.**



MARTINE SEGERS

**A**l in het Stenen Tijdperk bestonden primitieve voorlopers van kauwgom. In versteend hars uit berkenbomen hebben archeologen duidelijke afdrucken van tanden gevonden. Mogelijk werd de hars 9000 jaar geleden gemengd met honing voor een lekkere smaak. Het kauwen kon echter ook een ander doel hebben. Onderzoekers vermoeden dat de terpenen in berkenhars voor een aangename roes zorgden; kauwen op hars maakte een beetje *high*.

Naast smakelijk is kauwgom anno 2005 ook goed voor je tanden, volgens tandartsen. Het stimuleert de speekselvorming, wat de afvoer van schadelijke bacteriën bevordert. Ook vormt het extra speeksel een natuurlijke buffer die tanden beschermt tegen ontkalking van het tandglazuur door zure producten als frisdranken, vruchtensappen en wijn. Daarnaast zorgen speekseiwitten voor een beschermende neerslag op de tanden en bevat speeksel calciumfosfaten die de tanden kunnen remineraliseren.

## AUTOBANDEN

Was alle kauwgom millennia lang van plantaardige oorsprong, tegenwoordig tappen kauwgomfabrikanten uit een ander vaatje. Derivaten uit de petrochemische industrie, vooral elastomeren (rubbers) uit aardolie, geven kauwgom zijn elastische eigenschappen. Het gaat om lange koolwaterstofketens die sterk lijken op de polymeren waar autobanden

van gemaakt worden. Voorbeelden zijn SBR, een polymeer van styreen en butadien, en butylrubber, een polymeer van isopreen en isobuteen.

Harsen die de kauwgom zachter maken, zijn juist vaak wel van natuurlijke oorsprong. Dennenbomen zijn de belangrijkste leveranciers. De synthese van harsen is namelijk veel lastiger, en voor het gebruik van natuurlijke harsen in levensmiddelen krijgt de kauwgomfabrikant

## Het oplossen van zoetstoffen geeft een fris gevoel in de mond

makkelijker toestemming. Veel gebruikt is Chinese gomhars, met als hoofdbestanddeel abiëtezuur. Om de zuurgroep te neutraliseren, wordt abiëtezuur veresterd met glycerol. Door ook het aromatische karakter via hydrogenering te verminderen, wordt de hars beter mengbaar met de alifatische elastomeren. Een minder harde kauwgom is het resultaat.

Om kauwgom goed kauwbaar te maken en de plakkerigheid te verminderen, zijn weekmakers nodig. Dit zijn relatief kleine moleculen zoals microwassen, paraffine (bekend van kaarsvet) en plantaardige oliën die in het polymerennetwerk van de rubbermoleculen en harsen gaan zitten.

De basis van kauwgom, het onoplosbare deel dat na een minuut of vijf overblijft, bestaat maar liefst voor dertig tot zestig

procent uit krijt of talk. Dit vulmiddel is niet alleen een relatief goedkope grondstof, maar ook essentieel voor de textuur van de gombasis. Het gaat in de holtes van de polymeermatrix zitten en plakt als het ware aan het polymerennetwerk van de zachte rubbermoleculen. Hierdoor kauw je het er niet uit.

Zoetstoffen of suikers vormen verreweg het grootste bestanddeel kauwgom, ongeveer de helft van de kauwgom voordat je hem in je mond stopt. Zoetstoffen geven kauwgom niet alleen een zoete smaak, maar ook een koud en fris gevoel. Ze onttrekken namelijk warmte aan de omgeving als ze oplossen in het speeksel. De zoetstof xylitol heeft de grootste negatieve oploswarmte, zo'n -150 kJ/kg.

Na ongeveer vijf minuten is alle zoetstof opgelost in het speeksel. De smaakstoffen, die meestal niet water-oplosbaar zijn, lijken dan ook verdwenen. Niets is minder waar. Na dertig minuten kauwen zit nog zeker zeventig procent van de smaakstoffen in de kauwgombasis. Die proef je echter steeds slechter, omdat je smaaksensoren wennen aan de smaak en omdat de smaakversterkende zoetstoffen dan al uit de kauwgom verdwenen zijn. Met een scheepje suiker of een zoete drank is de muntsmaak van een kauwgompje weer terug te krijgen.

Meer informatie over de chemie van kauwgom vindt u in de serie Chemische Feitelijkheden, een uitgave van de KNCV en uitgeverij Bèta Publishers. Zie [www.chemischefeitelijkheden.nl](http://www.chemischefeitelijkheden.nl).

Kauwgom anno 2005 is volgens tandartsen goed voor je tanden.

1 Noem de vier argumenten die hiervoor worden gegeven.

Stoffen uit de aardolie-industrie dienen als grondstoffen voor de kauwgom. Voorbeelden zijn SBR en butylrubber.

2 Geef de formules van de uitgangsstoffen voor het maken van SBR (Let op: butadien moet 1,3-butadien zijn).

3 Teken een stukje van de structuur van SBR waarbij de twee monomeren om en om geschakeld zijn.

4 Geef de formules van de uitgangsstoffen voor het maken van butylrubber. Tip: Isobuteen is de vertakte isomeer van buteen.

5 Teken een stukje van de structuur van butylrubber waarbij de twee monomeren om en om geschakeld zijn.

Hars voegt men toe om de kauwgom zachter te maken. Een veel gebruikte hars is Chinese gomhars met als hoofdbestanddeel abiëterinezuur,  $C_{19}H_{29}COOH$ .

6 Leg uit dat abiëterinezuur geen verzadigd vetzuur is.

Men verestert abiëterinezuur met glycerol tot een tri-ester.

7 Waarom doet men dat?

8 Geef de vergelijking van de verestering in structuurformules weer.

Men past ook hydrogenering (additie van waterstof) toe om “het onverzadigd karakter te verminderen”.

