

EERSTE SLA UIT VOEDSELPRINTER

Klas	5,6 v
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen, Chemie van het leven
Vaardigheid	Informatie, Ontwerpen
Specificaties	Micro-macro,
Trefwoorden	Gel, pectine, Ca^{2+} , crosslinks, evenwichtsvoorwaarde
Vaardigheidsvraag	Informatiebewerkingsvraag

www.ad.nl en www.hln.be, 9 juli 2018



© Shutterstock

Wereldprimeur: eerste sla uit een voedselprinter

Het is wetenschappers van de Leuvense universiteit gelukt om sla te printen. De levende slaplantjes zijn in de vorm van gummibeertjes uit de foodprinter gekomen.

„Levende plantencellen geven voedsel een sappig en knapperig mondgevoel”, zegt onderzoeker Valérie Vancauwenberghe die de techniek ontwikkelt, op de site van Vilt, het Vlaams infocentrum land- en tuinbouw. „Daarom wilden we ze printbaar maken.” Het is volgens de makers een wereldprimeur in 3D-foodprinting.

Niemand heeft de beertjes nog geproefd. Niet omdat ze giftig zijn, maar ze zijn gewoonweg nog niet goedgekeurd voor consumptie. Voor de wetenschap maakt het weinig verschil, vindt Vancauwenberghe. „Het punt is dat we een protocol hebben ontwikkeld om plantweefsel te printen. Het gaat om de technologie, de beschrijving van de materialen, de optimale recepten en condities.” Zij heeft de bioprinter zelf gebouwd, de inkt ontwikkeld en geëxperimenteerd met printmodellen.

De inkt bevat pectine en levende cellen die ik heb geïsoleerd uit sla. Daarmee heb ik beertjes geprint.

Langer houdbaar

Virtueel fruit is de specialiteit van de onderzoeksgroep aan de universiteit. Er is al een digitale bibliotheek van wiskundige modellen van appels, peren en tomaten. Die worden gebruikt om te achterhalen hoe groente en fruit langer houdbaar gemaakt kunnen worden.



De sla heeft de vorm gekregen van gummibeertjes. © Shutterstock

Het printen van sla is een logische stap, vindt de Vlaamse. Het resultaat is volgens haar ‘natuurlijk en artificieel tegelijkertijd’. „De inkt bevat pectine en levende cellen die ik heb geïsoleerd uit sla. Daarmee heb ik beertjes geprint. Maar ook honingraatstructuren en blokjes zijn mogelijk, telkens met een verschillende textuur. Luchtig of minder luchtig.”

Echte sla bevat 100 miljoen levende cellen per milliliter. Geprinte sla bevat één miljoen levende cellen per milliliter. Onderzoeker Valérie Vancauwenberghe: „De hoeveelheid aanwezige cellen is nog niet groot genoeg, maar ze overleven de printkop. In de toekomst moet het mogelijk zijn ze te laten groeien nadat ze geprint zijn.”

De vinding kan mensen helpen die moeite hebben met slikken. Het printen biedt de mogelijkheid de structuur en de textuur van voeding in de hand te houden. „De presentatie is daarnaast aantrekkelijker dan bij gepureerd voedsel.” In de toekomst is het volgen Vancauwenberghe mogelijk voeding te printen die is toegesneden op persoonlijke wensen en noden.

Het 3D-printen van voedsel heeft volgens Hoff grote maatschappelijke voordelen. Neem ondervoeding bij bejaarden. „Ouderen met kauw- en slikproblemen krijgen meestal gepureerd voedsel. Met een 3D-printer kan je het gepureerde eten de vorm van het oorspronkelijke product teruggeven. Zo ziet een wortel er weer uit als een wortel, met het voordeel dat de substantie zacht en makkelijk te kauwen blijft. Een ander groot maatschappelijk voordeel is dat je geen voedselresten overhoudt, omdat je in principe alles kunt gebruiken. Het is dus een hele duurzame manier van voedsel bereiden.”

Een wereldprimeur, de eerste sla uit een voedselprinter.

- 1 Geef twee redenen waarom onderzoeker Valérie Vancauwenberghe gewerkt heeft aan ‘het printen van sla’.

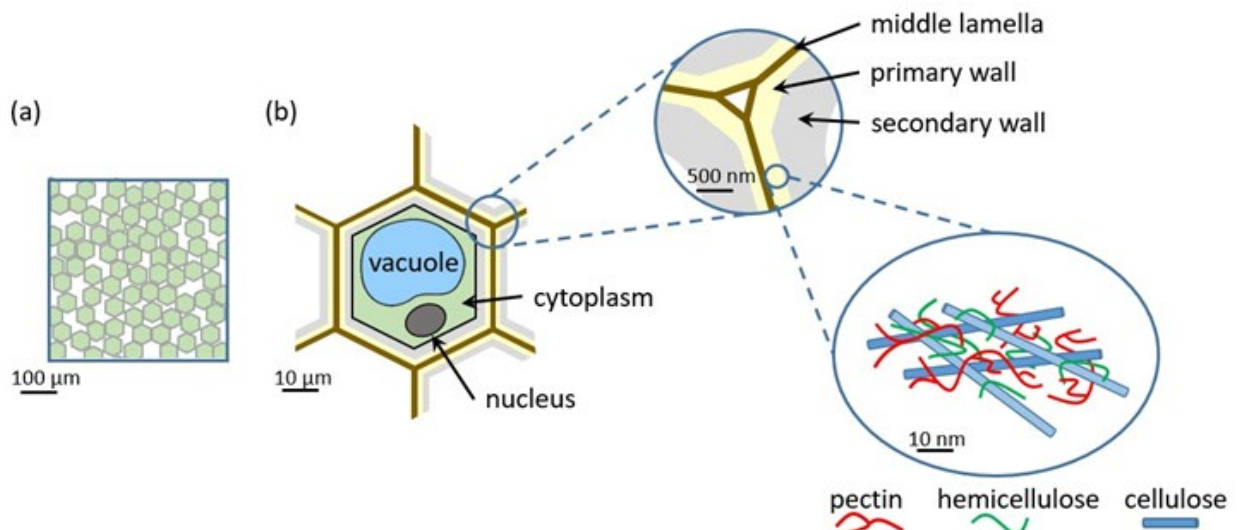
Het doel van dit Vlaamse doctoraatsonderzoek was om methodes te ontwikkelen om plantaardige materialen, zoals pectine en plantencellen, te printen voor een innovatieve en gepersonaliseerde voedselbereiding

Het artikel zegt: ‘Zij heeft de bioprinter zelf gebouwd, de inkt ontwikkeld en geëxperimenteerd met printmodellen.’ Voorafgaand aan het bouwen van de bioprinter zal Vancauwenberghe zichzelf een ontwerpopdracht gesteld hebben.

- 2 Formuleer een ontwerpopdracht die Vancauwenberghe zich kan hebben gesteld voor wat de bioprinter moet kunnen.

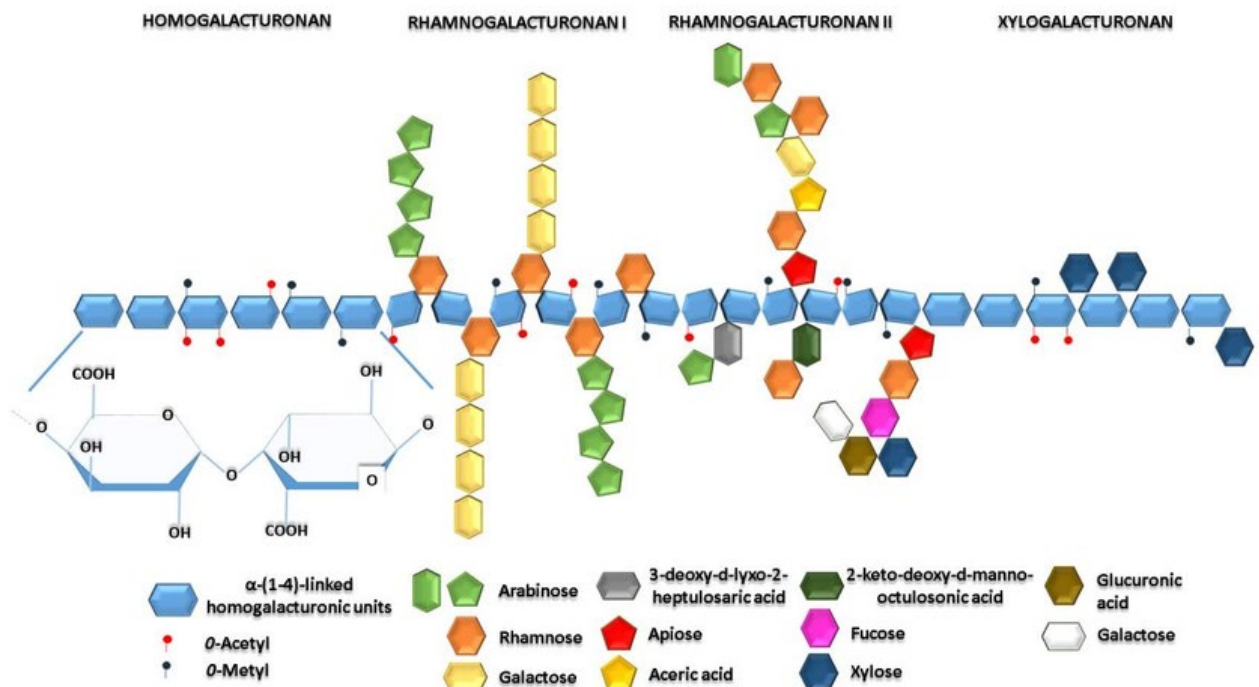
Pectine

Vancauwenberghe heeft met pectinegel gewerkt om de slacellen in te kapselen omdat pectine een polysacharide is dat onderdeel is van de celwanden van planten en vruchten (figuur 2).



Figuur 2 (a) slacellen, (b) details cel en celwand. In de primaire celwand is pectine aanwezig
Bron: dissertatie Vancauwenberghe

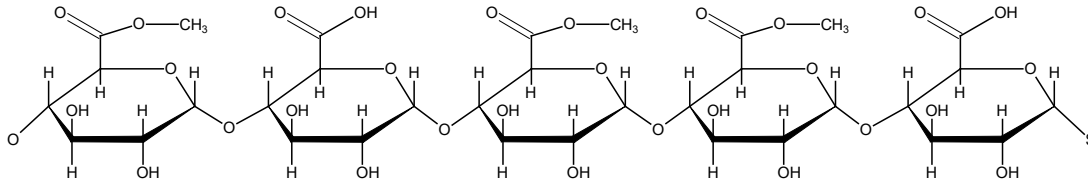
Pectine heeft een complexe macromoleculaire organisatie (figuur 3). Het bestaat uit een hoofdketen met zijtakken en is zeer variabel in zowel in lengte als samenstelling van de ketens. De hoofdketen bestaat uit een polysaccharide en is opgebouwd uit aan elkaar gekoppelde deels veresterde D-galacturonzuur moleculen. De koppeling gebeurt op de α (1-4)-plaats. De carbonzorgroepen (-COOH groep) van de hoofdketen zijn gedeeltelijk veresterd tot methoxygroepen. Er kunnen ook acetylgroepen aan de vrije hydroxygroepen (-OH groepen) vastzitten. Aan de hoofdketen zitten meestal rhamnosegroepen vast. De zijtakken kunnen bestaan uit xylose, galactose en arabinose, die vaak groepsgewijs aan de hoofdketen zitten.



Figuur 3 bron Priscilla Sales2016

Approaches in biotechnological applications of natural polymers, AIMS Molecular Science, 3(3): 386-425.

Bij de gelvorming speelt het polysaccharide van de hoofdketen (figuur 4) in pectine een belangrijke rol. Er wordt bij de polysaccharideketens HM-pectine (high-methoxy) en LM-pectine (low-methoxy) onderscheiden. Bij HM-pectine is meer dan 50% van de carbonzuurgroepen veresterd ($-\text{COOCH}_3$) en bij LM-pectine minder dan 50%.

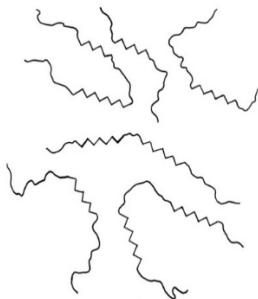


Figuur 4 Polysaccharideketen opgebouwd uit (veresterde) d-galacturonzuurmoleculen

- 3 Leg op microniveau uit dat zowel vanderwaalsbindingen als waterstofbruggen een rol spelen tussen deze polysaccharideketens. Geef ook aan waartussen die bindingen optreden.

Gelvorming

In afwezigheid van calciumionen blijven de pectineketens in oplossing (figuur 5).

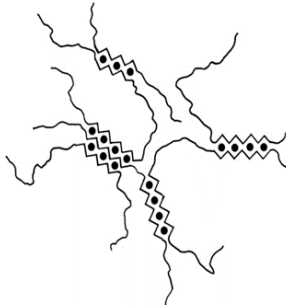


Figuur 5 Ketens van pectine, de zigzagstructuur stelt de polysaccharideketen uit galactaroneenheden voor.

In aanwezigheid van calciumionen, bindt het polysaccharide deel van twee LM pectineketens aan elkaar doordat de calciumionen tussen de ketens passen als eieren tussen eiertrays (figuur 6). Er ontstaan crosslinks. Hierdoor vormen ze samen een structuur (figuur 7) waardoor een gel ontstaat.

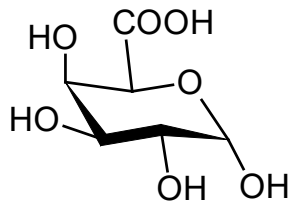


Figuur 6



Figuur 7

De polysaccharideketen wordt in de figuur 5/6/7 voorgesteld als een zigzaglijn. De ruimtelijke structuurformule van een d-galacturonzuurmolecuul staat in figuur 8.



Figuur 8 structuurformule d-galacturonzuurmolecuul

- 4 Teken een ruimtelijke structuurformule van een stukje van de poly-1,4-d-galacturonzuur keten (met minimaal vier d-galacturonzuur eenheden, waarbij de zigzagstructuur duidelijk tot uiting komt).

De K_z van de poly-1,4-d-galacturonzuur keten in LM-pectine is ongeveer $10^{-3,6}$.

- 5 Leg, met behulp van de evenwichtsvoorwaarde, uit dat in neutraal milieu de $-COOH$ groepen in de keten vooral als $-COO^-$ ion voorkomen.
- 6 Welk type binding is aanwezig tussen de calciumionen en de polysaccharideketen?
- 7 Geef in een tekening op microniveau weer hoe bij een neutrale pH een calciumion tussen de galacturonzuur eenheden uit de naast elkaar liggende ketens wordt ingeklemd.

Inkt

Naast de pectine-oplossing worden in de “inkt” ook levende slacellen gedaan, voor zoals Vancauwenberghe zegt “ een sappig en knapperig mondgevoel”.

- 8 Wat moet dan na het printen en geleren van de inkt wel gelden?

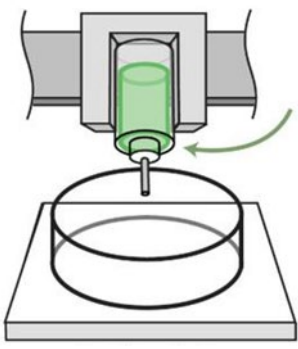
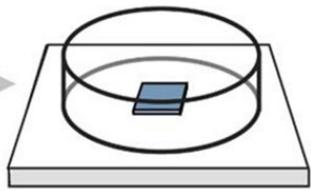
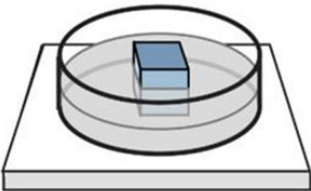
Verschillende factoren kunnen de eigenschappen van de LM pectinegel beïnvloeden. In de tabel in de bijlage van antwoord 9 staat een aantal factoren genoemd die mogelijk van invloed kunnen zijn.

- 9 Neem de onderstaande tabel over en vul de lege plekken aan. Licht je antwoord toe in de laatste kolom.

<i>Factor</i>	<i>Sterkte van de gel</i>	<i>Toelichting</i>
Mate van verestering LM pectine		
Verdeling van de COO^- ionen langs de keten		
Moleculaire massa pectine		
Lengte van de zijketens van pectine		
pH		

Printproces

De eerste stap voor Vancauwenberghe was het ontwikkelen van een extrusie printer voor het 3D-printen met LM- pectinegels als inkt. In figuur 9 staat het printproces schematisch weergegeven.

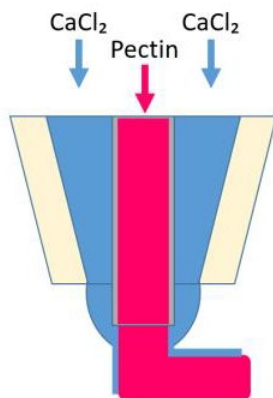
		
<i>Pectineoplossing in printerkop</i>	<i>Gepriete vorm</i>	<i>Voorwerp in een warme CaCl₂-oplossing (T = 70 °C) Gevolgd door een nabehandeling</i>

Figuur 9 Printproces extrusieprinter. Bron: dissertatie Vancauwenberghe

- 10 Leg uit waarom de hogere temperatuur van de CaCl₂-oplossing gunstig is voor de gelling.

