

| Id  | Titel opgave                                                   | nr opg  | Klas     | Subdomein                              | Vaardigheid                     | Specificaties                                                         | Trefwoorden                                                                                                      | Vraagtype                 |
|-----|----------------------------------------------------------------|---------|----------|----------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1   | Printen met water                                              | 1406-1  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Verbrandingen, organische reacties                                    | Water-jet printer, hydrochrome stof, isomerie                                                                    | Informatiebewerkingsvraag |
| 2   | Argon in de ruimte                                             | 1406-2  | 4hv      | Deeltjesmodellen                       | Informatie                      | Structuurformules                                                     | Imazail, fungicide, grapefruit, milieu                                                                           | Informatiebewerkingsvraag |
| 3   | Schone kleding zonder palmolie                                 | 1406-3  | 5hv      | Duurzaamheid                           | Informatie                      | Uitspraken duurzaamheid (waarderen en becommentariëren)               | Wasmiddel, oppervlakte-actieve stof, cradle-to-cradle                                                            | Standpuntvraag            |
| 4   | Mosterdgas zoekt opruimdienst                                  | 1406-4  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Verbrandingen, organische reacties                                    | Sarin, chemisch wapen, Syrie, mosterdgas, detoxificatie, hydrolyse, MEA                                          | Informatiebewerkingsvraag |
| 5   | Minisynthesegenerator                                          | 1406-5  | 3v, 4hv  | Processen en reacties                  | Informatie                      | Beginstoffen en reactieproducten                                      | Minireactor, synthesegas, aardgas, methanol, reactievergelijkingen                                               | Informatiebewerkingsvraag |
| 6   | Imazail                                                        | 1406-6  | 4hv      | Deeltjesmodellen                       | Informatie                      | Structuurformules                                                     | Imazail, fungicide, grapefruit, milieu                                                                           | Informatiebewerkingsvraag |
| 7   | Zuurstof in ruimtestation ISS                                  | 1406-7  | 3hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Reactievergelijkingen                                                 | ISS, massaverhouding, scheidingsmethoden                                                                         | Informatiebewerkingsvraag |
| 8   | Radicale chemie                                                | 1406-8  | 5,6v     | Bindingen, structuren en eigenschappen | Informatie                      | Bindingen en uv-licht, micro-macro                                    | Radicaal, perfluortributylamine, methaan, broeikasgas, smog, ozon, milieu                                        | Informatiebewerkingsvraag |
| 9   | Arsen maakt waterstof                                          | 1406-9  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Elektrochemische cel                                                  | Arseniet, arsenaat, elektrolyse, chloor, radicaal, chloriet                                                      | Informatiebewerkingsvraag |
| 10  | Propyleenglycoldamp met nicotine                               | 1406-10 | 4hv      | Bindingen, structuren en eigenschappen | Informatie                      | Stofeigenschappen                                                     | e-sigaret, nicotine, glycol, glycerol, water, dampmiddel                                                         | Informatiebewerkingsvraag |
| 11  | Stabiele prestaties van suikerbieten                           | 1406-11 | 3hv      | Chemisch rekenen                       | Informatie                      | Percentages                                                           | Suikerbiet, suikergehalte, winbaarheid, biotencampagne                                                           | Informatiebegripsvraag    |
| 12  | Vier ozonvreters in atmosfeer                                  | 1406-12 | 5,6v     | Vakmethodes en veiligheid              | Informatie                      | Gaschromatografie, massaspectrometrie                                 | Clk's, ozonlaag, radicaal, milieu, ppt, gaschromatografie, massaspectrum                                         | Informatiebegripsvraag    |
| 13  | Zoek het polonium                                              | 1406-13 | 4,5v     | Deeltjesmodellen                       | Informatie                      | Atoommodel                                                            | Polonium, radioactiviteit, verval, atoombouw, uranium                                                            | Informatiebewerkingsvraag |
| 14  | Elektrisch uit afvalgas                                        | 1406-14 | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Energiebalans, stofkringloop                                          | Afvalgas, koolstofdioxide, elektriciteit, milieu                                                                 | Informatiebewerkingsvraag |
| 15  | Ik voorzie een CO <sub>2</sub> tekort                          | 1406-15 | 4hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Verbrandingen, elementkringloop                                       | CO <sub>2</sub> , milieu, kringloop, synthesegas, DME, brandstof                                                 | Informatiebegripsvraag    |
| 16  | Kevertruc verdedigt pinautomaten                               | 1408-1  | 5hv      | Energie                                | Informatie                      | Exotherm, reactiewarmte, energiediagram, katalysator                  | Waterstofperoxide, bomardeerkever, hydrochinon                                                                   | Informatiebewerkingsvraag |
| 17  | Superkatalysator zet CO <sub>2</sub> om in CO                  | 1408-2  | 5hv      | Energie                                | Informatie                      | Energiebalans, endotherm, duurzaamheid                                | CO <sub>2</sub> , CO, superkatalysator, nano, energiediagram, endotherm                                          | Informatiebegripsvraag    |
| 18  | Lignineprobleem opgelost                                       | 1408-3  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Zuur-base, organische reacties                                        | Biomassa, lignine, cellulose, fermentatie, PIL, DES, bio-ethanol                                                 | Informatiebewerkingsvraag |
| 19  | Serieus afbreekbaar bioplastic                                 | 1408-4  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie, Onderzoeken         | Polycondensatie, Practicum                                            | Glycerol, citroenzuur, bioafbreekbaar, hydrolyse                                                                 | Informatieselectievraag   |
| 20  | Goedkoop struviet                                              | 1408-5  | 4hv      | Bindingen, structuren en eigenschappen | Informatie                      | Stofeigenschappen, toepassing zout                                    | Struviet, osmose, membraan, drinkwater, meststof, milieu                                                         | Informatiebegripsvraag    |
| 21  | Productie duurzame energie stijgt, maar niet snel genoeg       | 1408-6  | 4hv      | Energie                                | Rekenen                         | Energiebehoed, Brandstoffen en duurzaamheid                           | Energie, hernieuwbare bron, milieu, PJ, W                                                                        | Informatiebegripsvraag    |
| 22  | Groene, goud, blond                                            | 1408-7  | 4hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Beginstoffen en reactieproducten                                      | Waterstofperoxide, groene methode, katalysator, nano, palladium, goud                                            | Informatiebegripsvraag    |
| 23  | Bodem boert CO <sub>2</sub> weer omhoog                        | 1408-8  | 5,6v     | Behoudswetten en kringlopen            | Redeneren mbt tot duurzaamheid  | Stofkringloop, elementkringloop                                       | Snelheidsvergelijking, CO <sub>2</sub> -opname en CO <sub>2</sub> -afgifte door de grond, priming, fotosynthese  | Informatiebewerkingsvraag |
| 24  | Meer ozon door alcoholauto                                     | 1408-9  | 5,6v     | Processen en reacties                  | Informatie                      | Analoge reacties ahv gegeven reactie beschrijven, organische reacties | Alcohol, radicaalreacties, ozon, duurzaamheid, waarborgen kwaliteit lucht                                        | Informatiebegripsvraag    |
| 25  | Contactlens Google meet bloedsuiker                            | 1408-10 | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Redoxreacties, werking enzym                                          | Contactlens, sensor, enzym, glucose, waterstofperoxide, diabetici                                                | Informatiebegripsvraag    |
| 26  | Robotpil kan injecties overbodig maken                         | 1409-1  | 4,5hv    | Ontwerpen                              | -                               | Programma van eisen                                                   | Robotpil, citroenzuur, natriumwaterstofcarbonaat, ontwerpdoc                                                     | -                         |
| 27  | Efficiënte elektrolysetechniek voor waterstofproductie         | 1409-2  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Redoxreacties, verbrandingen                                          | Elektrolyse, waterstof, energie, groene chemie, milieu                                                           | Informatiebewerkingsvraag |
| 28  | De kat op de tumor binden                                      | 1409-3  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Organische reacties, beginstoffen/reactieproducten                    | Katalysator, nano, tumor, palladium, alkyltering                                                                 | Informatiebewerkingsvraag |
| 29a | Wetenschappers maken ethanol uit koolstofmonoxide versie I     | 1409-4a | 5v       | Vaardigheden                           | Chemische processen             | Natuurwetenschappelijk instrumentarium                                | Elektrolyse, fermentatie, informatie selecteren, analyseren, weergeven                                           | Informatiebewerkingsvraag |
| 29b | Wetenschappers maken ethanol uit koolstofmonoxide versie II    | 1409-4b | 5v       | Chemische processen                    | Informatie                      | Elektrolyse                                                           | Fermentatie, CO, ethanol, acetaat, CuO elektrode, reactiewarmte, katalysator                                     | Informatiebewerkingsvraag |
| 30  | Onze slinkende energievoorraad                                 | 1409-5  | 4hv      | Chemisch rekenen                       | Informatie                      | Bekende chemische berekeningen                                        | Energie, autojaar, fossiele brandstof, milieu                                                                    | Informatiebegripsvraag    |
| 31a | Nu is pindaas of chocola al net zo slecht als tabak versie I   | 1409-6a | 5hv      | Vaardigheden                           | Chemie van het leven            | Informatie en communiceren                                            | AGE's, Maillard, aminozuur, glucose, suiker, informatie verzamelen, presenteren                                  | Informatiebewerkingsvraag |
| 31b | Nu is pindaas of chocola al net zo slecht als tabak versie II  | 1409-6b | 3-6hv    | Processen en reacties                  | Onderzoeken                     | Hydrolyse                                                             | Maillard, aromastoffen                                                                                           | -                         |
| 31c | Nu is pindaas of chocola al net zo slecht als tabak versie III | 1409-6c | 5,6v     | Processen en reacties                  | Informatie                      | Organische reacties                                                   | AGE's, Maillard, additie, hydrolyse, redox, aminozuur, glucose                                                   | Informatiebewerkingsvraag |
| 32  | Nieuw chemisch middel belooft revolutie in papierindustrie     | 1409-7  | 4,5hv    | Processen en reacties                  | Informatie                      | Stofeigenschappen, oplosbaarheid, allerlei mengsels                   | Papier, cellulose, lignine, scheiden, H-brug                                                                     | Informatiebewerkingsvraag |
| 33  | Solarjet maakt kerosine uit zonlicht                           | 1409-8  | 3hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Reactievergelijkingen, elementbehoed                                  | Endotherm, benzine, katalysator, Fischer-Tropsch                                                                 | Informatiebegripsvraag    |
| 34  | Power-to-gas-installatie                                       | 1409-9  | 5hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Redoxreactie, brandstofcel, verbrandingen                             | Groene chemie, duurzaam, brandstofcel, elektrolyse                                                               | Informatiebegripsvraag    |
| 35a | 3D geprinte fopframboos versie I                               | 1410-1a | 3,4hv    | Processen en reacties                  | Onderzoeken                     | Chemische kennis in voedselproductie                                  | Calciumlignaat, vruchtenkaviaar                                                                                  | -                         |
| 35b | 3D geprinte fopframboos versie II                              | 1410-1b | 5h; 5,6v | Bindingen, structuren en eigenschappen | Communiceren                    | micro-macro structuur                                                 | Presentatie, calciumlignaat, vruchtenkaviaar, cross-link                                                         | Informatiebewerkingsvraag |
| 36  | Hoewel zuurstof produceert een boom gemiddeld?                 | 1410-2  | 4,5hv    | Behoudswetten en kringlopen            | Informatie                      | Stofkringloop, elementkringloop                                       | Fotosynthese, groei, stofwisseling, rekenen                                                                      | Informatiebegripsvraag    |
| 37  | Planten maken groene stroom                                    | 1410-3  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Beginstoffen en reactieproducten                                      | Planten, Plant-E, groene stroom, fotosynthese, elektronenstroom                                                  | Informatiebegripsvraag    |
| 38  | Waar komt de batterij vandaan?                                 | 1410-4  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Batterijen, elektrochemische cel, redoxreacties                       | Batterij, accu, elektrochemische cel, halfreacties                                                               | Informatiebegripsvraag    |
| 39  | Nano-ui                                                        | 1410-5  | 5,6v     | Bindingen, structuren en eigenschappen | Informatie                      | Micro-macro, oplosbaarheid, hydrofiel, hydrofob                       | Janus, dendrimeer, dubbellaag                                                                                    | Informatiebewerkingsvraag |
| 40  | Centraal verwarmd nanodeeltje                                  | 1410-6  | 5,6v     | Bindingen, structuren en eigenschappen | Informatie                      | Macro-micro, biodegradeerbaarheid, polymeren, innovatieve processen   | Thermoplast, polycondensatie, lichtgevoeligheid, onderzoeken, gecontroleerde medicijnafgifte, laser, microniveau | Informatieselectievraag   |
| 41  | Gas uit licht en water                                         | 1410-7  | 5v       | Processen en reacties                  | Informatie                      | Verbrandingen, stofkringloop, elementkringloop, energiebalans         | CO <sub>2</sub> , methaan, brandstof, milieu, kringloop, rendement                                               | Informatiebewerkingsvraag |
| 42  | Doodzonde om op te stoken                                      | 1410-8  | 5,6v     | Processen en reacties                  | Informatie                      | Organische reacties, polymeren                                        | Lignine, bio-BTX, aromaaf, fenol, bio-based, vanilline, sinapylalcohol, kraken, atomeconomie                     | Informatieselectievraag   |
| 43  | Bioaromaten in opmars                                          | 1410-9  | 5,6v     | Processen en reacties                  | Informatie                      | Organische reacties, polycondensatie                                  | Bio-aromaaf, lignine, PET, GDCA, PEF                                                                             | Informatiebegripsvraag    |
| 44  | Kat maakt etheen van methaan                                   | 1411-1  | 5,6v     | Processen en reacties                  | Informatie                      | Beginstoffen en reactieproducten; organische reacties                 | Methaan, etheen, katalysator, brandstof, milieu                                                                  | Informatiebegripsvraag    |
| 45a | Oude accu wordt nieuwe zonnecel versie I                       | 1411-2a | 5v       | Industriële processen en Groene Chemie | Natuurwetensch. instrumentarium | Blokschema, structuren, video proces                                  | Spincoaten, duurzaam, accu, zonnecel                                                                             | Informatiebewerkingsvraag |
| 45b | Oude accu wordt nieuwe zonnecel versie II                      | 1411-2b | 5h       | Industriële processen en Groene Chemie | Natuurwetensch. instrumentarium | Blokschema, structuren, video proces                                  | Duurzaam, accu, zonnecel                                                                                         | Informatiebewerkingsvraag |
| 46c | Oude accu wordt nieuwe zonnecel versie III                     | 1411-2c | 5hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Zuur-base; redox                                                      | lood, Pb, PbO <sub>2</sub> , lood(II)jodide, salpeterzuuroplossing, ethaanzuuroplossing                          | Informatiebewerkingsvraag |
| 47  | Botten gemaakt van bier                                        | 1411-3  | 4hv      | Bindingen, structuren en eigenschappen | Informatie                      | Oplossen, hydrofiel, toepassing zout                                  | Botaangroei, bierborstel, verhoudingsformule, dubbelzout, zoutformule                                            | Informatiebegripsvraag    |
| 48  | Zonnepanelen produceren mierenzuur                             | 1411-4  | 3hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Beginstoffen en reactieproducten                                      | Koolstofdioxide, mierenzuur, reactievergelijking                                                                 | Informatiebewerkingsvraag |
| 49  | Tidelijke tatoeage haalt stroom uit zweet                      | 1411-5  | 5,6v     | Processen en reacties                  | Informatie                      | Elektrochemische cel                                                  | Pyruvaat, lactaat, chemisch rekenen                                                                              | Informatiebewerkingsvraag |
| 50  | Naar 50km op zoetjes, kaarsvet en lachgas                      | 1411-6  | 3hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Verbranding; beginstoffen en reactieproducten                         | Lachgas, raket                                                                                                   | Informatieselectievraag   |
| 51  | Krypton dateert eeuwig ijs                                     | 1411-7  | 4hv      | Deeltjesmodellen                       | Informatie                      | Atoommodel                                                            | Krypton, isotop, halfwaardetijd                                                                                  | Informatiebewerkingsvraag |
| 52  | Enzym duikt in furanen                                         | 1411-8  | 5,6v     | Processen en reacties                  | Informatie                      | Beginstoffen en reactieproducten; redoxreacties                       | Redox, HMF, FDCA                                                                                                 | Informatiebegripsvraag    |
| 53  | Te simpel                                                      | 1411-9  | 5,6v     | Processen en reacties                  | Informatie                      | Beginstoffen en reactieproducten; redoxreacties                       | Redox, HMF, FDCA, paraxyleen, koelen                                                                             | Informatiebegripsvraag    |
| 54  | Tot het laatste kooltje                                        | 1411-10 | 4hv      | Processen en reacties                  | Informatie                      | Beginstoffen en reactieproducten                                      | Steenkoolvergassing, milieu, CO <sub>2</sub>                                                                     | Informatiebegripsvraag    |



## HOE KAN DE ZON BRANDEN ALS ER GEEN ZUURSTOF IS IN DE RUIMTE?

|                   |                                                |
|-------------------|------------------------------------------------|
| Klas              | 4hv                                            |
| Subdomein         | Deeltjesmodellen                               |
| Vaardigheid       | Informatie                                     |
| Specificaties     | Atoommodel                                     |
| Trefwoorden       | Zon, kernfusie, waterstof, helium, massadefect |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                         |

Quest, november 2014

# Hoe kan de zon branden als er geen zuurstof is in de ruimte?

TEKST: ELLY POSTHUMUS

**S**teek maar eens een kleine kaars aan. En zet daar dan op de kop een glas overheen. Je zult zien dat de vlam snel aan zijn einde komt. De brandende kaars heeft alle zuurstof opgebruikt. Het is duidelijk: vuur brandt niet zonder zuurstof. Hoe doet de zon dat dan in het heelal waar geen zuurstof is?