9 Welke eigenschap verbetert hierdoor?

10 Geef de reactie voor de volledige hydrogenering van abiëterinezuur in een vergelijking met molecuulformule weer.

Aan kauwgom voegt men ook nog weekmakers, vulmiddelen en zoetstoffen toe.

11 Wat zijn de functies van elk van deze bestanddelen? Noem bij elk bestanddeel twee functies.

Bij xylitol spreekt men van een negatieve oploswarmte.

12 Wat bedoelt men daarmee?

13 Welk gevolg heeft dat?

Na vijf minuten wordt de kauwgom minder lekker.

14 Noem hiervoor twee oorzaken.

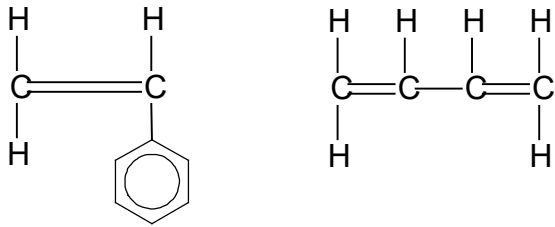
Het artikel beweert dat (zelfs) na dertig minuten kauwen nog zeker zeventig procent van de smaakstoffen in de kauwgombasis zit.

15 Hoe kun je deze bewering aantonen?

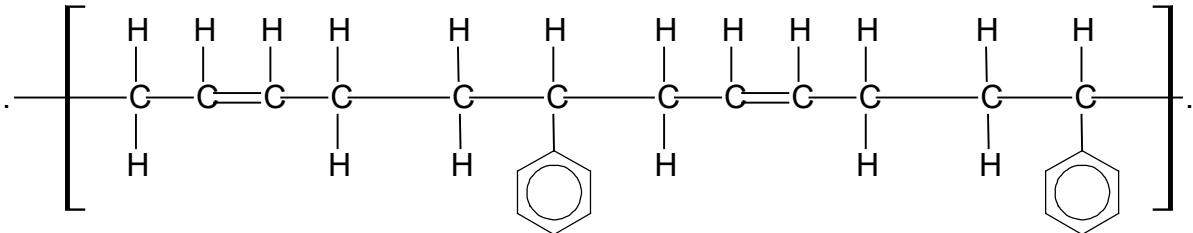
Kauwen op aardoliederivaten

1 Het stimuleert de speekselvorming wat de afvoer van schadelijke bacteriën bevordert. Ook vormt het extra speeksel een natuurlijke buffer tegen zuren. Daarnaast vormen speekseleiwitten een beschermende neerslag op tanden. Ook bevat speeksel calciumfosfaten die tanden kunnen remineraliseren.

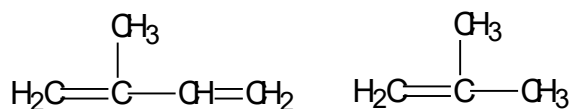
2



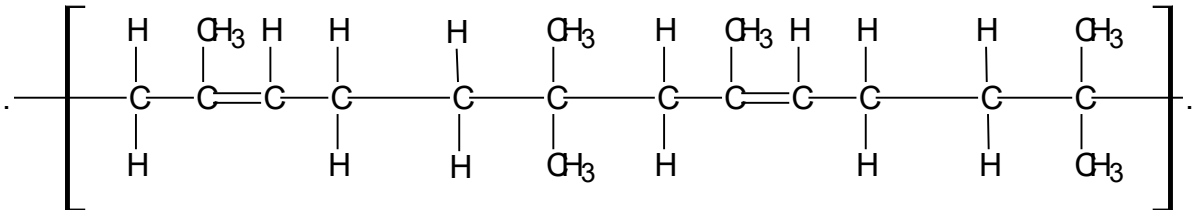
3



4



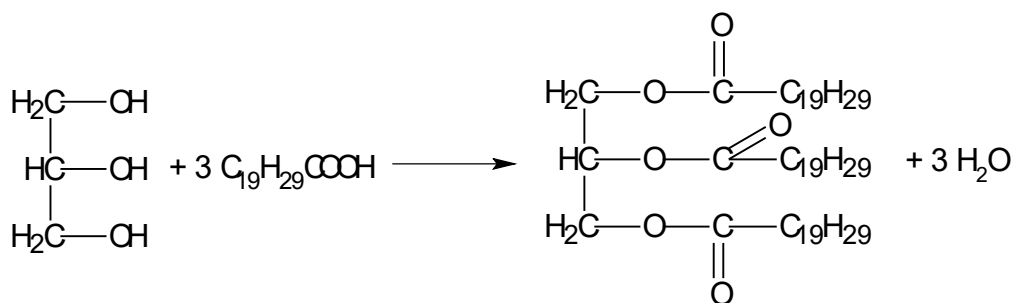
5



6 Als het een verzadigd vetzuur was, zou de formule  $\text{C}_{19}\text{H}_{39}\text{COOH}$  zijn. De molecuulformule van abiëtzinezuur heeft 10 H's minder, dus bevat 5 dubbel C=C bindingen.

7 Om de zuurgroep te neutraliseren.

8



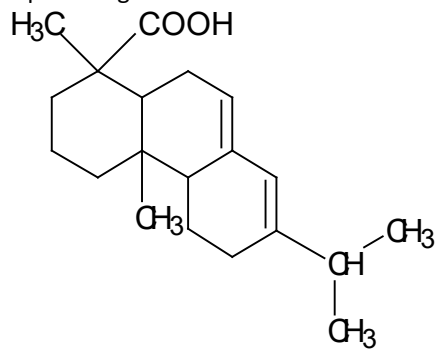
9 De mengbaarheid met de alifatische elastomeren wordt beter.