Nieuwe printerkop

Vancauwenberghe heeft een coaxiale extrusieprinterkop (coaxiaal: cilindrisch om elkaar heen) ontworpen voor het 3D-printen. Hierbij stromen de pectine-oplossing en de CaCl₂ oplossing respectievelijk aan de binnen- en buitenzijde.



Figuur dwarsdoorsnede coaxiale printerkop. Bron: dissertatie Vancauwenberghe

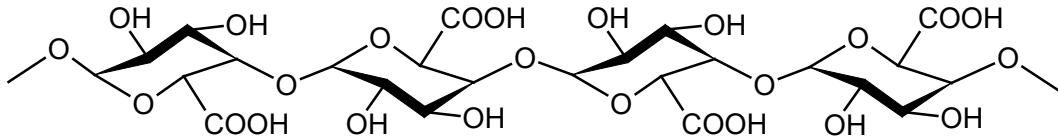
- 11 Wat is het voordeel van deze printerkop ten opzichte van de gewone extrusiekop met betrekking tot het proces.
- 12 Leg uit of en zo ja hoe de concentratie Ca²⁺ het printproces beïnvloedt.
- 13 Voor welke uitdaging staat Vancauwenberghe?

De titel van het artikel luidt: "Wereldprimeur: eerste sla uit een voedselprinter".

- 14 Geef je onderbouwde mening over de titel.

Eerste sla uit voedselprinter

- 1 Omdat levende plantencellen aan voedsel een sappig en knapperig mondgevoel geven. Ze wilde de technologie ontwikkelen en de beschrijving maken van de materialen, de optimale recepten en de condities.
- 2 Maken van een printer die vormen kan printen uit een gel van pectine en slacellen, met een CaCl_2 oplossing om crosslinks te vormen.
- 3 Vanderwaalsbinding kan optreden tussen de methylgroepen van de methoxygroepen. Waterstofbruggen worden gevormd tussen de OH-groepen en de $-\text{COOH}$ groepen.
- 4



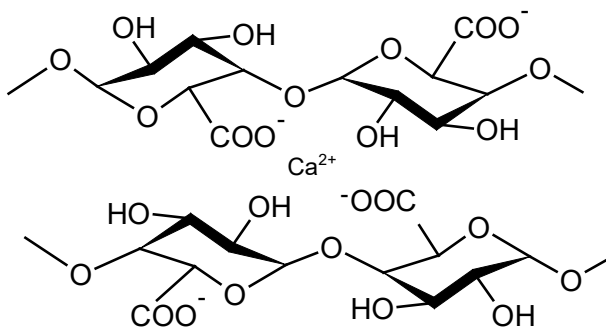
$$5 \quad K_z = \frac{[\text{RCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{RCOOH}]} ; K_z = 10^{-3,6} \text{ en } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-7,0}.$$

$$10^{-3,6}/10^{-7} = [\text{RCOO}^-]/[\text{RCOOH}] ; [\text{RCOO}^-]/[\text{RCOOH}] = 10^{3,4}/1,0$$

Dus meer $-\text{COO}^-$ ionen dan $-\text{COOH}$ groepen.

6 Ionbinding

7



8 Dat de slacellen nog leven.

9

Factor	Sterkte van de gel	Toelichting
Mate van verestering LM pectine	Kleine verestering, sterkere gel	Er zijn meer $-\text{COO}^-$ groepen aanwezig, bij voldoende Ca^{2+} ionen meer "crosslinks".
Verdeling van de COO^- ionen langs de keten	Meer tussenruimte tussen ionen, kleinere sterkte	De crosslinkgebieden zijn kleiner waardoor ze er minder verband is tussen de gebieden
Moleculaire massa pectine	M kleiner, Kleinere sterkte gel	M kleiner betekent kortere pectine ketens, minder crosslinks mogelijk
Lengte en vertakking van de zijketens van pectine	Grotere lengte /meer vertakkingen levert sterkere gel	Door langere zijketens en meer vertakkingen treedt een grotere verstrengeling van de pectineketens op, dus meer verband dus sterkere gel.
pH	Lagere pH (< 7) minder sterke gel	Bij lagere pH zullen er minder $-\text{COO}^-$ ionen zijn en meer $-\text{COOH}$ groepen zijn. Dus minder plaatsen voor crosslinks met Ca^{2+} ionen mogelijk

- 10 Bij een hogere temperatuur zijn de polymeerketens beweeglijker en kunnen de Ca^{2+} ionen makkelijker op de plaats komen waar de crosslink moet ontstaan.
- 11 De gelinging kan al tijdens het printen plaats vinden. Daardoor zal de printtijd korter worden.
- 12 Naarmate de concentratie Ca^{2+} groter is zal het geleren sneller gaan en dus de te printen vorm eerder klaar zijn.
- 13 Om het echte slagevoel in je mond te krijgen moeten de concentratie slacellen in de pectine-oplossing groter zijn.
- 14 Mening leerling.

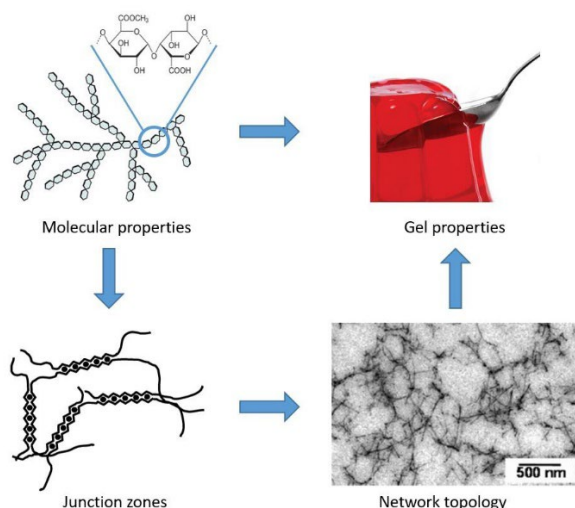
Artikelen:

- <https://www.ad.nl/koken-en-eten/wereldprimeur-eerste-sla-uit-een-voedselprinter~acba146a/>
- <https://www.hln.be/wetenschap-planeet/wetenschap/wereldprimeur-eerste-sla-rolt-uit-voedselprinter-van-ku-leuven~acba146a/>

Literatuur:

- Dissertatie Valerie Vancauwenberghe, 2018 : Towards the creation of artificial plant tissue through 3D food printing: https://limo.libis.be/primo-explore/search?query=any,contains,staffnr_U0093792&vid=Lirias&lang=en_US&offset=0&sortby=date
- Vancauwenberghe, V. (2018), Model-based design and validation of food texture of 3D printed pectin-based food simulants, Journal of Food Engineering, Vol. 231; pp. 72 - 82
- Vancauwenberghe, V. (2018), Development of a coaxial extrusion deposition for 3D printing of customizable pectin-based food simulant, Journal of Food Engineering;; Vol. 225; pp. 42 - 52
- Vancauwenberghe, V. (2017), Pectin based food-ink formulations for 3-D printing of customizable porous food simulants, Innovative Food Science & Emerging Technologies; 2017; Vol. 42; pp. 138 – 150

Micro-meso-macro:



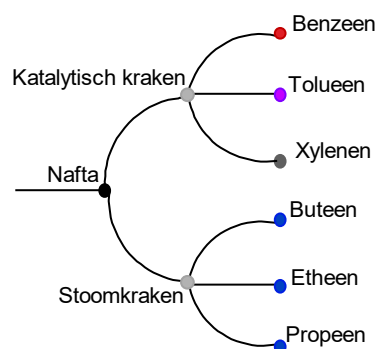
NAFTA I

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Kraken
Trefwoorden	Nafta, fractie, destillatie, alkenen, structuurformules
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

chemieinnederland.nl, 2018

Nafta

Nafta is een mengsel van koolwaterstoffen dat ontstaat bij het destilleren van ruwe olie als condensaat bij temperaturen beneden 80°C (lichte nafta, aantal koolstofatomen tot 5) en van circa 80 tot 150 graden Celsius (zware nafta, aantal koolstofatomen 5 tot 10). Nafta wordt hoofdzakelijk gebruikt in een kraakinstallatie om de onverzadigde grondstoffen voor polymeren, etheen, propeen en benzeen te maken.



Nafta is een mengsel van koolwaterstoffen. Je hebt lichte nafta en zware nafta.

- 1 Verklaar de benaming lichte en zware nafta.
- 2 Leg uit waarom er bij de destillatie van ruwe olie altijd mengsels ontstaan.

Nafta wordt gekraakt om er waardevolle grondstoffen van te maken.

- 3 Welke twee manieren zijn er om de naftafractie te kraken?
- 4 Leg uit waarom er bij het kraakproces uit verzadigde koolwaterstoffen ook altijd onverzadigde koolwaterstoffen ontstaan.

Bij het stoomkraken wordt de naftafractie verhit tot 850 °C. Er ontstaan onder andere buteen, etheen en propeen.

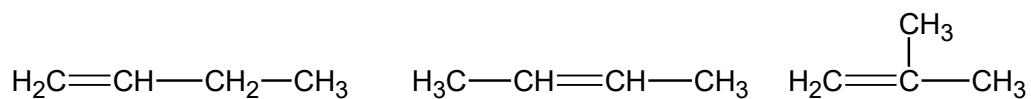
- 5 Geef de molecuulformules van deze drie alkenen.
- 6 Leid aan de hand van de molecuulformules de algemene formule voor de alkenen af.

Van etheen en propeen is maar één structuur mogelijk, van buteen zijn meerdere structuren mogelijk.

- 7 Hoe heet het verschijnsel waarbij voor een molecuulformule meerdere structuren mogelijk zijn?
- 8 Geef de mogelijke structuurformules voor buteen.

Nafta I

- 1 De lichte fractie bevat koolwaterstoffen met maximaal 5 C-atomen, de zware fractie bevat koolwaterstoffen met 5 tot 10 C-atomen. Licht en zwaar zegt dus iets over de molecuulmassa.
- 2 In de fracties liggen de kookpunten van de stoffen zo dicht bij elkaar dat scheiding in zuivere stoffen niet goed mogelijk is.
- 3 Katalytisch en thermisch (stoom)kraken.
- 4 Bij het kraken breken de grote alkanen in stukken. Je hebt echter niet voldoende H-atomen om alle nieuwe bindingen enkelvoudig te houden dus moeten er ook C=C-bindingen ontstaan.
- 5 Etheen: C_2H_4 ; propene: C_3H_6 ; buteen: C_4H_8 .
- 6 Het aantal H-atomen is steeds het dubbele van het aantal C-atomen, dus algemene formule is C_nH_{2n} .
- 7 Isomerie.
- 8



Artikel: <https://chemieinnederland.nl/view/tree/detail/5>

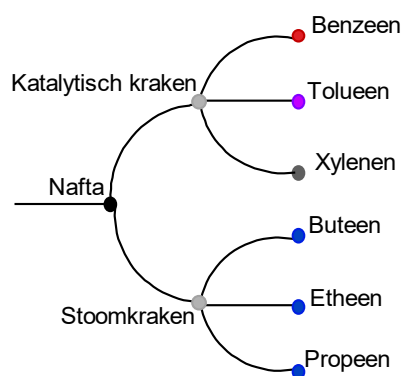
NAFTA II

Klas	4 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Kraken
Trefwoorden	Nafta, fractie, destillatie, alkenen, structuurformules, xylenen, polymeren
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

chemieinnederland.nl, 2018

Nafta

Nafta is een mengsel van koolwaterstoffen dat ontstaat bij het destilleren van ruwe olie als condensaat bij temperaturen beneden 80°C (lichte nafta, aantal koolstofatomen tot 5) en van circa 80 tot 150 graden Celsius (zware nafta, aantal koolstofatomen 5 tot 10). Nafta wordt hoofdzakelijk gebruikt in een kraakinstallatie om de onverzadigde grondstoffen voor polymeren, etheen, propeen en benzeen te maken.



Nafta is een mengsel van koolwaterstoffen. Je hebt lichte nafta en zware nafta.

- 1 Verklaar de benaming lichte en zware nafta.
- 2 Leg uit waarom er bij de destillatie van ruwe olie altijd mengsels ontstaan.

Nafta wordt gekraakt om er waardevolle grondstoffen van te maken.

- 3 Welke twee manieren zijn er om de naftafractie te kraken?
- 4 Leg uit waarom er bij het kraakproces uit verzadigde koolwaterstoffen ook altijd onverzadigde koolwaterstoffen ontstaan.

Bij het stoomkraken wordt de naftafractie verhit tot 850 °C. Er ontstaan onder andere buteen, etheen en propeen.

- 5 Geef de molecuulformules van deze drie alkenen.
- 6 Leid aan de hand van de molecuulformules de algemene formule voor de alkenen af.

Van etheen en propeen is maar één structuur mogelijk, van buteen zijn meerdere structuren mogelijk.

- 7 Hoe heet het verschijnsel waarbij voor een molecuulformule meerdere structuren mogelijk zijn?
- 8 Geef de mogelijke structuurformules voor buteen.
- 9 Geef ook de systematische namen van de stoffen met moleculen van deze structuurformules.

Er zijn twee soorten nafta.

- 10 Welke naftafractie zal gebruikt worden om etheen en propeen te vormen bij het kraken? Licht je antwoord toe.

Bij katalytisch kraken ontstaan voornamelijk verbindingen met een benzeenring.

- 11 Hoe noem je de groep van koolwaterstoffen met een benzeenring in het molecuul ook wel?
- 12 Zoek in Binas de rationele namen voor toluen en de xylenen. Noteer deze namen.
- 13 Leg uit dat voor de vorming van benzeen, toluen en de xylenen de zware naftafractie gebruikt zal worden.

Van toluen is slechts één structuur mogelijk, van de xylenen zijn dat er drie.

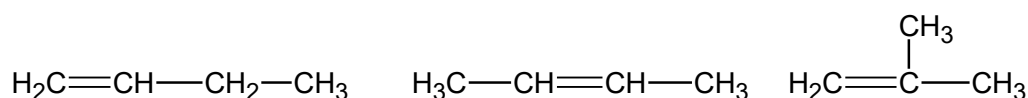
- 14 Geef de structuurformules van de xylenen met hun naam.

De alkenen etheen en propen worden gebruikt voor het maken van polymeren.

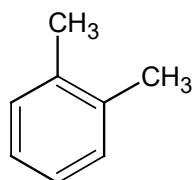
- 15 Teken de structuurformule van een stukje uit het midden van de polymeerketen van polyetheen en van polypropen. Teken drie monomeereenheden.

Nafta II

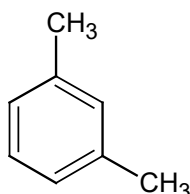
- 1 De lichte fractie bevat koolwaterstoffen met maximaal 5 C-atomen, de zware fractie bevat koolwaterstoffen met 5 tot 10 C-atomen. Licht en zwaar zegt dus iets over de molecuulmassa.
- 2 In de fracties liggen de kookpunten van de stoffen zo dicht bij elkaar dat scheiding in zuivere stoffen niet goed mogelijk is.
- 3 Katalytisch en thermisch (stoom)kraken.
- 4 Bij het kraken breken de grote alkanen in stukken. Je hebt echter niet voldoende H-atomen om alle nieuwe bindingen enkelvoudig te houden dus moeten er ook C=C-bindingen ontstaan.
- 5 Etheen: C_2H_4 ; propen: C_3H_6 ; buteen: C_4H_8 .
- 6 Het aantal H-atomen is steeds het dubbele van het aantal C-atomen, dus algemene formule is C_nH_{2n} .
- 7 (Structuur)Isomerie.
- 8



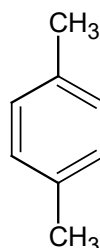
- 9 But-1-een ; but-2-een ; methylpropen.
- 10 Waarschijnlijk de naftafractie met de kleinste moleculen, dus de lichte fractie. Dan is de kans het grootst dat er ook voornamelijk kleine moleculen zoals etheen en propen ontstaan.
- 11 Aromatische koolwaterstoffen.
- 12 Toluene: methylbenzeen; xylene: dimethylbenzeen.
- 13 Je hebt in benzeen 6 C-atomen, in toluene 7 C-atomen en in de xylene 8 C-atomen. Dus de uitgangsstof bij het kraken moet minstens dit aantal C-atomen+1 bevatten.
- 14



1,2-dimethylbenzeen

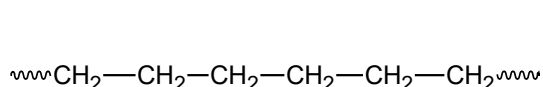


1,3-dimethylbenzeen

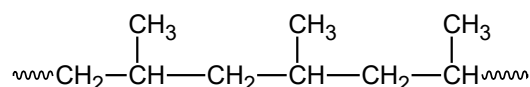


1,4-dimethylbenzeen

15



polyetheen



polypropen

Opmerking 1: voor 4 havo niet de opgaven 11, 12 en 13.