### Gloed geeft licht

Het ziet er misschien zo uit. Maar in werkelijkheid staat de zon helemaal niet in vuur en vlam. 'Het oppervlak van de zon brandt namelijk niet', zo weet Ralph Wijers. Hij is hoogleraar hoge energie astrofysica aan Sterrenkundig Instituut Anton Pannekoek, een onderdeel van de Universiteit van Amsterdam. 'De zon geeft licht omdat hij gloeiend heet is, vergelijkbaar met een spijker die uit het vuur komt.' Ook de zogeheten zonnevlammen hebben niets met echte vlammen te maken. De zon is een gigantische hoeveelheid gas, vooral waterstof- en heliumgas. Wijers: 'Een zonnevlam is een uitbarsting van dat gloeiend hete gas dat van de zon af spuit.' Maar die hitte komt natuurlijk wel ergens vandaan. Hij ontstaat in de kern van de zon. Daar vindt wél verbranding plaats. Alleen is dat niet dezelfde soort verbranding met behulp van zuurstof zoals wij dat op aarde om ons heen zien.

### Kern smelt samen

De kern van de zon is in feite een grote kernreactor. Het is er met ongeveer 15 miljoen graden Celsius zo heet dat de elektronen van de atomen niet meer om de atoomkern cirkelen. Die kernen kunnen hierdoor met elkaar in botsing komen en samensmelten. De kernen van vier waterstofatomen fuseren tot één heliumatoom. Bij dit omzettingsproces komen zowel energie als hitte vrij. Daarom heet dit ook verbranding, ook al komt er geen grammetje zuurstof aan te pas.

De zon verbrandt zo'n 600 miljoen ton waterstof per seconde. Aangezien één heliumkern minder weegt dan de vier oorspronkelijke waterstofkernen, is er massa verdwenen. Die is omgezet in energie. Deze energie drijft langzaam naar de buitenkant van de zon en licht de boel daar roodgloeiend op.

Om de kernfusie op te starten was ooit heel veel energie nodig. 'De eerste hitte kwam vrij bij het ontstaan van de zon', legt Wijers uit. Sterren zoals onze zon ontstaan uit gigantisch grote wolken gas. Door de zwaartekracht stort zo'n gaswolk in tot een veel compactere gasbol. Wijers: 'Bij die instorting kwam enorm veel energie vrij.' Daarmee kon de kernfusie beginnen. En zodra hij op gang was, kon hij zichzelf in stand houden met de hitte die vrijkwam.

Het artikel begint met een eenvoudig proefje over 'gewone' verbranding. Dat proefje is niet correct weergegeven. Zou je de proef met het brandende kaarsje doen dan stopt de reactie al wanneer het volumepercentage zuurstof gedaald is tot onder 18%.

- 1 Wat is er fout in de beschrijving als je met het bovenstaande gegeven rekening houdt?
- 2 Wat staat er nog meer fout in de beschrijving in de eerste alinea?

- 3 Geef de reactievergelijking voor de volledige verbranding van kaarsvet met formule  $C_{18}H_{36}O_2$ .

Op de zon vindt een ander type reactie plaats.

- 4 Welke overeenkomst hebben de verbranding van een kaars en dat andere type reactie op de zon?

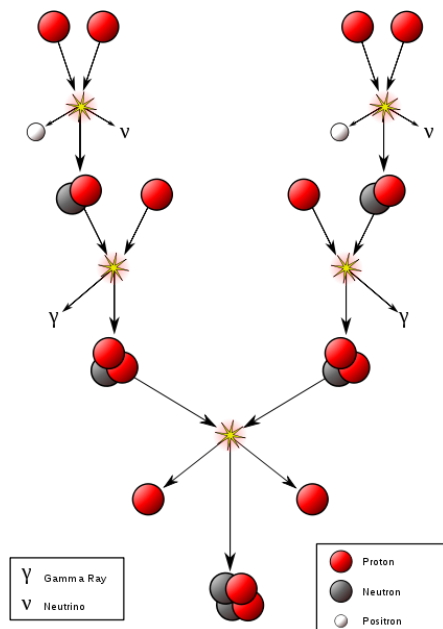
Het binnenste van de zon is een grote kernreactor.

- 5 Leg uit dat daar geen kernsplijting maar kernfusie plaatsvindt.

De beschreven kernfusiereactie lijkt niet te kloppen.

- 6 Leg uit wat er niet zou kunnen kloppen.

In werkelijkheid vindt een aantal kernreacties na elkaar plaats:



Bron: <http://www.visionair.nl/wetenschap/zonnestelsel/kernfusie-het-geheim-van-de-zon/>

Bij de eerste kernfusiereactie komen twee protonen bijeen waarbij 1 proton omgezet wordt in een neutron onder uitstoting van een positron en een neutrino.

- 7 Welke atoomkern ontstaat hierbij? Noteer het symbool met het massagetel.

In een tweede stap neemt de gevormde kern nog een proton op onder uitstoot van straling.

- 8 Welke atoomkern ontstaat hierbij? Noteer het symbool met het massagetel.

In een derde stap vormen twee van die ontstane kernen een nieuwe kern onder uitstoot van twee protonen.

- 9 Welke atoomkern ontstaat hierbij? Noteer het symbool met het massagetel.

- 10 Welke van de genoemde kernen zijn isotopen?

- 11 Laat nu zien dat de uitspraak dat vier waterstofkernen één heliumkern vormen toch juist is.

De zon 'verbrandt' zo'n 600 miljoen ton waterstofkernen per seconde. Bij de omzetting van waterstofkernen in een heliumkern gaat een heel klein beetje massa verloren, namelijk 0,7%.

- 12 Bereken het massadefect (= verlies aan massa) dat per seconde optreedt in de zon.
- 13 Bereken met behulp van de formule  $E = m \cdot c^2$  (m in kg) met hoeveel energie in Joule dat overeenkomt.
- 14 Vergelijk je uitkomst met de stookwaarde van waterstof uit Binas tabel 28B. Wat is je conclusie?

Een ster zoals onze zon brandt in totaal zo'n 10 miljard jaar. De zon is nu 4,5 miljard jaar oud.

- 15 Bereken hoeveel kg waterstof er in die 4,5 miljard jaar 'verbrand' is.

*Hoe kan de zon branden als er geen zuurstof is in de ruimte?*

- 1 Dat de brandende kaars alle zuurstof opgebruikt.
- 2 'Vuur brandt niet zonder zuurstof': vuur is een verbrandingsverschijnsel, de *stof* brandt.
- 3  $C_{18}H_{36}O_2 + 26 O_2 \rightarrow 18 CO_2 + 18 H_2O$
- 4 Er komt energie bij vrij.
- 5 Kernen smelten samen tot nieuwe kernen.
- 6 Vier H-atoomkernen betekent vier protonen. Een kern met vier protonen kan niet helium zijn.
- 7 H-2, dus waterstof met massagetal 2.
- 8 He-3, dus helium met massagetal 3.
- 9 He-4, dus helium met massagetal 4.
- 10 He-3 en He-4: hetzelfde aantal protonen maar een verschillend aantal neutronen.
- 11 Eerste stap: 4 H-1 kernen vormen 2 H-2 kernen. Tweede stap: 2 H-2 kernen nemen elk 1 H-1 kern op en vormen 2 He-3 kernen. Derde stap: 2 He-3 kernen vormen 1 He-4 kern en stoten 2 H-1 kernen uit. Netto reactie: 4 H-1 kernen vormen 1 He-4 kern.
- 12  $0,7\%$  van 600 miljoen ton = 4,2 miljoen ton =  $4,2 \cdot 10^9$  kg.
- 13  $E = m \cdot c^2 = 4,2 \cdot 10^9 \times (3,0 \cdot 10^8)^2 = 3,8 \cdot 10^{26}$  J.
- 14 De stookwaarde van waterstof is  $10,8 \cdot 10^6$  J  $m^{-3}$  (bij 273 K en  $p_0$ )  $\equiv 10,8 \cdot 10^6 \times 22,4 \cdot 10^{-3} = 2,94 \cdot 10^5$  J/mol  $H_2$ .  
Kernfusie levert per kg  $H_2$ :  $3,8 \cdot 10^{26} / 4,2 \cdot 10^9 = 9,0 \cdot 10^{16}$  J/kg. 1 kg  $H_2 \equiv 1000 / 2,016 = 4,96 \cdot 10^2$  mol  $H_2$ . Dus  $9,0 \cdot 10^{16}$  J/kg  $\equiv 9,0 \cdot 10^{16} / 4,96 \cdot 10^2 = 1,8 \cdot 10^{14}$  J/mol.  
Kernfusie levert per mol  $H_2$  ongeveer  $1,8 \cdot 10^{14} / 2,94 \cdot 10^5 = 6 \cdot 10^8$  maal zo veel energie
- 15  $4,5 \cdot 10^9 \times 365 \times 24 \times 3600 \times 600 \cdot 10^9 = 8,5 \cdot 10^{28}$  kg.

## CHEMISCH SPAAKWIEL

|                   |                                                                                               |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 5,6 v                                                                                         |
| Subdomein         | Bindingen, structuren en eigenschappen; Processen en reacties                                 |
| Vaardigheid       | Informatie                                                                                    |
| Specificaties     | Oplosbaarheid, geleidingsvermogen, analoge reactie ahv gegeven reactie; ruimtelijke structuur |
| Trefwoorden       | STM, molberekening; spaakwiel, geleiding; tetraëder                                           |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                                                                        |

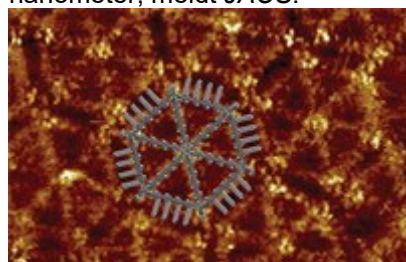
[www.c2w.nl](http://www.c2w.nl), 2 december 2014

# Chemisch spaakwiel

*Fotogeniek synthetisch hoogstandje*

Arjen Dijkgraaf

Duitse onderzoekers hebben het wiel opnieuw uitgevonden. Ze synthetiseerden een plat, bijna rond molecuul dat 1.878 koolstofatomen en 2.682 waterstofatomen bevat. De diameter is maar liefst 12 nanometer, meldt JACS.



De naaf van het wiel bestaat uit een benzeenring met zes fenytringen er omheen. Zowel de spaken als de velg zijn opgebouwd uit fenyleen-ethynyleen-butadiynyleen-oligomeren. Aan de buitenkant zitten 96 dodecyl-zijketens die zorgen voor compatibiliteit met organische oplosmiddelen.

Met *scanning tunneling microscopy* (STM) hebben Sigurd Höger en collega's van de universiteit van Bonn kunnen vaststellen dat het resultaat er inderdaad zo uit ziet als de bouwtekening, en dat de  $C_{1878}H_{2682}$ -wielen in staat zijn om op een plat oppervlak een honingraatachtig 2D-mozaïekje te vormen.

Tegenover *C&EN* geeft Höger toe dat de synthese waarschijnlijk veel te duur is om aan commerciële toepassingen te denken. Maar hij kan zich wel voorstellen dat je fullereenbollen kunt vastklemmen tussen de spaken, om die wat gemakkelijker te kunnen uittesten als elektronenvangers in organische zonnecellen.

De synthese van nóg grotere wielen, denk aan 20 nm diameter, moet volgens *C&EN* wachten totdat Höger zowel een geldschietster als een promovendus zo gek weet te krijgen. Voor de rest van de chemische monstertruck schijnt hij nog helemaal geen plannen te hebben. Misschien een idee voor Ben Feringa?

bron: *C&EN*

Een groot wielvormig molecuul, dat mag je gerust een 'chemisch hoogstandje' noemen!

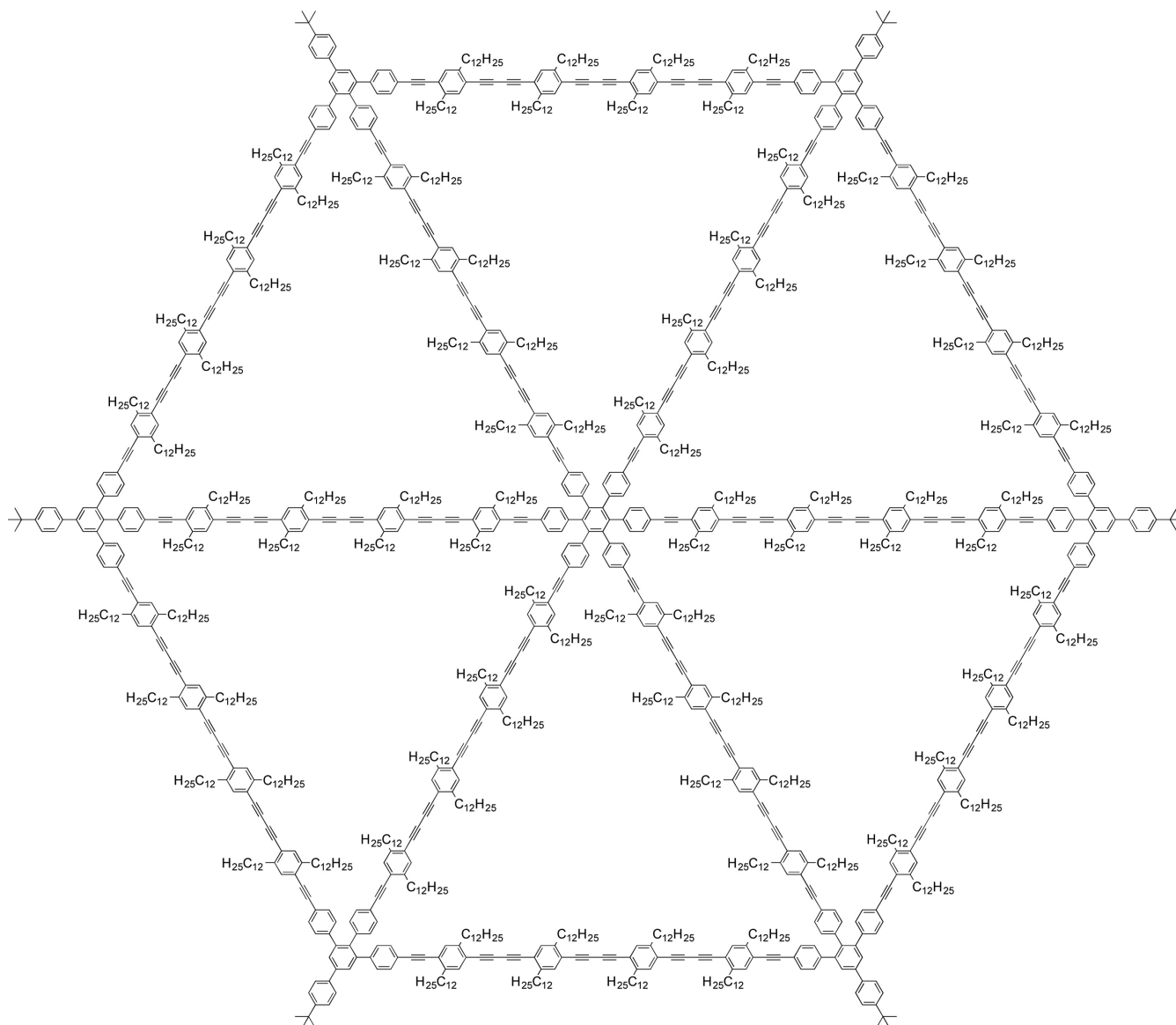
De Duitse onderzoekers schrijven in hun artikel in de JACS dat ze 12 mg van de stof hebben gemaakt.

1 Bereken hoeveel mol van het chemische spaakwiel dat is.

Er geldt 1 mol stof bevat  $6,0 \cdot 10^{23}$  moleculen.

2 Bereken hoeveel spaakwielen er zijn gemaakt.

In figuur 1 staat de molecuulstructuur van het chemische spaakwiel weergegeven.



Figuur 1 Structuurformule van het chemische spaakwiel

Bron: May (2014) *Molecular Spoked Wheel*, J. Am. Chem. Soc., 136 (48)

### De opbouw van het spaakwiel

In het artikel staat “De naaf van het wiel bestaat uit een *benzeenring met zes fenylingen*”, en ook “Zowel de spaken als de velg zijn opgebouwd uit *fenyleen-ethynyleen-butadiynyleen-oligomeren*.” en “Aan de buitenkant zitten 96 *dodecyl*-zijketens ...”.

In de bijlage staat figuur 1 nogmaals weergegeven.