10  $\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH} + 5 \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_{19}\text{H}_{39}\text{COOH}$ .

11 Weekmaker: om de kauwgom goed kauwbaar te maken en de plakkerigheid te verminderen. Vulmiddelen: goedkope vulling maar ook essentieel voor de textuur van de gombasis. Zoetstoffen: voor de zoete smaak maar ook voor het verfrissend effect.

- 12 Bij het oplossen neemt xylitol warmte uit de omgeving op waardoor de temperatuur daalt.  
13 Hierdoor ontstaat een fris gevoel in je mond.  
14 Alle zoetstof is opgelost in het speeksel. Je smaaksensoren zijn aan de smaakstoffen gewend.  
15 Door een schepje suiker of een zoete drank te nemen en verder te kauwen.

Opmerking: de structuurformule van abiëtzinezuur



abiëtzinezuur

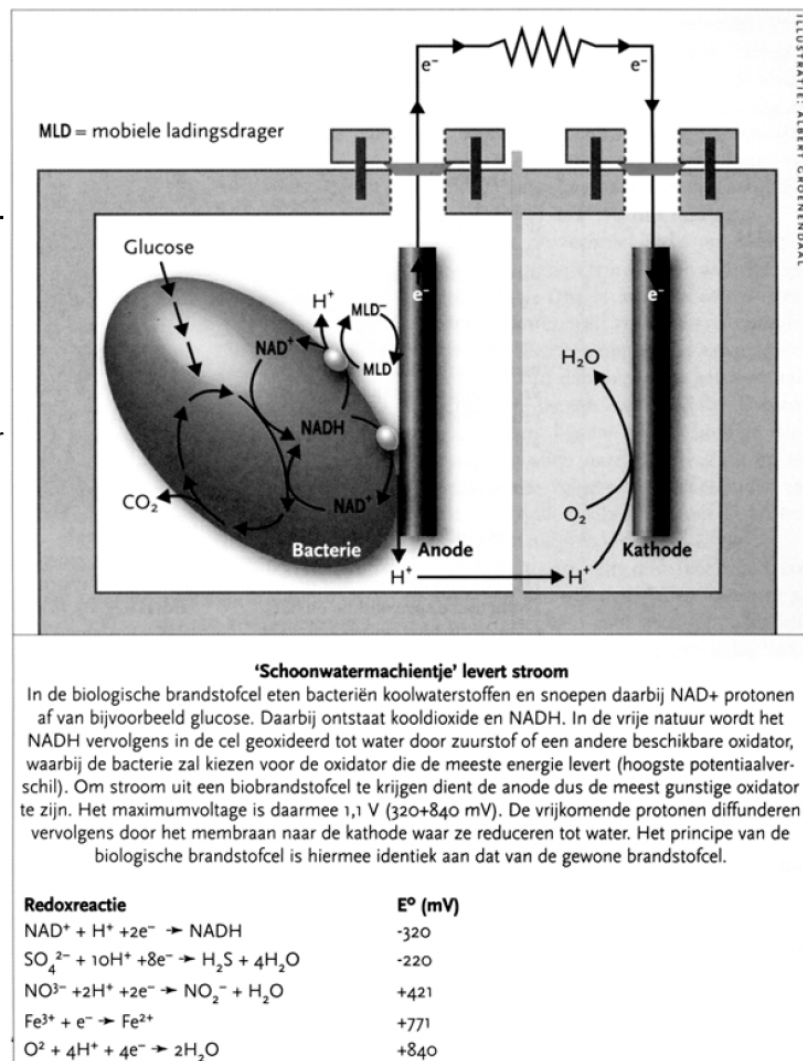


# AFVALWATER ALS ENERGIEBRON

In een biologische brandstofcel peuzelen bacteriën organische stoffen op. Als dank leveren ze bovendien stroom. De eerste proefexemplaren zullen naar verwachting over zo'n drie jaar stroom uit afvalwater halen.

Marga van Zundert

(...)



Het 'schoonwaternachientje' is een biologische brandstofcel.

1 Wat is een brandstofcel?

2 Waarom noemt men het een *biologische* brandstofcel?

In de brandstofcel verlopen twee halfreacties.

3 Geef de halfreactie die aan de anode plaatsvindt.

4 Leg uit of de anode de positieve pool of de negatieve pool is van het stroommachientje.

5 Geef de halfreactie die aan de kathode plaatsvindt.

6 Geef de totaalvergelijking.

Niet alle halfreacties in het artikel staan goed weergegeven. Het gebruik van sub- en superscript is mis gegaan.  
7 Verbeter de foutieve halfreacties.

De cel levert maximaal 1,1 volt.

8 Laat in een celdiagram zien dat de maximale spanning inderdaad 1,1 V is van de gegeven brandstofcel.

Uiteindelijk wordt glucose in deze brandstofcel omgezet in koolstofdioxide en water.

9 Leg aan de hand van gegevens in het artikel uit dat dit juist is.

10 Geef de totale omzetting in een reactievergelijking weer.

'Schoonwatermachientje' levert stroom

1 Een brandstofcel is een elektrische cel waarbij twee halfreacties op afstand van elkaar verlopen waardoor de overgedragen elektronen nuttig gebruikt kunnen worden. In een brandstofcel reageren brandstof en zuurstof met elkaar op afstand.

2 Biologisch omdat de brandstof van biologische oorsprong is.

3  $\text{NADH} \rightarrow \text{NAD}^+ + \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ .

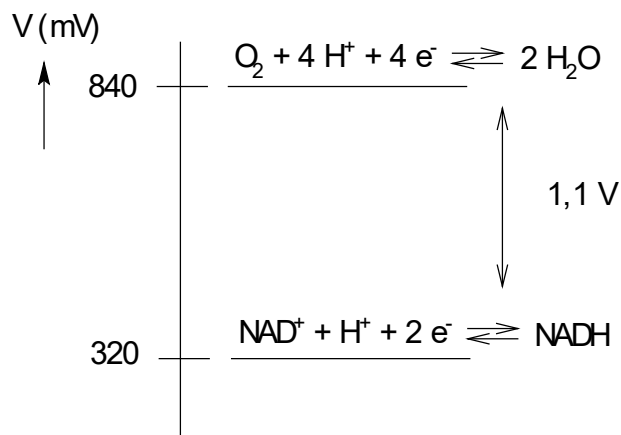
4 De negatieve pool, want de reductor staat zijn elektronen af.

5  $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ .

6  $\text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{NADH} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{NAD}^+$ .

7  $\text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ . En:  $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ .

8



9 Aan de kathode ontstaat water, in de bacterie bij de anode ontstaat uiteindelijk koolstofdioxide.

10  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ .

Opmerking: De  $E^0$  in het artikel heeft betrekking op normale omstandigheden. Echter bij een pH van 7 (en dus niet een concentratie van 1,0 M zoals bij de standaardelektrodepotentiaal in Binas).

# Plastic is fantastic

GERARD STOUT

**Veel voorwerpen die we dagelijks gebruiken, zijn gemaakt van kunststoffen. Dat zijn alle materialen die je niet in de natuur aantreft. De belangrijkste bestanddelen ervan zijn polymeren. Scheikundigen spelen met hun samenstelling om plastic producten steeds verder te verbeteren.**

**K**unststoffen of plastics zijn gemaakt door mensenhanden. Je vindt ze in duizenden producten. Zonder plastic zou de wereld er heel anders uitzien. De belangrijkste bestanddelen van plastic zijn polymeren. Dit zijn lange moleculen die zijn opgebouwd uit koolstof en waterstof en soms nog uit enkele andere atoomsoorten, zoals chloor, fluor, zwavel en zuurstof. Je vindt polymeren in pvc (polyvinylchloride), teflon, rubber en plexiglas (polymethylmethacrylaat, PMMA). In plastic boterhamzakjes zit polyetheen of polyethyleen, afgekort PE. De grondstof voor PE is het gas etheen. Etheen wordt gemaakt uit aardolie, in een kraakinstallatie die grotere moleculen door verhitting

breekt ('kraakt') tot kleinere moleculen. Vier moleculen etheen kunnen samen met acht koolstofatomen een keten vormen. Dat is nog geen polymeer. In een polymeer zijn duizenden etheen-eenheden, de monomeren, tot een lange keten aaneengeregen (mono = één, poly = veel, meros = deeltje). Het aantal eenheden geven we aan met de letter n, dat is de zogenoemde polymerisatiegraad.

## KETTING RIJGEN

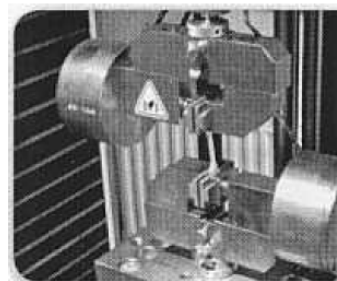
Koppeling van etheen tot polymeren gaat niet vanzelf. In de fabriek helpt een katalysator bij de koppeling van moleculen. Meestal is de precieze samenstelling van zo'n katalysator fabrieksgeheim. De katalysator, ontdekt door

Nobelprijswinnaars Karl Ziegler en Giulio Natta, zit meestal verstopt in poreuze bolletjes. Moleculen etheen 'kruipen' in de gangetjes van die bollen en worden daar door de katalysator aan elkaar 'geregen'. Als de ketens groeien, duwen ze de bolletjes stuk. Moleculen etheen vinden in de brokstukken nieuwe katalysatoren en groeien opnieuw tot lange ketens polyetheen. De katalysator verspreidt zich zo in het plastic.

## KLUWEN

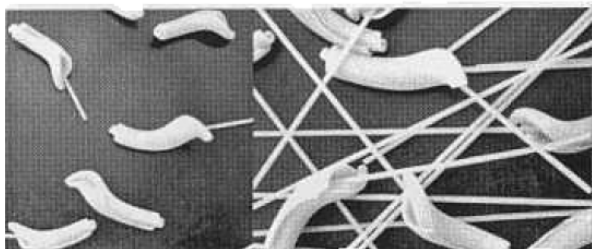
Als de polymeerketens rond en in de bolletjes groeien, raken ze verward in een kluwen. De polymeerdraden liggen kriskras door elkaar. Rond elk bolletje ontstaat een 'nestje' met vervlochten ketens. Zo'n

nestje is wel stevig, maar tussen de verschillende nestjes bevinden zich nauwelijks verbindingsdraden.

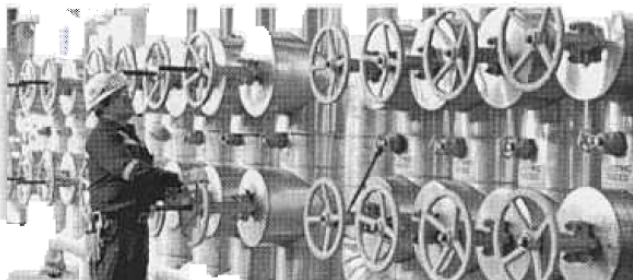


Onderzoekers aan de Technische Universiteit Eindhoven hebben een manier ontdekt waardoor polymeren wel netjes naast elkaar blijven liggen, want dat is een sterkere constructie dan een kluwen. De onderzoekers veranderden de productie-

Gigli en spaghetti als model van een katalysatorbolletje waaruit een polymeerketen groeit. Als de bolletjes dicht bij elkaar liggen, raken de 'ketens' verstrengeld



Een kraakinstallatie hakt moleculen als het ware in kleine stukje. Foto: Shell Chemicals Limited



## VERSCHILLENDE SOORTEN

Niet alleen door te variëren met het type katalysator krijg je verschillende soorten plastic. Je kunt ook verschillende uitgangsstoffen kiezen. In een polymeer zit aan elk even koolstofatoom een 'staart'. Als de staarten allemaal aan dezelfde kant van de keten zitten, is deze 'syntactisch'. Als ze beurtelings aan verschillende kanten uitsteken, is deze 'isotactisch'. Een derde mogelijkheid is dat de zijtakken willekeurig naar een kant wijzen, dan heb je een 'atactische' polymeer.