Opmerking 2: opgave 15 alleen als ook de polymeren behandeld zijn.

Artikel: <https://chemieinnederland.nl/view/tree/detail/5>

NIEUWE METHODE OM PEF TE MAKEN

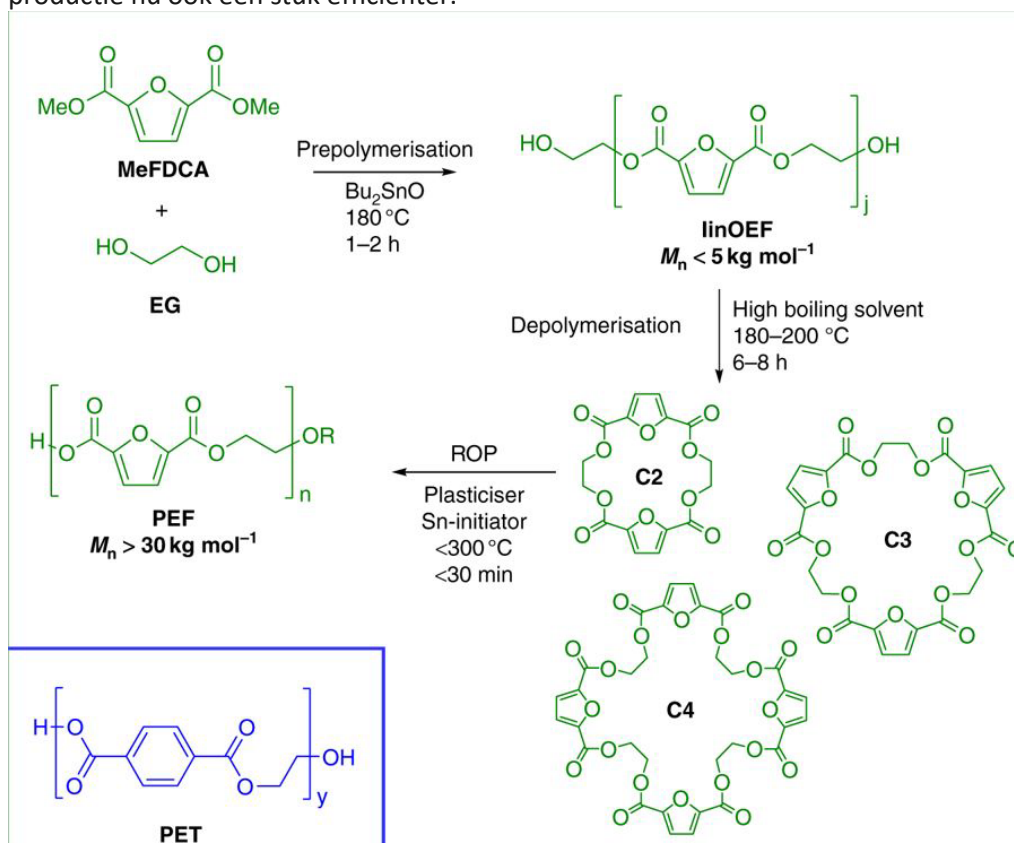
Klas	5,6 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Polymerisatie
Trefwoorden	PET, PEF, MeFDCA, biomassa, polymerisatiegraad
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.nemokennislink.nl, 15 augustus 2018

Nieuwe methode om PEF te maken

PEF is de beoogde opvolger van PET, maar de productie heeft nog wat haken en ogen. Zwitserse onderzoekers weten nu PEF te produceren met een nieuwe methode, maar of deze ringopening-polymerisatie dé oplossing gaat zijn is nog maar de vraag.

De meeste plastic flessen in de supermarkt bestaan nog steeds uit PET, polyethyleentereftalaat, dat we maken uit olie. Maar als het aan verschillende bedrijven en milieuorganisaties ligt, komt daar binnen een paar jaar verandering in. De beoogde opvolger is het bioplastische PEF, oftewel polyethyleenfuranoaat, gemaakt uit biomassa en ook nog eens makkelijker te recyclen. En volgens onderzoekers van het Institute for Chemical and Bioengineering in Zurich (Zwitserland) kan de productie nu ook een stuk efficiënter.



Figuur 1 Nieuwe methode om PEF te produceren via een ring-opening polymerisatie.

Bron: [Nature Communications](#), Jan-Georg Rosenboom via CC BY 4.0

In een ring

Om PEF te maken gebruiken bedrijven nu vaak nog het zogenoemde polycondensatieproces. In dit proces linken ze de bouwstenen, een alcohol en een zuur, aan elkaar om het PEF-molecuul te

vormen. Tijdens dit proces ontstaan bijproducten zoals water, die je op hoge temperatuur moet verwijderen. Dit kost veel energie en tijd, omdat het reactiemengsel heel stroperig is, waardoor de productiekosten omhoog schieten. Daarom probeerden PhD-studenten Peter Fleckenstein en Jan-Georg Rosenboom met hun collega-chemici een andere methode: een ringopening-polymerisatie. “Wij gebruikten deze methode al voor de productie van PLA, een ander soort bioplastic”, vertelt Rosenboom. “Het werkt makkelijk en zonder veel bijproducten, dus wilden we het ook voor PEF gebruiken.”

Voor een ringopening-polymerisatie heb je een ringvormig molecuul nodig dat je vervolgens onder invloed van een katalysator openklapt. Normaal gesproken binden onderzoekers de bouwstenen voor PEF in een rechte streng aan elkaar, maar de Zwitserse chemici maakten er dus een cirkel van. Bij deze reactie ontstaat ook water als bijproduct, maar dat kunnen de onderzoekers makkelijker verwijderen: “We voeren de reactie uit in een vloeibaar oplosmiddel in plaats van in een stroperige massa”, legt Rosenboom uit. “En het water uit het oplosmiddel halen gaat heel makkelijk.”

Openen

Om echt PEF te maken voegen de Zwitsers een katalysator toe die de ringen opent. Omdat het water dan al uit de reactie is gehaald, gaat dit een stuk sneller dan bij de oude methode.

Rosenboom: “Binnen een uur hebben we meer dan 95 procent van de ringen omgezet in PEF.” Het uiteindelijke PEF bleek bovendien van een kwaliteit die in principe goed genoeg zou zijn voor flessen. Hoewel hun proces een extra stap vergt, zijn Rosenboom en zijn collega’s ervan overtuigd dat ze op termijn kunnen concurreren met de huidige technieken. “In totaal kost het hele proces zo’n tien uur”, zegt Rosenboom. “Dat is een flinke winst als je bedenkt dat het nu vaak een dag tot meerdere dagen kost om PEF te maken.”

In Nederland onderzoekt chemiebedrijf Avantium al jaren de mogelijkheden van PEF. Gert-Jan Gruter, Chief Technology Officer bij Avantium, noemt het Zwitserse onderzoek wetenschappelijk zeer interessant: “Het is een heel andere aanpak en dat kan mooie, nieuwe inzichten opleveren.” Maar of deze methode echt beter zal werken dan de huidige techniek betwijfelt Gruter: “Deze methode heeft een extra stap en dat maakt het wat omslachtig. Het is bijvoorbeeld niet duidelijk hoe ze het oplosmiddel willen zuiveren zodat ze het kunnen hergebruiken. En inmiddels hebben wij bovendien samen met onze partners een manier ontwikkeld om de onzuiverheden in het huidige proces makkelijker te verwijderen.”

Veel oplosmiddel

De onderzoekers erkennen dat hun aanpak nog niet perfect is en zien zeker nog verbeterpunten: “We gebruiken voor onze stappen veel oplosmiddel, dat kost geld en is bovendien mogelijk minder duurzaam.” Daarom hebben ze de handen ineen geslagen met SULZER, een Zwitsers bedrijf dat ook betrokken was bij het schrijven van de patenten voor dit proces. Samen hoopt Rosenboom dat ze het proces kunnen optimaliseren en wie weet zelfs nog breder toepassen: “Als het voor PEF werkt, werkt het misschien ook wel voor andere bioplastics.”

Bron: NEMO Kennislink

De meeste plastic flessen in de supermarkt zijn gemaakt van de kunststof PET. De grondstof voor PET is aardolie.

De kunststof PEF wordt gezien als de opvolger van PET. Het is een bioplastic met als grondstof biomassa.

1 Waarom verwacht men dat PET steeds meer vervangen gaat worden door PEF?

PET en PEF zijn allebei polyesters.

- 2 Uit welke monomeren is PET gevormd? Geen naam en structuurformule.

Nieuwe methode PEF

In de nieuwe methode wordt PEF in drie stappen gevormd (zie figuur 1 in artikel):

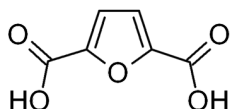
Stap 1: De prepolymerisatie van MeFDCA

Stap 2: De depolymerisatie van linOEF

Stap 3: De vorming van PEF uit ringstructuren

MeFDCA

PEF wordt in de nieuwe methode gevormd uit de dimethylester van FDCA die in figuur 1 (in het artikel) de afkorting MeFDCA heeft. Hierin is Me een CH₃-groep.



Figuur 2 De structuurformule van een molecuul FDCA (bron: wikipedia)

- 3 Laat via een reactievergelijking in structuurformules zien hoe MeFDCA uit FDCA gevormd kan worden.

Prepolymerisatie

MeFDCA reageert in de nieuwe methode met glycol (EG) tot linOEF met $M_n < 5 \text{ kg mol}^{-1}$.

- 4 Geef deze reactie in een vergelijking met structuurformules weer.
5 Leg uit dat je deze reactie kunt beschouwen als een omestering.
6 Bereken de waarde van n in linOEF.

Depolymerisatie

Daarna wordt linOEF omgezet in ringstructuren die aangeduid worden met C2, C3 en C4. Hierbij ontstaat ook water als bijproduct.

- 7 Verklaar de afkortingen C2, C3 en C4.
8 Verklaar de vorming van het bijproduct water.

De depolymerisatie van linOEF waarbij de ringstructuren (C2, C3 en C4) ontstaan, vindt plaats in opgeloste toestand. Het oplosmiddel moet een hoog kokend oplosmiddel zijn. Er zijn meerdere argumenten aan te geven waarom het oplosmiddel dat gebruikt wordt zeker geen water kan zijn.

- 9 Noem twee argumenten waarom water niet gebruikt kan worden bij de depolymerisatie van linOEF waarbij de ringstructuren ontstaan.

In het artikel in *Nature Communications* schrijven de onderzoekers dat het gebruikte oplosmiddel 2-methylnaftaleen (molecuulformule C₁₁H₁₀) is. Het kookpunt van 2-methylnaftaleen is 243,1 °C.

- 10 Leg uit dat, gezien de reactieomstandigheden, 2-methylnaftaleen een bruikbaar oplosmiddel is.

Openen ringstructuren

Uit de ringstructuren C2, C3 en C4 ontstaan in de laatste stap de lineaire PEF-ketens.

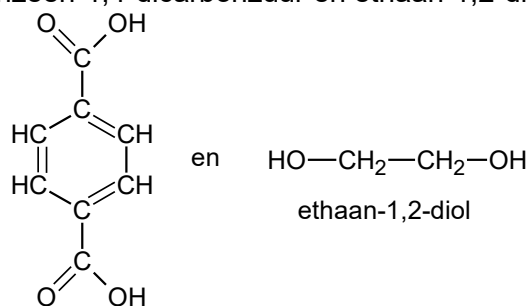
- 11 Bereken de minimale polymerisatiegraad n in het gevormde PEF als $M_n > 30 \text{ kg mol}^{-1}$. Gegeven: $R = C_8H_{18}Sn$.

In Nederland onderzoekt chemiebedrijf Avantium al jaren de mogelijkheden van PEF.

- 12 Welke argumenten worden genoemd waarom de nieuwe methode minder aantrekkelijk is dan de methode van het chemiebedrijf Avantium?

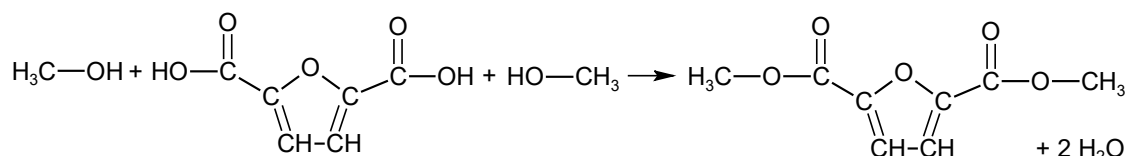
Nieuwe methode om PEF te maken

- 1 De hoeveelheid aardolie is eindig, geen hernieuwbare grondstof.
- 2 Uit benzeen-1,4-dicarbonzuur en ethaan-1,2-diol (glycol).

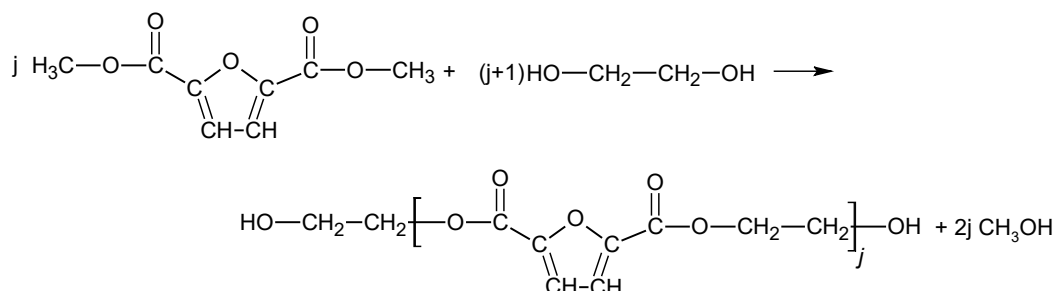


benzeen-1,4-dicarbonzuur

3



4



- 5 MeFDCA is de dimethylester van methanol en FDCA, LinOEF is de ester van ethaan-1,2-diol en FDCA. Dus de ene ester wordt omgezet in een andere ester.

- 6 $M_n < 5 \text{ kg mol}^{-1}$. De repeterende eenheid is $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_5$ met massa $182,128 \text{ g mol}^{-1}$ en met nog buiten de repeterende eenheid $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ met massa $62,068 \text{ g mol}^{-1}$. Dus dan geldt:

$$n < \frac{5 \cdot 10^3 - 62,068}{182,128} = 27 = 3 \cdot 10^1$$

- 7 C2: twee eenheden uit LinOEF zijn aan elkaar gekoppeld tot een ringstructuur, bij C3 zijn dat 3 eenheden, bij C4 4 eenheden.
- 8 De uiteinden bevatten OH-groepen die bij de ringvorming verdwijnen: twee H-atomen en 1 O-atoom vormen daarbij water.
- 9 In water lossen alleen stoffen op waarvan de moleculen met watermoleculen H-bruggen kunnen vormen. De reactie vindt plaats bij $180\text{-}200^\circ\text{C}$ en dan is water geen vloeistof meer.
- 10 De ringopeningsstap vindt plaats bij $180\text{-}200^\circ\text{C}$. Dan is 2-methylnaftaleen nog steeds een vloeistof.
- 11 $M_n > 30 \text{ kg mol}^{-1}$. De repeterende eenheid is $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_5$ met massa $182,128 \text{ g mol}^{-1}$ en met nog buiten de repeterende eenheid $\text{C}_8\text{H}_{19}\text{SnO}$ met massa $249,9 \text{ g mol}^{-1}$. Dus dan geldt:

$$n > \frac{30 \cdot 10^3 - 249,9}{182,128} = 163 = 1,6 \cdot 10^2$$

- 12 Er is een extra reactiestap nodig en verder is niet duidelijk hoe de zuivering van het oplosmiddel plaats vindt zodat het opnieuw gebruikt kan worden.

Artikel: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/nieuwe-manier-om-bioplasic-pef-te-maken/>

Literatuur: Jan-Georg Rosenboom e.a., *Bottle-grade polyethylene furanoate from ring-opening polymerisation of cyclic oligomers*, Nature Communications (2018), DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-018-05147-y>

WONDERPRODUCT UIT DE GROND

Klas	4 hv
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Oplosbaarheid, ontleding, roosters
Trefwoorden	Magnesiumchloride, toepassingen, struviet
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemie Magazine, juli-augustus 2018

MAGNESIUMZOUT VAN NEDMAG KENT VELE (ONMISBARE) TOEPASSINGEN

WONDERPRODUCT UIT DE GROND

Het magnesiumzout dat VNCI-lid Nedmag in Groningen uit de grond haalt is onmisbaar voor de productie van cement en staal, er wordt fosfaat mee teruggewonnen uit afvalwater, het maakt kunststoffen brandveilig, straten beter ijsvrij. Ook maakt het gewassen, koeien en mensen gezonder en wordt het toegepast bij de productie van kaas en bier. Om een paar dingen te noemen.