3 Geef in de bijlage aan waar “de benzeenring met zes fenylingen” zit. Omcirkel het stukje uit de structuurformule en zet er bij “de benzeenring met zes fenylingen”

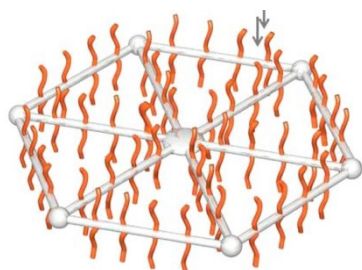
In de spaken en velgen kom je onder andere de term ethynyleen tegen: Hiermee geeft men de groep  $\text{-C}\equiv\text{C-}$  aan

- 4 Geef in de bijlage een “ethynyleen”groep aan. Omcirkel het stukje uit de structuurformule en zet er bij ethynyleen.
- 5 Geef in de bijlage een “fenyleen”groep aan. Omcirkel het stukje uit de structuurformule en zet er bij fenyleen.
- 6 Geef in de bijlage een “butadiynyleen”groep aan. Omcirkel het stukje uit de structuurformule en zet er bij butadiynyleen.
- 7 Geef in de bijlage een “dodecyl zijketen” aan. Omcirkel het stukje uit de structuurformule en zet er bij dodecyl.

Sigurd Höger en zijn collega's hebben vastgesteld dat het spaakwiel vlak is.

- 8 Leg uit (op basis van de structuurformule die in figuur 1 is afgebeeld) dat de spaken en velgen een vlakke structuur hebben, waardoor het ‘raamwerk’ van het chemische spaakwiel ook vlak is.

In figuur 2 is een model van het chemische spaakwiel weergegeven. De dodecylketens steken boven en onder het vlak uit en zijn als kronkels getekend.



Figuur 2

- 9 Leg met een ruimtelijke tekening uit waardoor de dodecylketens niet vlak kunnen zijn.
- 10 Leg uit waardoor die ketens niet in het vlak van het spaakwiel kunnen liggen.

In het artikel staat dat de dodecylzijketens “zorgen voor compatibiliteit met organische oplosmiddelen”. Compatibel wil zeggen “in staat om samen te gaan met”. Er bestaan zowel polaire als apolaire organische oplosmiddelen.

- 11 Leg uit met welk type organisch oplosmiddel de spaakwielmoleculen compatibel zal zijn.

#### *Het waarnemen van het spaakwiel*

Bron: Wikipedia

**Scanning tunneling microscopy (STM)** is een techniek waarmee men op atomaire schaal de topografie van een object kan bepalen. Het is rond 1980 ontwikkeld door wetenschappers van de IBM-onderzoekslaboratoria. De ontwikkeling was een grote revolutie, omdat de techniek de eerste microscopische techniek was die atomen werkelijk individueel in beeld kon brengen.

De *scanning-tunnelingmicroscop* of *rastertunnelmicroscop* werkt niet met golven of deeltjes die een afbeelding maken van een object, maar werkt met een naald (probe) waarvan de punt slechts een enkel atoom groot is. Deze naald wordt vlak boven het object gebracht. (...) Zodra dat het geval is treedt tunneling van elektronen op: elektronen kunnen door de ruimte tussen het object en de

naald tunnelen, en er begint een stroom te lopen.

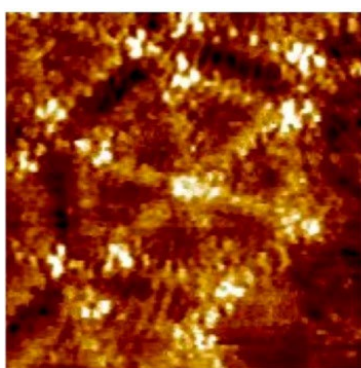
Om een beeld te maken wordt de naald in lijnen over het object bewogen; tijdens deze beweging wordt gepoogd de tunnelstroom constant te houden. De verticale beweging die daarvoor nodig is geeft een beeld van de bergen en dalen op het oppervlak van het object.

Om van scanning tunneling microscopy gebruik te kunnen maken, moet het object elektrisch geleidend zijn.

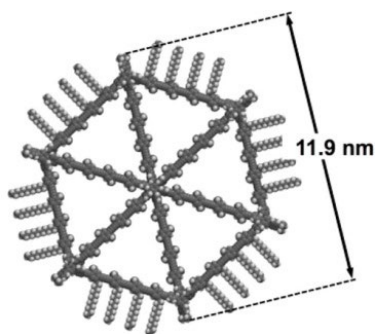
[http://nl.wikipedia.org/wiki/Scanning\\_tunneling\\_microscopy](http://nl.wikipedia.org/wiki/Scanning_tunneling_microscopy)

Om met STM het chemische spaakwiel te kunnen waarnemen, dient het spaakwiel dus elektrisch geleidend te zijn.

12 Leg uit waardoor het spaakwiel elektrisch geleidend is.



3a



3b

*Figuur 3a STM opname van spaakwiel*

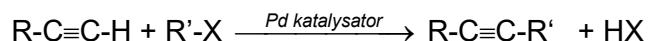
*Figuur 3b Tekening van spaakwiel (niet alle dodecylstaarten zijn getekend)*

In figuur 3a zie je een afbeelding van de STM opname.

13 Bereken aan de hand van figuur 3a en 3b hoeveel maal groter je het spaakwiel in de STM opname ziet ten opzichte van de werkelijke grootte.

*De vorming van het spaakwiel*

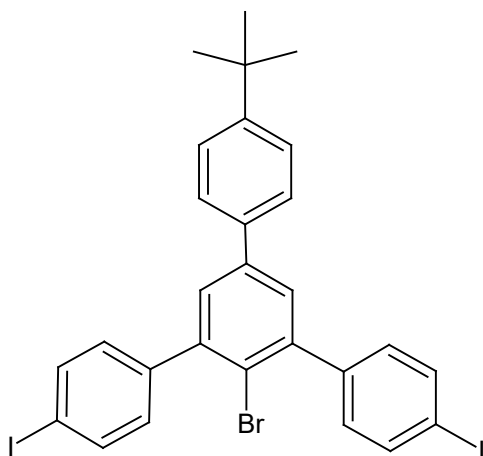
Bij de vorming van het spaakwiel wordt vaak gebruik gemaakt van de zogenoemde Sonogashira koppeling waarmee C-C bindingen worden gevormd (hieronder tussen een C-atoom en een C-atoom uit de R' koolwaterstofgroep):



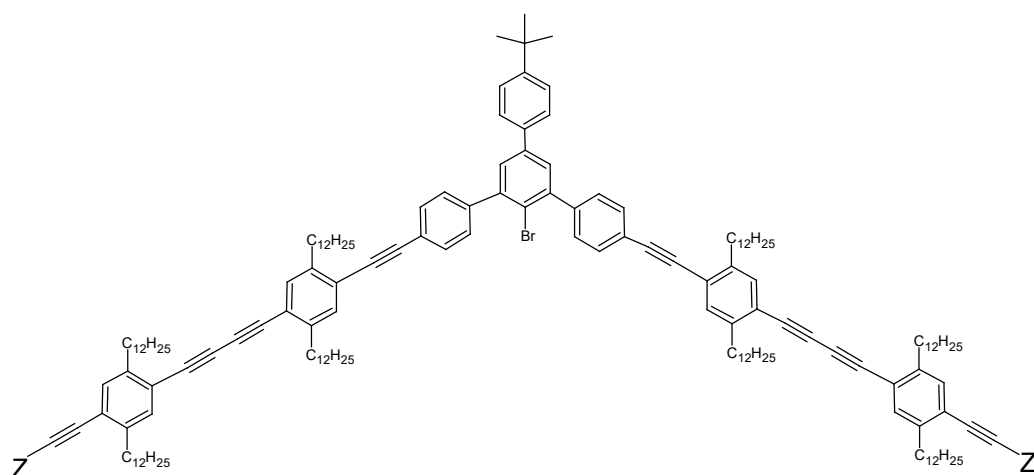
X : halogeenatoom

R en R': koolwaterstofgroepen

Om de hoekpunten van het spaakwiel te maken gaat men uit van verbinding I (figuur 4) waarmee verbinding II (figuur 5) gevormd wordt.



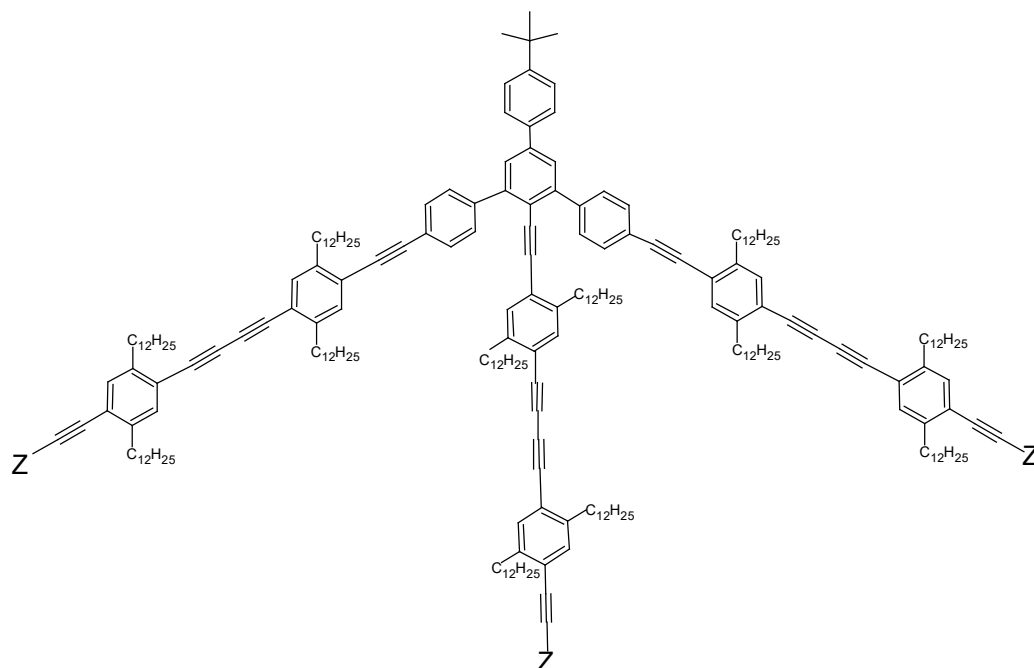
*Figuur 4 Verbinding I*



*Figuur 5 Verbinding II, Z is een beschermende groep*

- 14 Teken de structuurformule van de verbinding waarmee verbinding I moet reageren om verbinding II te vormen.

In een volgende stap wordt verbinding III (figuur 6), een spaak, gevormd. Ook hierbij is de koppelingsreactie de Sonogashira koppeling.

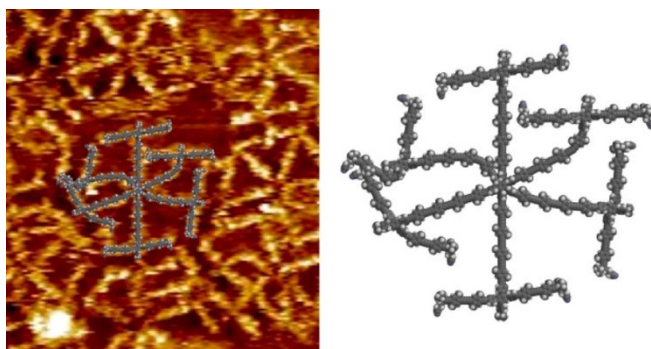


*Figuur 6 Verbinding III*

Bij de vorming van verbinding II reageren de twee jodide groepen van verbinding I. Voor de vorming van verbinding III reageert de bromide groep van verbinding I.

- 15 Leg uit of je hier conclusies uit kunt trekken met betrekking tot de snelheid van het verloop van de Sonogashiri koppeling en het type halogeenatoom dat een rol speelt.

Vervolgens wordt de stap naar de vorming van het wiel gemaakt door aan een centrale groep zes van de spaken te koppelen via de Sonogashiri koppeling. In figuur 7 is de STM opname afgebeeld met daarnaast een modelvoorstelling van het molecuul (waarbij de dodecylstaarten niet zijn afgebeeld)



*Figuur 7 Het wiel in wording (de dodecylstaarten zijn in het getekende model niet weergegeven)*

In figuur 1 is de structuurformule van het hele spaakwiel getekend, waarbij ook de “naaf” van het wiel is afgebeeld.

- 16 Teken de structuurformule van de centrale groep waarmee de spaken moeten koppelen.

In de toekomst zouden de onderzoekers misschien wielen kunnen maken met een diameter van 20 nm.

17 Leg uit of dat met dezelfde onderdelen van de spaken kan.

Voor het wiel dat Höger en collega's gemaakt hebben, wordt maar één mogelijke toepassing genoemd.

18 Is dit een steekhoudend argument om ook grotere wielen te gaan maken?

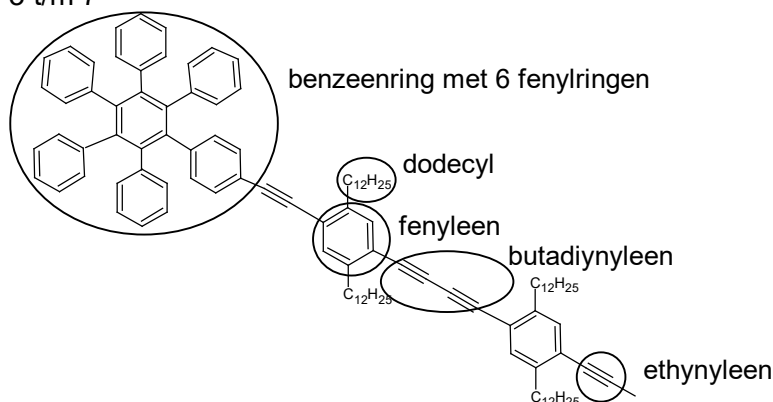
### Chemisch spaakwiel

1 Molmassa spaakwiel =  $1878 \times 12,01 + 2682 \times 1,008 = 25258 \text{ g/mol}$ .

$$12 \text{ mg} \equiv 0,012/25258 = 4,75 \cdot 10^{-7} \text{ mol}$$

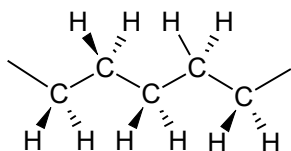
2  $4,75 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \equiv 4,75 \cdot 10^{-7} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 2,86 \cdot 10^{16} \text{ moleculen als een spaakwiel}$

3 t/m 7



8 De bestanddelen van het skelet van het spaakwiel zijn vlak: een benzeenstructuur is vlak,  $\text{-C}\equiv\text{C-}$  bindingen liggen in een rechte lijn (hoeken  $180^\circ$ ).

9 Rond een koolstofatoom in de dodecylgroep is de ruimtelijke rangschikking een tetraëder. Een stukje uit een dodecylstaart:



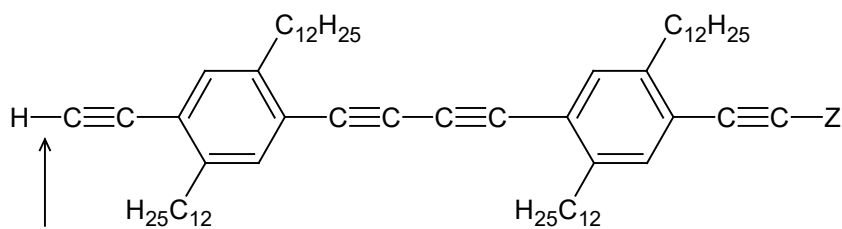
10 Ze zouden elkaar in het vlak tussen de spaken in de weg zitten. Sterische hindering.

11 De dodecylstaarten zijn apolair, het spaakwiel is erg symmetrisch en alleen opgebouwd uit C en H atomen: zal dus ook apolair zijn. Het zal het beste compatibel zijn met apolaire organische oplosmiddelen.

12 Het spaakwiel is elektrisch geleidend doordat de elektronen in de drievoudige bindingen en de benzeenringen allen geconjugeerd zijn. Dat wil zeggen er kan ladingtransport plaats vinden.

13 De diameter in figuur 3a is ongeveer 3,6 cm, de gemeten diameter in werkelijkheid is 11,9 nm. Vergroting is dus  $3,6 \cdot 10^{-2}/11,9 \cdot 10^{-9} = 3,0 \cdot 10^6$  maal.

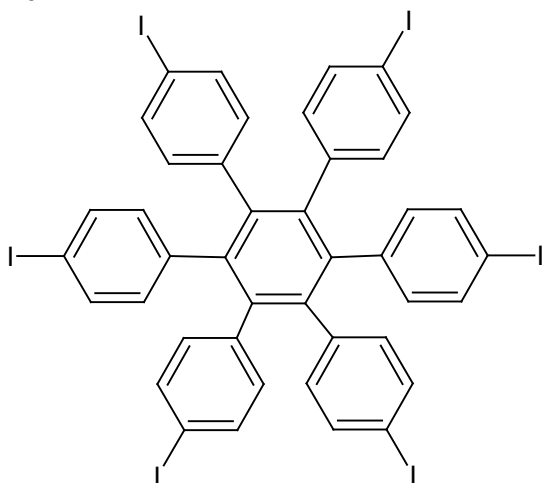
14



Hier vindt de koppeling plaats

15 Nee, want het kan zijn dat ze bij de eerste stap een katalysator gebruiken die wel reageert met een jodide groep maar niet met een bromide groep.