Plastic gemaakt van isotactische polymeren heeft heel andere eigenschappen dan dat met a-tactische polymeren. Chemici variëren de zijtakken in de polymeren. Ze mengen verschillende polymeren in wisselende hoeveelheden en voegen weekmakers en kleurstoffen toe. Op deze manier maken ze materialen op maat. Voor een autoband gelden immers andere eisen dan voor een condoom of wegwerpbestek.

methode van polymeren. In plaats van katalysatoren dicht op elkaar in poreuze bolletjes, gebruiken ze metallocleenkatalysatoren in een verdunde oplossing. Metallocleenkatalysatoren zijn metaalionen, geklemd tussen verschillende verbindingen, meestal koolstofringen. Door die ringen te voorzien van specifieke zijgroepen, past elke volgende moleculaire bouwsteen maar op één manier, als een sleutel in een slot.

### NIEUW PLASTIC

De polymeerketens 'groeien' vanaf het metaalion. De ketens raken niet snel verward, want in de verdunde oplossing is een ander katalysatorpunt ver weg. Tegen het eind van de reactie, als er bijna alleen maar lange rechte ketens zijn, raken ze wel in elkaar verward. Bij die verstrengeling doen alle ketens

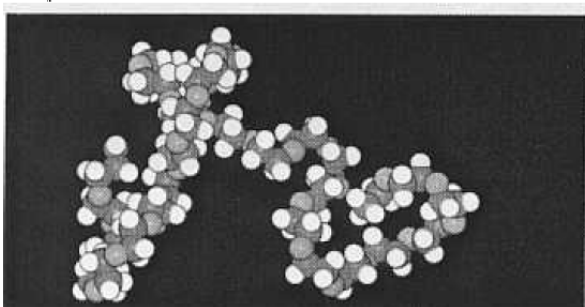
mee en zijn er geen afzonderlijke nestjes. De polymeerketens vormen samen één grote kluit. Plastic van dit materiaal is heel stevig, krasvast en toch flexibel. Heel geschikt voor het maken van heupprotheses, bijvoorbeeld. Of broodzakjes. Polyetheen kent vele toepassingen, maar is niet geschikt voor het vullen van scheuren in beton. Met zijtakken aan de polymeerketen ontstaat een plastic dat hier wel geschikt voor is. De grondstof van deze kunststof is 4-methylpenteen. Dat is een stof die uitzet als hij stolt. Maar plastic van poly-4-methylpenteen krimpt nauwelijks als het weer afkoelt. Dat komt goed uit als je kleine scheurtjes in beton op wilt vullen.

meer weten:

→ [www.ptn.nu](http://www.ptn.nu)

→ [www.polymers.nl](http://www.polymers.nl)

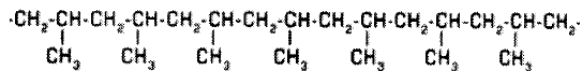
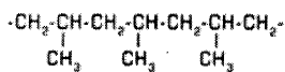
### Polyetheenketen



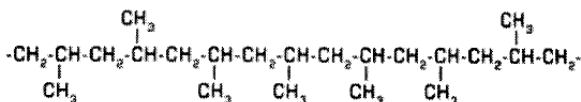
Gepolymeriseerde etheenmoleculen. De n betekent in dit geval een getal van enkele tienduizenden tot honderdduizenden.



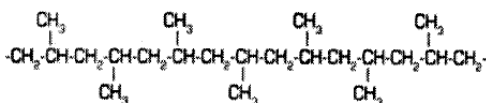
#### isotactisch



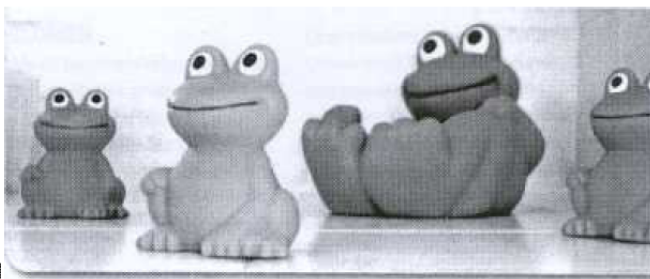
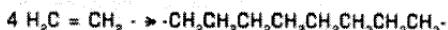
#### a-tactisch



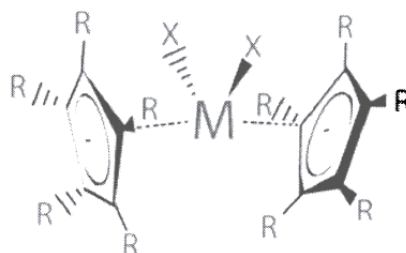
#### syntactisch



Vier monomeren van etheen vormen een keten van acht koolstofatomen.



Zo ziet een metallocleenkatalysator eruit. Vanaf het metaalion (M) kunnen polymeerdraden bewerkt worden.



In het artikel somt de auteur Gerard Stout nogal wat verschillende polymeren op.

1 Welke noemt hij allemaal?

De grondstof voor PE is etheen.