Igor Znidarsic

Het meest zuivere magnesiumchloride uit de natuur ter wereld", zegt Nedmag-directeur Bert Jan Bruning, wijzend naar een potje met wit zout. Nedmag haalt dit magnesiumzout sinds 1981 bij Borgercompagnie en Tripscompagnie uit de Oost-Groningse bodem, waar op anderhalve kilometer diepte een haast onuitputtelijke laag ligt. "Vanwege de druk en de temperatuur gedraagt het materiaal zich op die diepte als tandpasta. Het is plastisch", vertelt Bruning. "Als je een gat boort heeft het daarom de neiging om, vanwege de druk, omhoog te stromen. We knijpen als het ware de zoutlaag uit de bodem."

Omdat hogerop de druk en de temperatuur afnemen, moet er water bij gemengd worden. Via een buis van enkele kilometers bereikt het zout de fabriek in Veendam, waar het met behulp van calciumoxide wordt omgezet in magnesiumhydroxide.

Nedmag maakt met deze twee grondstoffen sinds het ontstaan doodgebrande magnesium (DBM). Vanwege de heel hoge dichtheid gebruikt de vuurvast-industrie het voor de bekleding van ovens voor het maken van cement en staal.

"Zonder dit product zouden er geen huizen van cement zijn, geen auto's, geen treinen", aldus Bruning. Nedmag is een van de weinige producenten in de wereld die in staat is bijna 99 procent zuivere DBM te produceren, vandaar de productnaam Nedmag99. Vanwege de economische crisis en de verzadiging van de DBM-markt, ging het bedrijf op zoek naar nieuwe toepassingen en markten. Een daarvan is waterzuivering.

Omdat fosfaat dreigt op te raken, zijn rioolwaterzuiveringen verplicht om uiterlijk in 2030 fosfaat terug te winnen uit afvalwater. Het door Nedmag geproduceerde magnesiumhydroxide maakt dit mogelijk. Het bindt nitraten en fosfaten tot struviet.

Waterzuivering

Een andere toepassing van magnesiumhydroxide is de ontzwaveling van rookgassen van onder meer de scheepvaart, die met strengere eisen ten aanzien van de uitstoot van zwaveloxiden te

maken heeft. “Met natronloog kan het ook,” zegt Bruning, “maar dat is relatief duur en niet veilig om op schepen mee te nemen.” Een derde toepassing is het bleken van papierpulp. “Behalve dat magnesiumhydroxide milieuvriendelijker is dan de traditioneel gebruikte chemicaliën, is de CODbelasting, de organische belasting van afvalwater, veel lager”, aldus Bruning. Een vierde toepassing van magnesiumhydroxide is als vlamvertrager in kunststoffen.

Ook de zuivere grondstof magnesiumchloride kent vele toepassingen.

“De truc die we hebben geleerd met waterzuivering, kun je ook toepassen voor mest”, vertelt Bruning. “Er is in Nederland een discussie gaande over fosfaten, ammoniak en andere gassen die de landbouwsector produceert. Als je mest verrijkt met magnesiumchloride, bind je de ammoniak en het fosfaat, met struvietvorming tot gevolg. Op het land heeft dat de eigenschap dat het zich hecht aan zandkorrels, waardoor het niet uitspoelt. Het wordt zo een langzaam loslatend kunstmest, waardoor gras meer tijd krijgt om het op te nemen en sterker wordt. Het zorgt ervoor dat vee voldoende van het – voor het leven onmisbare – mineraal binnenkrijgt, waardoor de gezondheid verbetert. Het is aangetoond dat het gebruik van krachtvoer daardoor daalt. Evenals het medicijnverbruik van de boeren die het gebruiken.

De stof magnesiumchloride bevindt zich diep in de bodem van Oost-Groningen. De firma Nedmag vindt het daar en produceert zeer zuiver magnesiumchloride.

- 1 Geef de formule van magnesiumchloride.
- 2 Zoek het smeltpunt op van magnesiumchloride en noteer het in graden Celsius.
- 3 Beschrijf het rooster waarin vast magnesiumchloride is gekristalliseerd.

Op anderhalve kilometer diepte is de temperatuur circa 45 graden hoger dan op het aardoppervlak. De druk is op die diepte enorm toegenomen.

- 4 Leg uit wat je verwacht van de invloed van de hogere temperatuur op de fase van het magnesiumchloride.
- 5 Leg uit wat er gebeurt door de hogere druk op het magnesiumchloride.

Magnesiumchloride komt ook voor als magnesiumchloridehexahydraat. Het smeltpunt hiervan is 117 °C.

- 6 Leg uit of dit een verklaring kan zijn voor het feit dat de magnesiumchloride zich als een dikke pasta in de grond bevindt.

Het magnesiumchloride kun je omhoog krijgen door via een pijpleiding onder hoge druk (warm) water te injecteren. Het zout lost op in het water, waarna de oplossing onder eigen druk omhoog komt.

- 7 Leg uit waarom het nodig is om (warm) water toe te voegen.
- 8 Geef de notatie van magnesiumchloride opgelost in water.

Bovengronds wordt de magnesiumchlorideoplossing met calciumoxide omgezet in vast magnesiumhydroxide en een oplossing van calciumchloride.

- 9 Geef de reactievergelijking van deze omzetting.

Zogenaamd *doodgebrand* magnesium is het product van het hoog verhitten van magnesiumhydroxide of magnesiumoxide. Hierbij ontstaat een heel hard hittebestendig product. Het magnesiumhydroxide ontleedt bij verhitting eerst.

- 10 Geef de reactievergelijking van de ontleding van magnesiumhydroxide.

Je zou denken dat de term doodgebrand magnesiumoxide moet zijn, niet doodgebrand magnesium. Toch is doodgebrand magnesium ook te begrijpen.

11 Leg uit waarom doodgebrand magnesium ook te begrijpen is.

Struviet

Het magnesiumchloride wordt op diverse manieren toegepast. Één daarvan is de toepassing bij het zuiveren van rioolwater dat ammonium- en fosfaationen bevat. Hierbij reageert het magnesiumion met de genoemde ionen tot struviet, $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}(\text{s})$. Struviet is een dubbelzout én een hydraat.

12 Leg uit waarom struviet een dubbelzout is.

13 Leg uit wat een hydraat is.

14 Geef de reactievergelijking voor de vorming van struviet uit de betreffende ionen.

De rol van magnesiumchloride bij de zuivering van rioolwater wordt in het artikel niet juist beschreven.

15 Wat is juist en wat is niet juist in de beschrijving?

Volgens het artikel kun je het struviet ook gebruiken in de landbouw. Er wordt een aantal voordelen van een type mest genoemd waarin ook magnesiumchloride zit.

16 Noem minstens twee van deze voordelen.

Wonderproduct uit de grond

- 1 $\text{MgCl}_2(\text{s})$
- 2 $987 \text{ K} \equiv 714^\circ\text{C}$
- 3 Magnesiumchloride is een zout met Mg^{2+} en Cl^- ionen. Deze bevinden zich in een regelmatige ordening van 1 : 2 in een ionrooster.
- 4 Een toename van 45 graden is niet voldoende om het magnesiumchloride te laten smelten. Het blijft vast.
- 5 Een toename van de druk zorgt er voor dat er een plastische fase ontstaat.
- 6 Het smeltpunt is veel lager dan van magnesiumchloride, maar wordt nog niet gehaald. De temperatuur zal zo'n $25+45 = 70^\circ\text{C}$ zijn. Maar misschien wordt door de hoge druk het kristalwater uit het zout geperst en lost het daarin enigszins op.
- 7 Door toevoegen van (warm) water lost magnesiumchloride op. Hierdoor kun je de oplossing oppompen.
- 8 $\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^-(\text{aq})$
- 9 $\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + \text{CaO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s})$
- 10 $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightarrow \text{MgO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- 11 Als je magnesium verhit aan de lucht ontstaat er ook magnesiumoxide. Het magnesiumoxide verhit je dan verder bij hoge temperatuur om het 'dood te branden'.
- 12 Struviet bevat meerdere positieve ionen, Mg^{2+} en NH_4^+ naast negatieve fosfaationen. Het is dus een mengsel van ammoniumfosfaat en magnesiumfosfaat .
- 13 Een hydraat is een zout waarbij een of meer moleculen water ingebouwd zijn in het ionrooster. Hier dus 6.
- 14 $\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{PO}_4^{3-}(\text{aq}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}(\text{s})$
- 15 Juist is het terugwinnen van fosfaten die worden bij de vorming van struviet gebonden. Niet juist is "het binden van nitraten", die worden bij de vorming van struviet niet vast gelegd.
- 16 Voordelen: Met de mest vormt zich struviet, dat hecht aan zandkorrels. Hierdoor spoelt het niet uit. Je voorkomt dus uitspoeling van ammonium- en fosfaationen. Het gras krijgt meer tijd om het op te nemen en wordt daardoor sterker. Het vee krijgt daardoor meer mineralen binnen, met een betere gezondheid als gevolg. Er is daardoor minder krachtvoeding nodig. Er is daardoor minder medicijnverbruik nodig.

PLASTIC PRODUCEERT METHAAN

Klas	4-6 v, 4-5 h
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische reacties
Trefwoorden	Plastic, afbraak, polymeren, mechanisme,
Vaardigheidsvraag	Informatieverwerkingsvraag

Technisch Weekblad, 24 augustus 2018

Plastic produceert methaan

Toen dr. Sarah-Jeanne Royer onderzoek deed naar de hoeveelheden methaangas in zeewater, ontdekte ze iets opmerkelijks.

Royer bewaarde zeewatermonsters in plastic flessen om zo vast te kunnen stellen hoeveel methaangas de flora en fauna in zee produceren, maar ze ontdekte dat er veel meer methaangas van de plastic fles kwam dan van het monster erin.

Vervolgonderzoek toonde aan dat het plastic dat wordt gebruikt voor plastic zakken na 212 dagen in de zon te hebben gelegen 176 keer zoveel methaan uitstootte als aan het begin van het experiment. Hoewel het nog niet duidelijk is om hoeveel methaanuitstoot het in totaal gaat, betekent dit dat plastic niet alleen in de productie zorgt voor extra uitstoot van broeikasgassen.

4-5 havo, 4-6 vwo

- 1 Leg uit waarom de ontdekking van Dr. Sarah-Jeanne Royer opmerkelijk is.

Methaan broeikasgas

Het artikel zegt "Royer (...) ontdekte dat er veel meer methaangas van de plastic fles kwam dan van het monster erin".

- 2 Hoe had Royer haar experimenten moeten uitvoeren zodat ze alleen het methaan mat dat de flora en fauna in zee produceren?

In een artikel uit *Scientias* staat over het onderzoek van Royer:

Methaan

De onderzoekers baseren zich op experimenten met verschillende soorten plastic: polycarbonaat, acryl, hogedichtheidpolyetheen (HDPE), polyethyleentereftalaat (PETP), polypropyleen, polystyreen en lagedichtheidpolyetheen (LDPE). (...) Experimenten wijzen uit dat wanneer deze veelgebruikte soorten plastic aan zonlicht worden blootgesteld en vergaan, er verschillende broeikasgassen vrijkomen. Polyethyleen – dat onder meer in plastic tasjes zit – bleek daarbij het meeste methaan en etheen uit te stoten.

Steeds meer broeikasgassen

De onderzoekers experimenteerden onder meer met korrels plastic. Deze stelden ze langdurig bloot aan zonlicht om te kijken wat er gebeurde. Dergelijke experimenten toonden bijvoorbeeld aan dat korrels LDPE gedurende een periode van 212 dagen alleen maar meer broeikasgassen gingen afgeven.

Bron: <https://www.scientias.nl/gedumpte-plastic-blijkt-een-bron-van-broeikasgassen-te-zijn/>, 2 augustus 2018

De onderzoekers hebben meerdere soorten plastics onderzocht.

- 3 Geef de onderzoeksvraag die de onderzoekers zullen hebben gesteld als aanleiding voor dit onderzoek.

Elke proef hebben de onderzoekers drie maal gedaan.

- 4 Leg uit waarom ze dat deden.

De onderzoekers wilden aantonen dat zonlicht ervoor zorgt dat de plastics de gassen af geven. Ze gebruikten daarvoor een controleproef naast de proef met zonlicht.

- 5 Leg uit welke controleproef ze gedaan zullen hebben.

Royer en haar team hebben de gasontwikkeling onderzocht van LDPE in de vorm van korrels, vlokken en poeder. De dichtheid van elk van de vormen van LDPE was nagenoeg gelijk.

LDPE	Gemiddelde methaanproductie in $\text{nmol g}^{-1} \text{dag}^{-1}$	Gemiddelde etheenproductie in $\text{nmol g}^{-1} \text{dag}^{-1}$
korrels	0,31	0,86
vlokken	2,2	3,2
poeder	55	21

- 6 Geef een verklaring voor de verschillen in de methaan- en etheenproductie bij het gebruik van korrels, vlokken en poeder.

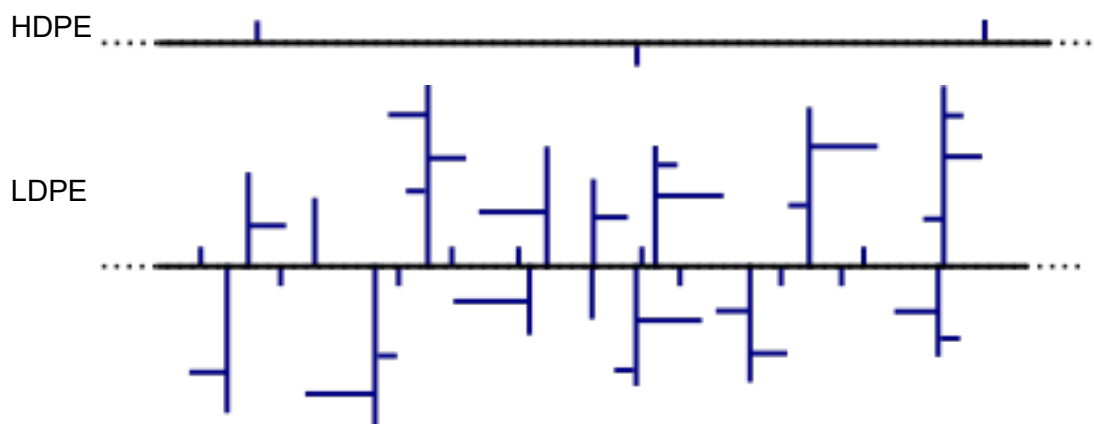
Bij het onderzoek werd een stukje van 1,5 g LDPE in zeewater 212 dagen aan zonlicht blootgesteld bij een temperatuur van 26 °C. De onderzoekers stelden vast dat de gemiddelde etheenproductie 14,5 nmol per dag per gram LDPE was.

- 7 Bereken hoeveel gram van het stukje LDPE in 212 dagen was verdwenen.

De LDPE korrels gingen in de loop van de tijd steeds meer broeikasgassen afgeven, bleek uit het onderzoek.

- 8 Geef hiervoor een verklaring op macroniveau.

De ketens van LDPE en HDPE hebben een verschillende mate van vertakking. De mate van vertakking van de ketens en de grootte van de zijtakken aan de ketens staan schematisch weergegeven in figuur 1.



Figuur 1

De gemiddelde methaanproductie blijkt bij LDPE 45 maal groter te zijn ten opzichte van HDPE, terwijl voor de gemiddelde etheenproductie een factor 27 geldt.

- 9 Geef twee redenen op microniveau waardoor de kleinere gasproducties bij HDPE ten opzichte van LDPE te verklaren zijn.

In het wild

Daarnaast bestudeerden onderzoekers ook plastic dat reeds in het milieu rondslingert. Daaruit bleek onder meer dat gedumpt LDPE in de oceaan ook broeikasgassen afgeeft wanneer het aan zonlicht wordt blootgesteld. En zodra zonlicht dat proces op gang had gebracht, bleek het ook 's nachts – wanneer er dus geen zonlicht voorhanden was – door te zetten.

Bron: <https://www.scientias.nl/gedumpt-plastic-blijkt-een-bron-van-broeikasgassen-te-zijn/>, 2 augustus 2018

5,6 vwo

Invloed van het zonlicht

Bij de degradatie van polyetheen, waarbij methaan en etheen ontstaan, speelt het verbreken van een C-H binding of een C-C binding een essentiële rol.

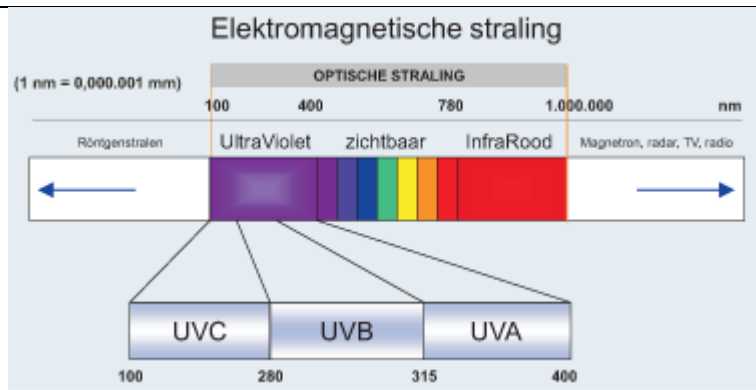
De energie voor het verbreken van de bindingen wordt geleverd door het zonlicht.