16



17 Ja, alleen zullen de spaken dan langer gemaakt moeten worden.

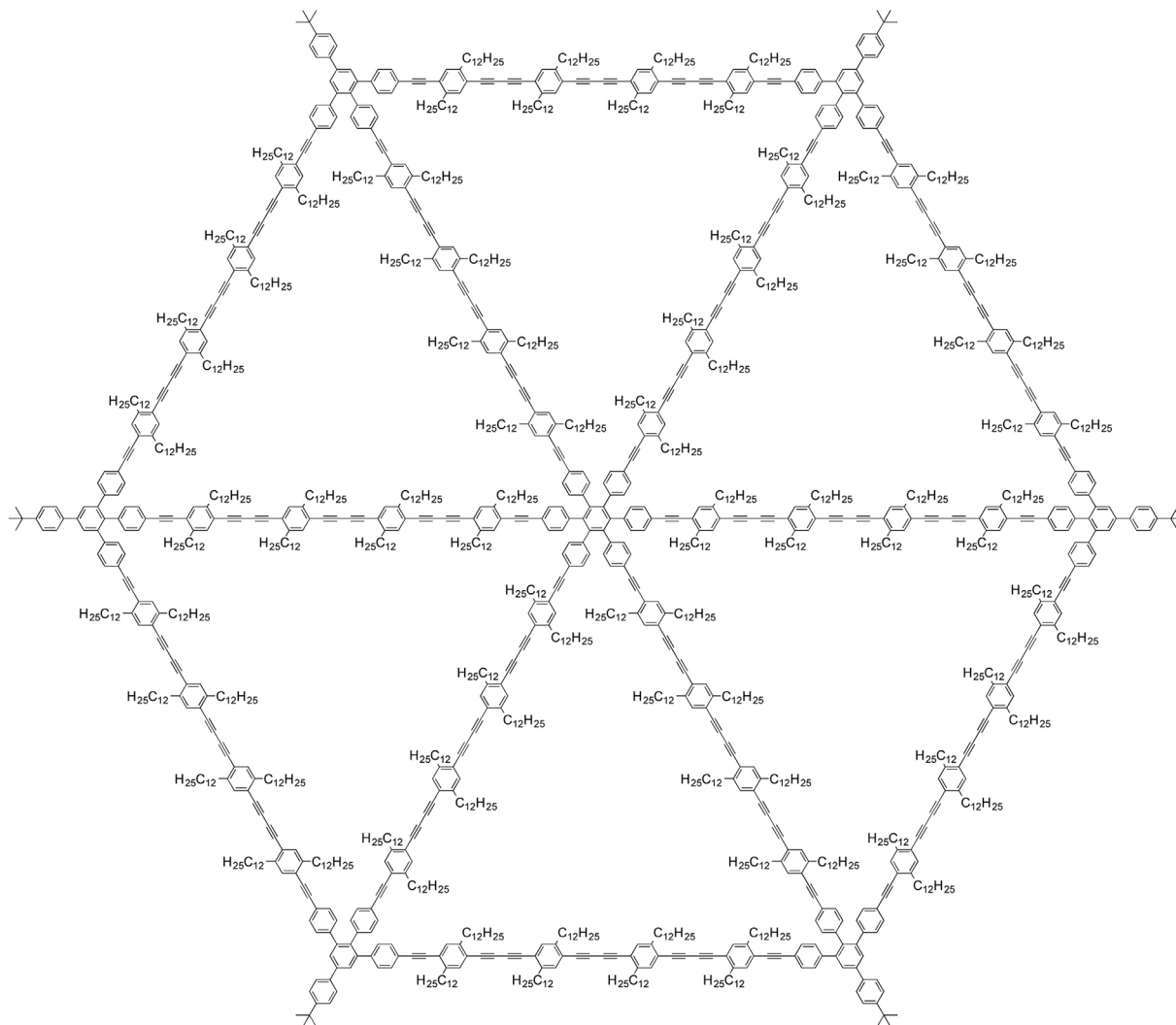
18 Misschien is het verstandig eerst de mogelijke toepassingen te onderzoeken. Daaruit zou kunnen blijken of er voor die toepassing behoefte is aan een groter wiel (met dus ook grotere openingen om de fullereenbollen in vast te klemmen).

Achtergrondinformatie

- [http://en.wikipedia.org/wiki/Sonogashira\\_coupling](http://en.wikipedia.org/wiki/Sonogashira_coupling)

- Robert May, Stefan-S. Jester\*, and Sigurd Höger *Giant Molecular Spoked Wheel*, *J. Am. Chem. Soc.*, 2014, 136 (48)

## Bijlage



## RECYCLING TANDPASTATUBES MET MAGNETRON

|                   |                                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------|
| Klas              | 4,5 hv                                              |
| Subdomein         | Duurzaamheid                                        |
| Vaardigheid       | Informatie                                          |
| Specificaties     | Uitspraken duurzaamheid, oordeel geven duurzaamheid |
| Trefwoorden       | Pyrolyse, gelamineerd aluminium, recycling          |
| Vaardigheidsvraag | Argumentenvraag                                     |

<http://www.duurzaambedrijfsleven.nl>, 4 december 2014

### Recycling tandpastatubes met magnetron



**Nestlé, Kraft Foods en Mondelez financieren een recyclinginstallatie die tandpastatubes in een paar minuten omzet in aluminium en brandstof.**

Dat meldt Edie.net. Tandpastatubes zijn gemaakt van een laminaat van plastic en aluminium. Dat maakt deze afvalstroom moeilijk recyclebaar.

De financiële steun van Nestle, Kraft Foods en Mondolez heeft geleid tot een installatie die 2.000 ton tubes per jaar kan verwerken. De terugverdientijd zou drie jaar zijn.

#### **Magnetron**

Het proces is gebaseerd op onderzoek door de University of Cambridge. De wetenschappers hebben een manier ontdekt om gelamineerd plastic via pyrolyse met microgolven te ontleden in schone aluminiumsnippers, olie en een aantal brandbare gassen.

De onderzoekers gebruikten voor hun studie een normale magnetron, maar vervingen de lucht in het apparaat door pure stikstof. Voor de pyrolyse was slechts twee minuten nodig op vol vermogen. De tandpastatubes bereikten daarbij een temperatuur van 600 graden en vielen uiteen in hun componenten.

Bekijk een filmpje over het proces op YouTube:

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

Gelamineerd aluminium is aluminium dat bedekt is met een laagje van een ander materiaal. Hier is dit plastic. Plastics worden meestal vervaardigd uit aardolieproducten. In de verpakkingsindustrie wordt vaak gebruik gemaakt van gelamineerd aluminium omdat het vele voordelen heeft boven alleen aluminium of alleen plastic. Het gelamineerd aluminium is

gering in gewicht in vergelijking met alleen aluminium. En het is goedkoop. Dit soort verpakkingen worden niet alleen voor tubes tandpasta gebruikt maar ook voor veel cosmetische producten, diervoeding en pakjes frisdrank. Er zijn echter ook nadelen. Het kost veel energie om aluminium te produceren en tot nu toe is het moeilijk om gelamineerd aluminium te recyclen.

- 1 Leg uit waardoor het tot nu toe moeilijk was om gelamineerd aluminium te recyclen.

De ontdekkingstocht naar deze nieuwe recycle methode begon met een broodje bacon dat te lang in de magnetron had gezeten en volkomen was verkoold. Het werd zelfs zó verhit dat het roodgloeiend in de magnetron lag. Er was een pyrolyse van de koolstofverbindingen opgetreden. Pyrolyse is een ontleding onder invloed van een hoge temperatuur zonder toevoer van zuurstof.

- 2 Leg uit of er een verschil is met thermolyse, een begrip dat je in de derde klas hebt geleerd.

Koolstof dat is ontstaan door pyrolyse absorbeert heel efficiënt de microgolven in een magnetron en draagt de energie over aan materialen waarmee het in contact is. Als het aanliggende materiaal plastic is, treedt er pyrolyse op van dit plastic. Het plastic pyrolyseert tot brandbare gassen, die gebruikt kunnen worden als brandstof.

- 3 Leg uit waarom het aluminium niet pyrolyseert.
- 4 Leg uit waarom het aluminium niet wordt omgezet in aluminiumoxide.

In het artikel ontbreekt een nogal belangrijk gegeven dat er voor zorgt dat het aluminium wordt teruggewonnen.

- 5 Welk gegeven is dit?

Uit een hoeveelheid van 5 ton van dit soort gelamineerd aluminium kan 250 kg zuiver aluminium worden geproduceerd. Het rendement van hergebruik wat betreft het aluminium is 100%.

- 6 Bereken het massa-percentages aluminium in de verpakking.

De dichtheid van plasticfolie is gemiddeld zo'n  $960 \text{ kg m}^{-3}$ .

- 7 Leg uit dat de bewering dat gelamineerd aluminium lichter is dan een verpakking van alleen aluminium juist is.

Enval, het bedrijf dat de eerste fabriek heeft voor deze recyclingsmethode, zegt dat door deze recycling alle stoffen worden teruggewonnen en dat daardoor het een volkomen duurzame methode is.

- 8 Geef een argument dat deze bewering ondersteunt.
- 9 Geef een argument dat deze bewering tegenspreekt.

Het onderzoek ontving subsidies van Nestlé, Kraft Foods en Mondelez.

- 10 Bedenk een reden waarom dit soort bedrijven juist voor dit onderzoek subsidies verlenen.

Zelfs zonder deze recyclmethode is het milieutechnisch gezien beter om deze gelamineerde producten te gebruiken omdat ze in vergelijking met nieuw maken van glas en zuiver aluminium weinig materiaal én energie kosten om te produceren.

- 11 Geef een argument dat ervoor pleit om deze recyclmethode op grote schaal toe te passen in plaats van het storten van dit soort producten.

### *Recycling tandpastatubes met magnetron*

- 1 De verpakking bestaat uit twee totaal verschillende materiaalsoorten. Beide types hebben een volkomen andere manier van recyclen.
- 2 Nee, thermolyse is ontleden onder invloed van verhitten. De manier van verhitten is in dit geval verschillend, omdat hier de energie wordt overgedragen door het koolstof, dat de microgolven heeft geabsorbeerd.
- 3 Aluminium is een niet-ontleedbare stof. Deze kan niet ontleden.
- 4 Er is alleen stikstof in de magnetron aanwezig. Het aluminium kan niet ontbranden.
- 5 In het artikel wordt niet gesproken over het overdragen van de energie door gloeiende koolstof.
- 6  $250 / 5 \cdot 10^3 \times 100\% = 5\%$
- 7 De dichtheid van aluminium is  $2700 \text{ kg m}^{-3}$ . Deze dichtheid is veel groter dan de dichtheid van plastic, dus gemiddeld is het gelamineerde aluminium lichter dan zuiver aluminium.
- 8 Het aluminium wordt teruggewonnen. Je zou kunnen zeggen dat het plastic is gemaakt uit aardolieproducten. Er worden brandbare gassen teruggewonnen, die als brandstof kunnen dienen. Aardolie levert ook brandbare gassen die als brandstof kunnen dienen.
- 9 Het zou nog veel duurzamer zijn, als je de gassen die ontstaan weer zou kunnen omzetten in plastic.
- 10 Het zijn voedingsproducenten die goede, goedkope verpakkingen nodig hebben voor de houdbaarheid van hun voedsel. Zo dragen zij bij aan duurzaamheid.
- 11 Het kost veel energie om aluminium te produceren. Je wint zo al het aluminium terug. Je bespaart op grondstoffen én energiekosten. Ook het plastic heeft in ieder geval nog één leven als brandstof. Je verhoogt de duurzaamheid van het product.

Artikel:

<http://www.duurzaambedrijfsleven.nl/71672/recycling-tandpastatubes-met-magnetron/> ,

## VITAMINE C

|                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| Klas              | 5v                                   |
| Subdomein         | Processen en reacties                |
| Vaardigheid       | Informatie                           |
| Specificaties     | Redox                                |
| Trefwoorden       | Vitamine C, ADH, gehalte, experiment |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag               |

New Scientist, november 2014



70

milligram vitamine C hebben we nodig per dag. Dat is één sinaasappel

### Vitamine C

Vitamine C is het populairste jongetje uit de vitamineklas. Maar tenzij je een militaire training ondergaat in de buurt van de poolcirkel, zal een dagelijks vitamine C-tablet de verkoudheid niet buiten de deur houden. En anders dan sommigen beweren, biedt zo'n tablet ook geen bescherming tegen kanker.

Omdat ons lichaam zelf geen vitamine C aanmaakt, moeten we zorgen dat we het binnenkrijgen. Vitamine C helpt bij de opname van ijzer en bij de aanmaak van collageen, het eiwit dat ervoor zorgt dat wonden genezen. Wanneer je er niet genoeg van binnenkrijgt, val je net als de zeevaarders van weleer ten prooi aan scheurbuik: een ziekte die begint met bloedend tandvlees en eindigt met een pijnlijke dood.

Volwassenen hebben dagelijks ongeveer 70 milligram nodig, een hoeveelheid die gemakkelijk binnen is te krijgen door voedingsmiddelen als paprika's, broccoli en aardbeien te eten. Ook een enkele sinaasappel is al genoeg om de dagelijkse

behoefte te dekken. Zelfs dierlijke producten als levers en oesters zijn een goede bron van vitamine C.

Dat we denken dat extra vitamine C helpt tegen verkoudheid, is de schuld van chemicus en Nobelprijswinnaar Linus Pauling. Pauling raakte geobserveerd door de in zijn ogen wonderbaarlijke geneeskrachtige eigenschappen van het spul. Helaas is de wetenschappelijke werkelijkheid ontvullender. Uit recent onderzoek blijkt dat het innemen van 200 milligram vitamine C per dag een gunstige uitwerking heeft op het verloop en de duur van de verkoudheid, maar dat er geen preventieve werking vanuit gaat. Tenzij je een marathonloper, professioneel skiër of soldaat bent, die traint in extreme kou.

Een extra dosis vitamine C kan gelukkig ook geen kwaad, maar heel grote doses kunnen leiden tot diarree, brandend maagzuur en andere problemen. De aanbevolen dagelijkse limiet is ongeveer 2000 milligram.

Pauling dacht ook dat vitamine C kanker kon genezen. Er bestaat inderdaad enig anekdotisch bewijs dat kankerpatiënten dankzij hoge doses vitamine C langer leefden dan voorspeld, maar het is onmogelijk vast te stellen of dit echt aan de vitamine te danken was. Grootschalig onderzoek naar de preventieve werking van vitamine C is vernietigend gebleken. Men vond geen enkel bewijs dat de stof het risico op kanker vermindert.

Of zoals epidemioloog John Potter van het Amerikaanse Fred Hutchinson Cancer Research Center het zegt: 'Mijn interpretatie van de gegevens is dat vitamine C in de meeste gevallen, waaronder kanker, van nul en generlei waarde is.'

**OORDEEL** Vitamine C helpt niet bij het vermijden van verkoudheid, maar het dagelijks innemen van een supplement kan wel het herstel bevorderen waardoor de verkoudheid minder lang duurt.



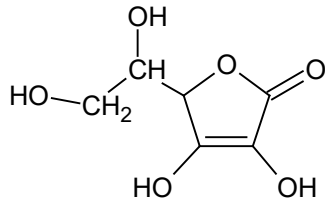
Bijna iedereen kent vitamine C, het is "het populairste jongetje uit de vitamineklas". De ADH is 70 mg per dag

- 1 Waarom moet ons lichaam vitamine C binnen krijgen?
- 2 Noem twee belangrijke functies van vitamine C in ons lichaam.
- 3 Waar staat de afkorting ADH voor?

Het fabeltje dat extra vitamine C tegen verkoudheid helpt, leeft nog steeds voort bij veel mensen.

- 4 Wat heeft wetenschappelijk onderzoek betreffende de werking van vitamine C tegen verkoudheid opgeleverd?
- 5 Welke grens voor de vitamine C inname wordt opgegeven?
- 6 Hoeveel sinaasappels zou je dagelijks moeten eten om aan die grens te komen? Geef de berekening.

Vitamine C heet ook wel ascorbinezuur. De molecuulformule is  $C_6H_8O_6$ ; de structuurformule:



7 Leg uit waardoor vitamine C zo goed oplosbaar is in water.

Eén sinaasappel zou voldoende vitamine C bevatten om aan de ADH te voldoen. Maar dan moet je het vitamine C gehalte wel kunnen bepalen.

- 8 Zoek op internet een proefbeschrijving om het gehalte vitamine C in een sinaasappel te kunnen bepalen.
- 9 Herschrijf de proefbeschrijving tot een werkplan om het gehalte vitamine C in een sinaasappel te bepalen.
- 10 Bespreek je werkplan met je docent/TOA, voer de proef uit en maak een verslag van je bevindingen.

### Vitamine C

- 1 We hebben het nodig voor processen in ons lichaam en ons lichaam maakt het zelf niet aan.
- 2 Vitamine C helpt bij het opnemen van ijzer en het aanmaken van collageen.
- 3 ADH geeft de dagelijkse dosis aan die je minimaal moet innemen.
- 4 Het heeft geen preventieve werking op het oplopen van een verkoudheid. Het zorgt er wel voor dat je sneller van een verkoudheid herstelt.
- 5 2000 mg.
- 6  $2000/70 = 28$  sinaasappels.
- 7 Een vitamine C molecuul heeft verhoudingsgewijs heel veel OH-groepen die met watermoleculen H-bruggen kunnen vormen.

8,9,10 Proefbeschrijving te vinden op: <http://www.scholieren.com/praktische-opdracht/18168>

### Extra (in te voegen na vraag 7) in plaats van het practicum

Bij de bepaling van het vitamine C gehalte maak je gebruik van een kaliumjodaatoplossing van bekende molariteit. In zuur milieu worden jodaationen omgezet in joodmoleculen na toevoeging van een kaliumjodide-oplossing.