2 Geef de structuurformule van etheen.

3 Hoe maakt men in de industrie etheen?

4 Wat stelt de polymerisatiegraad voor?

De naam polymeer is uit het Grieks afkomstig.

5 Verklaar de naam polymeer.

Onderzoekers aan de TUE hebben een manier bedacht om nestjesvorming tijdens de polymerisatie te voorkomen.

6 Hoe ontstaat nestjesvorming tijdens de traditionele vorming van polyetheen?

7 Hoe hebben ze dit aan de TUE ondervangen?

8 Welke eigenschappen heeft polyetheen als het op deze wijze gevormd is?

De grondstof voor het vullen van scheuren in beton is 4-methylpenteen.

9 Geef de structuurformule van 4-methylpenteen. Gebruik: 4-methyl-1-penteen

10 Teken een stukje van de polymeer poly-4-methyl-1-penteen. Teken minimaal drie eenheden.

11 Welke eigenschap van dit polymeer maakt het uitermate geschikt om scheuren in beton op te vullen?

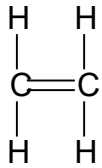
Polymeren kunnen op verschillende manieren gevormd worden: isotactisch, a-tactisch of syntactisch.

12 Teken poly-4-methyl-1-penteen op isotactische, a-tactische en syntactische wijze.

Plastic is fantastic

1 PVC, teflon, rubber, plexiglas, polyetheen, poly-4-methylpenteen, (polypropreen).

2



3 Etheen wordt gemaakt uit aardolie. De naftafractie wordt daarbij gekraakt.

4 De polymerisatiegraad geeft aan hoeveel eenheden er aan elkaar gekoppeld zijn.

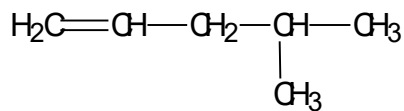
5 Poly betekent veel, meer, afgeleid van meros, betekent deeltje. Dus veel deeltjes.

6 Er zijn bolletjes gevuld met katalysator. Aan deze bolletjes groeien de ketens. Als de polymeerketens rond en in de bolletjes groeien, raken ze verward in een kluwen.

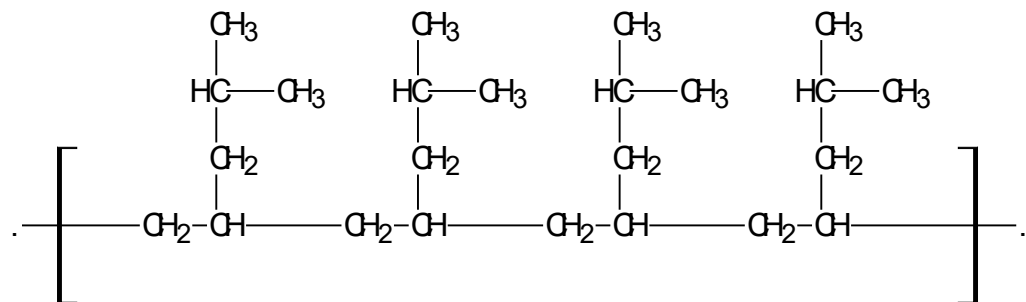
7 Men gebruikt een andere katalysator in een verdunde oplossing. De ketens groeien aan een katalysator. Ze raken minder snel verward omdat een ander katalysatorpunt ver weg is.