In Binas tabel 58 staat de bindingsenergie gegeven in 10^5 J per mol bindingen. Er geldt: 1 mol bindingen $\equiv 6,02 \cdot 10^{23}$ bindingen.

De definitie van bindingsenergie luidt: de bindingsenergie is de energie die vrij komt bij het ontstaan van een atoombinding tussen atomen in 10^5 J per mol bindingen

Voor de energie van straling geldt: $E = h \cdot \text{Error!}$, hierin is h de constante van Planck (Binas tabel 7A), c de lichtsnelheid (Binas tabel 7A) en λ de golflengte van het licht (in m).

- 10 Bereken bij welke golflengte de C-H binding en bij welke golflengte de C-C binding kan breken.
- 11 Zijn de golflengtes uit vraag 10 minimale of maximale golflengtes? Licht je antwoord toe.



Optische straling

Straling met een golflengte tussen 400 en 780 nm is het gewone zichtbare licht voor mensen. Wordt de golflengte langer, dan komen we in het gebied van warmtestraling, ook wel infrarood genoemd.

Aan de andere kant hebben de stralen steeds kortere golven. We komen dan bij de ultraviolette (UV) straling.

Van het zonlicht is ongeveer 50% zichtbaar licht, 45% infrarood en 5% UV.

Bron: Middelink, Natuurkunde voor vwo, deel 2.

- 12 Leg aan de hand van de gegevens over “elektromagnetische straling” uit of de golflengten uit vraag 10 binnen de golflengten van zichtbaar licht vallen.

UV A (320-420 nm)

- UV A vormt 98,7% van de uv-straling die het aardoppervlak bereikt. De ozonlaag heeft hierop weinig invloed.
- Gaat grotendeels door glas en kleding. Veroorzaakt het verkleuren van stoffen en verf.

UV B (280-320 nm)

- UV B vormt 1,3% van de uv-straling die het aardoppervlak bereikt. De ozonlaag heeft hierop een grote invloed.
- Gaat niet door 'gewoon' glas (gefilterd tot ongeveer 300 nm), wel door kwartsglas.

Bron: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>

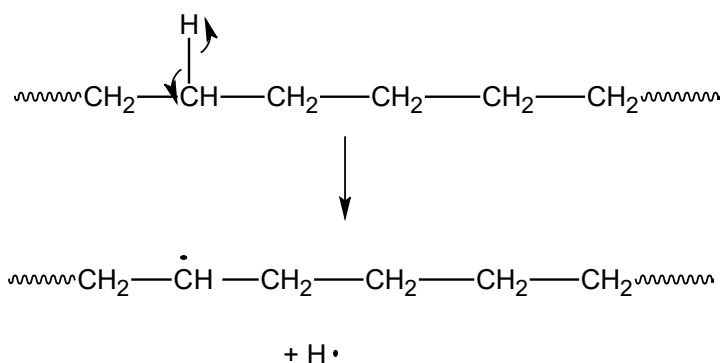
Royer en haar team hebben ook bekeken of UV A en/of UV B straling een rol spelen in het degradatieproces.

- 13 Leg uit hoe ze konden onderzoeken welk van de beide UV stralingen een rol speelde in het degradatieproces.

Degradatiemechanisme

De C-H binding

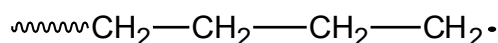
Onder invloed van zonlicht ontstaan radicalen door het verbreken van een C-H binding (figuur 2). Dit wordt de initiatiereactie genoemd.



Figuur 2

De keten kan nu splitsen in twee kortere ketens, waarvan er één een uiteinde met een radicaal heeft.

- 14 Geef in de bijlage de elektronenverplaatsingen aan waardoor twee kortere ketens gevormd worden. Teken ook de structuurformule van beide ketens.



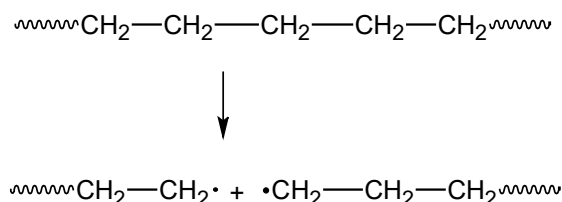
Figuur 3

In figuur 3 staat de structuurformule voor een keten met aan het einde een radicaal.

- 15 Geef in de bijlage met elektronenverplaatsingen aan hoe etheen gevormd kan worden uit deze keten. Geef tevens de structuurformule van de keten die overblijft na afsplitsing van etheen.

De C-C binding

Een andere initiatiereactie treedt op doordat in de polymeerketen een C-C binding splitst (zie figuur 4)



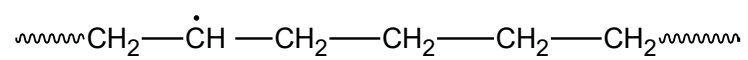
Figuur 4

- 16 Leg uit hoe met behulp van de splitsing van een C-C binding aan het einde van een polyetheenketen het ontstaan van methaan te verklaren is.

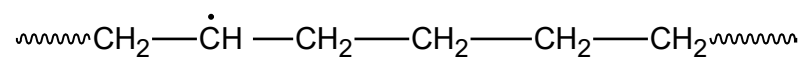
Methaan wordt dus gevormd bij de afbraak van plastics. Maar methaan is ook een sterk broeikasgas.

- 17 Weeg het voor- en nadeel/de voor- en nadelen van de plasticdegradatie tegen elkaar af.

Bijlage vraag 14



Bijlage vraag 15



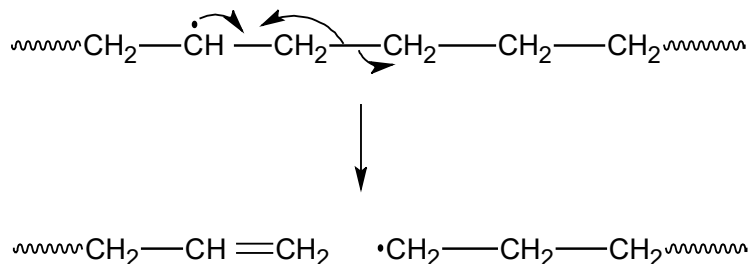
Plastic produceert methaan

4,5 havo, 4-6 vwo

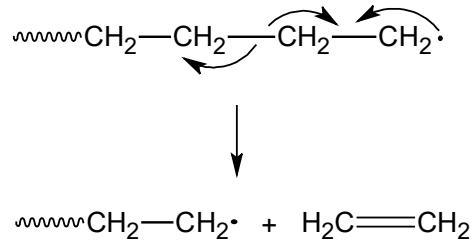
- 1 Meestal richten wij ons meer op aanwezigheid van de plastic afvalberg in zeeën en oceanen en niet op het feit dat er in de oceanen ook afbraak van het plastic optreedt waarbij eventueel schadelijke stoffen ontstaan.
- 2 Bijvoorbeeld glazen flessen gebruiken. In ieder geval materiaal dat niet kan ontleden waarbij methaan ontstaat.
- 3 Welke plastics produceren methaan en etheen bij degradatie in zeewater onder invloed van zonlicht en hoe snel verloopt dit?
- 4 Ze deden dit om te controleren of de uitkomsten van de proeven wel kloppen en of ze niet op toeval berusten.
- 5 Ze zullen de proef in het donker hebben uitgevoerd.
- 6 Het contactoppervlak wordt groter van korrels → vlokken → poeder. Bij een groter oppervlak wordt er meer licht opgevangen en kunnen er meer reacties tegelijkertijd starten.
- 7 Per g LDPE ontstaat 14,5 nmol etheen per dag, dus in 212 dagen met 1,5 g LDPE ontstaat $212 \times 1,5 \times 14,5 \cdot 10^{-9} = 4,6 \cdot 10^{-6}$ mol etheen, C_2H_4 . Dus $4,6 \cdot 10^{-6} \times 28,052 = 1,3 \cdot 10^{-4}$ g etheen. Dus het LDPE is met eenzelfde massa afgenomen.
- 8 Door de verwerking zullen er barstjes et cetera in het materiaal ontstaan waardoor er een groter oppervlak ontstaat en er meer licht kan worden opgevangen.
- 9 In HDPE liggen ten opzichte van LDPE de ketens dichter bij elkaar waardoor het geheel minder doordringbaar is. De ketens van HDPE zijn makkelijker "stapelbaar". Ook zijn er minder en kortere vertakkingen die bij de degradatie betrokken kunnen worden.

5,6 vwo

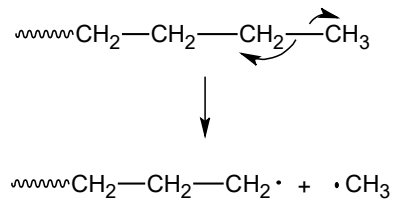
- 10 De bindingsenergie voor de C-H binding is $-4,1 \cdot 10^5$ J/mol bindingen. Om één C-H binding te verbreken is nodig: $4,1 \cdot 10^5 / 6,02 \cdot 10^{23} = 6,1 \cdot 10^{-19}$ J.
 $E = h \cdot \text{Error!} \rightarrow 6,1 \cdot 10^{-19} = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3,0 \cdot 10^8}{\lambda} \rightarrow \lambda = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 330 \text{ nm}$. Je hebt dus nodig licht met een golflengte van 330 nm voor een C-H binding.
De bindingsenergie voor C-C binding is $-3,5 \cdot 10^5$ J/mol bindingen. Om één C-V binding te verbreken is nodig: $3,5 \cdot 10^5 / 6,02 \cdot 10^{23} = 5,8 \cdot 10^{-19}$ J/binding.
 $E = h \cdot \text{Error!} \rightarrow 5,8 \cdot 10^{-19} = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3,0 \cdot 10^8}{\lambda} \rightarrow \lambda = 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 340 \text{ nm}$. Je hebt dus licht nodig met een golflengte van 340 nm voor een C-C binding.
- 11 Licht met een kortere golflengte (en dus hogere energie) verbreekt eveneens de bindingen.
- 12 Nee, de golflengtes van zichtbaar licht zijn groter: 400-700 nm.
- 13 Het experiment uitvoeren door straling te laten vallen op zeewater en straling te laten vallen waarbij een glaswand gebruikt wordt. Daarbij vergelijken hoeveel etheen in beide experimenten ontstaat.
Door de proeven uit te voeren met beide soorten UV straling
- 14



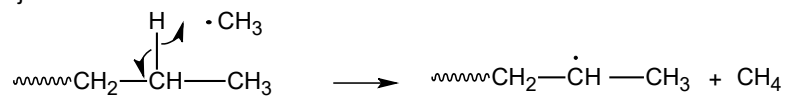
15



16



Bijvoorbeeld



17 Voordeel: de hoeveelheid plastic vermindert.

Nadeel: er ontstaan broeikasgassen.

Afhankelijk van de plaats waar het optreedt telt het een of het ander zwaarder.

URAAAN UIT DE OCEANEN

Klas	5,6 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische reacties
Trefwoorden	Uraan, yellow cake, acrylnitril, acrylester, adsorptie, copolymeer, amidoxime, carboxyl, hydroxylamine
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, augustus 2018

Uraan uit de oceanen

Chemisch gemodificeerde Orlon-textielvezels maken de winning van uranium uit zeewater betaalbaar, claimt Chien Wai uit Moscow, Idaho. Zulke vezels zijn een copolymeer van acrylonitril (ongeveer 85 %) en een acrylester. Volgens Wais octrooiaanvraag (US 2017/0355621) moet je een deel van de nitrilgroepen (-CN) omzetten in amidoxim, door die te behandelen met hydroxylamine. Een ander deel zet je met NaOH om in carboxylgroepen. De esters laat je ongemoeid en zo krijg je een mix van vier verschillende zijgroepen die, in een verhouding die zich proefondervindelijk laat vaststellen, samen tamelijk selectief uranium adsorberen. Vanadium is de belangrijkste bijvangst. Wat er op moleculaire schaal precies gebeurt, is nog verre van duidelijk, maar tests bij Pacific Northwest National Laboratory geven hoop dat het ooit zal kunnen concurreren met uraniummijnen, al heb je er heel veel vezels voor nodig. Het helpt als het zeewater warm is, en Wais start-up LCW Supercritical Technologies zoekt subsidie voor een grootschalige proef in de Golf van Mexico.

bron: PNNL



Chien Wai met zijn eerste 5 g yellowcake

Onderzoeker Chien Wai heeft bedacht hoe je uranium uit zeewater kunt winnen. Met behulp van gemodificeerde Orlon-textielvezels is dit mogelijk en betaalbaar volgens hem.

Uraan in de oceaan

Geschat wordt dat de oceanen 4 miljard ton uranium bevatten, 500 maal zo veel als alle bekende ertslagen in uraniummijnen bij elkaar. De concentratie van uranium in zeewater is slechts 3 ppb. Uranium komt in zeewater grotendeels voor als het prima oplosbare uranylcarbonaat, UO_2CO_3 . Uiteindelijk wordt het gewonnen uraan omgezet in U_3O_8 , zogenaamde yellow cake.

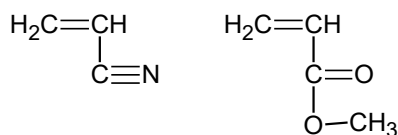
- 1 Geef de vergelijking voor het oplossen van uranylcarbonaat in (zee)water.
- 2 Bereken hoeveel m^3 oceaanwater nodig zijn voor de winning van 5 g yellow cake.

Uranylcarbonaat kan omgezet worden in yellow cake.

- 3 Leg uit welke uraanionen in yellow cake aanwezig zouden kunnen zijn.

De textielvezel

De textielvezel die gebruikt wordt is een copolymeer van acrylonitril (85%) en een acrylester (15%). De structuurformules van beide monomeren staan in figuur 1 weergegeven.



acrylonitril een acrylester

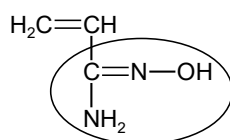
Figuur 1 monomeren

- 4 Teken een stukje uit het midden van de keten van het copolymeer waarin de verhouding duidelijk naar voren komt.

Chien Wai en zijn medewerkers hebben het copolymeer bewerkt: in *de eerste stap* wordt een deel van de nitrilgroepen omgezet in amidoximgroepen en in *een volgende stap* wordt een ander deel van de nitrilgroepen omgezet in carboxylgroepen. Zo werd een copolymeer met vier verschillende zijgroepen gecreëerd.

Amidoximgroep

De structuurformule van een molecuul met een amidoximgroep is in figuur 2 weergegeven. Een nitrilgroep (-CN) kan met behulp van hydroxylamine, $\text{NH}_2\text{-OH}$, omgezet worden in zo'n amidoximgroep.



Figuur 2 algemene formule amidoximgroep (omcirkeld)

- 5 Verklaar de naam hydroxylamine voor de stof met formule $\text{NH}_2\text{-OH}$.
 6 Geef de reactie in structuurformules voor de vorming van een amidoximgroep uit een nitrilgroep in het copolymeer.
 7 Leg uit waarom dit een additiereactie genoemd mag worden.

Carboxylgroep

In een volgende stap hebben de onderzoekers een ander deel van de nitrilgroepen met behulp van natronloog en water omgezet in carboxylgroepen.

- 8 Wat versta je onder een carboxylgroep? Raadpleeg Binas tabel 66D.
 9 Geef de reactievergelijking in structuurformules voor de vorming van een carboxylgroep uit een nitrilgroep in het copolymeer.
 10 Leg uit dat, gezien de reactieomstandigheden, het zuurrestion van de carboxylgroep ontstaat.

De estergroepen werden ongemoeid gelaten. Zo krijg je dan een copolymeer met vier verschillende soorten zijgroepen aan de hoofdketen.

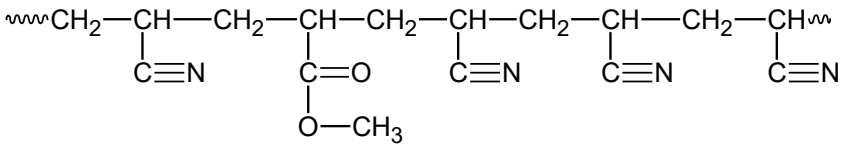
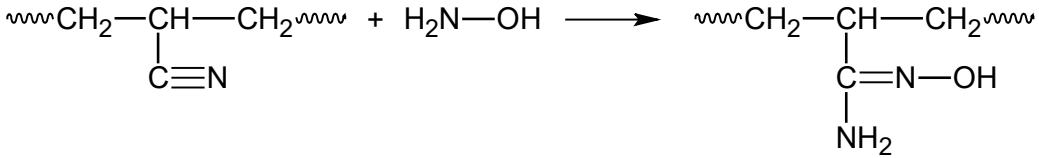
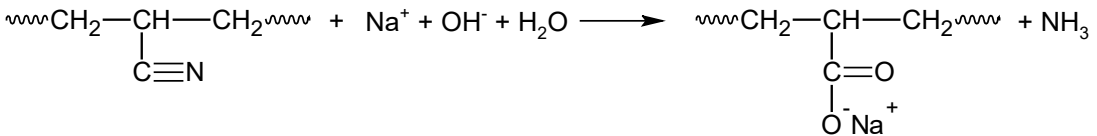
- 11 Geef de namen van de vier zijgroepen die worden bedoeld.
 12 Hoe krijgen ze het voor elkaar dat steeds slechts één reactietype verloopt?