- 8 Stel de halfreactie van de omzetting van jodaationen in zuur milieu op.
- 9 Stel de halfreactie van de omzetting van jodide-ionen in jood op.
- 10 Stel de totaalvergelijking op.

De gevormde jood reageert met vitamine C tot  $C_6H_6O_6$  en een HI-oplossing.

- 11 Geef de reactievergelijking van deze reactie.
- 12 Leg uit dat uit de beide reacties volgt dat 1 mol jodaationen overeenkomt met 3 mol vitamine C.

De kleinste vitamine C tablet bevat tegenwoordig 70 mg vitamine C.

- 13 Laat via een berekening zien dat de tablet voldoende vitamine C bevat als voor de bepaling 13,74 mL 0,0100 M  $KIO_3$ -oplossing nodig is geweest.

### Uitwerking

- 8  $2 IO_3^- + 12 H^+ + 10 e^- \rightarrow I_2 + 6 H_2O$ .
- 9  $2 I^- \rightarrow I_2 + 2 e^-$ .
- 10  $IO_3^- + 6 H^+ + 5 I^- \rightarrow 3 I_2 + 3 H_2O$ .
- 11  $C_6H_8O_6 + I_2 \rightarrow C_6H_6O_6 + 2 H^+ + 2 I^-$ .
- 12 Uit de reactie van vraag 10 volgt dat 3 mol jood is ontstaan uit 1 mol jodaationen. Deze 3 mol jood reageert met 3 mol vitamine C via de reactie bij vraag 11. Dus 1 mol jodaationen komt overeen met 3 mol vitamine C.
- 13  $13,74 \times 0,0100 = 0,1374$  mmol jodaationen  $\equiv 3 \times 0,1374$  mmol vitamine C = 0,4122 mmol vitamine C  $\equiv 0,2952 \times 176,224 = 72,6$  mg vitamine C in de tablet aanwezig.

## DE SUIKERBIET ALS HET NIEUWE GOUD

### Versie I

|                   |                                                                       |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 3 hv                                                                  |
| Subdomein         | Vaardigheden                                                          |
| Vaardigheid       | Natuurwetenschappelijk instrumentarium                                |
| Specificaties     | Informatie selecteren, informatie analyseren, informatie structureren |
| Trefwoorden       | Suikerbiet, polymelkzuur, PLA, blokschema                             |
| Vaardigheidsvraag | Informatieselectievraag, informatiebewerkingsvraag                    |

### Versie II

|                   |                                                                                                |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 4,5 hv                                                                                         |
| Subdomein         | Vaardigheden                                                                                   |
| Vaardigheid       | Natuurwetenschappelijk instrumentarium                                                         |
| Specificaties     | Informatie selecteren, informatie analyseren, informatie structureren                          |
| Trefwoorden       | Suikerbiet, polymelkzuur, toepassingen PLA, blokschema, reactievergelijkingen, groen, duurzaam |
| Vaardigheidsvraag | Informatieselectievraag, informatiebewerkingsvraag                                             |

*Brabants Dagblad, 4 december 2014*

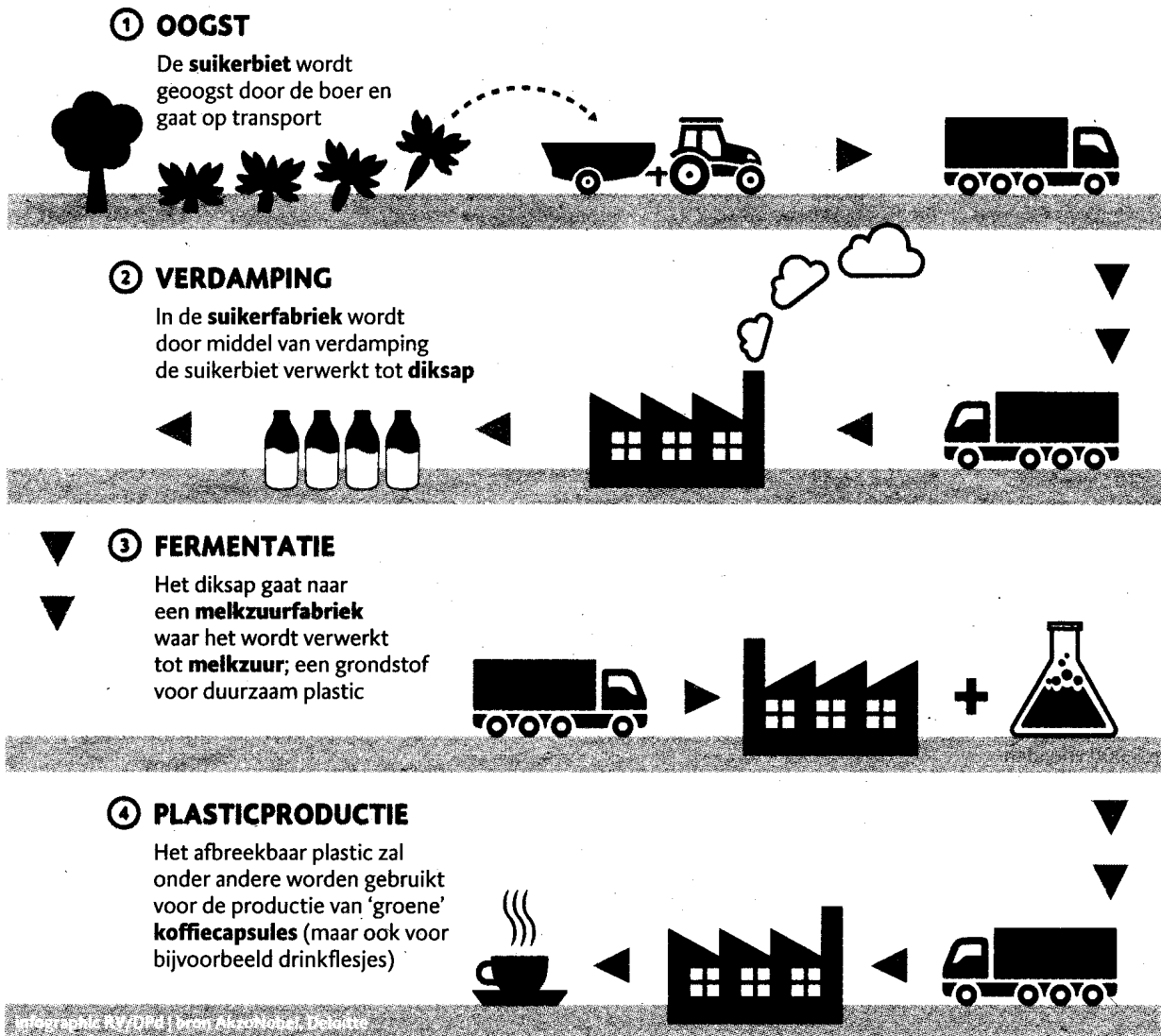
# De suikerbiet als het nieuwe goud

Bioplastic uit suikerbieten: bedrijven  
geloven erin en willen honderden  
miljoenen investeren in nieuwe fabrieken

Binnen drie maanden moet duidelijk zijn of het rendabel is om in Delfzijl een fabriek te bouwen voor de productie van chemicaliën, gewonnen uit suikerbieten. Als het lukt gaat die fabriek van AkzoNobel onder meer biologisch afbreekbaar plastic produceren. Het haalbaarheidsonderzoek wordt uitgevoerd door Deloitte, in samenwerking met onder meer Suiker Unie.

**De suikerbietenproductie in  
Nederland kan na het verdwijnen  
van de bietenquotering met 14%  
stijgen. Nu is het areaal omstreeks  
75.000 hectare**

## PRODUCTIE VAN CHEMICALIËN OP BASIS VAN UIT BIETEN GEWONNEN SUIKER



### Versie I

In het artikel staat zeer schematisch weergegeven hoe je van suikerbieten afbreekbaar plastic maakt. Een schema waarmee de krantenlezer een indruk krijgt van het productieproces van suikerbiet tot afbreekbaar plastic.

In de onderstaande bronnen staat informatie over het verwerken van de bieten en het productieproces van polymelkzuur:

- <http://www.suikerunie.nl/Productieproces.aspx>
- <http://www.tiensesuikerraffinaderij.com/nl-BE/Hoe-we-werken/Productieproces>
- <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Bioplastics%20PLA%20eigenschappen.pdf>
- <http://www.scheikundeinbedrijf.nl/Mediatheek/Kenniskaart/index.rails?id=5>
- [http://www.ecopha.com/poly\(lactic\\_acids.html\)](http://www.ecopha.com/poly(lactic_acids.html))
- <http://www.kennislink.nl/publicaties/polymelkzuur-van-suiker-tot-chirurgisch-hechtmateriaal>

Maak naar aanleiding van het schema uit het krantenartikel en de informatie uit bovenstaande bronnen een blokschema van het productieproces van suikerbiet tot polymelkzuur.

### *Versie II*

In het artikel staat een sterk vereenvoudigde schematische weergave hoe je van suikerbieten afbreekbaar plastic maakt. Een schema waarmee de krantenlezer een indruk krijgt van het productieproces van suikerbiet tot afbreekbaar plastic. In het schema staat tevens vermeld dat het om een duurzaam plastic gaat en wordt de term 'groen' gebruikt. Het processchema in de krant is voor een leek leesbaar, maar is natuurwetenschappelijk gezien erg beperkt.

Als medewerker van een nieuw op te zetten bedrijf waar suiker verwerkt gaat worden tot polymelkzuur (PLA), ga jij een presentatie houden voor een groep leerlingen uit 5 vwo. In deze presentatie ga je in op het productieproces (blokschema) en de vergelijkingen van de reacties die tijdens het proces verlopen. Ook licht je toe welke toepassingen voor polymelkzuur mogelijk zijn en waarom je aan polymelkzuur(producten) de termen duurzaam en groen kunt koppelen.

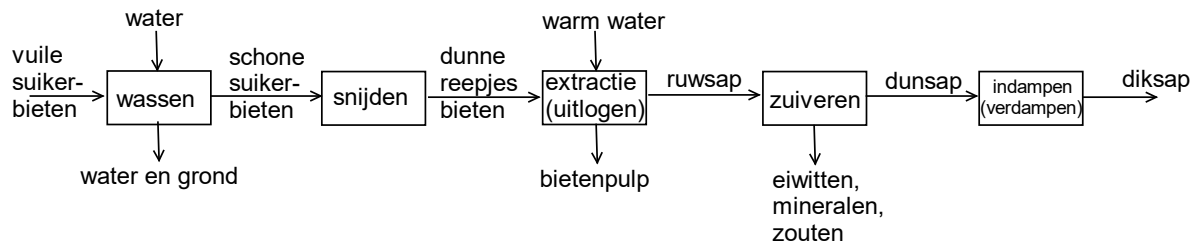
### *Woordenlijst*

|              |                      |
|--------------|----------------------|
| Diksap       | Molasse              |
| Melkzuur     | Lactic acid          |
| Polymelkzuur | Polylacticacid (PLA) |

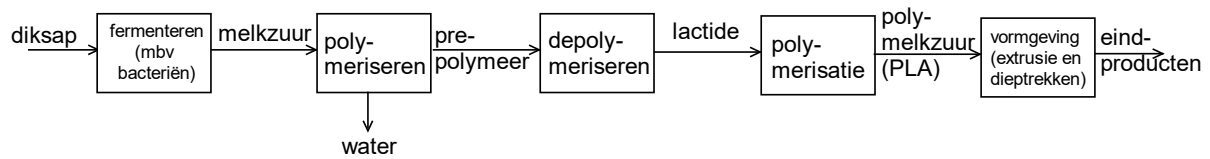
- 1 Ga op zoek naar bronnen om informatie te verzamelen voor je presentatie.
- 2 Noteer deze bronnen en geef aan waarom jij van mening bent dat de bron bruikbare informatie levert.
- 3 Maak een presentatie van maximaal 5 slides, met daarin het productieproces, de reactievergelijkingen tijdens het proces, mogelijke toepassingen en toelichting van de termen duurzaam en groen in relatie met de productie van polymelkzuur en een lijst van je gebruikte bronnen met verantwoording voor de keuze.

## De suikerbiet als het nieuwe goud

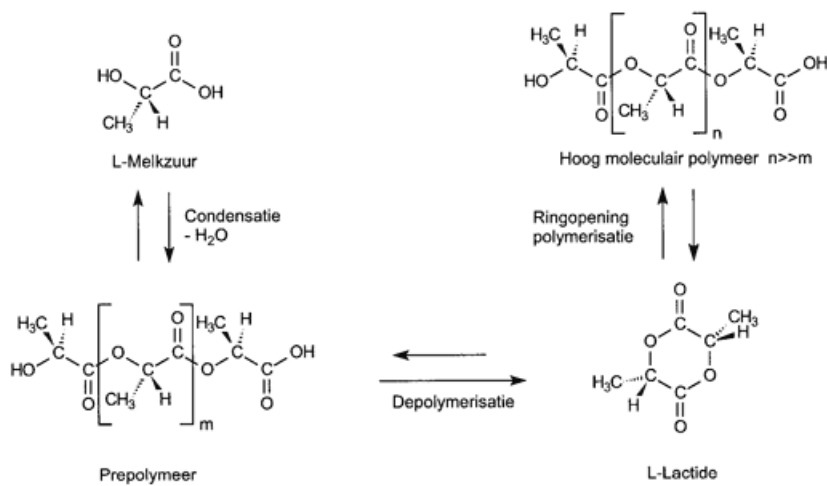
A van suikerbiet tot diksap



B van diksap tot polymelkzuur



## Omzettingen



Bron: <http://www.kennislink.nl/publicaties/polymelkzuur-van-suiker-tot-chirurgisch-hechtmateriaal>

## TEFLON HELPT PALLADIUM

|                   |                                           |
|-------------------|-------------------------------------------|
| Klas              | 5 v                                       |
| Subdomein         | Bindingen, structuren en eigenschappen    |
| Vaardigheid       | Informatie                                |
| Specificaties     | Roosters en bindingen;                    |
| Trefwoorden       | Palladium; teflon; waterstof, katalysator |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                    |

C2W, 24 oktober 2014

### TEFLON HELPT PALLADIUM

Een nanodun antiaanbaklaagje versnelt de adsorptie van waterstof door palladium. Dat kan handig zijn om die waterstof op te slaan, schrijven Bernard Dam, Louis de Smet en collega's van de TU Delft in *Angewandte Chemie*. Bij die adsorptie valt  $H_2$  uiteen in losse H's, die verder in het Pd-kristalrooster kunnen dringen. Komt er  $O_2$  langs, dan wordt dat eveneens gesplitst; de waterstof wordt weer gedesorbeerd en er vormt zich water. Een 'opgesputterd' laagje teflon (PTFE) van tien nanometer dik, waar  $H_2$ ,  $O_2$  en  $H_2O$  vrijwel ongehinderd doorheen gaan,

blijkt de kinetiek van die processen sterk te versnellen. Metingen met röntgenfotoelektronspectrometrie (XPS) doen vermoeden dat op het oppervlak bindingen ontstaan tussen palladium en fluor, terwijl de koolstof zich iets dieper nestelt. Allicht komen daardoor elektronen op andere energieniveaus terecht, wat kennelijk gunstig uitpakt voor de katalyse. De Delftenaren ontdekten het tijdens onderzoek naar een waterstofsensoren op yttriumbasis, waar palladium op zit als  $H_2$ -specifiek filter en PTFE als hydrofobe deklaag. Mét die laag reageert de sensor veel sneller.

Palladium, Pd, is een metaal. Waterstofatomen kunnen het kristalrooster van palladium binnen dringen nadat ze zijn geadsorbeerd.

- 1 Geef de reactievergelijking die bij de adsorptie van waterstof plaatsvindt.
- 2 Leg uit waardoor waterstofatomen dieper in het kristalrooster kunnen doordringen. Ondersteun je uitleg met gegevens uit Binas tabel 40A.

In het kristalrooster ontstaat een binding tussen waterstofatomen en palladiumatomen.

- 3 Welk type binding verwacht je? Licht je antwoord toe.

Als daarna zuurstof langs het palladiumoppervlak komt, wordt dat eveneens gesplitst in atomen.

- 4 Geef deze reactie weer.
- 5 Welke reactie vindt daarna plaats? Geef de vergelijking.
- 6 Welke functie vervult het palladium in dit proces? Licht je antwoord kort toe.

Een laagje teflon van tien nanometer dik versnelt het proces sterk.

- 7 Hoe dik is de laag uitgedrukt in mm?
- 8 Wat zegt het over het rooster/de structuur van de teflonlaag dat waterstof-, zuurstof- en watermoleculen vrijwel ongehinderd door die laag heen gaan?

Teflon is een polymeer dat vaak als antiaanbaklaag toegepast wordt.

- 9 Zoek in Binas de rationele naam van teflon en noteer die naam.

10 Teken de structuurformule van een stukje uit het midden van een teflonmolecuul.

Het versnellend effect op de reactie wordt verklaard door de oriëntatie van de atomen in de opgebrachte (opgesputterde) teflonmoleculen.

11 Hoe wordt die oriëntatie van de atomen verondersteld?

Door die andere oriëntatie van de atomen vindt een verandering plaats die gunstig uitvalt voor de katalyse van de reactie.

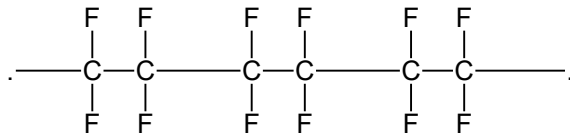
12 Leg uit dat palladium makkelijker een binding aangaat met fluoratomen van het teflon dan met koolstofatomen van het teflon.