8 Plastic van dit materiaal is heel stevig, krasvast en toch flexibel.

9

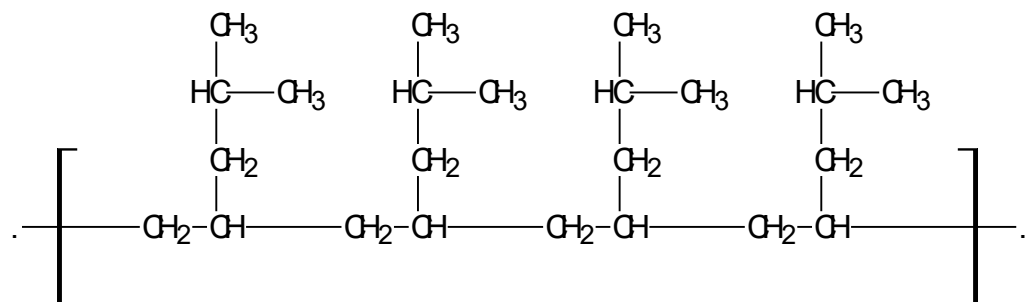


10

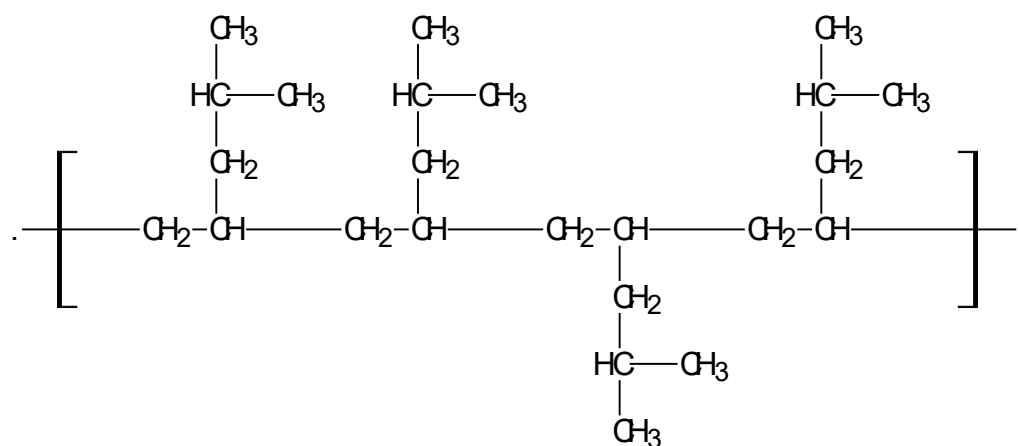


11 Het krimpt nauwelijks als het stolt.

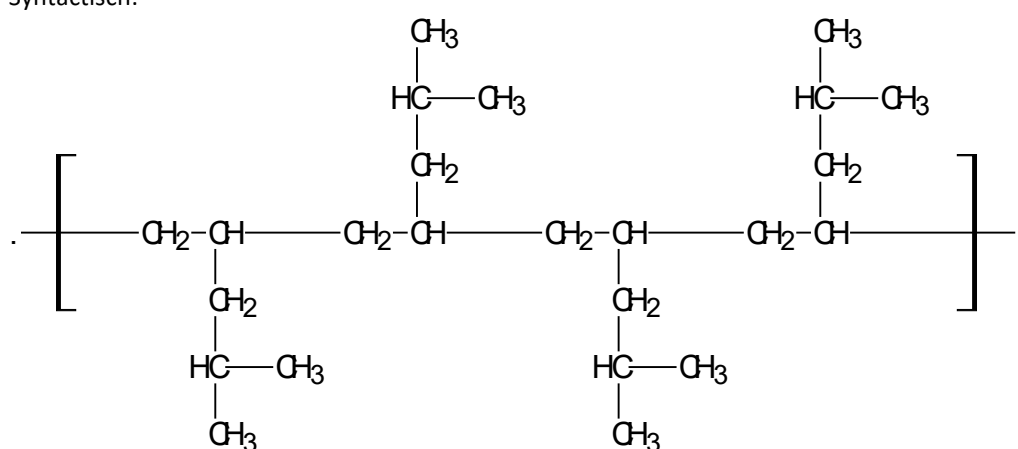
12 Isotactisch:



Atactisch:



Syntactisch:



Opmerkingen n.a.v het artikel: In de polymeerchemie kent men niet het begrip syntactisch, maar wel syndiotactisch. Omdat de leerlingen dit begrip niet hoeven kennen, hebben we maar met het begrip zoals gebruikt in het artikel gewerkt. In het stukje 'verschillende soorten' in het artikel zijn de begrippen syntactisch en isotactisch verwisseld.



In 1986 ontdekte Gijs Kuenen een bacterie die volgens zijn collega's niet kon bestaan. Ondanks bleek het beestje verantwoordelijk voor de helft van de mariene stikstofproductie.

# Anammox, het schoonmaakbeestje dat niet kon bestaan

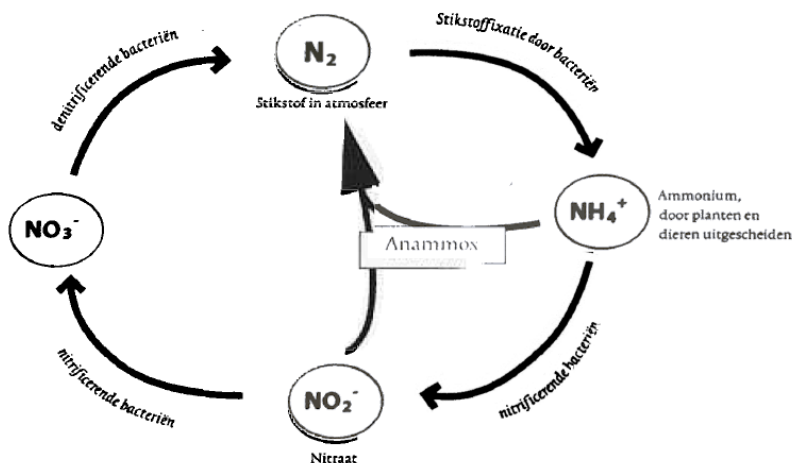
## Anammox maakt dure methanol overbodig

Al snel realiseerde Gijs Kuenen zich dat anammox afvalwater goedkoper en milieuvriendelijker kan zuiveren. Dat idee is inmiddels werkelijkheid in een tien meter lange blauwwitte pijp in Rotterdam-Zuid. Daar ontdoet de slibverwerkingsinstallatie Sluisjesdijk slibwater van stikstof.

Tijdens de eerste zuivering van afvalwater ruimen bacteriën allerlei organische en anorganische verbindingen op. Vervolgens zakken de bacteriën naar de bodem (slib). Bij de vergisting van slib komt het giftige ammonium vrij.  $\text{NH}_4^+$  is schadelijk voor flora en fauna; in een sloot met veel ammonium gaan de vissen onherroepelijk dood. Looswater mag daarom maximaal 10 mg stikstof per liter bevatten.

In de conventionele methode wordt ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) door bacteriën via nitriet ( $\text{NO}_2^-$ ) en nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) afgebroken tot stikstofgas ( $\text{N}_2$ ), dat eenvoudig uit water te verwijderen is. Meestal voeren denitrificerende bacteriën die laatste stap uit. Zij hebben echter methanol nodig en dat kost 25 tot 50 cent per liter – een beetje slibverwerker is al snel een miljoen euro per jaar aan methanol kwijt.

Daarin zit nu de besparing met het anammox-proces. Het beestje maakt de laatste, methanolverslindende, stap overbodig. Anammox is een shortcut in de stikstofkringloop: het zet ammonium en nitriet direct om in stikstofgas. De anammox-bacterie werkt meer dan 90 procent van het ammonium weg. Dat is voldoende om de lozingsnorm te halen én een miljoen euro te besparen.



(...)

Bij biologische afvalwaterzuivering ontstaat veel slib. Bij de vergisting van dit slib komt ammonium vrij. Ammonium lost goed in water op maar is giftig voor flora en fauna.

1 Leg uit dat ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) niet door een neerslagreactie te verwijderen is uit water.