Testen

Bij het Pacific Northwest National Laboratory zijn de vezels inmiddels getest.

- 13 Welke kanttekening werd gemaakt bij eventueel succes met de vezeltechniek?

Uraan uit de oceaan

- 1 $\text{UO}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{UO}_2^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$ of $\text{UO}_2\text{CO}_3 (\text{s}) \rightarrow \text{UO}_2^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$
- 2 $M_{\text{yellow cake}} = 842 \text{ g mol}^{-1}$. $5 \text{ g U}_3\text{O}_8 \equiv 5/842 = 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ mol U}_3\text{O}_8$. Dit bevat $3 \times 5,9 \cdot 10^{-3} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol uraan}$. $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \equiv 1,8 \cdot 10^{-2} \times 238,0 = 4,2 \text{ g uraan}$. Zeewater bevat 3 ppb uraan $\equiv 3 \cdot 10^{-9} \text{ g per g zeewater}$. Neem aan dat de dichtheid van zeewater $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ is. Dus nodig $4,2/3 \cdot 10^{-9} = 1,4 \cdot 10^9 \text{ g zeewater}$. En $1,4 \cdot 10^9 \text{ g} \equiv 1,4 \cdot 10^9 \text{ cm}^3 = 1,4 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ zeewater.
- 3 U_3O_8 bevat 8 oxide-ionen, dus totaal $8 \times 2- = 16-$ als negatieve lading. De 3 uraanionen moeten dan samen $16+$ zijn. Mogelijk is 2 U^{6+} en 1 U^{4+} . Andere (theoretisch) mogelijke combinaties zijn 2 U^{7+} en 1 U^{2+} , 2 U^{5+} en 1 U^{6+} , 2 U^{4+} en 1 U^{8+} (zie ook na de antwoorden het *centraal examen havo 2011-1* opgave Uraanerts).
- 4 
- 5 Hydroxyl betekent een OH-groep, amine betekent een NH_2 -groep.
- 6 
- 7 Uit twee moleculen wordt één nieuw molecuul gevormd, doordat een drievoudige binding omgezet wordt in een dubbele binding.
- 8 Een carboxylgroep is een COOH -groep.
- 9 
- 10 Je werkt met loog, een base, dus de pH zal hoog zijn en de zuurgroep zal zijn H^+ afgestaan hebben.
- 11 De nitrilgroep, de estergroep, de amidoximgroep en de carboxylgroep.
- 12 Ze zullen waarschijnlijk met katalysatoren gewerkt hebben die specifiek één type reactie versneld laten verlopen.
- 13 Je hebt er heel veel vezels voor nodig.

Toelichting bij antwoord op vraag 4

Centraal examen Scheikunde havo 2011- I

Uraanerts

Uraanerts bevat uraanoxide (U_3O_8). In U_3O_8 komen onder andere U^{4+} ionen voor.

- 1 Hoeveel protonen en hoeveel elektronen bevat een U^{4+} ion?
Noteer je antwoord als volgt:
aantal protonen: ...
aantal elektronen: ...

Behalve U^{4+} ionen komen in U_3O_8 ook uraanionen voor met een andere lading.

- 2 Leid uit de formule U_3O_8 af of dit U^{3+} ionen of U^{6+} ionen zijn. Ga er daarbij van uit dat U_3O_8 bestaat uit uraanionen en oxide-ionen.

Een belangrijk tussenproduct bij de bereiding van uraan uit uraanerts is uranylmetaal. Deze stof bestaat uit uranylionen en metaalionen. De formule van het uranylion is UO_2^{2+} .

- 3 Geef de formule van uranylmetaal.

VUUR MAKEN

Versie 1

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbranding
Trefwoorden	Pyriet, reactievergelijking, exotherm
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Versie 2

Klas	4 hv
Subdomein	Energie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Energiediagram
Trefwoorden	Pyriet, reactie-energie, vormingswarmte, S_2^{2-} , FeS_2 , verdelingsgraad, activeringsenergie
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

geomuseum.tu-clausthal.de

Vuur maken

Vuursteen werd al in de prehistorie gebruikt om vuur mee te maken. Er kan echter geen vuur gemaakt worden door twee vuurstenen tegen elkaar te slaan. De vonken die daarbij ontstaan, zijn hiervoor niet geschikt. Goede vonken om vuur te maken, krijg je als je vuursteen tegen een stuk markasiet of pyriet (ijzersulfide, FeS_2) slaat.



Markasietknollen. De speld is drie cm lang.

Zowel markasiet als pyriet zijn mineralen die bestaan uit FeS_2 . Hun kristalvorm is verschillend.

De naam pyriet komt van de Griekse $\pi\rho\rho$ / pyr voor vuur. Met een harde vuursteen kun je zowel van pyriet als markasiet splinters afslaan die ontbranden.

Met de vonkjes die hierbij ontstaan kun je bijvoorbeeld houtsnippers aansteken.



Vuursteen en pyrietsteen tegen elkaar slaan



De vonkjes laten zeer fijn houtzaagsel gaan gloeien



Het gloeiende houtzaagsel ontbrandt het houtwol



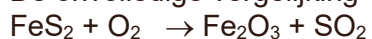
Brandend houtwol

Versie 1

Je moet de vuursteen en de steen die pyriet bevat, hard tegen elkaar slaan. Anders treedt er geen reactie op met zuurstof uit de lucht.

- 1 Geef de term die men gebruikt voor de energie die nodig is om de reactie op gang te brengen.

De onvolledige vergelijking van de reactie van pyriet (FeS_2) met zuurstof is :



- 2 Neem de onvolledige reactievergelijking over en maak hem kloppend.
- 3 Is het een endotherme of exotherme reactie? Licht je antwoord toe.

Hout bevat de elementen C, H en O.

- 4 Leg uit welke producten bij de volledige verbranding van hout zullen ontstaan. Noteer de formules.

Versie 2

Je moet de vuursteen en een andere steen hard tegen elkaar slaan. Kenmerkend voor de steen, die men samen met de vuursteen moet gebruiken, is de aanwezigheid van FeS_2 . In het artikel wordt deze stof ijzersulfide genoemd. Dat is onjuist. De juiste naam is ijzer(II)disulfide met het zogenaamde disulfide-ion.

- 1 Geef de formule van het disulfide-ion. Leg uit hoe je aan je antwoord komt.

Je moet de vuursteen en de steen die pyriet bevat, hard tegen elkaar slaan. Anders treedt er geen reactie op met zuurstof uit de lucht. Bij deze reactie ontstaan ijzer(III)oxide en zwaveldioxide.

- 2 Noteer de vergelijking van de reactie die optreedt met de fase-aanduidingen bij kamertemperatuur.

De vormingsenergie van FeS_2 is $-1,67 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ bij 25°C .

- 3 Bereken de reactie-energie van de reactie van ijzer(II)sulfide met zuurstof in $\text{J (mol FeS}_2\text{)}^{-1}$.
- 4 Is de reactie endotherm of exotherm? Licht je antwoord toe.
- 5 Teken een energiediagram voor deze reactie en verwerk daarin ook waardoor de reactie pas verloopt als je de stenen hard tegen elkaar slaat.
- 6 Leg uit waarom men eerst met zeer fijn houtzaagsel en daarna pas met houtwol een vuurtje zal maken.

Neem als algemene molecuul formule voor hout $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$

- 7 Noteer de reactievergelijking voor de volledige verbranding van hout.

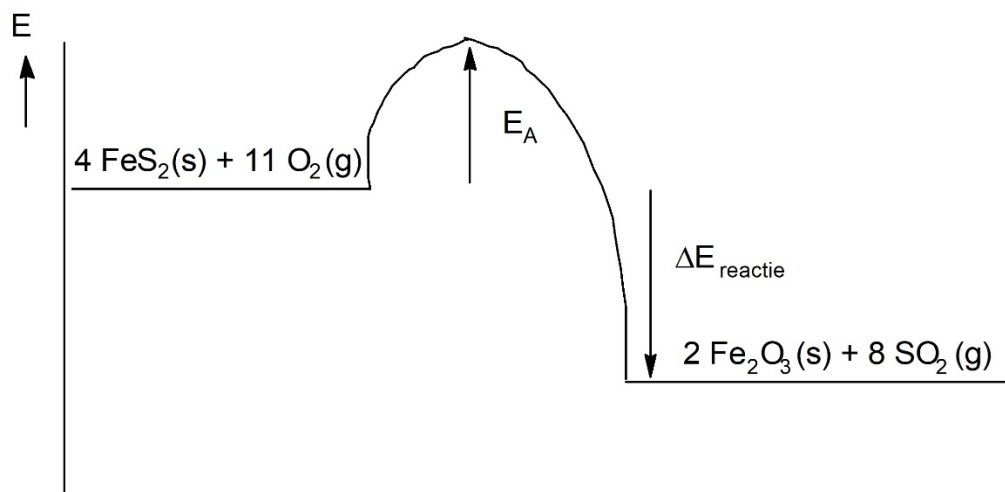
Vuur maken

Versie 1

- 1 Activeringsenergie
- 2 $4 \text{ FeS}_2 + 11 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 8 \text{ SO}_2$
- 3 Exotherm, want het is een reactie met zuurstof, een verbrandingsreactie.
- 4 CO_2 , H_2O bij een volledige verbranding (en eventueel door onvolledige verbranding C (roet) en CO).

Versie 2

- 1 S_2^{2-} : het ijzer(II)ion is $2+$ geladen dus het disulfideion moet dan wel $2-$ geladen zijn.
- 2 $4 \text{ FeS}_2(\text{s}) + 11 \text{ O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 8 \text{ SO}_2(\text{g})$
- 3 $\Delta E_{\text{reactie}} = -4 \times E_{\text{vorm FeS}_2} + 2 E_{\text{vorm Fe}_2\text{O}_3} + 8 \times E_{\text{vorm SO}_2} =$
 $-4 \times (-1,67 \cdot 10^5) + 2 \times (-8,24 \cdot 10^5) + 8 \times (-2,97 \cdot 10^5) = -33,56 \cdot 10^5 \text{ J per } 4 \text{ mol FeS}_2$, dus
 $-8,39 \cdot 10^5 \text{ J per mol FeS}_2$
- 4 Exotherm, want er staat een minteken voor het antwoord.
- 5



- 6 Hoe fijner de verdelingsgraad des te sneller zal de reactie plaats vinden.
- 7 $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z + (x+y/4 - z/2) \text{ O}_2 \rightarrow x \text{ CO}_2 + y/2 \text{ H}_2\text{O}$

GIFTIGE GASSEN NA INKUILEN MAIS

Klas	3 hv
Subdomein	Industriële processen en Groene Chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Risico en veiligheid
Trefwoorden	Nitreuze gassen, koolstofdioxide, reactievergelijkingen,
Vaardigheidsvraag	informatieverwerkingsvraag

nos.nl, 24 augustus 2018

'Pas op voor giftige gassen na inkuilen mais', zeggen LTO en de brandweer



Brandweermannen ontluichten een kuil **BRANDWEER NEDERLAND**

De brandweer en LTO Nederland waarschuwen boeren die mais hebben ingekuild voor giftige gassen die kunnen vrijkomen.

Mais dat van het land komt, wordt meestal onder folie opgeslagen, zodat het in de winter als veevoer kan worden gebruikt. Door de droogte en hitte van de afgelopen maanden hoopt zich meer stikstof op dan normaal. Daardoor ontstaan er onder het folie giftige en bijtende, roodbruine gassen, die risico's opleveren voor mens en dier, zegt Marcel Verspeek van Brandweer Nederland.

Brandweer Nederland heeft brandweerlieden laten weten dat ze het ontsnappen van gas uit ingekuild mais als een incident met gevaarlijke stoffen moeten behandelen.

LTO Nederland adviseert boeren om zeker in de eerste twee weken geen mensen of dieren in de buurt van ingekuild mais te laten komen.

Als een boer ziet dat het folie opbolt, moet hij er niet zelf op af gaan, maar de brandweer bellen. Die heeft apparatuur om een kuil veilig te openen en kleding om zich te beschermen.

Incidenten

Deze week waren er onder andere in Leusden, Galder en Haaksbergen incidenten met kuilgassen waarbij de brandweer is ingezet. In al die gevallen liep het goed af. In Leusden en Galder was de maiskuil pas een dag oud.

De gassen verdwijnen na een dag of veertien vanzelf.

Mais inkuilen blijkt gevaar op te leveren. Het artikel waarschuwt: "Als een boer ziet dat het folie opbolt,

1 Waardoor bolt de folie op?

Kuilvoer

Enkele decennia geleden bestond de wintervoorraad veevoer voornamelijk uit hooi. Het langdurig drogen van het gras op het land tot hooi veroorzaakt echter een groot verlies aan voedingsstoffen. Tegenwoordig maakt men daarom vaak gebruik van kuilvoer waarin meer voedingsstoffen behouden zijn gebleven. Kuilvoer is ingekuild veevoer. Vele soorten voer kunnen worden ingekuild, maar de meest voorkomende kuilvoerders zijn kuilgras en snijmais.

Inkuilen

Een manier is het inkuilen in de "kuilhoop":

Het geoogste product (bijvoorbeeld gras) wordt verzameld en op een hoop gereden (de "kuilhoop" of "kuil").

De kuilhoop wordt stevig aangereden met een tractor of een shovel.

De kuilhoop wordt luchtdicht afgedekt met een of meerdere lagen landbouwplastic.

Om het plastic goed vast te leggen wordt er langs de randen zand en grond op gereden.

De kuilhoop wordt afgedekt met ballast zoals autobanden, zandslurven, of de gehele kuil wordt met grond of zand bedekt.



Bron wikipedia

Kuilgassen

Bij een maïs- of graskuil vormen koolstofdioxide (CO₂) en nitreuze gassen (NO_x) het grootste gevaar. Zowel CO₂-gas als NO_x-gassen worden onmiddellijk na het inkuilen gevormd.

2 Waardoor vormt koolstofdioxide een groot gevaar voor mensen?

In het artikel is sprake van *roodbruine* gassen.

3 Leg uit dat het hierbij niet om de beschrijving van koolstofdioxide kan gaan.

De roodbruine gassen zijn zogenaamde nitreuze gassen. Het gas wordt pas zichtbaar als er ongeveer 150 mg per m³ lucht aanwezig is.

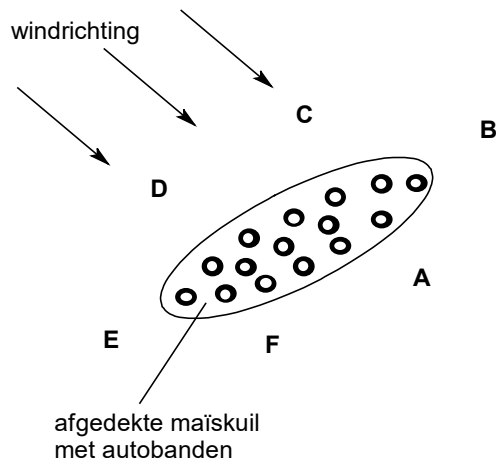
4 Wat zul je nog meer kunnen waarnemen in de buurt van de maiskuil wat (voorafgaand aan het zichtbaar worden van de roodbruine gassen) op gevaar wijst?

Veiligheid

De vorming van koolstofdioxide blijft gedurende het hele inkuilproces doorgaan. De piekconcentratie van de nitreuze gassen wordt op de vierde à vijfde dag bereikt. Na twee weken worden de nitreuze gassen (meestal) niet meer geproduceerd.

- 5 Leg uit waarom boeren beter alle mais in één keer kunnen inkuilen en niet in partijen verspreid over meerdere dagen.
- 6 Leg uit dat windstil weer een groter gevaar oplevert dan wanneer het waait.

In figuur 1 zie je de windrichting bij een maiskuil getekend. Bij de tekening staat een aantal letters.



Figuur 1

- 7 Leg uit bij welke letter(s) je bij de aangegeven windrichting wel in de buurt van de maiskuil kunt gaan staan of naar de kuil toe kunt lopen.

Adviezen

In de vragen 5 en 7 staan al adviezen voor een boer. Er zijn meer adviezen die van belang zijn voor een boer als hij met maiskUILen werkt.