13 Leg uit dat reacties sneller verlopen als elektronen op een ander energieniveau komen. Leg daarbij tevens uit of elektronen daarvoor op een hoger of lager energieniveau moeten komen te zitten.

### *Teflon helpt palladium*

- 1  $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{H}$ .
- 2 H-atomen zijn zo klein dat ze tussen de palladiumatomen door dieper de structuur in kunnen bewegen. Straal Pd:  $138 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ ; H:  $30 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ .
- 3 Ionbinding: metaal en niet-metaal.
- 4  $\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{O}$ .
- 5  $2 \text{H} + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ .
- 6 De functie van katalysator: het zorgt dat een reactie sneller/beter verloopt zonder daarbij verbruikt te worden.
- 7  $10 \text{ nm} = 10 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-5} \text{ mm}$ .
- 8 Tussen de teflon moleculen zit zoveel ruimte dat de genoemde moleculen door de ruimtes tussen de teflon moleculen heen kunnen bewegen.
- 9 Polytetrafluoretheen.

10



- 11 Aan het oppervlakte ontstaan bindingen tussen palladiumatomen en fluoratomen terwijl de koolstofatomen zich iets dieper nestelen in de structuur.
- 12 De fluoratomen zitten aan de buitenkant van een teflonmolecuul. Bovendien zijn fluoratomen veel sterker elektronegatief dan koolstofatomen.
- 13 Elektronen die op een hoger energieniveau zitten zijn reactiever en zullen dus eerder/makkelijker een reactie aangaan.

## SLIMME POLYMEREN REPAREREN JE KNIE

|                   |                                                  |
|-------------------|--------------------------------------------------|
| Klas              | 5 hv                                             |
| Subdomein         | Processen en reacties                            |
| Vaardigheid       | Informatie                                       |
| Specificaties     | Polycondensatie                                  |
| Trefwoorden       | PCL, PLA, PGA, PTMC, polymeren, biodegradeerbaar |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                           |

C2W, 24 oktober 2014



**Slimme polymeren repareren je knie**

Een beetje van het lab en een beetje van jezelf. Dat is de essentie van **tissue engineering**, waarbij je het lichaam ertoe aanzet zelf kapotte onderdelen te repareren. Polymeren helpen daarbij een handje.

### Bastienne Wentzel

Met je knie kan van alles misgaan. Je meniscus scheurt of het gewricht is versleten. Of je krijgt een ongeluk waardoor een stuk van het bot is verbrijzeld. Repareren gebeurt in dat geval doorgaans door wat bot weg te nemen van de heup of kin en in het gat te brengen. Die botcellen gaan weer groeien en het bot geneest.

### **CALCIUMFOSFAAT**

Het grote nadeel van de geijkte methode is dat je niet zomaar grote hoeveelheden bot ergens kunt wegschrappen. “De patiënt heeft daar veel pijn aan als je teveel wegneemt, verplaatst je het probleem alleen maar”, vertelt Pamela Habibovic. Zij werkt aan de Universiteit Maastricht aan een alternatief. “Wij ontwikkelen slimme materialen die ter plekke in het lichaam cellen aantrekken en aanzetten tot groei, zodat een biopt afnemen bij de patiënt niet meer nodig is.” Habibovic ontdekte dat calciumfosfaat

osteoinductief is, wat inhoudt dat het stamcellen kan aanzetten botcellen te vormen en botweefsel te laten groeien. Habibovic: “Tot nu toe werd gedacht dat alleen een eiwit z’n complexe functie kan vervullen. Maar wij hebben laten zien dat het ook met een synthetisch materiaal kan.”

### **“De sterkte van PMTC blijft tijdens degradatie gelijk”**

Calciumfosfaat is goedkoop en je kunt het in grote hoeveelheden maken, dus is het ook geschikt voor grote botdefecten. Een nadeel is dat het heel bros is. “Grotere sterkte kun je bereiken door materialen te combineren, bijvoorbeeld door calciumfosfaat te mengen met collageen of polymeer. Maar polymeer is weer minder bioactief in het bot, zodat het lichaam minder snel cellen aanmaakt. Je sluit dus een compromis tussen mechanische sterkte

en bioactiviteit”, legt Habibovic uit.

### COMPOSIET

Dirk Grijpma van de Universiteit Twente is polymeerchemicus en onderzoekt dergelijke combinaties van materialen. Hij maakte een flexibel schijfje van een polymeer waarin calciumfosfaat is gemengd. Met dat schijfje kun je de bodem van een oogkas repareren wanneer die gebroken is, bijvoorbeeld door een harde aanvaring met een bal. Grijpma liet zien dat er door de combinatie van een polymeer en calciumfosfaat inderdaad, wanneer je het implanteert in een schapenoog, botcellen op het schijfje groeien.

Grijpma ontwikkelde een variant op de polymeren die in allerlei toepassingen van tissue engineering worden gebruikt. Bij tissue engineering gaat het erom het lichaam te stimuleren om zelf nieuw weefsel te maken op de plek van een defect. Dat gebeurt door een drager in de vorm van het defect te maken en te implanteren, waarna nieuwe cellen moeten gaan groeien. De cellen bevolken op termijn het hele defect. De drager degradeert en verdwijnt.

Die drager, ook wel *scaffold* genoemd (Engels voor steiger), is meestal van bio-degradeerbaar polymeer zoals polycaprolacton (PCL), polymelkzuur (PLA) of polyglycolzuur (PGA), of copolymeren

daarvan. Fabrikanten maken daar al tientallen jaren oplosbaar hecht draad van. Die stoffen zijn dus veilig en goedgekeurd voor medisch gebruik, aldus Grijpma. Maar de polymeren hebben ook hun nadelen. Polyglycolzuur is heel gevoelig voor hydrolyse, polycaprolacton degradeert veel te langzaam en alle drie leveren ze zure afbraakproducten, waardoor de kans bestaat dat mineralen in het bot oplossen. Grijpma: "Het polymeer dat ik voor mijn promotieonderzoek maakte, leek mij veel geschikter."

### POLYCARBONAAT

Grijpma's verbinding is poly-(trimethyleencarbonaat), PTMC. Het vormt de onschadelijke afbraakproducten 1,3-propaandiol, koolzuur en water. Ook polycarbonaten worden al gebruikt als afbreekbaar hecht draad en zijn dus goedgekeurd voor medisch gebruik. PTMC bleek tevens oppervlakte-erosie te vertonen. Grijpma legt het voordeel daarvan uit: "Alle bekende biodegradeerbare polymeren vertonen bulkhydrolyse. Het materiaal brokkelt daarbij af en is al vrij snel bros. PTMC wordt enkel door macrofagen in het lichaam laagje voor laagje afgebroken. De sterkte blijft dus gedurende de degradatie gelijk."

Pamela Habibovic onderzoekt botgroei aan de Universiteit van Maastricht. Zij heeft ontdekt dat calciumfosfaat osteoinductief is.

1 Wat houdt het begrip osteoinductief in?

Het materiaal calciumfosfaat is heel bros. Je kunt een grotere sterkte verkrijgen door het te combineren met bijvoorbeeld een polymeer.

2 Hoe heet een mengsel waarbij een materiaal ontstaat dat betere eigenschappen heeft dan de aparte stoffen?

Calciumfosfaat wordt in tissue engineering toegepast.

3 Wat versta je onder tissue engineering?

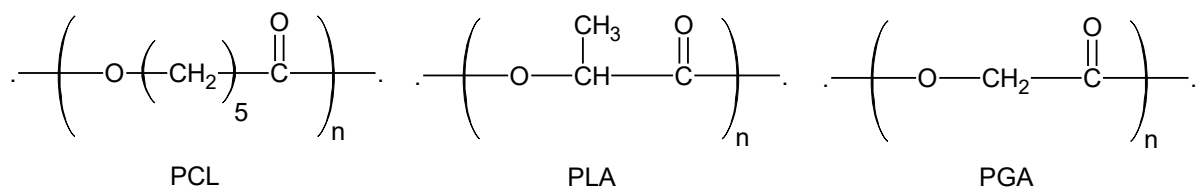
Bij tissue engineering maak je een drager in de vorm van het 'defect'. De drager is vaak een biodegradeerbaar polymeer of een copolymeer van die polymeren.

- 4 Hoe werkt een drager in de vorm van een defect?
- 5 Waarom moet het een biodegradeerbaar materiaal zijn?
- 6 Welke polymeren zijn bruikbaar?
- 7 Welke nadelen hebben de genoemde polymeren?

Polymeerchemicus Dirk Grijpma heeft een heel ander polymeer waarmee hij aan de slag is gegaan.

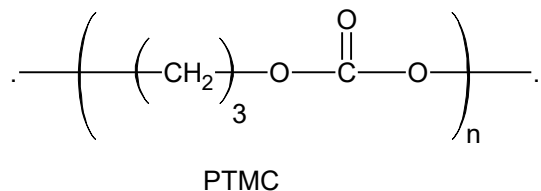
- 8 Welk polymeer is dat? Geef de naam en de (ISO-)code.
- 9 Welke positieve eigenschappen heeft het nieuwe materiaal?

De polymeren PCL, PLA en PGA hebben overeenkomstige structuurformules:



- 10 Leg uit dat PCL, PLA en PGA alle drie polyesters zijn.
- 11 Geef de structuurformule van de monomeren waaruit elk is opgebouwd.

PTMC heeft een afwijkende structuurformule:



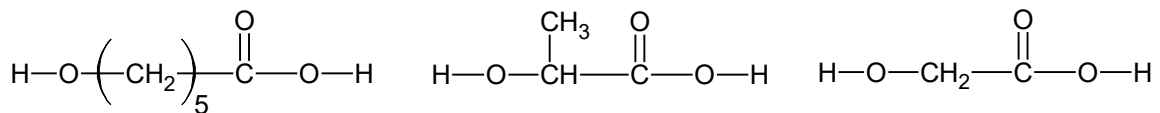
- 12 Uit welk monomeer zal PTMC gevormd zijn? Teken de structuurformule.
- 13 Verklaar de naam trimethyleencarbonaat in PTMC.
- 14 Leg uit dat bij afbraak van PTMC de drie in het artikel genoemde afbraakproducten kunnen ontstaan.

De afbraak van PTMC verloopt aan het oppervlak ervan.

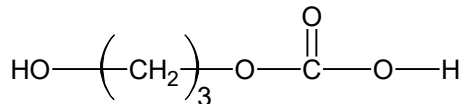
- 15 Wat is het grote voordeel hiervan?

*Slimme polymeren repareren je knie*

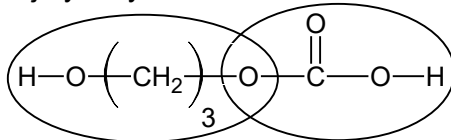
- 1 Het kan stamcellen aanzetten botcellen te vormen en botweefsel te laten groeien.
- 2 Een composiet.
- 3 Bij tissue engineering gaat het erom het lichaam te stimuleren om zelf nieuw weefsel te maken op de plek van een defect.
- 4 Een drager in de vorm van het defect wordt aangebracht (geïmplantéerd) waarna nieuwe cellen gaan groeien en het hele defect bedekken.
- 5 Het zit in het lichaam en kan dus niet verwijderd worden.
- 6 PCL = polycaprolactam; PLA = polymelkzuur; PGA = polyglycolzuur.
- 7 PCL degradeert veel te langzaam en levert een zuur afbraakproduct, PLA levert een zuur afbraakproduct, PGA is heel gevoelig voor hydrolyse en levert een zuur afbraakproduct.
- 8 PTMC = polytrimethyleencarbonaat.
- 9 Het degradeert makkelijk waarbij onschadelijke producten ontstaan en het vertoont oppervlakte-erosie.
- 10 Ze bevatten alle drie de estergroep die gevormd is uit een carbonzuurgroep en een hydroxygroep.
- 11



12



- 13 Het bevat drie CH<sub>2</sub>-groepen en een carbonaatgroep, CO<sub>3</sub>-groep.
- 14 Bij hydrolyse en verdere afbraak kunnen de genoemde producten ontstaan:



propaan-1,3-diol      koolzuur

Het linker gedeelte van het molecuul levert propaan-1,3-diol en het rechter gedeelte koolzuur (koolstofdioxide).

- 15 Het wordt laagje voor laagje afgebroken en houdt dus heel lang zijn sterkte.

## SUIKERUNIE LONKT NAAR DE CHEMIE

|                   |                                                                   |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Klas              | 5 v                                                               |
| Subdomein         | Processen en reacties                                             |
| Vaardigheid       | Informatie                                                        |
| Specificaties     | Beginstoffen en reactieproducten, organische reacties             |
| Trefwoorden       | Suikerbiet, biobrandstof, biobased, eerste generatie biobrandstof |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                                            |

*Chemie Magazine, november 2014*

# SUIKER UNIE LONKT NAAR DE CHEMIE

Het toekomstbeeld van Frank van Noord, directeur R&D bij Suiker Unie, is dat de huidige suikerfabriek zich ontwikkelt tot een bioraffinaderij waarin de suikerbiet wordt ontleed in verschillende componenten. Deze componenten kunnen naast (dier)voeding ook dienen als grondstof voor chemiefabrieken, die er allerlei producten uit maken. Maar voor het zover is moeten agro en chemie elkaar eerst beter leren kennen.

Tekst Igor Znidarsic

Ze leefden tot voor kort gescheiden, de boer en de chemicus. De een teelde gewassen voor voedsel, de ander maakte uit aardolie chemicaliën. Twee totaal verschillende werelden, met weinig raakvlakken. Maar dat verandert.

Aan de verre horizon gloort onvermijdelijk de *biobased economy*, waarin fossiele grondstoffen grotendeels zijn vervangen door hernieuwbare grondstoffen en agro en chemie elkaar dus hard nodig hebben. De eerste toenaderingen vinden daarom al plaats. "De sectoren gaan ook steeds meer door elkaar lopen", weet Frank van Noord, directeur R&D bij Suiker Unie. "Uit suiker bijvoorbeeld wordt al lang ethanol gemaakt. Dat kun je opdrinken of gebruiken voor brandstoffen. Ziehier de verweving tussen agro, voeding en brandstoffen. Als je uit die alcohol ethyleen maakt, zie je een verweving van agro, brandstoffen en materialen. En toch kennen deze sectoren elkaar nauwelijks.

Dat geldt ook voor ons. Als suikerproducent kennen we de agrosector goed, maar de chemische industrie was tot voor kort onbekend terrein." om die reden is Suiker Unie (aspirant-)lid geworden van de VNCI.  
(.....)

### Rasverbetering

Van Noord is ervan overtuigd dat Suiker Unie de chemische industrie veel te bieden heeft. Aan de volumes zal het niet liggen. Als in 2017 het Europese suikerquotum wordt afgeschaft, kan de productie van suikerbieten fors omhoog. Volgens Van Noord is dat makkelijk haalbaar door meer areaal en door intensievere productie. Waar de afgelopen jaren 1 hectare suikerbieten 13 ton suiker opbracht, is de verwachting voor dit jaar 15 ton, en volgens deskundigen is uiteindelijk theoretisch 22 ton haalbaar.

(.....)

En er is bij suiker geen discussie over 'food versus chemicals'. "De suikerconsumptie in het Westen is al tientallen jaren stabiel. We kunnen veel meer produceren dan die behoefte."

### Biogas

'Het zo goed mogelijk tot waarde brengen van de suikerbiet', die opdracht hebben de eigenaren van coöperatie Suiker Unie, de telers van de bieten, het bedrijf gegeven.