Bij de conventionele methode wordt ammonium door bepaalde bacteriën eerst omgezet in nitriet, daarna in nitraat. Nitraat wordt daarna omgezet in stikstofgas.

2 Leg uit dat stikstofgas makkelijk uit water te verwijderen is.

3 Geef de halfreactie voor de omzetting van de reductor ammonium in nitriet in waterig milieu.

4 Geef de halfreactie voor de omzetting van de reductor nitriet in nitraat in waterig milieu.

5 Geef de halfreactie voor de omzetting van de oxidator nitraat in stikstofgas in zuur milieu.

6 Waar zit de grote kostenpost bij dit proces?

Bij de halfreacties van vraag 3 en 4 is zuurstof de oxidator.

7 Geef de halfreactie van zuurstof in zuur milieu.

8 Geef de totaalvergelijkingen van de omzetting van ammonium in nitriet en van de omzetting van nitriet in nitraat.

Bij de halfreactie van vraag 5 is methanol de reductor. Methanol wordt daarbij omgezet in koolstofdioxide en waterstofionen.

9 Geef de halfreactie van methanol als reductor.

10 Geef de totaalvergelijking van de omzetting van nitraat in stikstof.

Anammox betekent anaerobe ammonium oxidatie. Met het anammox-proces ondervangt men deze grote kostenpost.

11 Leg dit uit.

12 Geef de vergelijking van de reactie die onder invloed van anammox-bacteriën verloopt.

13 Bereken hoeveel mg stikstof het afvalwater maximaal per liter mag bevatten als men gebruik maakt van anammox-bacteriën.

Anammox

1 Alle ammoniumzouten zijn goed oplosbaar in water.

2 Stikstofgas is slecht oplosbaar in water.

3  $\text{NH}_4^+ + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_2^- + 8 \text{H}^+ + 6 \text{e}^-$ .

4  $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ .

5  $2 \text{NO}_3^- + 12 \text{H}^+ + 10 \text{e}^- \rightarrow 6 \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ .

6 De grote kostenpost is het gebruik van de voedingsstof methanol voor de bacteriën die nitraat in stikstofgas moeten omzetten.

7  $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ .

8 Ammonium:  $2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 4 \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$ . Nitriet:  $2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$ .

9  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^-$ .

10  $6 \text{NO}_3^- + 6 \text{H}^+ + 5 \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 13 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{N}_2 + 5 \text{CO}_2$ .

11 Anammox-bacteriën zetten ammonium en nitriet direct om in stikstofgas. Dus hoeft de stap van nitraat naar stikstof niet meer uitgevoerd te worden en heb je geen duur methanol meer nodig.

12  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ .

13 Looswater mag maximaal 10 mg ammonium per liter bevatten. De nieuwe methode zuivert tot (meer dan) 90 %. Dus 10 mg komt overeen met 10 %. 100 % is dan 100 mg per liter.

NRC Handelsblad, 23 april 2005

## **Anammox-bacterie komt wereldwijd in de oceanen voor**

Anammox-bacteriën, micro-organismen die ammonium omzetten naar stikstofgas, blijken in de zuurstofarme delen van het Benguela opwelling-systeem voor de kust van Namibië verantwoordelijk voor driekwart van de omzetting van deze stikstofverbinding (*Proceedings of the National Academy of Sciences*, april).

De anammox-bacteriën leven in de Benguela opwelling op een diepte van 100 meter in zuurstofarm water. Dat deze bijzondere bacteriën zelfs op deze plek zo'n grote rol spelen, in een van de voedselrijkste regio's van de wereldzeeën, is een sterke aanwijzing dat deze micro-organismen ook op wereldschaal een grote invloed hebben op de kringloop van voedingsstoffen.

In de meeste modellen voor stoffenkringlopen in de oceaan ontbreekt deze schakel

nog; de verwijdering van stikstof wordt meestal geheel toegeschreven aan denitrificerende bacteriën (bacteriën die nitraat of nitriet omzetten in stikstofgas). In zuurstofloze omstandigheden produceren deze behalve stikstofgas ook een kleine hoeveelheid ammonium, dat volgens de oude modellen dus onbenut zou blijven. Maar anammox-bacteriën blijken dit ammonium nu op grote schaal om te zetten in stikstofgas.

Microbiologen van het Max Planck Instituut in Bremen en de Radboud Universiteit in Nijmegen onder leiding van prof.dr. Mike Jetten ontdekten de bacteriën tijdens een expeditie met het onderzoeksschip 'Meteor'. Eerder toonde hetzelfde onderzoeksteam de anammoxbacterie al aan in de Zwarte Zee (*Nature*, 10 april 2003). Dat stuitte destijds op nogal wat scepsis van met name chemisch oceanografen. Dat een nieuw ontdekte bacterie in de wereldzeeën een grote invloed heeft op de stikstofkringlopen in zuurstofarme wateren, was een idee dat de

gangbare modellen op zijn kop zou zetten.

De Nijmeegse en Bremense onderzoekers troffen de anammox-bacteriën tot nog toe al aan in meer dan vijftig monsters oceaanaanwater die hen werden toegezonden vanuit de hele wereld. Ze toonden ze op drie verschillende manieren aan: met zware stikstofisotopen, met fluorescerende DNA-merkers en door het aantonen van zogeheten ladderanen. Ladderanen zijn laddervormige moleculen die typisch zijn voor anammox-bacteriën.

Met deze methodes toonden de microbiologen de bacteriën zelfs aan in ijs van Antarctica en Groenland en ook in water uit de rivier de Yangtse. Daarmee lijkt wel vast te staan dat de invloed ervan groot is. Maar nog steeds is niet iedereen overtuigd. Jetten heeft de publicatie eerst aan *Nature* aangeboden, maar kreeg na acht maanden review alsnog nul op het rekest.

**Sander Voormolen**