- 8 Geef minimaal drie andere adviezen aan een boer wat hij zeker *niet* moet doen als hij ziet dat er nitreuze gassen ontstaan zijn bij de maiskuil.
- 9 Geef minimaal drie andere adviezen aan een boer wat hij zeker *wel* moet doen als hij ziet dat er nitreuze gassen ontstaan zijn bij de maiskuil.

Ontstaan koolstofdioxidegas

In de kuil treedt fermentatie op van de in mais aanwezige suikers. Naast koolstofdioxide ontstaat uit de suikers ook ethanol (C_2H_6O).

- 10 Geef de reactievergelijking voor de fermentatie van de suiker glucose ($C_6H_{12}O_6$).

Conservering

In de maiskuil wordt het maishaksel geconserveerd. Het kan daardoor langer bewaard blijven. Tijdens het conserveringsproces zetten melkzuurbacteriën de suikers in het gewas onder anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden om naar melkzuur. Dit zorgt na enige tijd voor een stabiele zuurgraad, waardoor het veevoer goed geconserveerd blijft.

- 11 Geef de reactievergelijking voor de vorming van melkzuur ($C_3H_6O_3$) uit de suiker glucose.

Nitreuze gassen

Door bemesting kunnen planten 'stikstof' opnemen. Ze nemen via de wortels bijvoorbeeld de meststof ammoniumnitraat (NH_4NO_3) op. Door de droge zomer is het ammoniumnitraat in de mais niet omgezet in bijvoorbeeld eiwitten. De ammoniumnitraat kan met zuurstof reageren tot nitreuze gassen. Nitreuze gassen is de verzamelnaam voor een mengsel van gassen, grotendeels bestaande uit de stikstofoxiden stikstofmonoxide (NO), stikstofdioxide (NO_2) en distikstoftetraoxide (N_2O_4).

- 12 Geef voor de vorming van elk van de drie stikstofoxiden de vergelijking voor de reactie van ammoniumnitraat met zuurstof.

Een flinke regenbui of het spuiten met water zorgt ervoor dat de nitreuze gassen omgezet worden in salpeterzuur (HNO_3) waarbij ook stikstofmonoxide ontstaat.

- 13 Geef de reactievergelijking voor de omzetting van NO_2 in onder andere HNO_3 .
14 Leg uit of door deze omzetting het gevaar verdwenen is.

Er zijn eind augustus 2018 veel artikelen geweest in kranten en op nieuwssites, zoals bij de NOS.

De koppen van artikelen

- Brandweer Haaksbergen rukt opnieuw uit voor gevaarlijke kuilgassen op boerderij
- Heumen waarschuwt voor gevaarlijke gassen boven weilanden
- Meer maaskuilincidenten door droogte
- Wees voorzichtig bij kuilen die bol staan
- Gevaarlijke situaties bij maisoogst
- Gevaar voor giftige gassen bij maaskuilen van verdroogd gewas
- Brandweer Haaksbergen rukt opnieuw uit voor gevaarlijke kuilgassen op boerderij
- Pas op voor gevaarlijke gassen uit ingekuilde mais
- Giftig gas vrij uit ingekuilde mais in Rijen
- Brandweer en LTO waarschuwen voor zeer giftig gas dat vrij kan komen bij inkuilen mais

- 15 Leg uit waarom er zoveel aandacht aan besteed is in de media.

Giftige gassen na inkuilen mais

- 1 Er ontstaan gassen, die kunnen niet ontsnappen waardoor het dekzeil omhoog wordt geduwd.
- 2 Koolstofdioxidegas is zwaarder dan lucht, waardoor het laag bij de grond blijft hangen (kruipt als het ware over de grond). Het verdringt de zuurstof waardoor verstikkingsverschijnselen op kunnen treden.
- 3 Koolstofdioxidegas is kleurloos.
- 4 Rondom de kuil kunnen er dode planten of bijvoorbeeld dode wormen, insecten en muizen voorkomen.
- 5 Er komen meteen koolstofdioxidegas en nitreuze gassen vrij en als je dus het tweede deel wilt inkuilen, loop je dus groot gevaar.
- 6 Als het waait zullen de gassen zich over een grotere ruimte verspreiden en niet de dodelijke grens bereiken.
- 7 Op de plaatsen met letter C en D. De wind blaast daar de gassen vandaan in de richting van A en F.
- 8 Laat mensen en dieren (zeker de eerste 2 weken) na het inkuilen niet in de buurt van de kuil komen. (Zet de kuil desnoods af met lint of hekken.)
Als het folie opbolt, open dit niet zelf om de kuil te ontluchten.
Niet alleen zijn in de buurt van de kuil.
- 9 Vermijd elk contact met de nitreuze gassen.
Waarschuw een arts bij contact of inademen van nitreuze gassen.
Als er zichtbaar gassen vrijkomen uit de kuil en de kuil vlakbij een woning, stal of de openbare weg ligt, waardoor er gevaar bestaat dat mens en dier de gassen kunnen inademen, bel dan de brandweer.
Als er sprake is van acuut gevaar, evacueer mensen en dieren direct naar veilig gebied.
Zet eventueel een ventilator in om de gassen tijdelijk weg te blazen, als dit veilig kan.
Rekening houden met het draaien van de wind. Als er geen gevaar is maar dat wel kan komen, plan dan vooruit welke noodmaatregelen eventueel getroffen moeten worden.
Controleer regelmatig het weerbericht en de lokale situatie bij de kuil.
- 10 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_6O + 2 CO_2$
- 11 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_3H_6O_3$
- 12 $2 NH_4NO_3 + O_2 \rightarrow 4 NO + 4 H_2O$
 $2 NH_4NO_3 + 3 O_2 \rightarrow 4 NO_2 + 4 H_2O$
 $2 NH_4NO_3 + 3 O_2 \rightarrow 2 N_2O_4 + 4 H_2O$
- 13 $3 NO_2 + H_2O \rightarrow 2 HNO_3 + NO$
- 14 Nee, want er wordt ook weer het giftige NO gevormd.
- 15 Er wordt in Nederland heel veel mais verbouwd (en ook ingekuild). Mensen en dieren lopen daardoor gevaar. Hoe meer men er op allerlei plaatsen voor waarschuwt, des te groter is de kans dat mensen er van af weten en er geen ongelukken gebeuren.

Artikel:

<https://nos.nl/artikel/2247402-pas-op-voor-giftige-gassen-na-inkuilen-mais-zeggen-lto-en-de-brandweer.html>

Bron: de koppen bij vraag 14:

- <http://krantenbox.nl/brandweer-haaksbergen-rukt-opnieuw-uit-voor-gevaarlijke-kuilgassen-op-boerderij/>
- <https://rn7.nl/nieuws/heumen-waarschuwt-voor-gevaarlijke-gassen-boven-weilanden>
- <https://www.brandweer.nl/brandweernederland/nieuws/2018/meer-maiskuilincidenten-door-droogte>
- <https://www.agrifirm.nl/nieuws/wees-voorzichtig-bij-kuilen-die-bol-staan/>
- <http://www.rtvfocuszwolle.nl/gevaarlijke-situaties-bij-maisoogst/amp/>
- <https://www.melkvee.nl/artikel/136491-gevaar-voor-giftige-gassen-bij-maiskuilen-van-verdroogd-gewas/>

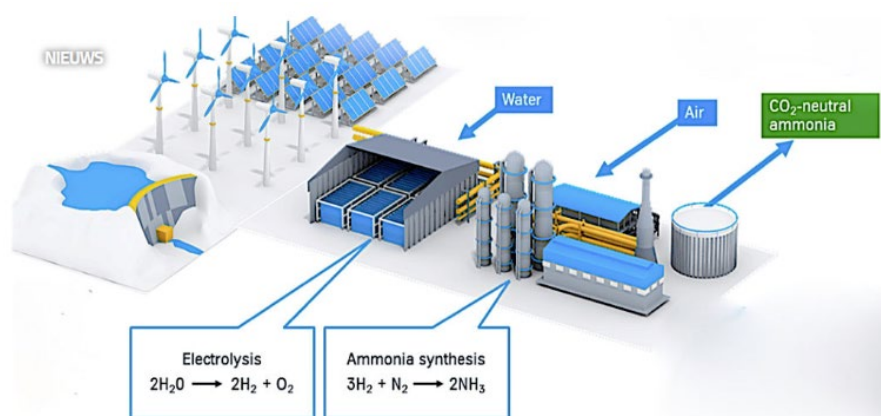
- <https://www.rtvoost.nl/nieuws/297753/brandweer-haaksbergen-rukt-opnieuw-uit-voor-gevaarlijke-kuilgassen-op-boerderij>
- <https://rheden.nieuws.nl/nieuws/125033/pas-op-voor-gevaarlijke-gassen-uit-ingekuilde-mais/> <https://www.bd.nl/gilze-en-rijen/giftig-gas-vrij-uit-ingekuilde-mais-in-rijen~a9f5b545/>
- <http://www.omroepbrabant.nl/?news/2816891393/Brandweer+en+LTO+waarschuwen+voor+zeer+giftig+gas+dat+vrij+kan+komen+bij+inkuilen+ma%C3%AFs.aspx>

GROEN AMMONIAK

Klas	5,6 v
Subdomein	Industriële chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Groene chemie
Trefwoorden	Waterstof, ammoniak, elektrolyse, groene stroom, haalbaarheid, rendement
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Petrochem.nl, 9 augustus 2018

GROEN AMMONIAK



Ingenieurs van het Duitse technologiebedrijf Thyssenkrupp hebben een fabrieksconcept ontwikkeld voor de productie van groen ammoniak. Voorlopig zijn de installaties vooral geschikt voor kleinschalige productie van ammoniak en decentrale opslag van duurzaam opgewekte stroom. Maar ook de grootschalige productie lonkt.

Traditioneel wordt ammoniak geproduceerd uit aardgas of steenkool. In Nederland nemen kunstmestfabrikanten OCI Nitrogen en Yara samen negen procent van het aardgas voor hun rekening. Als grondstof en brandstof voor hun processen. Schaalvoordelen voor fabrieken die meer dan 3.000 ton per dag produceren maken de bestaande processen zeer kostenconcurrerend. Voor het klimaat zijn er echter vriendelijkere concepten, stelt Thyssenkrupp.

Overschotten

Het technologiebedrijf besloot haar expertise in ammoniakprocestechnologie en alkalische waterelektrolyse (AWE) te investeren in de ontwikkeling van economisch haalbaar concept voor kleinschalige productie van groen ammoniak. Terwijl in conventionele ammoniakinstallaties waterstof wordt geproduceerd door stoom-*reforming* van aardgas, gebruikt het innovatieve concept van Thyssenkrupp alkalische elektrolyse van water. Daarbij gaat het concern uit van beproefde technologie. AWE wordt wereldwijd al in meer dan 600 fabrieken toegepast voor de productie van chloor uit zout. Bovendien is AWE volgens Thyssenkrupp bij uitstek geschikt voor gebruik in groene ammoniakinstallaties, omdat het binnen enkele minuten kan worden opgestart. Het kan dus reageren op fluctuaties in stroomaanbod. Op een zonnige en of winderige dag kunnen zodoende effectief overschotten worden opgeslagen.

Bestaande installaties

Het technologieconcern heeft twee fabrieken ontwikkeld: een installatie met de capaciteit van 50 ton per dag op basis van 20 megawatt vermogen en een van 300 ton per dag op basis van 120 megawatt vermogen. Aangezien de laatste de industriële schaal nadert, kan het een

interessante optie zijn voor het vergroenen van bestaande installaties. De installaties kunnen volledig offside worden gebouwd, wat in kosten een doorlooptijd kan schelen.

Energie-opslag

Om de marktpotentie in te schatten evalueerde het bedrijf de vijf belangrijkste drijfveren voor levensvatbaarheid. Dat zijn kapitaalsinvesteringen, beschikbaarheid en kosten van hernieuwbare energie, mogelijke beperkingen en kosten van ammoniaktransport, CO₂-emissiebeperkingen en CO₂-belastingen. Het concern kwam tot de conclusie dat op kleinere locaties met lage energiekosten de bouw van een groene ammoniakfabriek een interessante optie kan zijn. Misschien dat schaalvoordelen grote producenten van ammoniak nog niet in beweging brengen om hun grote fabrieken te vervangen. Naast de economische haalbaarheid als een nicheproduct, wordt groene ammoniak volgens de analyse steeds interessanter voor energieproducenten voor energieopslag.

Bron: <https://www.petrochem.nl/thyssenkrupp-ontwikkelt-productie-installaties-groen-ammoniak/>

Voor de productie van ammoniak is waterstof nodig. Traditioneel wordt de waterstof geproduceerd door stoomreforming van aardgas. In een evenwichtsreactie reageert methaan met waterdamp tot koolstofmono-oxide en waterstof.

- 1 Geef de vergelijking van deze evenwichtsreactie.
- 2 Laat via een berekening zien dat de reactie naar rechts endotherm is.
- 3 Leg uit dat temperatuursverhoging gunstig is voor de waterstofopbrengst.

Er staat in het artikel dat voor de stoomreforming aardgas zowel grondstof als brandstof is.

- 4 Licht toe dat aardgas zowel grondstof als brandstof is bij de stoomreforming.

De kleine ammoniakfabrieken produceren tot 300 ton ammoniak per dag.

- 5 Bereken hoeveel ton stikstof en waterstof nodig zijn voor de productie van 300 ton ammoniak.

Waterstof

In het nieuwe proces wordt de waterstof geproduceerd door elektrolyse van water. Er blijkt een vermogen van 120 MW nodig voor de elektrolysereactie om 300 ton ammoniak per dag te kunnen produceren. Het rendement van de elektrolyse is 73%.

- 6 Geef de elektrolyse van water in een reactievergelijking weer.
- 7 Leg uit hoeveel energie er nodig is voor de vorming van 1,0 mol waterstof.
- 8 Laat via een berekening zien of er bij een vermogen van 120 MW en een rendement van 73% dagelijks 300 ton ammoniak geproduceerd kan worden. Gegeven: $1 \text{ MW} = 1 \cdot 10^6 \text{ J s}^{-1}$.

De elektrolyse kan niet met zuiver water uitgevoerd worden. Wel is het mogelijk om de elektrolyse met natronloog uit te voeren.

- 9 Leg uit waarom de elektrolyse van water niet lukt met zuiver water.
- 10 Geef de halfreacties die optreden bij de elektrolyse van natronloog.
- 11 Leg uit wanneer de waterstof die bij de elektrolyse van water ontstaat groen genoemd mag worden.

Ammoniak

De gevormde waterstof reageert daarna in een evenwichtsreactie met stikstof tot ammoniak. Deze reactie wordt uitgevoerd bij hoge druk en hoge temperatuur. Deze factoren hebben

invloed op de ligging van het evenwicht. De ligging van het evenwicht is gunstig als meer ammoniak ontstaat.

- 12 Leg uit welke factoren, hoge druk en/of hoge temperatuur, gunstig zijn voor de ligging van het evenwicht.

Ammoniak op de nieuwe wijze produceren is levensvatbaar als aan een vijftal eisen is voldaan.

- 13 Welke vijf eisen voor levensvatbaarheid worden genoemd?
14 Licht deze vijf eisen kort toe.