"En dat is wat we doen", vertelt Erik van Hellemond, projectleider *Biobased Technology*. "Tot voor kort haalden we alleen suiker uit de biet, maar nu kijken we er veel integraler naar, om ook

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>de andere componenten eruit te halen en te verwaarden. Dat doen we ook met onze reststromen. Zo verwerken we de bietresten in onze biomassa-vergisters tot biogas." Suiker Unie is de grootste producent van groen gas in Nederland en werkt in Delfzijl samen met Gastera en VNCLid BioMCN, die er bio-methanol uit produceert.</p> <p>Een interessante grondstof voor de chemie of de fermentatie-industrie is volgens Hellemond diksap, geconcentreerd suikersap waar via kristallisatie witsuiker van wordt gemaakt. "Bestaande klanten die bijvoorbeeld suiker gebruiken zouden die kunnen vervangen door diksap. Je kan het gebruiken voor toepassingen zoals materialen, bioplastics, vezels en chemicaliën." Daarbij dienen zich allerlei nieuwe mogelijkheden aan om de grondstof om te zetten. Van Noord ziet de technologische ontwikkelingen snel gaan: "Vroeger werd er uit suiker voornamelijk alcohol en penicilline gemaakt, en dat was het wel zo'n beetje. Door innovaties op het gebied van chemie en biotech komen er steeds meer toepassingen waarbij de omzetting van suikers naar eindproducten plaatsvindt via micro-organismen of katalyse."</p> <p>(...)</p> <p>Uiteindelijk is het natuurlijk een economisch verhaal. Renewables worden pas interessant bij een bepaalde prijs, weet Van Noord. "De consument heeft best wat extra's over voor een groen product, maar die prijs moet niet te hoog worden. Dat geldt voor deze producten ook. Als fossiele grondstoffen goedkoop zijn, is het lastig. Daarom moet je andere wegen zoeken. <i>Specialties</i>. Of producten maken die beter zijn. Avantium is daar een mooi voorbeeld van. Hun PEF-fles is niet alleen gemaakt uit suikers, maar heeft ook betere eigenschappen dan de uit aardolie gemaakte PET-fles."</p> | <p><b>Allianties</b></p> <p>In de ( nabije) toekomst levert Suiker Unie dus behalve suiker aan de voedingsmiddelenindustrie ook suikers aan klanten in de chemie. Hellemond: 'Je ziet nu veel ontwikkelingen in organische zuren, barnsteenzuur, azijnzuur. Daar worden weer andere stoffen van gemaakt. Of bepaalde alcoholen: ethanol, butanol, isobutanol. Bioplastics zijn al gemeengoed, via melkzuur en potymelkzuur.</p> <p>Uit de restproducten die we overhouden kun je arabinose en galacturonzuur halen, waar je kunststoffen van kunt maken. En vergeet de vezels uit bieten niet, ter versterking van papier of glasvezel. Er zijn al skateboards gemaakt van bietenvezel".</p> <p>Volgens van Noord duurt het nog zo'n tien, vijf tien jaar voor een en ander in een stroomversnelling komt. "Er wordt heel veel gepraat over de biobased economy. Wij willen het gewoon gaan doen, business maken, allianties aangaan. Afhankelijk van de toepassing doen we dan een deel zelf, samen met een partner of we organiseren het zo dat iemand anders de vervolgstap doet."</p> <p>Om de mogelijkheden van de suikerbiet voor de biobased economy verder te onderzoeken start binnenkort waarschijnlijk vlak bij de fabriek in Dinteloord de bouw van een nieuw Cosun-innovatiecentrum.</p> <p>Van Noord ziet die toekomst duidelijk voor zich: "Zoals in de petrochemie aardolie in een raffinaderij wordt gescheiden tot stoffen waaruit allerlei producten worden gemaakt, die weer als grondstof dienen voor andere fabrieken, zo zal dat ook gaan met de suikerbiet. De suikerbiet wordt in een bioraffinaderij ontleed in verschillende componenten, en die zijn weer grondstof voor andere producenten."</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Het bedrijf Suikerunie kijkt verder dan alleen het produceren van suiker. Het toekomstbeeld is dat de huidige suikerfabriek een bioraffinaderij wordt waarbij *duurzaamheid* een belangrijke term zal zijn: biobased economy.

1 Licht toe wat bedoeld wordt met biobased economy.

Suikerbieten kun je beschouwen als grondstof voor eerste generatie biobrandstof.

2 Wat wordt bedoeld met 'eerste generatie biobrandstof'?

Frank van Noord, directeur R&D bij Suiker Unie, spreekt onder andere over 'food versus chemicals'.

- 3 Wat versta je onder 'food versus chemicals'?
- 4 Waarom is er volgens Frank van Noord bij suikerbieten geen sprake van 'food versus chemicals'?

Frank van Noord zegt dat uit suiker (via fermentatie) al heel lang ethanol als brandstof wordt gemaakt. Hij ziet dit als verweving tussen agro, voeding en brandstoffen.

- 5 Geef de fermentatiereactie van sacharose in een vergelijking met molecuulformules weer.
- 6 Verklaar de beschreven verweving tussen agro, voeding en brandstoffen.

Uit ethanol kan ook etheen gemaakt worden, Frank van Noord ziet dit als verweving van agro, brandstoffen en *materialen*.

- 7 Geef reactievergelijking, in structuurformules, van de omzetting van ethanol in etheen.
- 8 Leg uit welk materiaal uit etheen gemaakt kan worden.

Bij de verwerking van biet tot suiker blijft er bietenpulp als afval over. Uit die overgebleven bietenpulp kan biogas geproduceerd worden.

- 9 Waarom mag je het gevormde biogas *groen* gas noemen?

Uit biogas (voornamelijk methaan) kan onder andere methanol gemaakt worden.

- 10 Geef de reactievergelijking van de vorming van methanol uit methaan in molecuulformules weer.

In het artikel wordt ook gesproken over 'renewables' en 'specialties'.

- 11 Licht deze termen toe.
- 12 Leg uit dat het wel of niet gaan toepassen van biobrandstoffen er niet alleen van afhangt of het chemisch gezien mogelijk is om die biobrandstoffen te maken.

Erik van Hellemond, projectleider Biobased Technology, spreekt in het artikel over verschillende stoffen en processen.

- 13 Welke twee organische zuren noemt hij? Teken ook de structuurformules van de genoemde organische zuren. Gebruik daarbij je Binas.
- 14 Leg uit dat de vorming van beide organische zuren niet toevallig is. Vergelijk daarbij de molecuulformules van beide organische zuren met de molecuulformule van glucose.

De vorming van beide organische zuren uit glucose kun je beschrijven in de vorm van een halfreactie.

- 15 Geef de halfreactie van de omzetting van glucose in barnsteenzuur en azijnzuur in een vergelijking met molecuulformules weer.

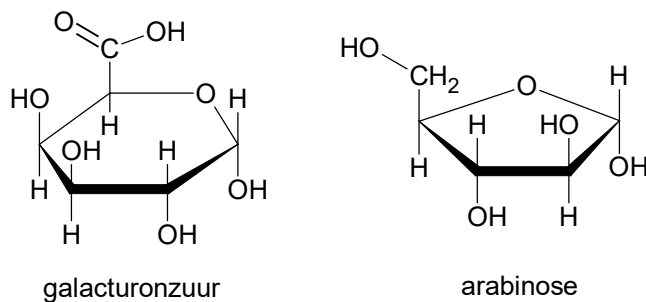
Erik van Hellemond noemt ook enkele alcoholen.

- 16 Geef aan waarom de namen butanol en isobutanol niet volledig zijn voor de structuur van die twee alcoholen.
- 17 Teken een mogelijke structuurformule voor butanol en een voor isobutanol.

“Bioplastics zijn al gemeengoed”, zegt van Hellemond. Via melkzuur maak je polymelkzuur. Het melkzuur kan uit suikers gemaakt worden.

- 18 Geef de structuurformule van melkzuur.
- 19 Geef de reactievergelijking in molecuulformules van de vorming van melkzuur uit sacharose.
- 20 Teken de structuurformule van een stukje uit het midden van polymelkzuur.

Van Hellemond heeft het ook nog over andere stoffen die je uit restproducten kunt halen. Hij noemt exotische namen als galacturonzuur en arabinose. Galacturonzuur is een oxidatieproduct van galactose, arabinose is een pentosesuiker.



- 21 Leg aan de hand van de structuur van galacturonzuur uit dat het gevormd moet zijn uit galactose en niet bijvoorbeeld uit glucose.
- 22 Geef de reactie in structuurformules waarbij uit galactose galacturonzuur ontstaat.
- 23 Verklaar de naam pentosesuiker voor arabinose.

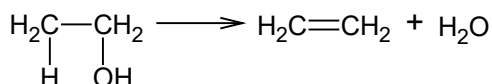
Een suikerfabriek kan in de toekomst uitgroeien tot een veelzijdig chemisch bedrijf. Van Noord ziet die toekomst duidelijk voor zich, naar analogie van de petrochemische industrie.

- 24 Hoe beschrijft hij de grote lijn in de petrochemie?
- 25 Hoe beschrijft hij de toekomstige suikerindustrie?

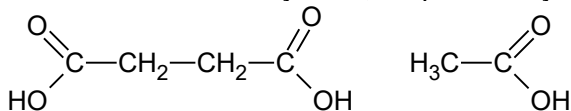
### Suiker Unie lonkt naar de chemie

- 1 Een economie die gebaseerd is op het gebruik van hernieuwbare stoffen van biologische oorsprong.
- 2 Eerste generatie biobrandstoffen zijn gevormd uit stoffen die ook als voedsel gebruikt kunnen worden.
- 3 Of je van grondstoffen voedsel maakt of brandstoffen, je kunt een keuze maken.
- 4 Volgens hem wordt er in de toekomst een overmaat aan suiker geproduceerd zodat voor beide toepassingen voldoende aanwezig is.
- 5  $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 4 C_2H_5OH + 4 CO_2$ .
- 6 Agro staat voor de landbouw die de suiker levert, suiker als voedsel en als grondstof voor de productie van ethanol (als brandstof).

7

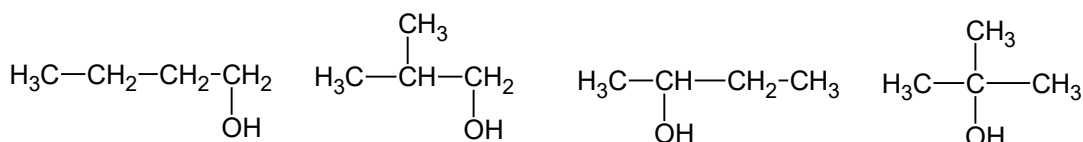


- 8 Etheen wordt in de chemische industrie gebruikt voor de productie van de plastic polyetheen.
- 9 Groen staat onder andere voor hernieuwbaar dus duurzaam: dit gas ontstaat uit bietenpulp als afval bij de winning van suiker uit suikerbieten, dus een hernieuwbare grondstof.
- 10  $2 CH_4 + O_2 \rightarrow 2 CH_3OH$ .
- 11 Renewables betekent dat je hernieuwbare grondstoffen gebruikt. Specialties betekent dat je een kleine markt hebt voor bijzondere producten.
- 12 Het gaat ook om een kostenaspect: het moet wedijveren met de bestaande brandstoffen.
- 13 Barnsteenzuur en azijnzuur, respectievelijk butaandizuur en ethaanzuur.

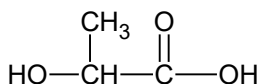


- 14 Butaandizuur:  $C_4H_6O_4$ ; ethaanzuur:  $C_2H_4O_2$ ; glucose:  $C_6H_{12}O_6$ . Je ziet dat op twee H's na de som van butaandizuur en ethaanzuur de formule van glucose oplevert.
- 15  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_4H_6O_4 + C_2H_4O_2 + 2 H^+ + 2 e^-$ .
- 16 Bij butanol weet je niet waar de OH-groep zit, net zo min als bij isobutanol.

17

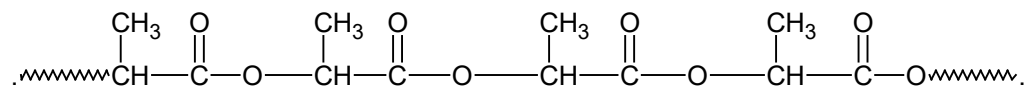


18

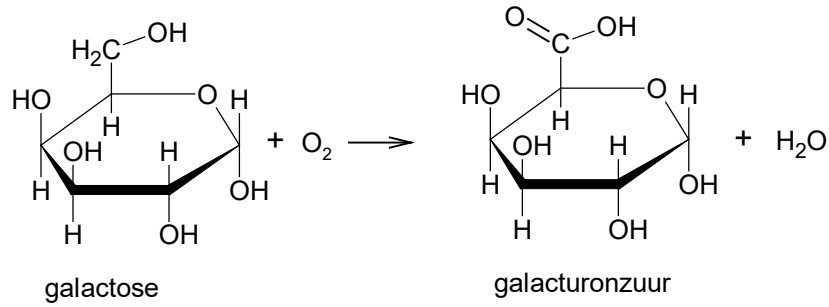


- 19  $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 4 C_3H_6O_3$ .

20



- 21 De stand van de OH-groepen (omhoog en omlaag) is hetzelfde als bij galactose, niet hetzelfde als bij glucose.



- 23 Pentose betekent een vijftring: penta.  
24 Aardolie wordt in de raffinaderij gescheiden tot stoffen waaruit allerlei producten worden  
gemaakt die weer als grondstof dienen voor andere fabrieken.  
25 De suikerbiet wordt in een bioraffinaderij verwerkt tot verschillende componenten en die  
zijn weer grondstof voor andere producenten.

## WATER OUDER DAN ZON

|                   |                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|
| Klas              | 4hv                                                       |
| Subdomein         | Deeltjesmodellen                                          |
| Vaardigheid       | Informatie                                                |
| Specificaties     | Atoommodel                                                |
| Trefwoorden       | Zon, deuterium, waterstof, hypothese, model, micro, macro |
| Vaardigheidsvraag | Informatiebegripsvraag                                    |

*New Scientist, november 2014*

# Water ouder dan zon

Een groot deel van het water op aarde bestond al voor de vorming van het zonnestelsel. Een internationaal team van astronomen concludeert uit computermodellen dat de aarde 30 tot 50 procent van haar water geërfd heeft van de gaswolk waaruit het zonnestelsel ontstond. Het resultaat, gepubliceerd in *Science*, vergroot de kans dat planeten buiten het zonnestelsel leven bevatten.

De wolk van gas en stof waaruit het zonnestelsel is ontstaan, bevatte veel water in de vorm van ijs. De eerste

zonnestrallen verdampten dat ijs en splitsten het water vervolgens in waterstof- en zuurstofatomen.

Die atomen konden zich later weer binden tot watermoleculen. Sommige van die nieuwe watermoleculen bevatten deuterium in plaats van waterstof – ‘zwaar water’ genaamd, omdat het een extra neutron heeft.

Tot dusver was onduidelijk of al het water op aarde zich later had gevormd, of dat een deel van het oorspronkelijke water van de gaswolk intact was gebleven. De astronomen

onderzochten dat door een computermodel te maken van het vroege zonnestelsel. Daarmee berekenden ze de verhouding tussen gewoon water en zwaar water die zou ontstaan als al het oorspronkelijke water was gesplitst.

De hoeveelheid zwaar water bleek in die situatie een stuk lager dan de hoeveelheid op aarde. Omdat gaswolken relatief veel deuterium bevatten, concluderen de astronomen dat de aarde dus water heeft geërfd van de oorspronkelijke gaswolk. –YF

# 4,6 miljard

Een deel van het water op aarde is ouder dan 4,6 miljard jaar, de leeftijd van het zonnestelsel. Dat het water zich niet alleen in de specifieke omstandigheden van dit zonnestelsel heeft gevormd, verhoogt volgens de astronomen de kans dat planeten buiten het zonnestelsel water en mogelijk ook leven bevatten.

Een internationaal team van astronomen heeft een conclusie getrokken uit de uitkomsten van een computermodel. Een conclusie geeft meestal een antwoord op een eerder opgestelde onderzoeksvraag.

1 Welke onderzoeksvraag zal het team zich gesteld hebben?

De wolk van gas en stof waaruit ons zonnestelsel is ontstaan bevatte veel water in de vorm van ijs. De eerste zonnestrallen lieten het ijs verdampen en lieten zelfs het water splitsen in waterstof- en zuurstofatomen.

- 2 Leg uit dat de term ‘verdampen’ niet de juiste benaming is voor de faseovergang van ijs.
- 3 Leg uit of dit ‘verdampen’ een endotherm of exotherm proces is aan de hand van gegevens uit het artikel.
- 4 Geef de reactievergelijking voor het splitsen van water bij de genoemde omstandigheden.
- 5 Waarom is de kans in het heelal op vorming van waterstof- en zuurstofatomen groter dan de vorming van waterstof- en zuurstofmoleculen?
- 6 Leg uit dat in de beschrijving in het artikel micro- en macroniveau door elkaar heen gebruikt worden.

De gevormde waterstof- en zuurstofatomen gingen later weer samen tot watermoleculen.

7 Onder welke omstandigheden zal dat proces hebben plaatsgevonden?

Sommige van die nieuw gevormde watermoleculen bevatten deuteriumatomen in plaats van waterstofatomen.

8 Geef de notatie van beide atoomsoorten waaruit je kunt afleiden wat de opbouw is lettend op protonen en neutronen.

9 Leg uit of de term 'zwaar water' voor watermoleculen met deuteriumatomen juist is.

Als het goed is heb je als antwoord op vraag 1 een onderzoeksvraag beschreven.

10 Hoe heeft het team hun onderzoeksvraag onderzocht?

11 Tot welke conclusie zijn zij gekomen?

### *Water ouder dan zon*

- 1 Is het water op de aarde afkomstig uit de gaswolk waaruit het zonnestelsel is ontstaan of is het later op aarde gevormd.
- 2 IJs wordt *waterdamp* en die faseovergang heet sublimeren.
- 3 Zonnestralen, dus energie, waren er nodig, dus endotherm proces.
- 4  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H} + \text{O}$ .
- 5 In het heelal zitten de deeltjes op grote onderlinge afstand zodat vorming van moleculen uit aanwezige atomen niet zo vaak voorkomt.
- 6 Het ijs (= een stof, dus macroniveau) lieten ze verdampen en het water (zowel de stof als molecuul mogelijk; dus macro- en microniveau) werd gesplitst in vrije atomen (microniveau).
- 7 Dan zal de temperatuur flink gedaald zijn en zullen de atomen dichter op elkaar hebben gezeten.
- 8 H-1 en D-2 (H-2).
- 9 Watermoleculen met deuteriumatomen hebben een grotere massa dan watermoleculen zonder deuteriumatomen: 'zwaar' water.
- 10 Zij maakten een computermodel van het vroege zonnestelsel en berekenden daarmee de verhouding tussen gewoon en zwaar water als al het oorspronkelijke water gesplitst was geweest.
- 11 Dat de aarde water heeft 'geërfd' van de oorspronkelijke gaswolk want de werkelijke hoeveelheid zwaar water is een stuk hoger dan het model voorspelde.

## POLYMEER TROUWT SPIEGELBEELD

|                   |                                                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| Klas:             | 5,6 v                                                         |
| Subdomein         | Bindingen, structuren en eigenschappen, Processen en reacties |
| Vaardigheid       | Informatie                                                    |
| Specificaties     | Micro-, meso en macroniveau, polymerisatiereacties            |
| Trefwoorden       | Spiegelbeeldisomerie, polymerisatie, duurzaamheid             |
| Vaardigheidsvraag | Begripsvraag                                                  |

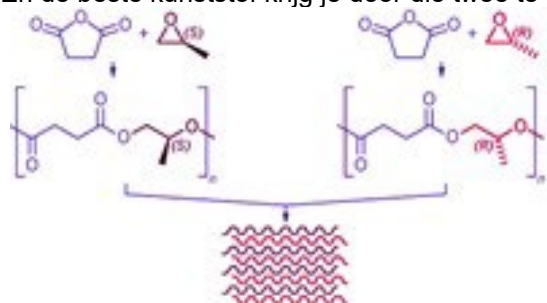
[www.c2w.nl](http://www.c2w.nl), 11 november 2014

## POLYMEER TROUWT SPIEGELBEELD

### Eerste stap naar plastic zakjes van biobarnsteenzuur?

Arjen Dijkgraaf

Propeenoxide en barnsteenzuuranhydride kun je polymeriseren tot links- en rechtsdraaiende ketens. En de beste kunststof krijg je door die twee te mengen, schrijven Cornell-onderzoekers in JACS.



Hun polypropeensuccinaat blijkt een zeldzaam voorbeeld van een zogeheten stereocomplex. Normaal gesproken verwacht je van een 'racemisch' mengsel van twee spiegelbeeldmoleculen dat het stolt zonder een kristal te vormen. Het alternatief is dat je een fasenscheiding krijgt, in de vorm van twee soorten kristalletjes die elk maar één van de twee varianten bevatten.

Maar in dit geval worden beide vormen om en om gestapeld in één en hetzelfde kristal. Het verraadt zijn stabiliteit door een smeltpunt van 120 graden Celsius, 41 graden hoger dan dat van de eerder genoemde kristalletjes. Het kristalliseert trouwens ook drie ordegrottes sneller uit.

Jeffrey Coates en collega's maakten het stereocomplex door eerst de twee verschillende polymeren te synthetiseren, en die vervolgens door elkaar te mengen. Het verschil zit daarbij in het gebruikte propenoxide. Daarvan bestaan twee spiegelbeeldvormen die afzonderlijk ('enantiozuiver') verkrijgbaar zijn, in elk geval in laboratoriumhoeveelheden. ~~Om de ketens zo netjes mogelijk af te werken werd als katalysator een organokobaltcomplex gekozen waarvan ook al twee spiegelbeelden bestaan.~~

Alleen het barnsteenzuuranhydride (2,5-furaandion,  $C_4H_4O_3$ ) was telkens hetzelfde. De onderzoekers vermoeden echter dat je met andere bouwstenen nog veel meer stereocomplexen kunt maken, wellicht met nog betere eigenschappen.

Ze suggereren dat de huidige variant perspectief biedt voor de productie van plastic zakjes. Die 120 graden Celsius komt het in de buurt van dat van het lagedichtheidpolyetheen (LDPE), waar die zakjes nu nog van worden gemaakt. En terwijl LDPE een aardolieproduct is, is barnsteenzuuranhydride tenminste biobased.

(.....)

bron: C&EN, JACS

Het artikel 'polymeer trouwt spiegelbeeld' in C2W sluit af met de opmerking dat de Cornell onderzoekers het barnsteenanhidridepolymeer zien als alternatief voor plastic zakjes van LDPE (lagedichtheidpolyetheen).

Volgens het artikel van hun hand in JACS zou het nieuwe polymeer echter zowel de polyethenen als isotactisch polypropeen kunnen gaan vervangen.

Polyetheen en polypropeen zijn tot nu toe de twee belangrijkste polymeren die geproduceerd worden. Polyetheen wordt onder andere geproduceerd als lage dichtheid polyetheen (LDPE). Polypropeen is sterker dan polyetheen en wordt daarom gebruikt voor zaken als jerrycans en tapijten.

Er is nu een polymeer ontwikkeld dat deze twee polymeren zou kunnen gaan vervangen.

In deze opgave ga je kijken naar de synthese van polypropeen en van het nieuwe polymeer en naar ruimtelijke rangschikkingen en de invloed daarvan op de eigenschappen van het materiaal.

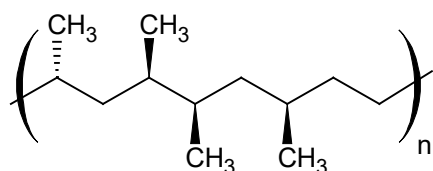
### *Synthese en bouw van polypropeen*

- 1 Teken in structuurformules de initiatie (gebruik  $R-O-O-R$  als formule voor de initiator) en twee stappen van de propagatie bij de polymerisatie van propeen.
- 2 Teken de structuurformule van een brokstuk van drie eenheden polypropeen in het midden van de keten.

In polypropeen zijn in tegenstelling tot in propeen asymmetrische koolstofatomen aanwezig.

- 3 Leg dit uit aan de hand van de structuurformules van propeen en de structuurformule van vraag 2.

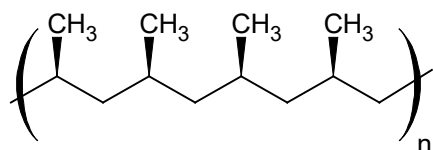
Polypropeen dat volgens een radicaalmechanisme wordt gevormd bestaat uit een visceuze pasta die volkomen ongeschikt is voor verdere verwerking. Dit komt omdat de  $-CH_3$  groepen alle kanten op staan, zoals weergegeven in figuur 1.



Figuur 1

- 4 Leg uit dat je bij een radicaalmechanisme niet kunt bepalen welke kant de  $CH_3$ -groepen op komen te staan.
- 5 Leg uit waardoor het materiaal gemaakt van dit polypropeen amorf is.

Wanneer je een polymeer wilt hebben dat je verder kunt verwerken moeten de  $CH_3$ -groepen allemaal in dezelfde richting wijzen, zogenaamd isotactisch polypropeen (figuur 2). Je kunt dit polymeer maken door een speciale katalysator (Ziegler Natta katalysator).



Figuur 2

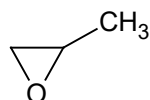
### Monomeren van het nieuwe polymeer

Polypropeensuccinaat is een copolymeer. Het ene monomeer is het anhydride van barnsteenzuur. De naam van het anhydride is 2,5-furaandion. Een anhydride ontstaat door inwendige afsplitsing van een molecuul water uit twee zuurgroepen.

- 6 Zoek de systematische naam op van barnsteenzuur en noteer deze.
- 7 Noteer in structuurformules de reactievergelijking voor de vorming van het anhydride van barnsteenzuur.

Het tweede monomeer waarmee polypropeensuccinaat wordt gevormd is propeenoxide, dat een asymmetrisch koolstofatoom bevat.

De structuurformule van propeenoxide is :



- 8 Neem de structuurformule over en geef het asymmetrisch koolstofatoom aan.
- 9 Teken de ruimtelijke structuurformule (ook de waterstofatomen) van een van de twee isomeren van propeenoxide.

### Polypropeensuccinaat

Bij de polymerisatie van beide monomeren ontstaat polypropeensuccinaat. Bij dit polymeer speelt spiegelbeeld isomerie een rol.

- 10 Leg uit of dit polypropeensuccinaat via additie- of condensatiepolymerisatie ontstaat.

Bij de synthese van polypropeensuccinaat uitgaande van L-propeenoxide ontstaat een isotactisch polymeer.

- 11 Leg uit waardoor er een isotactisch polymeer ontstaat.
- 12 Leg uit of in dat polymeer kristalvorming kan optreden.

Wanneer je de twee zuivere vormen mengt die ontstaan zijn uit de polymerisatie met L-propeenoxide en met D-propeenoxide mengt, kunnen er volgens vorige waarnemingen bij dit soort polymeren eigenlijk twee dingen gebeuren:

- óf er kan een amorf mengsel ontstaan (stolling zonder vorming van kristallen),
- óf er kan een gedeeltelijk gekristalliseerd mengsel ontstaan, waarbij de kristalletjes bestaan uit of het polymeer met L-propeenoxide of het polymeer met D-propeenoxide.

Uit de tekening die in het artikel in C2W staat blijkt dat bij deze synthese nog een ander verschijnsel optreedt.

- 13 Wat is het andere verschijnsel dat bij deze synthese van polypropeensuccinaat optreedt?
- 14 Waardoor wordt dit verschijnsel veroorzaakt?

Het artikel meldt dat het nieuwe materiaal een smeltpunt heeft van 120 °C.

- 15 Leg uit of je bij het nieuwe materiaal een smeltpunt verwacht.

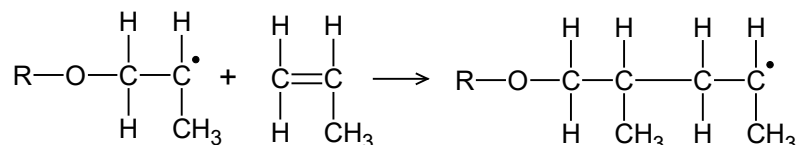
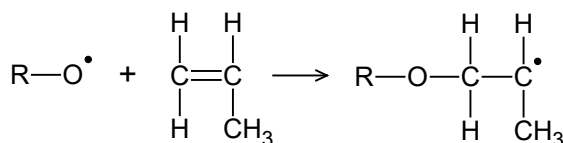
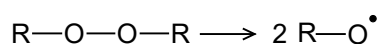
De titel van het artikel in C2W heeft een verwijzing naar een voordeel van het gebruik van polypropeensuccinaat ten opzichte van polyetheen of polypropeen.

- 16 Leg uit wat deze verwijzing is.

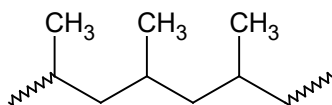
- 17 Leg uit of het artikel aanwijzingen geeft over de afbreekbaarheid van het ontstane polymeer.

## Polymeer trouwt spiegelbeeld

1



2

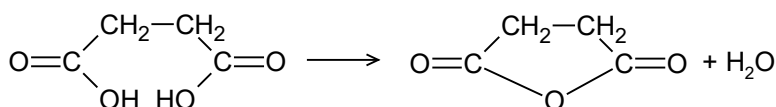


- 3 Propeen is vlak rondom de dubbele binding, er kunnen geen asymmetrische koolstofatomen zijn. In polypropeen is vrijwel ieder C-atoom met een methylgroep asymmetrisch, omdat de ketenlengte aan weerszijden van dit C-atoom verschillend is!
- 4 Omdat de radicaalreactie een elektron van een dubbele binding afpakt, kunnen bij het C-atoom aan het uiteinde beide spiegelbeeldisomeren ontstaan.

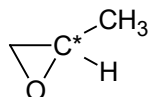
- 5 Aangezien er geen regelmaat is te ontdekken in het molecuul door de CH<sub>3</sub>-groepen die willekeurig beide kanten opstaan, kan er geen kristallisatie optreden en wordt het een amorse massa.

6 Butaandizuur

7

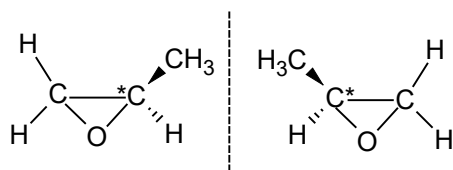


8



C\* is asymmetrisch C-atoom

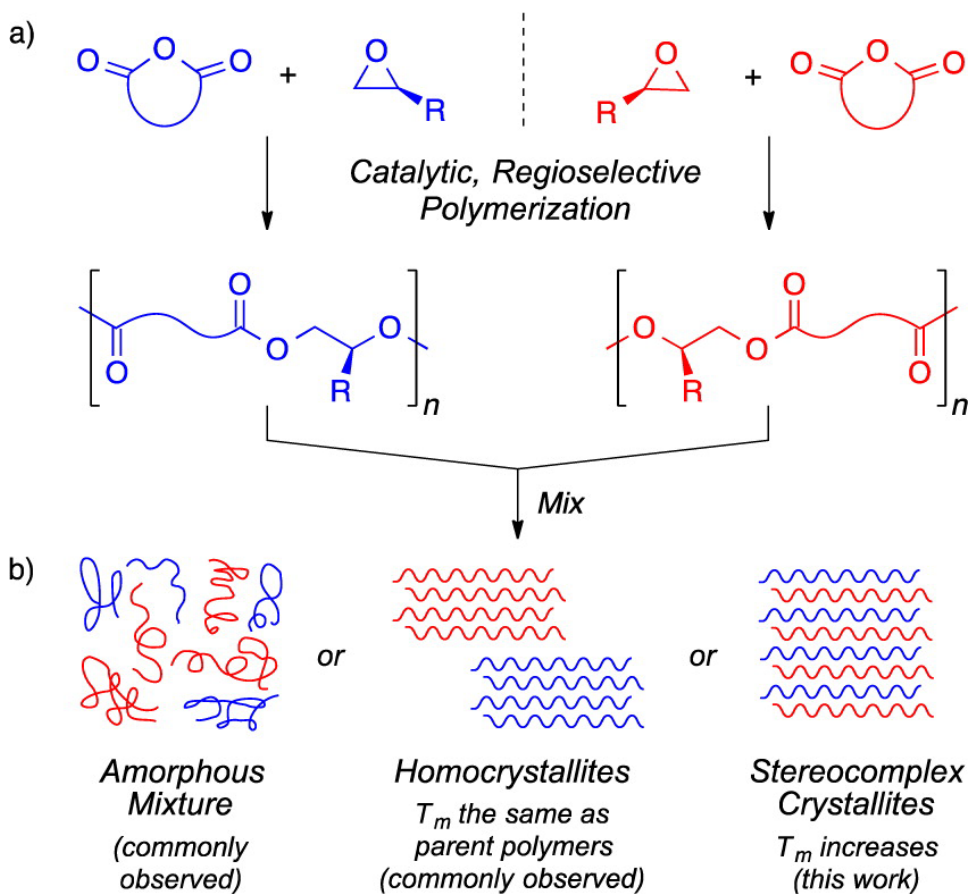
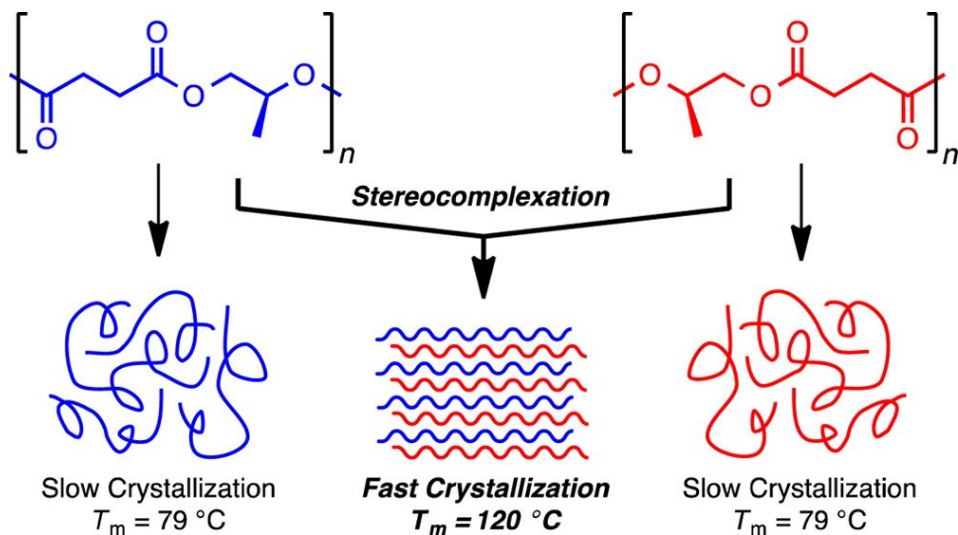
9



- 10 In het polymeer zijn de monomeren verbonden via een estergroep. Dus er is een condensatiepolymerisatie verlopen.
- 11 Uitgaande van één spiegelbeeldisomeer blijft bij de polymerisatie de stand in de ruimte van de methylgroepen hetzelfde. Barnsteenzuuranhydride heeft geen asymmetrische C-atomen. Hierdoor ontstaat een isotactisch polymeer.
- 12 De structuur in de polymeerketens is regelmatig. Hierdoor moet kristallisatie kunnen optreden.
- 13 De twee vormen met L-propeenoxide en D-propeenoxide mengen tot één kristal. Er treedt geen scheiding op van de twee spiegelbeeldisomeren.
- 14 Beide ketenvormen worden om-en om geschakeld in het zelfde kristal.
- 15 Met de smelttemperatuur bedoelt men de temperatuur waarbij het polymere materiaal vloeibaar begint te worden. Er is een smelttraject.

- 16 Het bio zal slaan op het feit dat het barnsteen zuur uit biomassa kan worden verkregen. Dat is een voordeel boven het gebruik van fossiele brandstoffen.
- 17 Nee, maar polyester moleculen zijn makkelijker afbreekbaar door de estergroep in vergelijking met moleculen met lange C-ketens.

*Extra tekeningen*



Bron beide figuren: Longo (2014), Poly(propylene succinate): A New Polymer Stereocomplex, J. Am. Chem. Soc., 136 (45), pp 15897–15900