Groen ammoniak

- 1 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3 \text{H}_2$.
- 2 Reactiewarmte = $E_{\text{vorming CO}} - E_{\text{vorming CH}_4} - E_{\text{vorming H}_2\text{O}} = -1,105 \cdot 10^5 + 0,75 \cdot 10^5 + 2,42 \cdot 10^5 = +2,07 \cdot 10^5 \text{ J per mol CH}_4$.
- 3 Bij een hogere temperatuur verschuift het evenwicht naar de endotherme kant dus naar rechts.
- 4 Methaan wordt gebruikt in de stoomreforming om waterstof te produceren. Deze endotherme reactie heeft energie nodig die wordt geleverd door verbranding van aardgas.
- 5 Reactie: $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$. $300 \text{ ton NH}_3 = 3 \cdot 10^8 \text{ g} \equiv 3 \cdot 10^8 / 17,031 = 1,8 \cdot 10^7 \text{ mol NH}_3$. Uit de reactievergelijking is af te leiden dat 2 mol NH_3 gevormd is uit 1 mol N_2 en 3 mol H_2 , dus $1,8 \cdot 10^7 \text{ mol NH}_3$ is gevormd uit $1,8 \cdot 10^7 / 2 = 8,8 \cdot 10^6 \text{ mol N}_2$ en $1,8 \cdot 10^7 \times 1,5 = 2,6 \cdot 10^7 \text{ mol H}_2$. Dit komt overeen met $8,8 \cdot 10^6 \times 28,02 = 2,5 \cdot 10^8 \text{ g} = 250 \text{ ton stikstof}$ en met $2,6 \cdot 10^7 \times 2,016 = 5,3 \cdot 10^7 \text{ g} = 53 \text{ ton waterstof}$.
- 6 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 7 De vormingswarmte van water is $-2,86 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. Dus de ontledingswarmte is $+2,86 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. Uit 1 mol water ontstaat 1 mol waterstof. Dus nodig $2,86 \cdot 10^5 \text{ J}$.
- 8 Het vermogen van de elektrolysefabriek is $120 \text{ MW} = 120 \cdot 10^6 \text{ W} = 120 \cdot 10^6 \text{ J s}^{-1}$. Per dag met rendement 73% dan $73/100 \times 24 \times 3600 \times 120 \cdot 10^6 = 7,6 \cdot 10^{12} \text{ J}$. Dan gevormd $7,6 \cdot 10^{12} / 2,86 \cdot 10^5 = 2,6 \cdot 10^7 \text{ mol H}_2$ waarmee $2,6 \cdot 10^7 / 1,5 = 1,8 \cdot 10^7 \text{ mol NH}_3$ gevormd kan worden. $1,8 \cdot 10^7 \text{ mol NH}_3 \equiv 1,8 \cdot 10^7 \times 17,031 = 3,0 \cdot 10^8 \text{ g} = 300 \text{ ton}$.
- 9 Het water geleidt dan geen elektrische stroom.
- 10 Positieve elektrode: $4 \text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$.
Negatieve elektrode: $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$.
- 11 Als de elektrische energie die gebruikt wordt duurzaam opgewekt is.
- 12 $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$. De reactie naar rechts is exotherm. Bij verhoging van de temperatuur verschuift het evenwicht naar de endotherme kant dus naar links.
Conclusie; niet gunstig voor de ligging van het evenwicht. Bij verhoging van de druk verschuift het evenwicht naar de kant van de minste gasdeeltjes, dus naar rechts en dat is gunstig voor de ligging van het evenwicht.
- 13 De vijf eisen zijn kapitaalsinvesteringen, beschikbaarheid en kosten van hernieuwbare energie, mogelijke beperkingen en kosten van ammoniaktransport, CO_2 -emissiebeperkingen en CO_2 -belastingen.
- 14 Het bouwen van een fabriek vraagt om een kapitaalinvestering. Die gaat men aan als men ervan overtuigd is dat het winstgevend wordt. Je moet er wel zeker van zijn dat er voldoende groene energie beschikbaar is en blijft. Ammoniak is een gevaarlijke stof die vraagt om speciale behandeling bij vervoer. In milieuafspraken wordt steeds vaker een CO_2 -loze vorming geëist. En als er nog steeds CO_2 ontstaat zal dat steeds meer kosten met zich meebrengen.

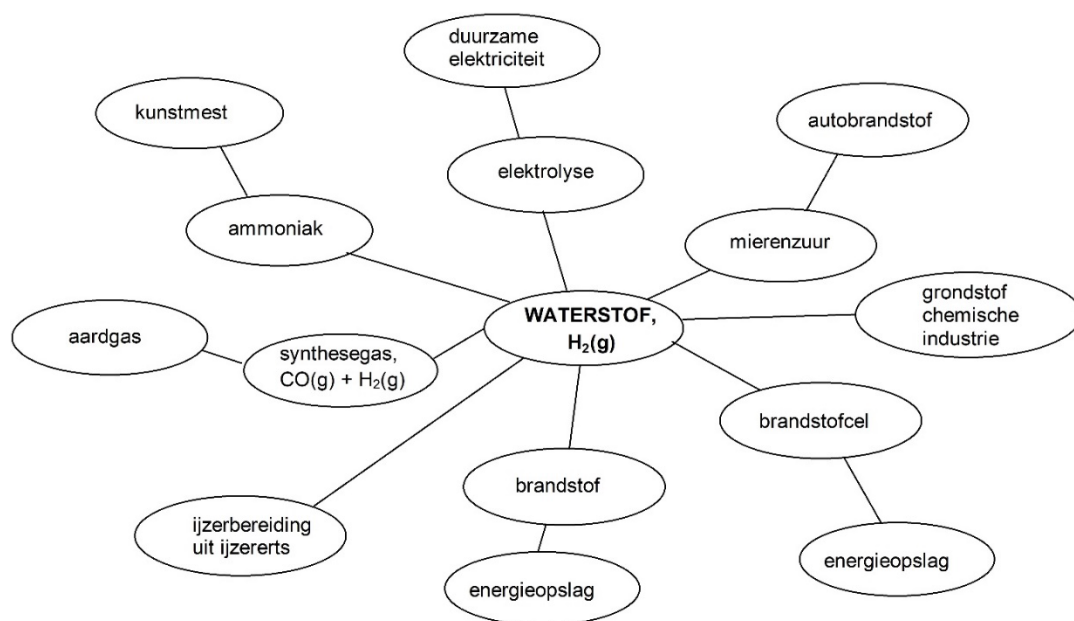
Artikel: <https://www.petrochem.nl/thyssenkrupp-ontwikkelt-productie-installaties-groen-ammoniak/>

Thema waterstof, H₂(g)

Inleiding

De voorraad fossiele brandstoffen is eindig en komt steeds nadrukkelijker in beeld. Alternatieve brandstoffen zoals winning van bioalcohol en biodiesel komen steeds meer in beeld. En daarbij hoort ook waterstof. Waterstof wordt in de chemische industrie heel veel gebruikt als grondstof, maar tot nu toe vooral gevormd uit aardgas en stoom ter vorming van synthesesgas. Zie voor de nieuwe rol van waterstof als voorbeeld het artikel 'Waterstof is het nieuwe aardgas' op pagina 2.

In figuur 1 is een mindmap weergegeven met waterstof als uitgangspunt, gebaseerd op opgaven uit Chemie Aktueel.



Figuur 1 Mindmap waterstof

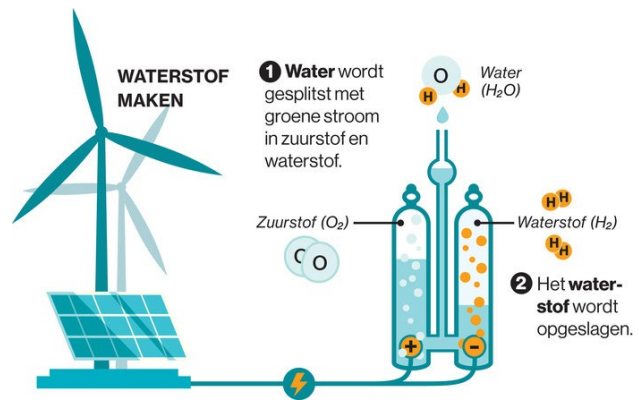
Opgaven waterstof in Chemie Aktueel

Waterstof is bij Chemie Aktueel altijd een belangrijk onderwerp geweest en zal dat in de toekomst ook blijven. Ook zal waterstof bij het CSE zeker vaker als thema de aandacht krijgen.

Weet u hoeveel opgaven vanaf nummer 1 van Chemie Aktueel min of meer waterstof als thema hebben? In de papieren Chemie Aktueels zo'n 80 en in de digitale Chemie Aktueels zo'n 35 (tot nu toe). Bij het samenstellen van dit themanummer zijn we bij de papieren versie de nummers 70 tot en met 75 gaan bekijken. En bij de digitale opgaven hebben we vanaf het begin de opgaven gescreend op de naam waterstof en op het examenprogramma. Je krijgt dan een lijst waarbij vele aspecten van de schoolchemie de revue passeren. U kunt daarbij onder meer denken aan: redox, elektrolyse, brandstofcellen, reactiewarmte, evenwicht, groene energie, industriële chemie, ammoniak, mierenzuur, hoogovenproces. In de mindmap staan acht takken waarop ingezoomd kan worden. Na bespreking van de mindmap kunt u één of meer van de acht takken via het maken van opgaven uit Chemie Aktueel aan bod laten komen. Ook de samenhang tussen die takken kan ter sprake komen. Zeker als herhaling is het gebruik van een mindmap als visueel overzicht een sterk didactisch middel. Het daarbij maken van contextgerichte opgaven geeft dat de leerling nogmaals een breed scala aan chemische vakconcepten doorloopt. En u weet: herhaling is de kracht van onderwijs!

‘Waterstof is het nieuwe aardgas’

Er is een schoon en veilig alternatief voor Gronings gas, stelt energieprofessor Ad van Wijk: waterstof. te maken uit water en zon of wind. met als restproduct geen CO₂, maar zuiver water. „Waterstof is de ontbrekende schakel in de energietransitie.”

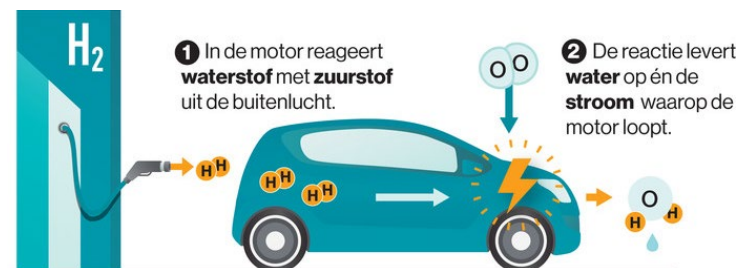


Figuur 1 Elektrolyse van water met groene stroom

Het klinkt bijna te mooi om waar te zijn: een alternatief voor aardgas dat we kunnen produceren met windmolens op zee en zonnepanelen in de woestijn of op onze daken. En dat bij verbranding niet bijdraagt aan klimaatverandering, omdat het restproduct geen broeikasgas is, maar waterdamp. Toch bestaat het: waterstof. Ad van Wijk, hoogleraar Future Energy Systems aan de TU Delft, ziet er gigantische kansen in.

Waarom hebben we hier nog nooit van gehoord?

„Als klein land zijn we erg gefocust op andere technieken, zoals wind op zee en elektrische auto's op batterijen. In het buitenland wordt al serieus ingezet op waterstof. Japan is sinds de kernramp van Fukushima om. Het land heeft weinig zon en wind en laat daarom waterstof maken. In de toekomst ook door zonnepanelen in Australië, waarvandaan de energie per schip naar Japan wordt vervoerd. De Olympische Spelen in Tokyo worden over twee jaar de showcase. Alle energie wordt geleverd door waterstof: voor verwarming, de spelersbussen, de olympische vlam. Maar ook alle grote automerken hebben al modellen ontwikkeld die op waterstof rijden. Duitsland bouwt aan een landelijk netwerk van 400 tankstations waar je waterstof kunt tanken.”



Figuur 2 Zo werkt een waterstofauto

Gevaarlijk?

Waterstof is bij normale druk en temperatuur een kleurloos, reukloos, zeer licht gas. Daarom werd het vroeger gebruikt om ballonnen en zeppelins te vullen. Vanwege de hoge brandbaarheid gebeurt dat nu niet meer.

De angst voor ongelukken met het brandbare waterstof (de Hindenburg die in 1937 vlam vatte) is volgens De Wijk onterecht. „Waterstof is vergelijkbaar met aardgas. Beiden zijn goed brandbaar. Maar met waterstof gebeuren juist minder ongelukken, omdat het bij verbranding geen giftig koolmonoxide vormt. Bovendien is het zo licht en vluchtig dat het bij een lek sneller door kiertjes uit je huis ontsnapt.”

Contextgerichte opgaven met waterstof als hoofdthema of als deelthema

Nr CA	Titel opgave	Leerjaar	Steekwoorden uit mindmap
CA70	Rijden doe je niet op gas maar op zuur	4hv	Brandstof; mierenzuur; autobrandstof
CA70	Kunstmatig blad produceert waterstof	5,6v	Brandstof; brandstofcel; energieopslag
CA70	PEARL gas-to-liquids	5v	Brandstof; synthesesgas
CA71	Algendiesel dankzij nanonikkel	5v	Chemische industrie
CA71	Brandstofcel op hydrazine	5,6v	Brandstof; brandstofcel
CA71	Metaalcocktail helpt brandstofcel	5h 5,6v	Brandstofcel, mierenzuur
CA71	Chemicaliën uit groenafval	5v	Synthesesgas; chemische industrie
CA72	Broeikasgas als grondstof	5v	Synthesesgas; chemische industrie
CA72	Kerosine uit zeewater	5v	Synthesesgas; elektrolyse; chemische industrie
CA72	Benzine uit elektriciteit en lucht	5v	Synthesesgas; elektrolyse, chemische industrie
CA72	Waterstofmembraan	5hv	Synthesesgas; chemische industrie
CA73	Waterstofproductie met overschot wind	5hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; synthesesgas
CA73	Brandstofcellen	5,6v	Brandstofcel; opslag energie
CA73	Instant-waterstofpoeder	4hv	Brandstof
CA74	Bacteriën slaan stroom op; Shavo/vwo	5hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; opslag energie
CA74	Kunstmestfabriek	4hv	Ammoniak; chemische industrie; kunstmest
CA74	Buffer voor waterstof	5v	Elektrolyse; brandstof
CA74	Elektrolyse redt klimaat	5hv	Elektrolyse; brandstof
CA74	IJzer splitst water	5v	Brandstof
CA74	Goedkope waterstofproductie zonder lucht	5hv	Synthesesgas; chemische industrie
CA75	Water splitsen in een zonnecel	5v	Elektrolyse; duurzame elektriciteit
CA75	Ammoniak wordt groen	5hv	Ammoniak; brandstof; chemische industrie
CA75	Kathode gaat aan de zuurstof	5v	Elektrolyse; brandstof

Nr digi	Titel opgave	Leerjaar	Steekwoorden uit mindmap
1406-09	Arseen maakt waterstof	5v	Elektrolyse; brandstof
1409-02	Efficiënte elektrolysetechniek voor waterstofproductie	5v	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; synthesegas
1501-03	600 km op 1 tankbeurt	5hv	Brandstof; brandstofcel
1503-06	Teflon helpt palladium	5v	Brandstof; energieopslag
1504-08	Perovskiet maakt waterstof	5,6v	Elektrolyse; duurzame elektriciteit
1510-06	Waterstof uit windenergie	3hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit
1511-08	Groene stroom over	5hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit
1602-03	Bliksemsnelle manier om mierenzuur te maken	5v	Mierenzuur; brandstof
1602-11	Smartphone werkt week op brandstofcel	5hv	Brandstofcel; brandstof; elektrolyse
1603-11	COPS vervangt PT	4hv	Elektrolyse; brandstof
1609-06	Waterstofproductie krijgt boost	5v	Elektrolyse; duurzame elektriciteit
1609-09	Staalproductie zonder CO ₂ -uitstoot	3hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; chemische industrie
1611-03	Nieuwe bus stoot alleen water uit	5hv	Brandstof; brandstofcel; duurzaam
1701-03	Productie van waterstof via elektrolyse	5hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; ammoniak; kunstmest
1701-07	Power to liquids	5hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; synthesegas
1704-02	Elektriciteitsopslag en waterstofproductie ineen	5h 5,6v	Elektrolyse; brandstof; energieopslag
1709-08	Ammoniakproductie bij lage temperatuur	5hv	Ammoniak
1711-07	Energie uit de muur	4hv	Brandstof
1711-09A	Zelfvoorzienend H ₂ -schip start wereldreis	3hv	Brandstof; duurzaam
1711-09B	In Duitsland moet waterstof de nieuwe brandstof worden	3hv	Brandstof; elektrolyse; duurzame elektriciteit; brandstofcel
1711-10	Hoppende protonen	5v	Ammoniak
1802-02I	Groen gassen	3hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; brandstof
1802-02II	Groen gassen	4hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; brandstof; brandstofcel
1802-02III	Groen gassen	5hv	Elektrolyse; brandstof; duurzaam; ammoniak
1802-10	De kracht van ammoniak	4hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; brandstof
1803-03	Gesmolten metaal kraakt methaan	4hv	Elektrolyse; duurzame elektriciteit; synthesegas
1804-04	Studie naar waterstof	4hv	Brandstof; elektrolyse; duurzame elektriciteit

Nr digi	Titel opgave	Leerjaar	Steekwoorden uit mindmap
1805-04	Waterstof als alternatief voor Gronings gas	3hv	Brandstof; elektrolyse; duurzame elektriciteit
1805-12	Hydrozine	5hv	Brandstof; elektrolyse; duurzame elektriciteit
1809-03	Fabriek gaat afval omzetten in methanol	5(h)v	Brandstof; synthesesgas
1809-04I	Van het gas af met de NAM	3hv	Brandstof; waterstof; ammoniak
1810-03	Dieselboemeltjes worden vervangen door treinen op waterstof	5v	Brandstofcel; waterstof; brandstof
1810-04	Tempo maken met elektrochemie	5v	Waterstof; brandstof
1810-06II	Vattenfall begint met aanleg van fossielvrije staalfabriek	5hv	Waterstof; ijzerbereiding uit ijzererts
1810-10	Waterstof maakt opgang	5v	Elektrolyse; waterstof; brandstofcel; brandstof
1811-09	Groen ammoniak	5,6v	Waterstof; ammoniak; elektrolyse; groene stroom

Zie voor de bestelling van oude nummers/jaargangen van Chemie Aktyueel, de bijlage bij de e-mail met opgaven voor oktober 2018. Of vraag de bestelmogelijkheden aan via info@chemieaktueel.nl

Lege mindmap:

