

SLIMME JONGENS: NEANDERTHALERS MAAKTEN VUUR MET MANGAANOXIDE

Versie 1

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen
Trefwoorden	Brandvoorwaarden, reactievergelijking, mangaanoxide, mangaandioxide, onderzoeksvraag
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

Versie 2

Klas	4 hv
Subdomein	Energie, Deeltjesmodellen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Energiediagram, formuletaal
Trefwoorden	Brandvoorwaarden, reactievergelijking, MnO_2 , Mn_3O_4 , onderzoeksvraag
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

Versie 3

Klas	4 hv
Subdomein	Onderzoeken
Vaardigheid	Processen en reacties
Specificaties	Onderzoeksvraag, werkplan
Trefwoorden	Variabelen
Vaardigheidsvraag	werkplanvraag

www.scientias.nl, 1 maart 2016

Slimme jongens: Neanderthalers maakten vuur met mangaanoxide



Door: Caroline Kraaijvanger

Lang werd gedacht dat Neanderthalers het goedje gebruikten als pigment, maar nu blijkt dat ze iets heel anders met dit mineraal deden.

Mangaanoxide is een donker gekleurd mineraal dat al sinds het stenen tijdperk wordt gebruikt als pigment. In Frankrijk zijn bijvoorbeeld grottekeningen te vinden die dankzij dit mineraal tot stand zijn gekomen.

Beetje moeite

Het verzamelen van mangaanoxide was best een klus. Met het oog daarop was het idee dat Neanderthalers het goedje gebruikten als pigment, een beetje vreemd. Er waren namelijk wel andere pigmenten voorhanden die veel gemakkelijker te verkrijgen waren (denk aan roet of houtskool). En nu is dus gebleken dat Neanderthalers vuur maakten met dit mineraal. Dat is een stuk logischer, zo stellen de onderzoekers. Het gebruik van vuur kent vele voordelen die opwegen tegen de energie die het verzamelen van de blokjes kost. Zo had vuur een sociale, maar ook een symbolische functie.

Pigment?

Dat mangaanoxide ook de Neanderthalers niet vreemd was, wisten we al. Tijdens opgravingen in Frankrijk hebben onderzoekers nabij Neanderthalers ook veel blokjes mangaanoxide teruggevonden. Aangenomen werd dat de Neanderthalers deze gebruikten als pigment. Ze zouden er hun lichamen mee hebben versierd.

Vuur

Maar nieuw onderzoek toont nu aan dat de Neanderthalers die zo'n 50.000 jaar geleden in Frankrijk leefden, iets heel anders met de blokjes deden. Ze verzamelden het mineraal om vuur te maken, zo schrijven Nederlandse onderzoekers in het blad *Scientific Reports*.

Experimenten

Ze trekken die conclusie op basis van een aantal ontdekkingen. Allereerst tonen experimenten aan dat mangaan kan helpen bij het ontsteken van een houtvuur en wel doordat het mineraal de ontvlamtemperatuur enorm verlaagt. Daarnaast wijzen de onderzoekers erop dat mangaanoxide vaak nabij de vuurplaatsen van Neanderthalers werd teruggevonden. Ook is bewijs gevonden dat de Neanderthalers het mineraal vermaalden.

Het onderzoek toont maar weer eens aan dat we de Neanderthalers niet moeten onderschatten; het waren slimme mensachtigen, zo stellen de onderzoekers. Ze wijzen erop dat vuur maken met behulp van mangaanoxide niet bekend is bij hedendaagse jagers en verzamelaars. Bovendien moeten we niet vergeten dat mangaanoxide uit zichzelf onbrandbaar is en het dus niet direct voor de hand ligt om dit materiaal te gebruiken om vuur te maken.

Versie 1

Nederlandse wetenschappers deden nieuw onderzoek naar blokjes mangaanoxide die bij opgravingen nabij Neanderthalers werden aangetroffen.

- 1 Noteer welke onderzoeksvraag de Nederlandse onderzoekers opgesteld zullen hebben.
- 2 Welke argumenten noemen de onderzoekers om aan te tonen dat de Neanderthalers "mangaanoxide" niet als pigment zullen hebben gebruikt.

Als je een houtvuur wilt maken, moet je aan een aantal brandvoorwaarden voldoen.

- 3 Welke brandvoorwaarde beïnvloedden de Neanderthalers door mangaanoxide te gebruiken bij het maken van hun vuurtjes?

De formule van mangaanoxide is MnO_2 . Na het stoken van het vuur blijkt dat er Mn_3O_4 is ontstaan. Hierbij ontstaat ook nog een andere stof.

- 4 Noteer de reactievergelijking die optreedt.

In het artikel staat dat mangaanoxide *uit zichzelf* onbrandbaar is.

- 5 Leg uit of de uitspraak in het artikel dat mangaanoxide uit zichzelf onbrandbaar is in overeenstemming is met de reactievergelijking uit vraag 4 is.
- 6 Leg uit dat het gebruik van mangaanoxide, naast de verlaging van de ontvlamtemperatuur, op nog een andere manier het verbranden van het hout bevordert.
- 7 Licht het “slimme jongens” in de titel van het artikel toe.

Versie 2

Nederlandse wetenschappers deden nieuw onderzoek naar blokjes mangaanoxide die bij opgravingen nabij Neanderthalers werden aangetroffen.

- 1 Noteer welke onderzoeksvraag de Nederlandse onderzoekers opgesteld zullen hebben.
- 2 Welke argumenten noemen de onderzoekers om aan te tonen dat de Neanderthalers “mangaanoxide” niet als pigment zullen hebben gebruikt.

Volgens het artikel gebruikten de Neanderthalers ‘mangaanoxide’. In het artikel in *Scientific Reports* gebruiken de onderzoekers de naam ‘mangaandioxide’. De formule die men gebruikt is MnO_2 .

- 3 Leg met behulp van gegevens uit tabel 40A uit dat zowel de naam mangaanoxide als mangaandioxide niet juist is.
- 4 Noteer de juiste naam voor ‘mangaandioxide’.

De Neanderthalers gebruikten volgens de onderzoekers het MnO_2 waarschijnlijk bij het aanmaken van hun houtvuren.

- 5 Teken een energiediagram voor de verbranding van hout. Gebruik als algemene formule voor hout $\text{C}_p\text{H}_q\text{O}_r$.

Het artikel vermeldt: “Allereerst tonen experimenten aan dat mangaan kan helpen bij het ontsteken van een houtvuur en wel doordat het mineraal de ontvlamtemperatuur enorm verlaagt.”

- 6 Teken ook een energiediagram voor de verbranding van hout waarbij gebruik wordt gemaakt van MnO_2 . Laat duidelijk het verschil uitkomen met het vorige diagram in je tekening uitkomen en licht dit verschil toe.

In het artikel staat ook “dat mangaanoxide uit zichzelf onbrandbaar is”.

De onderzoekers hebben aangetoond dat uit de gebruikte stof MnO_2 een stof met formule Mn_3O_4 ontstaat.

- 7 Leg uit dat bij de vorming van Mn_3O_4 uit MnO_2 inderdaad geen sprake kan zijn van een verbranding, maar eerder van het omgekeerde: het vrijkomen van zuurstof.
- 8 Licht het “slimme jongens” in de titel van het artikel toe.

Versie 3

Nederlandse wetenschappers deden nieuw onderzoek naar blokjes mangaanoxide die bij opgravingen nabij Neanderthalers werden aangetroffen.

- 1 Leg uit van welke onderzoeksvraag de onderzoekers zijn uitgegaan.

De onderzoekers hebben hun verbrandingsexperimenten uitgevoerd met eenvoudige laboratorium materialen, zoals die op een school aanwezig zijn.

- 2 Geef een beschrijving van het experiment (met opstelling en materialen) zoals de onderzoekers het uitgevoerd zouden kunnen hebben.
- 3 Noem tenminste twee zaken die de onderzoekers hebben gevarieerd.

Slimme jongens: Neanderthalers maakten vuur met mangaanoxide

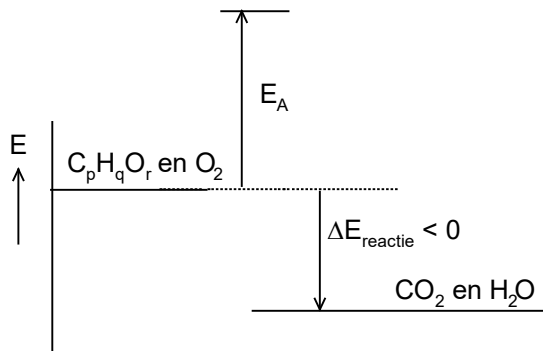
Versie 1

- 1 Hebben Neanderthalers mangaanoxide gebruikt bij het aanmaken van hun vuren?
- 2 Het was moeilijk om het te verzamelen. Andere 'zwarte' pigmenten waren makkelijker te verkrijgen.
- 3 Ze verlaagden de benodigde ontvlamtemperatuur, waardoor het hout makkelijker ontbrandt.
- 4 $3 \text{MnO}_2 \rightarrow \text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{O}_2$
- 5 Bij een verbranding verbruik je zuurstof, hierbij komt zuurstof vrij.
- 6 Extra toevoer van zuurstof.
- 7 Vuur maken met behulp van mangaanoxide is bij hedendaagse jagers en verzamelaars niet bekend.

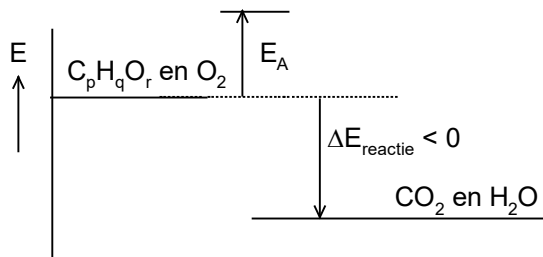
Versie 2

- 1 Hebben Neanderthalers mangaanoxide gebruikt bij het aanmaken van hun vuren?
- 2 Het was moeilijk om het te verzamelen. Andere 'zwarte' pigmenten waren makkelijker te verkrijgen.
- 3 In tabel 40A staan bij mangaan twee ladingen vermeld: 2+ en 4+. Dat betekent dat het mangaan een metaalion is. Verbindingen met metaalionen volgen de naamgeving van de zouten.
- 4 In MnO_2 is Mn^{4+} aanwezig: mangaan(IV)oxide.

5



6



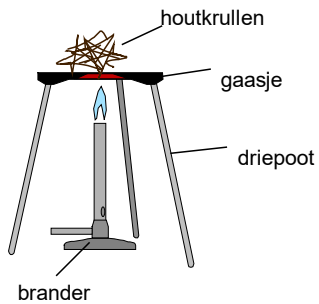
De activeringsenergie is beduidend lager door het gebruik van MnO_2 .

- 7 $3 \text{MnO}_2 \rightarrow \text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{O}_2$
- 8 Vuur maken met behulp van mangaanoxide is bij hedendaagse jagers en verzamelaars niet bekend.

Versie 3

- 1 Hebben Neanderthalers mangaanoxide gebruikt bij het aanmaken van hun vuren?

2



Een hoeveelheid houtkrullen op een gaasje leggen dat op een driepoot ligt. Aan de onderkant het gaasje met hout verhitten met een ruisende brander. Proef ook uitvoeren met hout waarover 'mangaanoxide' is gestrooid en met alleen maar 'mangaanoxide'.

- 3 'Mangaanoxide' (gekocht) in brokjes en in poedervorm als ook bij opgravingen gevonden blokjes 'mangaanoxide' van de Neanderthalers. Hout als krullen, takjes, blokjes.

Artikel:

<http://www.scientias.nl/slimme-jongens-neanderthalers-maakten-vuur-met-mangaanoxide/>

Het artikel in *Scientific Reports*:

<http://www.nature.com/articles/srep22159> , film van de experimenten:

<https://www.youtube.com/watch?v=0CvVq3TstDE>

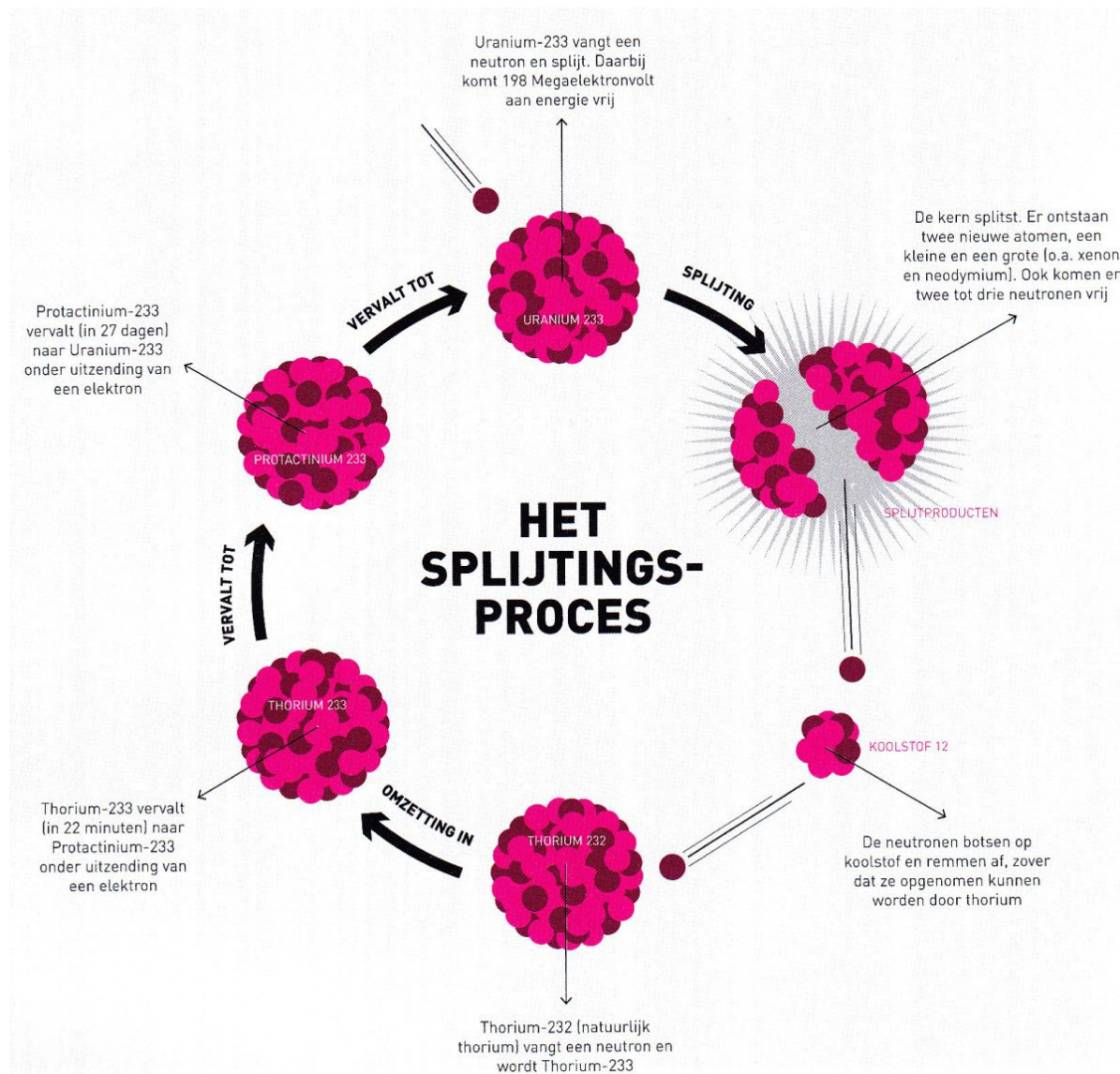
SPLIJTINGSPROCES THORIUMREACTOR

Klas	4 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Atoombouw
Trefwoorden	Thorium, kernfusie, kernreactie, energie
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemie Magazine, januari 2016

SPLIJTINGSPROCES THORIUMREACTOR

In de reactormantel vindt de omzetting van thorium (Th-232) naar het splijtbare U-233 plaats door het invangen van neutronen uit de kernreactor.



Bij kernreactoren denk je al gauw aan uranium. Maar hoe zit het met thorium als kern'brandstof'? Thorium-232 is het startpunt van een aantal kernreacties. De eerste stap is het invangen van een neutron door thorium-232.

- 1 Beschrijf de samenstelling van de kern van thorium-232.
- 2 Laat zien welke kern er ontstaat als er een neutron ingevangen is.

Uit het schema van het splijtingsproces blijkt dat thorium-233 vervalt tot protactinium-233 onder uittreding van een elektron.

- 3 Beschrijf de samenstelling van de kern van protactinium-233.
- 4 Laat zien welke kernreactie er dan opgetreden moet zijn.

In een volgende stap vindt eenzelfde type kernreactie plaats waarbij uranium-233 ontstaat.

- 5 Laat zien dat bij deze stap eenzelfde type kernreactie plaatsvindt als bij de omzetting van thorium-233 in protactinium-233.

De gevormde uraankern vangt een neutron in en splijt daardoor in twee kleinere kernen onder uitstoot van neutronen.

- 6 Leg uit dat de genoemde kernen van xenon en neodymium niet tegelijk uit een kernsplijtingsreactie van de genoemde uraankern kunnen ontstaan.
- 7 Leg uit welke kernen ontstaan als er xenon-132 en twee neutronen vrijkomen bij de kernsplijtingsreactie.

ER KOMT VEEL CHEMIE BIJ KIJKEN

Hoe ver staat het precies met de thoriumreactor? De technische uitdagingen zitten vooral in het uitontwikkelen van methoden om de splijtingsproducten uit de zoutstroom te halen, weet professor Rudy Konings, hoofd materialenonderzoek bij het Europese Joint Research Centre in Karlsruhe. Bij een klassieke centrale zit het kernaafval in de brandstofstaven, bij de thoriumreactor is het verdeeld over het gesmolten zout. "Bij een gesmoltenzoutreactor komt veel meer chemie kijken." Omdat er een waaier aan elementen ontstaat bij de kernsplijting, zijn meerdere zuiveringen nodig. Zo wordt helium door het zoutmengsel gebubbeld dat de gevormde edelgassen xenon en krypton afvoert. Om andere splijtingsproducten zoals cesium en neodymium (zeldzame aarden) af te scheiden, zijn meerdere methoden in ontwikkeling. Het gesmolten zout bij hoge temperatuur extraheren met een gesmolten metaal bijvoorbeeld. Of een elektrochemische scheiding waarbij de elementen neerslaan op een elektrode. Vanwege de hoge radioactiviteit moeten alle zuiveringen geautomatiseerd en op afstand worden uitgevoerd. "Maar dat is natuurlijk niet nieuw voor de nucleaire industrie", stelt Konings. "Sowieso zijn de technische problemen oplosbaar. Het zijn geen showstoppers".

De benodigde technische ontwikkelingen 'zitten vooral in het uitontwikkelen van methoden om de splijtingsproducten uit de zoutstroom te halen', aldus professor Rudy Konings.

- 8 Hoe worden de gevormde edelgassen uit de zoutstroom verwijderd?
- 9 Leg uit dat het principe van deze scheiding op extractie berust.
- 10 Hoe zou je het mengsel van de edelgassen van elkaar kunnen scheiden?

Cesium en neodymium kunnen verwijderd worden door extractie met een gesmolten metaal.

11 Licht dit proces kort toe.

Een andere mogelijkheid om metalen van elkaar te scheiden is een elektrochemisch proces.

12 Leg uit op welke elektrode de gevormde metalen zullen neerslaan.

13 Leg uit hoe hierbij de metalen van elkaar gescheiden kunnen worden.

De kringloop die in het artikel is weergegeven kan worden gebruikt om energie te leveren.

14 Welk proces levert die energie?

Thoriumreactor krijgt nieuwe kans

- 1 Th-232: atoomnummer is 90 dus 90 protonen en $232-90=142$ neutronen.
- 2 Er ontstaat dan een kern met massagetal 233, het blijft thorium want het aantal protonen blijft hetzelfde. Dus Th-233 met 90 protonen en 143 neutronen.
- 3 Pa-233: atoomnummer 91, dus 91 protonen en $233-91=142$ neutronen.
- 4 Er is 1 proton bijgekomen en er is 1 neutron verdwenen. Dus bij de kernreactie is 1 neutron omgezet in 1 proton en 1 elektron (die uitgestoten wordt).
- 5 U-233: 92 protonen en $233-92=141$ neutronen. Dus ook hier moet er in de kern van Pa-233 1 neutron omgezet zijn in 1 proton onder uitstoot van 1 elektron.
- 6 Xe heeft atoomnummer 54, Nd heeft atoomnummer 60. Samen dus 114 protonen terwijl U-234 slechts 92 protonen heeft. Ook de som van de massagetallen ($132+142=274$) levert een veel te hoog getal op.
- 7 U-234 wordt dan omgezet in Xe-132 met 54 protonen, 2 neutronen en nog een kern. Deze kern bevat $92-54 = 38$ protonen en is dus strontium, Sr. U-234 bevat 142 neutronen, Xe-132 bevat 78 neutronen. Dus de andere kern bevat $142-78-2 = 62$ neutronen. Het massagetal van de nieuwe kern is dus $38 + 62 = 100$: Sr-100.
- 8 Men bubbelt helium door het gesmolten zout die dan de edelgassen meeneemt.
- 9 De edelgassen lossen op in helium, de rest niet.
- 10 Het mengsel afkoelen: xenon heeft kookpunt van 165 K, krypton van 120 K en helium van 4,2 K. Xenon zal als eerste vloeibaar worden, daarna krypton.
- 11 In het gesmolten metaal lossen de metalen uit de zoutstroom op, het zout zelf niet.
- 12 De deeltjes zijn metaalionen die positief geladen zijn en dus neerslaan op de negatieve elektrode waar ze elektronen opnemen.
- 13 De metaalionen zullen na elkaar (bij verschillende potentialen) elektronen op nemen, het meest onedele metaalion als laatste.
- 14 De splijting van uranium-233 kernen na het invangen van een neutron. Daarbij komt veel energie vrij (en neutronen voor de volgende ronde).

KASSABON

Versie 1

<i>Klas</i>	3 hv
<i>Subdomein</i>	Onderzoeken
<i>Vaardigheid</i>	Energie
<i>Specificaties</i>	Onderzoeksvraag, hypothese, werkplan, conclusie
<i>Trefwoorden</i>	Endotherme reactie, thermochroom papier, beeldverslag
<i>Vaardigheidsvraag</i>	Werkplanvraag

Versie 2

<i>Klas</i>	3 hv
<i>Subdomein</i>	Energie
<i>Vaardigheid</i>	Informatie
<i>Specificaties</i>	Endotherm, exotherm,
<i>Trefwoorden</i>	Warmtegeleiding, Reactie geven op vraag
<i>Vaardigheidsvraag</i>	Aanvaardbaarheidsvraag

Kassabon

Bij winkelkassa's wordt altijd wel een nieuwe papierrol in de kassa gedaan maar wordt niet een inktpatroon vervangen.

Heb je je wel eens afgevraagd waarom?



05/10/2011 WOE 11:38
LINT €11.11
TONERS €22.22
TAFEL €33.33
KANTOORKAST €44.44
BTW 2 €111.10
NET2 AMT €93.36
BTW 2 €17.74
TOTAAL €111.10
CONTANT €111.10
VERKO.1 000011 000000

_Versie 1

Uitvoering

Nodig: een kassabon

- Leg de kassabon met de bedrukte kant naar boven.
- Kras met je nagel over de bedrukte kant van de kassabon.
- Draai de kassabon om.
- Kras met je nagel over de achterkant van de kassabon.

- 1 Omschrijf het verschil dat je merkt tussen de voor- en achterkant van de kassabon.
- 2 Leg uit dat het bedrukken van een kassabon in een winkelkassa een proces is waarbij warmte nodig is.

Op de site van het programma *Kassa* van de Vara:

Kassabon als garantiebewijs???

Even een tip voor iedereen.

Als je een product hebt gekocht waarbij je kassabon tevens het garantiebewijs is, zorg dan dat je er een kopie van maakt.

Het papier waarop de inkt wordt gedrukt wordt na verloop van tijd zwart of vervaagt.

Probeer het maar eens uit om een kassabon in de zon te leggen.

Het is overigens niet het geval bij kassabonnen van 'gewoon' papier, maar wel bij 'glad' papier.

- 3 Maak een werkplan om uit te zoeken of zowel warmte als zonlicht een rol spelen.
- 4 Laat je werkplan controleren en voer de proeven uit. Maak foto's van je experimenten.
- 5 Maak een beeldverslag (met foto's) van je proeven en voeg een conclusie toe.

Versie 2

Uitvoering

Nodig: een kassabon

- Leg de kassabon met de bedrukte kant naar boven.
- Kras met je nagel over de bedrukte kant van de kassabon.
- Draai de kassabon om.
- Kras met je nagel over de achterkant van de kassabon.

- 1 Omschrijf het verschil dat je merkt tussen de voor- en achterkant van de kassabon.
- 2 Leg uit dat het bedrukken van een kassabon in een winkelkassa een proces is waarbij warmte nodig is.
- 3 Is het bedrukken van een kassabon een exotherm of een endotherm proces?

In een klas hebben leerlingen de volgende proef uitgevoerd:

- * Wrijf driemaal met een metalen voorwerp over de kassabon.
- * Wrijf ook driemaal met een plastic voorwerp over de kassabon.

De leerlingen noteerden de volgende waarnemingen:

Bij wrijven van het metalen voorwerp: Er zijn drie *lichtgrijze* strepen te zien.

Bij wrijven met het plastic: Er zijn drie *zwarte* strepen te zien.

- 4 Leg uit waardoor het verschil in kleur wordt veroorzaakt.

Hoe kun je het beste een thermische kassabon bewaren?

Kassabonnen zijn steeds vaker van thermisch papier gemaakt. Die bonnen worden snel zwart en onleesbaar. Hoe kan je deze bonnen het beste bewaren en hoelang kun je deze bonnen dan eigenlijk bewaren?

Bron: <http://overig.vraaglink.nl/267/hoe-kan-je-het-beste-een-thermische-kassabon-bewaren>

Bekijk hieronder het antwoord op de bovenstaande vraag.

Ik zou denken door het te lamineren, maar zoiets doe je niet zo snel.

Bron: <http://overig.vraaglink.nl/267/hoe-kan-je-het-beste-een-thermische-kassabon-bewaren>

In het 'grafisch' woordenboek staat:

Lamineren 1: Op elkaar hechten van lagen papier en/of ander bladvormig materiaal, zoals kunststof, metaal of textiel.

Lamineren 2: Het aanbrengen van een transparante folie door middel van warmte.

Bron: grafischwoordenboek.nl

- 5 Schrijf een reactie die jij op de site zou plaatsen als antwoord op de suggestie om lamineren te gebruiken voor het bewaren van kassabonnen.

Kassabon

De meeste kassabonnen maken gebruik van zogenaamd *thermisch* papier. Bij dit papier is een chemische stof op de bovenkant aangebracht, die verkleurt als hij wordt verwarmd. Door het wrijven met je nagel wordt het papier warm, net als met een strijkijzer of voorzichtig boven een vlam. De stof die meestal gebruikt wordt is bisfenol A.

Versie 1

- 1 Het lijkt of er op de voorkant een laagje zit, achterop niet. Door het krassen verkleurt de voorkant wel een beetje, de achterkant niet.
- 2 Door met je nagel erover heen te gaan, is er wrijvingsenergie ofwel warmte. In de winkelkassa zal dus ook warmte moeten worden toegevoerd aan de kassabon.

Versie 2

- 1 Het lijkt of er op de voorkant een laagje zit, achterop niet. Door het krassen verkleurt de voorkant wel een beetje, de achterkant niet.
- 2 Door met je nagel erover heen te gaan, is er wrijvingsenergie ofwel warmte.
- 3 Een endotherm proces, je moet warmte toevoegen.
- 4 Tijdens het wrijven met het metalen voorwerp over het papier wordt warmte geproduceerd. Bij het metalen voorwerp wordt deze warmte (gedeeltelijk) via het metaal (goede warmtegeleider) afgevoerd. Bij het plastic voorwerp (warmte- isolator) zal de warmte in het papier dringen en daardoor zullen er zwartere strepen ontstaan.
- 5 Als het lamineren met warmte gebeurt zal de kassabon volledig zwart worden en dus zeker niet lang leesbaar blijven.

Opmerking. Indien u de proef niet wilt laten uitvoeren kunt u ook onderstaande foto's gebruiken.



Bron: <http://www.proefjes.nl/antwoordblad/006>



Bron: <http://www.proefjes.nl/antwoordblad/006>

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Kassabon>: "Een thermische kassabon blijft langer leesbaar door hem te bewaren in het donker, in een niet te vochtige omgeving en op kamertemperatuur. Door zonlicht, wrijving, warmte, vet en vocht kan de bon vervagen."

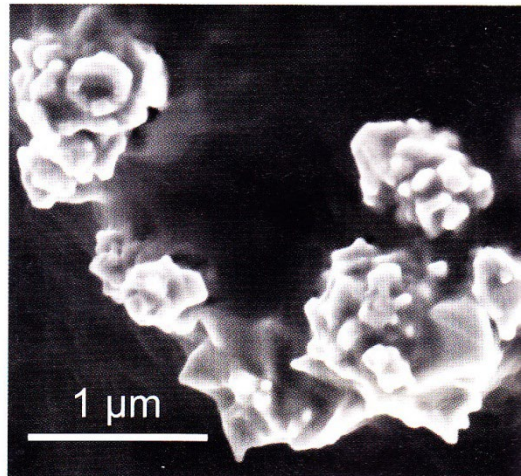
ACCU MET THERMOSTAAT

Klas	4,5 hv
Subdomein	Binding en structuur
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Stofeigenschappen, geleidbaarheid
Trefwoorden	Nikkel-nanodeeltje, accu, beveiliging, nano, μm
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 5 februari 2016

ACCU MET THERMOSTAAT

Blikvanger in het allereerste nummer van *Nature Energy* was een Li-ionaccu die zichzelf uitschakelt als hij te warm wordt. Yi Cui, Zhenan Bao en collega's van Stanford University gebruiken daarvoor *spiky* Ni, nikkel-nanodeeltjes met puntige uitlopers die dankzij tunneleffecten verrassend goed zijn in het onderling doorgeven van elektronen. Die deeltjes zijn gewoon in de handel. Je coat ze met grafeen om oxidatie tegen te gaan en bedt ze vervolgens in in polyetheen. Daar bedek je de aansluitingen van de accuelektrodes mee. De laag is geleidend tot een zekere maximumtemperatuur; kom je daarboven, dan trekt de uitzettende kunststof de nanodeeltjes te ver uit elkaar. Wanneer de temperatuur snel stijgt, bijvoorbeeld door kortsluiting, dan vermindert de geleiding binnen een seconde met zeven à acht ordegroottes en valt de stroomlevering abrupt uit. Na afkoeling herstelt ze zich vanzelf om meteen weer te stoppen als het probleem nog niet is verholpen. Proefjes met een heteluchtkanon doen vermoeden dat het materiaal aardig wat cycli overleeft zonder merkbaar achteruit te gaan. (AD)



'Spiky' nanonikkeldeeltjes.

Een Li-ionaccu die zichzelf uitschakelt als hij te warm wordt, bijvoorbeeld bij kortsluiting. Het principe van bescherming zit hem in de laag die op aansluitingen van de elektroden is aangebracht.

- 1 Welke bestanddelen bevat die laag?
- 2 Beschrijf de functie van elk van de bestanddelen van die laag.

Bij sterke verwarming gebeurt er iets waardoor de stroomlevering stopt.

- 3 Beschrijf wat er bij het verwarmen gebeurt waardoor de stroomlevering stopt.

Na afkoeling functioneert de accu weer normaal.

- 4 Hoe kan het dat na afkoeling de accu weer normaal functioneert?

In de afbeelding '*Spiky*' nanonikkeldeeltjes staat een schaalverdeling in μm .

5 Leg uit of nano en μm dezelfde orde van grootte weergeven.

Accu met thermostaat

- 1 De laag bevat nikkelnanodeeltjes, grafeen en polyetheen.
- 2 Nikkelnanodeeltjes dienen als middel om elektronen te transporteren, grafeen dient te voorkomen dat nikkel gaat oxideren, polyetheen is de stof die alles bij elkaar houdt.
- 3 Door verwarmen zet de kunststof polyetheen uit waardoor op een bepaald moment de nanodeeltjes te ver uit elkaar komen te liggen om nog elektronen te kunnen transporteren.
- 4 Bij afkoelen krimpt de kunststof weer waardoor de nanodeeltjes weer dicht genoeg komen om elektronen te kunnen transporteren.
- 5 Nee, nano is in orde van grootte 10^{-9} m en micro (μm) in orde van grootte 10^{-6} m.

FLESJES MAKEN UIT FRUCTOSE

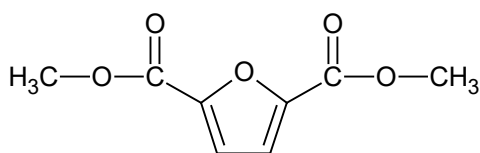
Klas	5,6v
Subdomein	Processen en reacties, Industriële en groene chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Copolymeer, polyester, hydrolyse polymeer, hernieuwbare grondstof, innovatief proces
Trefwoorden	Groene colaflesjes, fructose, recyclen
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 25 januari 2016

Flesjes maken uit fructose

Alweer een nieuw PET-alternatief

Met furaandicarbonzuurmethylester kun je wellicht nog groenere colaflesjes maken dan met furaandicarbonzuur. Dat beweren althans chemiegigant DuPont en mega-graanhandel Archer Daniels Midland (ADM) in een persbericht.



FDME

Ze zeggen het eerste bruikbare proces te hebben ontdekt dat fructose omzet in deze methylester, die ze de afkorting FDME meegeven. Het is een kwestie van katalyse, maar meer details worden niet verstrekt. Ze zouden er elk afzonderlijk al heel lang mee bezig zijn geweest, en drie jaar geleden de koppen bij elkaar hebben gestoken.

De flesjes zouden moeten bestaan uit een copolymeer van FDME en propaan-1,3-diol, dat de afkorting PTF (polytrimethyleenfuraandicarboxylaate) heeft meegekregen. Bij een vestiging van ADM in Decatur, Illinois, is een demonstratiefabriek gepland met een capaciteit van 60 ton per jaar.

De Amerikanen binden hiermee de strijd aan met het Nederlandse Avantium, dat een proces heeft om furaandicarbonzuur (FDCA) te maken. Dat wordt gepolymeriseerd met ethaan-1,2-diol (ethyleenglycol) tot polyethyleenfuranooat (PEF). Net als PTF wordt PEF in de markt gezet als 'groen' alternatief voor PET oftewel polyethyleentereftalaat.

Extra voordeel van PEF is dat het minder gasdoorlatend is dan PET waardoor je je flesjes dunner kunt maken zonder dat de 'prik' voortijdig uit de inhoud verdwijnt. Voor PTF zou hetzelfde moeten gelden.

Bovendien zou FDME goedkoper moeten zijn te produceren dan FDCA, in elk geval met de nu beschikbare technologie. Waarom is niet duidelijk. Wellicht heeft het iets te maken met het energieverbruik; bekend is dat dat bij FDCA-productie aan de hoge kant is.

Daar staat tegenover dat Avantium verder is in de ontwikkeling, en binnen een paar maanden de bouw van de eerste grootschalige fabriek hoopt aan te kondigen.

En in *C&EN* tekent iemand er bij aan dat al die verschillende soorten flesjes slecht nieuws zijn voor het milieu: ze zijn nauwelijks uit elkaar te houden maar om ze optimaal te recyclen moet dat eigenlijk wél.

In Nederland heeft het bedrijf Avantium een alternatief voor de kunststof PET ontwikkeld, met de naam PEF, polyetheenfuranoaat. Twee Amerikaanse bedrijven gaan ook een alternatief voor PET produceren. Uit fructose willen ze eerst de verbinding FDME, furaandicarbonzuurmethylester, maken.

Omzetten fructose

In de structuurformule van FDME, in het artikel, kun je de bouwsteen fructose herkennen.

- 1 Teken de structuurformule van fructose.

Je ziet dat er heel wat aan het fructosemolecuul moet worden aangepast voordat je bij FDME komt. Allereerst moeten er drie –OH groepen worden verwijderd. Dit gebeurt in een zuur milieu. De drie OH-groepen die aan de ring vastzitten verdwijnen. Er ontstaat daarbij ook water.

- 2 Geef de halfreactie van deze omzetting in molecuulformules.
- 3 Teken de structuurformule van het ontstane product.

Ook moeten de twee –CH₂OH groepen, die aan de ring vastzitten, nog omgezet worden tot carboxylgroepen, -COOH.

- 4 Geef de halfreactie van deze omzetting in *molecuulformules*.
- 5 Teken de structuurformule van het ontstane product.

Vervolgens kan het FDME gemaakt worden.

- 6 Geef de structuurformule en naam van de stof waarmee het product uit vraag 5 daarvoor moet reageren.
- 7 Geef de reactievergelijking van de omzetting tot FDME, in structuurformules, weer.

De fabrikanten spreken over groene colaflesjes.

- 8 Leg uit wat er aan de productie van FDME in ieder geval 'groen' is.

Polymerisatie

Het FDME wordt gebruikt om met propaan-1,3-diol een copolymeer te produceren.

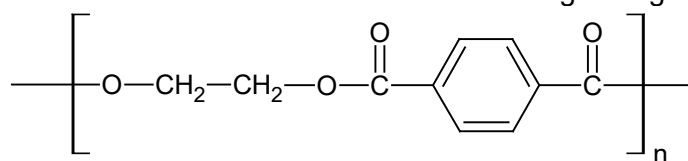
- 9 Leg uit wat een copolymeer is.
- 10 Teken een stukje van vier eenheden van het copolymeer.
- 11 Welke stof ontstaat ook bij de productie van het copolymeer?
- 12 Leg uit of er een thermoplast of een thermoharder ontstaat.

Avantium

Het nieuwe Amerikaanse proces wordt vergeleken met het proces van het Nederlandse bedrijf. Er zijn twee belangrijke verschillen aan te wijzen.

- 13 Leg uit welke twee verschillen er zijn tussen de beide processen.

Voor frisdrankflessen wordt momenteel nog PET gebruikt.



structuurformule van PET

- 14 Geef de structuurformules van de twee stoffen waaruit PET wordt gemaakt.
- 15 Leg uit waarom zowel PEF als PTF 'groener' zijn dan PET.

Recyclen

Je kunt zowel PET, PEF als PTF recyclen. Dat zou op twee manieren kunnen. Bij de eerste methode verwarm je de kunststoffen goed. Je kunt ze dan vervolgens in een nieuwe vorm brengen.

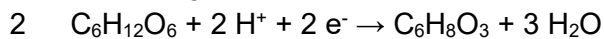
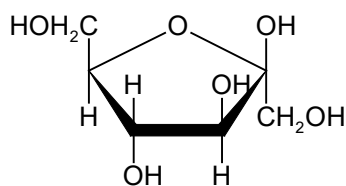
- 16 Leg uit hoe het komt dat je door de kunststoffen alleen maar te verwarmen het materiaal weer kunt gebruiken om flesjes te maken.

Bij de tweede methode breek je de kunststoffen af tot de monomeren.

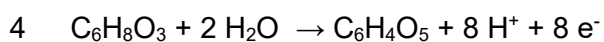
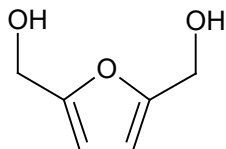
- 17 Leg uit hoe het type reactie heet dat gebruikt wordt om uit de polymeren weer de monomeren te maken.

Flesjes maken uit fructose

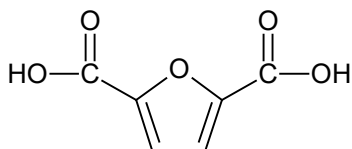
1



3

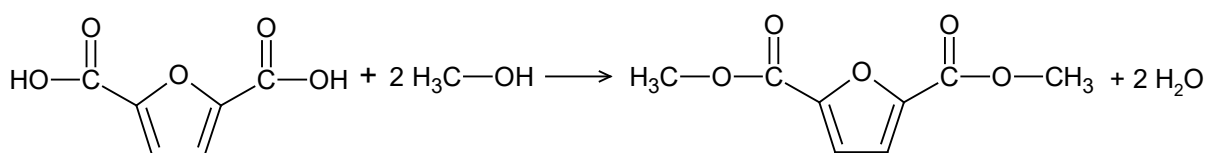


5



6 Methanol, CH_3OH

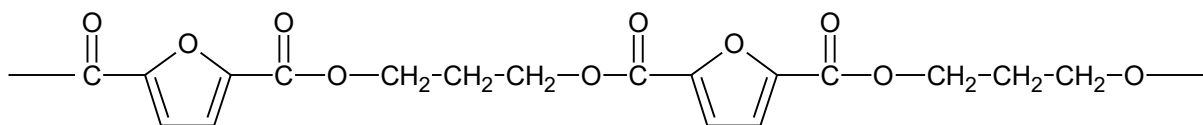
7



8 De grondstof fructose is hernieuwbaar. Fructose komt uit vruchten en kan ieder jaar opnieuw worden geproduceerd.

9 Een copolymeer is een polymeer dat gemaakt wordt uit twee of meer soorten monomeren.

10

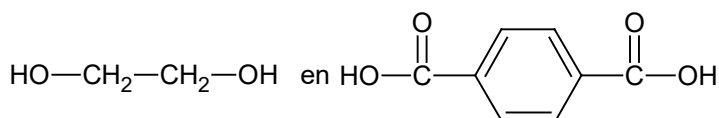


11 Er ontstaat nog methanol, CH_3OH .

12 Er ontstaat een thermoplast, want er worden ketens gevormd. Dwarsverbindingen zijn niet mogelijk.

13 Avantium gaat uit van het zuur, terwijl het nieuwe proces uitgaat van een ester van hetzelfde zuur. Avantium polymeriseert met ethaan-1,2-diol en het nieuwe proces met propaan-1,3-diol.

14



15 Beiden gaan uit van fructose, dat een hernieuwbare grondstof is.

16 Beide kunststoffen zijn thermoplast. Door te verhitten wordt het materiaal week en kun je het opnieuw in een vorm brengen.

- 17 Beide kunststoffen zijn poly-esters. Om de kunststoffen af te breken tot de monomeren, moet je de kunststoffen hydrolyseren.

EXTRA SUPERSTERKE VEZEL

Klas	5 hv
Subdomein	Binding en structuur
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische chemie, polymeren
Trefwoorden	Dyneema, DSM, supervazel, PE, mengbaarheid, berekening, micro, macro, meso
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W LS, 22 januari 2016

EXTRASUPERSTERKE VEZEL

DSM's Dyneema-vezels worden nóg sterker als je ze bereidt in plantaardige olie, melden de naar Zürich uitgeweken Nederlanders Theo Tervoort en Paul Smith in *Macromolecules*. Zulke vezels bestaan uit polyethyleen (PE) met ketens die tientallen malen langer zijn dan gebruikelijk. Je maakt ze door de polymeermassa op te lossen en te verspinnen, zodat de ketens parallel komen te liggen. Dat oplossen was altijd een kwestie van 10 % PE in decaline ($C_{10}H_{18}$ op aardoliebasis) maar Tervoort en Smith stellen nu dat 25 % PE in gemengde triglyceriden hetzelfde resultaat geeft. Per kg Dyneema hou je zo maar 3 kg vervuilde plantaardige olie over in plaats van 9 kg decaline. Ga je naar 10 % PE in olie, dan gaan de klitten er beter uit en krijg je vezels die bijna tweemaal zo sterk zijn. (AD)



Kan Dyneema de helft lichter?

In het artikel wordt beschreven hoe de tóch al sterke Dyneemavezel nóg sterker gemaakt kan worden.

- 1 Leg uit welke twee factoren bepalen hoe sterk de Dyneemavezel is.

Dyneemavezels bestaan uit moleculen PE.

- 2 Welke monomeren worden gebruikt om PE te maken? Geef zowel de naam als de molecuulformule en de structuurformule.

Om de polymeermoleculen te kunnen ordenen tot vezels moet de polymeermassa worden opgelost en daarna versponnen.

- 3 Welke ordening moeten de PE moleculen ondergaan?

De gebruikte stof op aardoliebasis is de koolwaterstof decaline (met molecuulformule $C_{10}H_{18}$). De stof heeft olie-achtige eigenschappen.

- 4 Leg uit waarom je voor het oplossen van PE wel decaline kunt gebruiken maar water niet.

- 5 Leg aan de hand van de formule van decaline uit of dit een verzadigde of onverzadigde koolwaterstof is.

Plantaardige olie kan als alternatief dienen voor de op aardolie gebaseerde olie.

- 6 Hoe wordt de plantaardige olie in het artikel genoemd?
- 7 Laat met behulp van een berekening zien dat er minder afval ontstaat als de op aardolie gebaseerde olie vervangen wordt door plantaardige olie.
- 8 Leg uit hoe de vezel nog sterker kan worden als je een 10% PE oplossing in plantaardige olie gaat verspinnen.

In het artikel wordt impliciet gesproken over micro-, meso- en macroniveau.

- 9 Geef aan waar in het artikel gesproken wordt over micro-, meso- en macroniveau.

Extra supersterke vezel

- 1 De lengte van de moleculen en hoe goed ze geordend zijn.
- 2 Het monomeer is etheen, C_2H_4 . Structuurformule: $H_2C=CH_2$.
- 3 De moleculen moeten evenwijdig (parallel) komen te liggen.
- 4 PE is hydrofoob en lost daardoor wel in op in olie (ook hydrofoob) maar niet op in water (is hydrofiel).
- 5 Molecuulformule decaline is $C_{10}H_{18}$. Een verzadigde koolwaterstof met 10 C atomen heeft als molecuulformule $C_{10}H_{22}$. Dus het is een onverzadigde verbinding. (Er zijn 4 H atomen te weinig t.o.v. de verzadigde formule. Dit kan duiden op twee dubbele bindingen of een drievoudige.)
- 6 Gemengde triglyceriden.
- 7 PE uit decaline: 10% oplossing dus 1 kg product en 9 kg afvalolie. PE uit plantaardige olie: 25% oplossing levert hetzelfde resultaat, dus 2,5 kg product en 7,5 kg afvalolie ofwel 1 kg product en 3 kg afvalolie..
- 8 De klitten gaan er beter uit tijdens verspinnen zodat de ketens nog beter parallel komen te liggen en er een nog sterkere binding ontstaat.
- 9 PE op molecuulniveau= micro-niveau. De moleculen rangschikken zich parallel = mesoniveau. Er ontstaan vezels, waarneembaar niveau=macroniveau.

CO₂ ALS ONTSNAPPINGSKUNSTENAAR

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Zuur-base
Trefwoorden	Zouten, base, CO ₂ , zure oplossing, brijn
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

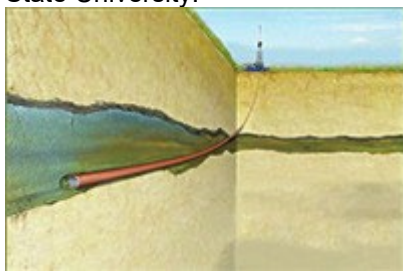
www.c2w.nl, 15 februari 2016

CO₂ als ontsnappingskunstenaar

Opslag in bodem net iets minder zeker dan gedacht

Arjen Dijkgraaf

Als je koolstofdioxide opslaat in de bodem blijft het daar meestal wel zitten. Maar reken er niet al te vast op want er zitten nog meer moleculen in die bodem, waarschuwen onderzoekers van Penn State University.



En net zo hard weer omhoog?

Het grootste gevaar is volgens hen dat CO₂ in de bodem zout water tegenkomt. Het lost daar in op en zuurt het water aan. De resulterende zure brijn tast sommige soorten gesteente aan en bijvoorbeeld ook de cementbekleding van oude boorgaten. Vreet het zich daar doorheen, dan is de weg naar boven zo'n beetje vrij.

In het *International Journal of Greenhouse Gas Control* beschrijven Zuleima Karpyn en promovendus Peilin Cao enkele lab-experimenten met cement in zand- en in kalksteen. Na een dag of acht keken ze met röntgenmicrotomografie in hoeverre de brijn de porositeit van het gesteente had beïnvloed.

De resultaten waren duidelijk verschillend. Kalksteen lost zelf op in de zure brijn en wordt een stuk poreuzer, zodat de CO₂ die er achteraan komt mogelijk kan ontsnappen naar een andere bodemlaag. Maar hierdoor stijgt de pH van het water, zodat het cement niet wordt aangetast.

Zandsteen lost niet of nauwelijks op. En dat betekent weer dat het water zuur genoeg blijft om cement wél aan te vreten. Waarbij het vervelende uiteraard is dat met CO₂ bij voorkeur injecteert in oude olie- en gasvelden die per definitie vol met van oude boorgaten zitten.

In hoeverre het allemaal erg genoeg is om ondergrondse CO₂-opslag onaantrekkelijk te maken, is uiteraard de vraag.

bron: Penn State

* brijn = zout water, pekkel

Om overtollig CO₂ “kwijt te raken” wordt het soms in de bodem opgeslagen, maar blijft het daar wel zitten?

1 Verklaar de titel “CO₂ als ontsnappingskunstenaar” in maximaal 30 woorden.

In het artikel staat dat CO₂ het water, waarin het oplost, aanzuurt.

2 Licht deze uitspraak toe met behulp van een reactievergelijking. Je mag er hierbij van uit gaan dat aanwezig zout (NaCl) geen invloed heeft.

Kalksteen

In onderstaande tabel staat een gemiddelde samenstelling van *kalksteen* gegeven.

Samenstelling kalksteen

	<i>Massapercentage %</i>
Calciumcarbonaat (CaCO ₃) en ongebluste kalk (CaO)	38 - 42
Siliciumdioxide (SiO ₂)	15 - 18
Aluminiumoxide (Al ₂ O ₃)	3 - 5
Magnesiumcarbonaat (MgCO ₃) en magnesiumoxide (MgO)	0,5 - 3
IJzer(II)oxide (FeO) en ijzer(III)oxide (Fe ₂ O ₃)	1 - 1,5
Natriumoxide (Na ₂ O) en kaliumoxide (K ₂ O)	1 - 1,5
Organische verbindingen	30 - 32

In het artikel staat dat de “kalksteen lost zelf op in de zure brijn”.

3 Leg uit dat het geen kwestie is van “oplossen” maar dat de kalksteen reageert met de zure brijn.

4 Leg uit met welke van de genoemde stoffen uit de tabel ‘samenstelling kalksteen’ de zure brijn kan reageren.

Als de zure brijn met de kalksteen heeft gereageerd, ontstaan gaten in het gesteente, waardoor aanwezig CO₂ kan ontsnappen. Hierdoor stijgt de pH van de brijn.

5 Leg uit waardoor de pH van de brijn stijgt als CO₂ ontsnapt naar andere lagen en dus de brijn verlaat.

Zandsteen

In het artikel staat dat *zandsteen* niet of nauwelijks oplost (ofwel reageert). In onderstaande tabel staat een gemiddelde samenstelling van zandsteen vermeld.

Samenstelling zandsteen

	<i>Massapercentage %</i>
Siliciumdioxide (SiO ₂)	93 - 94
Aluminiumoxide (Al ₂ O ₃)	1,4 - 1,5
IJzer(III)oxide (Fe ₂ O ₃)	1,5 - 1,6
Calciumcarbonaat (CaCO ₃) en ongebluste kalk (CaO)	0,8 - 0,9
Natriumoxide (Na ₂ O) en kaliumoxide (K ₂ O)	1,0 - 1,2
Magnesiumcarbonaat (MgCO ₃) en magnesiumoxide (MgO)	0,2 - 0,25

6 Leg aan de hand van de samenstelling van zandsteen uit dat dit te verwachten is.

In het artikel staat "Maar reken er niet al te vast op want er zitten nog meer moleculen in die bodem".

7 Leg uit of het terecht is dat de term "moleculen" in de context van de bodemsamenstelling wordt gebruikt.

Het artikel vermeldt dat zure brijn ook cementbekleding van oude boorgaten aantast, maar dat de cement niet wordt aangetast als de pH stijgt (wanneer de CO_2 ontsnapt is).

Cement (portlandcement) bestaat uit meer dan 90% portlandklinker, 5% gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhydriet (CaSO_4) en andere stoffen. In portlandklinker zitten mineralen zoals:

- $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$;
- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$;
- $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$;
- $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

8 Leg uit waarom cement wel aangetast wordt door zure brijn, maar niet door water met een hogere pH.

CO₂ als ontsnappingskunstenaar

- 1 CO₂ zorgt voor zure oplossingen en kan daardoor uit bepaalde bodemlagen waarin het is opgeslagen ontsnappen.
- 2 $\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ of $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$. Er ontstaan door de reactie met water H₃O⁺/H⁺ ionen, waardoor een zure oplossing ontstaat.
- 3 Oplossen wil zeggen dat bijvoorbeeld zouten uiteenvallen in ionen. Een aantal van de genoemde zouten is slecht oplosbaar of reageert met water. Doordat ze echter allemaal (behalve SiO₂) de sterke base O²⁻ bevatten treedt er een zuur-base reactie op tussen de sterke base en de H₃O⁺/H⁺ in de oplossing: de kalksteen reageert met de zure oplossing.
- 4 Zouten met als base CO₃²⁻ of O²⁻. Dus alle genoemde zouten en dus niet SiO₂.
- 5 In het water geldt het evenwicht: $\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$. Als CO₂ wordt weg genomen, zal het evenwicht naar links verschuiven, er komen dus minder H₃O⁺ ionen, de oplossing wordt minder zuur. Indien [H₃O⁺] kleiner wordt, stijgt de pH.
- 6 Zandsteen bevat voornamelijk SiO₂ dat niet als base kan reageren.
- 7 Nee, er zitten veel zouten in de bodem, daar kun je dus niet spreken over moleculen. Het SiO₂ in zandsteen heeft een atoomrooster (zoals diamant), en dan spreek je ook niet over een molecuul.
- 8 Ook in cement zitten, zoals in kalksteen, vooral verbindingen die een base bevatten en dus kunnen reageren met een zure oplossing. De verbindingen zijn slecht oplosbaar in water, ofwel in oplossingen met een hogere pH.

Artikel: <http://www.c2w.nl/co2-als-ontsnappingskunstenaar.415619.lynkx>

ZIJN SYNTHETISCHE VITAMINES NET ZO GEZOND ALS NATUURLIJKE?

Klas	5,6 v
Subdomein	Bindingen, structuren en eigenschappen, Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Stereo-isomerie, hydrolyse, zuur-base
Trefwoorden	Vitamines, voedsel, opname in lichaam
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.volkskrant.nl, 12 december 2015

Zijn synthetische vitamines net zo gezond als natuurlijke?

Door: Ianthe Sahadat

De een begint de dag met een sinaasappeltje, de ander met een vitamine C-tablet. Maakt dat uit? Zijn beide gesteld dat de hoeveelheid vitamines identiek is even gezond? In grote lijnen zijn natuurlijke en synthetische vitamines identiek, maar de opname in het lichaam voltrekt zich soms net even anders, legt Renger Witkamp uit, hoogleraar voeding en farmacologie aan de Wageningen Universiteit. Zijn collega Peter Hollman, wetenschappelijk onderzoeker bij de afdeling humane voeding van de Wageningen Universiteit, haast zich te benadrukken dat het gaat om de 3D-opbouw en moleculaire structuur.



Zolang die identiek is, is er simpelweg geen verschil tussen de stoffen, ook al is de een in de natuur ontstaan en de ander in een lab gemaakt. Ook het lichaam ziet in zo'n geval geen verschil.

Onderbuikredenering

De vraag komt volgens Hollman voort uit een 'onderbuikredenering', waarbij synthetisch of chemisch als slecht wordt gezien en natuurlijk als goed.

Wel wordt Vitamine E in natuurlijke vorm iets beter en sneller opgenomen dan in kunstmatige vorm, zegt Witkamp. Oorzaak: minimale verschillen in de structuur van beide stoffen. Het komt erop neer dat de natuurlijke vorm in één isomeer (de chemische vorm) voorkomt, terwijl de nagmaakte vitamine meerdere isomeren kent die niet allemaal door het lichaam worden herkend, zegt Suzan Tuinier, voedingskundige van het Vitamine Informatie Buro. In pilvorm moet ongeveer het dubbele van de aanbevolen natuurlijke dosis worden ingenomen om hetzelfde effect te bewerkstelligen.

Voor vitamines D, B5, B6, foliumzuur (B11) en vitamine B12 geldt juist dat ze in pilvorm beter door het lichaam worden opgenomen. 'In de voeding zijn vitamines soms ingepakt of aanwezig in een vorm die eerst door het lichaam moet worden omgezet in een actievere vorm', legt Witkamp uit. Het uitpakken van vitamines gebeurt in onze maag en darmen. Daarvoor ben je onder meer afhankelijk van wat er nog meer wordt gegeten en van de zuurgraad in de maag. Deze laatste kan bij mensen die maagzuurremmers gebruiken aan de lage kant zijn, waardoor de opname van B12 minder goed verloopt. In zo'n geval kan een tablet of injectie uitkomst bieden, omdat het stofje daar onmiddellijk beschikbaar is.

Theoretisch is het mogelijk

Theoretisch bezien kan iemand leven op alleen synthetische vitamines, zeggen Hollman en Witkamp. 'We hebben genoeg aan zo'n 50 moleculen', zegt Witkamp. Hij verwijst naar extreme situaties waarbij mensen door een ernstige ziekte of handicap via een infuus of sondevoeding vitamines moeten ontvangen. 'Het is mogelijk, maar verre van ideaal.'

Het is hem een raadsel waarom iemand vrijwillig zou kiezen voor een berg pillen in plaats van een lekker en gevarieerd eetpatroon. 'Er zit meer in voeding dan alleen vitamines', zegt ook Hollman. Je neemt de voedingsstoffen veel geleidelijker op, zegt Witkamp. 'En er is een grote sociale component.'

Volgens de hoogleraar zijn veel natuurlijke producten zo samengesteld dat alles mooi in balans binnenkomt. Zo hoeft je dus alleen maar gevarieerd te eten en niets uit te rekenen.

'Bij een hoge inname van synthetische middelen weten we ook niet wat de langetermijn-effecten zouden zijn', zegt Witkamp. 'We weten niet wat een vitaminepiek precies doet in het lichaam. Want neem je die pillen dan in de loop van de dag, verdeeld in porties, net zoals je maaltijden tot je neemt, of gooi je ze er 's morgens op een nuchtere maag allemaal in, zodat het lichaam een enorme stoot vitamines krijgt te verwerken? Wat dat betreft, zal ik altijd adviseren: blijf in de buurt van de natuur, daar zijn de verhoudingen namelijk precies goed. Waarom zou je van voeding farma maken?'
(..)

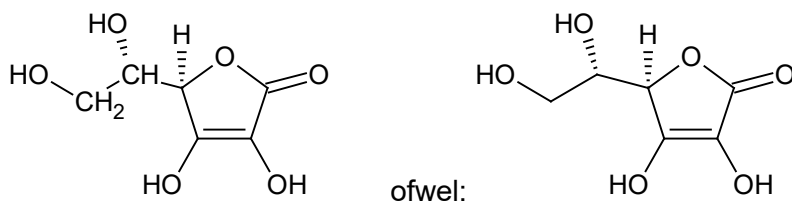
In het eerste deel van het artikel wordt de mening van twee wetenschappers weergegeven over het verschil tussen natuurlijke en synthetische vitamines.

- 1 Geef in je eigen woorden het verschil in de opvatting van Witkamp en Hollman weer.
- 2 Leg uit welke van de opvattingen meer informatie biedt.

In het vervolg van het artikel blijkt dat beiden het over het verschijnsel isomerie hebben.

- 3 Wat versta je onder isomerie?
- 4 Welke vormen van isomerie ken je?
- 5 Leg uit welke vorm van isomerie in dit artikel zal worden bedoeld.

Eén van de isomeren van vitamine C heeft de volgende structuurformule.



- 6 Leg uit welke vorm van isomerie het vitamine C molecuul met deze structuurformule vertoont.
- 7 Leg uit hoeveel van dit type isomeren er zijn.

In het artikel staat dat het soms aangeraden wordt om het dubbele van de aanbevolen natuurlijke dosis in te nemen om hetzelfde effect te bereiken.

- 8 Beredeneer waarom de dubbele hoeveelheid wordt aangeraden.
- 9 Beredeneer of dat bij vitamine C ook zo is.

'Er zit meer in voeding dan alleen vitamines' zegt Hollman.

- 10 Noem minstens vier groepen stoffen die in voeding zitten, die wij ook nodig hebben.
- 11 Geef voor ieder van de vier groepen aan wat hun functie in ons lichaam is.

Witkamp zegt dat het misschien niet goed is om alle vitamines in één keer per dag naar binnen te werken.

12 Leg uit waarom dat misschien niet goed is.

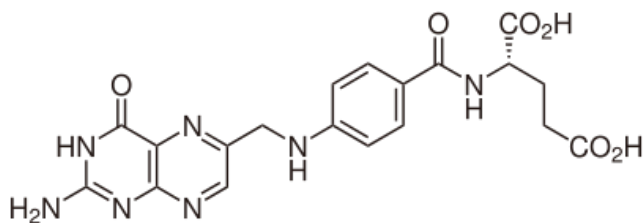
Het in de tekst genoemde vitamine B12 heeft een zeer ingewikkelde molecuulstructuur. In voedsel wordt het omringd door eiwitten uit het voedsel. In de maag worden de eiwitten door maagzuur omgezet. Hierdoor komt het vitamine B12 molecuul vrij en dat kan in de darmen worden afgebroken.

13 Wat voor reactie treedt er op tussen eiwit en maagzuur?

14 Leg uit waarom bij mensen die maagzuurremmers slikken de opname van vitamine B12 langzamer gebeurt.

15 Leg uit waarom synthetische vitamine B12 uit een tablet sneller in het lichaam wordt opgenomen.

Vitamine B11, foliumzuur, is een belangrijke vitamine voor ons. In het synthetische vitamine heeft het molecuul de structuurformule:



In voedsel komt het niet voor als foliumzuur maar als een tweewaardig negatief ion: het folaation. Een tablet met foliumzuur wordt in het lichaam omgezet in het folaation. Het folaation wordt in de darmen verder omgezet.

16 Leg aan de hand van de structuurformule uit hoe een tweewaardig negatief ion kan ontstaan.

De opname van foliumzuur uit een tablet is afhankelijk van de pH.

17 Leg uit of het foliumzuur in het lichaam beter wordt opgenomen bij een lage of een hoge pH.

Zijn synthetische vitamines net zo gezond als natuurlijke?

- 1 Witkamp is veel algemener in eerste instantie. Hij zegt dat synthetische en natuurlijke vitamines in grote lijnen gelijk zijn, maar de opname is toch verschillend. Hollman licht dit toe door de ruimtelijke bouw van de moleculen erbij te betrekken.
- 2 Hollman geeft daardoor meer informatie. Want in ons lichaam zijn veel enzymen stereospecifiek. De ruimtelijke bouw van een molecuul is daarom belangrijk.
- 3 Isomerie is het verschijnsel dat moleculen met dezelfde molecuulformule een verschillende structuur van het molecuul kunnen hebben.
- 4 Structuurisomerie, stereo-isomerie met cis-transisomerie en spiegelbeeldisomerie.
- 5 Het zal hier om stereo-isomerie gaan, want de structuurformule van vitamine A in de natuur is natuurlijk hetzelfde als de structuurformule van de synthetische vorm.
- 6 Dit molecuul heeft twee asymmetrische C-atomen. Er zijn dus spiegelbeeldisomeren.
- 7 Er zijn dus vier stereo-isomeren mogelijk. Stel dat je de twee spiegelbeeldisomeren van het eerste asymmetrische C-atoom A en B noemt. En die van het tweede asymmetrische C-atoom D en E noemt, dan krijg je de combinaties: AD, AE, BD en BE.
- 8 Bij een synthese van een stof met één asymmetrisch C-atoom in het molecuul krijg je 50% van de ene vorm en 50% van de andere vorm. De helft wordt dan niet opgenomen in je lichaam. Dus moet je twee keer zoveel innemen.
- 9 Nee, want hier kun je bij de synthese wel vier vormen krijgen. Dan zou je dus misschien wel 4 keer zoveel moeten innemen.
- 10/11 Koolhydraten: snelle energie. Eiwitten: opbouw van spieren. Vetten: opslag van energie. Vezels: Goed voor de werking van de darmen
- 12 Omdat niet bekend is hoe het lichaam reageert op de inname van al je vitamines in een keer. Misschien wordt er dan wel veel minder van verwerkt dan bij inname over de hele dag verspreid.
- 13 Hydrolyse van de eiwitten waardoor er uiteindelijk losse aminozuren ontstaan.
- 14 Wanneer je maagzuurremmers slikt, is er minder maagzuur in je maag, dus minder H_3O^+ om de hydrolyse te katalyseren. Dan wordt het vitamine molecuul langzamer vrijgemaakt en langzamer opgenomen.
- 15 Deze vitamine in een tablet wordt niet omringd door eiwitten. Het is dus onmiddellijk beschikbaar om opgenomen te worden in de bloedbaan.
- 16 Een molecuul vitamine B11 bezit twee zuurgroepen $-COOH$. Deze kunnen een H^+ afstaan waardoor een folaation ontstaat.
- 17 Bij een lage pH, zoals in de maag zal er geen folaation ontstaan. Je moet dus een hogere pH hebben om de H^+ van het molecuul af te kunnen halen.

<http://www.volkskrant.nl/wetenschap/zijn-synthetische-vitamines-net-zo-gezond-als-natuurlijke~a4205977/>

NIEUWE REGELS VOOR HYDROCRACKERKAT

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Kraakproces
Trefwoorden	Katalysator, diesel, kraken, isomerisatie, zeoliet
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 5 februari 2016

NIEUWE REGELS VOOR HYDROCRACKERKAT

Vuistregel na 53 jaar ontmaskerd als veel te simplistisch.

Voor optimale dieselbrandstof moet je je katalysatoren tot op de nanometer nauwkeurig in elkaar zetten. De huidige vuistregel is te simpel, stelden Leuvense en Utrechtse onderzoekers eind vorig jaar in *Nature*.

Die diesel komt uit zogeheten hydrocrackers, met als katalysator gewoonlijk een poreuze mix van platina-nanodeeltjes, zeolieten en een bindmiddel. Platina dehydrogeneert alkenen tot alkenen; de zeoliet verknipt ('kraakt') die alkenen of isomeriseert ze tot meer vertakte varianten, waarna het platina er weer alkenen van maakt. Bij een zekere afstand tussen metaal en zeoliet wordt diffusie van alkenen de snelheidsbepalende stap. In 1962 stelde Paul Weisz hiervoor een *intimacy criterion* vast, dat vaak wordt versimpeld tot 'hoe korter hoe beter'. Wat inhoudt dat het edelmetaal op de zeoliet moet zitten en niet op het bindmiddel.

Om te testen of dat klopt, maakten Gina Vanbutsele en Johan Martens (KU

Leuven) en Jovana Zecevic en Krijn de Jong (Universiteit Utrecht) twee soorten katalysatorpellets. Allebei bestonden ze uit 50 % zeoliet Y en 50 % aluminium-



Kraakkatalysatorpellets.

oxide als bindmiddel. Bij de ene meerdeerden ze het platina via ionenuitwisseling: in een oplossing van $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2$ bij pH 5 komt alle platina op de zeoliet terecht. Voor de andere namen ze elektrostatische adsorptie; in een H_2PtCl_6 oplossing bij pH 3 landt alles op aluminiumoxide.

Met die twee katalysatoren kraakten lineaire en vertakte alkanen. Qua conversiesnelheid bleek Weisz' criterium aan de kaak. Wat die regel niet voorspeldde verhouding tussen isomerisatie- en kraakreacties. Met platina op de zeoliet gaan die laatste overheersen, wat je niet wilt hebben als je diesel bereidt.

De onderzoekers vermoeden dat dit komt doordat de zeoliet relatief krap is. Worden de alkenen ter plekke gevonden dan blijven ze 'hangen' tot ze iets grondig zijn gekraakt. Ontstaan ze buisvormig op de zeoliet, dan blijft het contact vluchtiger, en blijven de vertakte isomeren heel. (AD)

Dieselbrandstof wordt gemaakt in hydrocrackers. Daarin bevindt zich een poreuze mix die als katalysator dient.

- 1 Welke bestanddelen bevat die mix?
- 2 Beschrijf de functie van elk van de bestanddelen van die mix.

Voor de katalysator werd in 1962 door Paul Weisz een vuistregel opgesteld, die erop neerkomt dat het edelmetaal op het zeoliet moet zitten en niet op het bindmiddel. De stelregel wordt versimpeld weergegeven als 'hoe korter, hoe beter'.

- 3 Wat wordt er bedoeld met de uitspraak 'hoe korter, hoe beter'?

Om te testen of deze vuistregel nog steeds klopt, maakten onderzoekers uit Leuven en Utrecht twee soorten katalysatorpellets.

- 4 Wat was er identiek en wat was er verschillend aan de twee soorten pellets?

Waar komt het platina terecht?

Een oplossing van $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2$ met $\text{pH} = 5$ bevat twee soorten ionen, namelijk nitraationen en een positief ion. Bij deze oplossing van $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2$ komt alle platina via *ionenuitwisseling* op het zeoliet terecht.

- 5 Geef de formule van het positieve ion.
- 6 Wat versta je onder ionenuitwisseling?

Bij een H_2PtCl_6 -oplossing met $\text{pH} = 3$ komt via *elektrostatistische adsorptie* alle platina terecht op het aluminiumoxide.

- 7 Leg uit of de lading van het platina in beide oplossingen hetzelfde is.

Het onderzoek

Met behulp van de twee katalysatoren kraakten de onderzoekers lineaire en vertakte alkanen.

- 8 Wat versta je onder kraken?
- 9 Wat is een betere benaming voor lineaire alkanen?
- 10 Wat bleek er over de conversiesnelheid?

De regel van Weisz zegt niets over de verhouding tussen isomerisatiereacties en kraakreacties.

- 11 Wat wordt bedoeld met isomerisatiereacties?

Vertakte alkanen blijken een betere motorbrandstof op te leveren dan onvertakte alkanen.

- 12 Leg uit welke katalysator het beste gebruikt kan worden om vertakte alkanen te krijgen.

In stappen

Men stelt zich voor dat het proces op de katalysator in stappen verloopt. In de eerste stap dehydrogeneren alkanen tot alkenen.

- 13 Geef de dehydrogenatie van octaan in een reactievergelijking met molecuulformules weer.

Het zeoliet verknipt de gevormde alkenen of isomeriseert ze tot meer vertakte moleculen.

- 14 Geef de reactievergelijking in structuurformules van de isomerisatie van oct-1-een tot 2,4,4-trimethylpent-1-een.

In een volgende stap maakt de platinakatalysator er weer alkanen van.

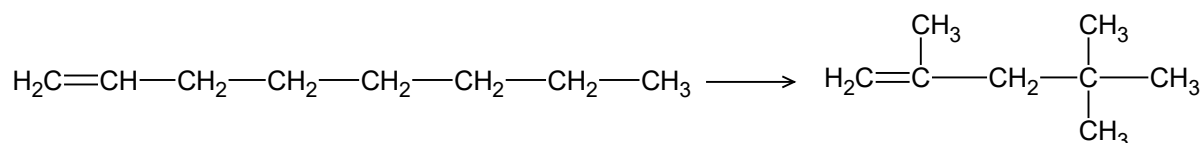
- 15 Geef de reactievergelijking, in structuurformules, waarbij 2,4,4-trimethylpent-1-een weer een alkaan wordt.
- 16 Geef de systematische naam van de gevormde alkaan.

Met platina op het zeoliet overheersen kraakreacties.

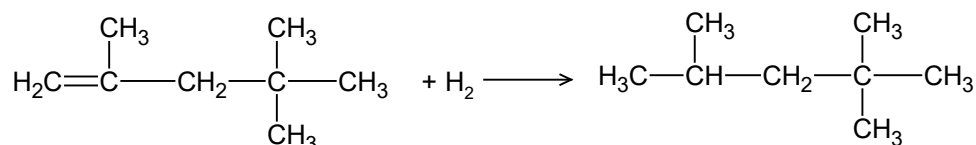
- 17 Leg uit hoe dat komt.
- 18 Leg uit dat je het kraken voorkomt als je de andere katalysator gebruikt.

Nieuwe regels voor hydrocrackerkat

- 1 Platina-nanodeeltjes, zeoliet en bindmiddel.
- 2 Platina-nanodeeltjes dienen als katalysator voor de dehydrogenering van alkanen en voor hydrogenering van door zeoliet gevormde alkenen, zeoliet verknipt of isomeriseert gevormde alkenen, het bindmiddel is de stof die deze twee bij elkaar houdt.
- 3 Hoe korter de afstand is tussen de door het zeoliet gevormde alkenen en het platina, hoe beter de reactie verloopt.
- 4 Allebei bestaan ze uit 50% zeoliet Y en 50% aluminiumoxide. Verschillend is de plaats van het platina: op het bindmiddel of op het zeoliet.
- 5 $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ want het nitraation is 1- geladen en daar heb je er twee van.
- 6 Dat het ene ion vervangen wordt door een ander ion.
- 7 Nee, in H_2PtCl_6 is het platina-ion 4+ geladen want je hebt 2 H^+ en 6 Cl^- . In $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ heeft Pt de lading 2+.
- 8 Het in stukken breken van een groot alkaan in een kleiner alkaan + alkeen.
- 9 Onvertakte alkanen want de moleculen hebben een rechte structuur.
- 10 De vuistregel van Weisz bleek aardig te kloppen.
- 11 Dat een nieuw molecuul ontstaat die nog wel dezelfde molecuulformule heeft maar een andere structuur.
- 12 Met platina op het bindmiddel want met platina op het zeoliet gaan de kraakreacties overheersen.
- 13 $\text{C}_8\text{H}_{18} \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{16} + \text{H}_2$.
- 14



15



- 16 2,2,4-trimethylpentaan.
- 17 De onderzoekers vermoeden dat het zeoliet vrij krap (klein) is waardoor de alkenen blijven 'hangen' en daardoor iets te grondig worden gekraakt.
- 18 Dan ontstaan de alkenen buiten het zeoliet waardoor het contact veel vluchtiger is. Dan blijven de vertakte isomeren heel.

PYROLYSE FABRIEK VOOR DUURZAME RECYCLING AUTOBANDEN

Klas	5,6 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Polymerisatie
Trefwoorden	Autoband, rubber, recyclen, pyrolyse, circulaire economie, berekening
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Technisch weekblad, 5 februari 2016

Pyrolysefabriek voor duurzame recycling autobanden

Terwijl hij door zijn fabriek in aanbouw loopt, vertelt Jan van den Brand, directeur van bandenrecycler Rumal in Nederweert, enthousiast over de recycling van autobanden. Al in 1990 begon hij met nadenken over circulaire productieprocessen die afval als grondstof gebruiken. In zijn vorige baan bij DSM stond hij aan de wieg van de fleece trui en de PET-fles uit gerecyclede kunststoffen, waarna hij in de recycling van rubber banden stapte. 'Ik wil dat mijn kleinkinderen ook een leefbare wereld hebben', aldus Van den Brand. De nieuwe fabriek waar hij over vertelt, gaat met pyrolyse – ontleding onder invloed van warmte – zuiver elementair koolstof uit autobanden winnen. Dit zogenaamde carbon black is opnieuw grondstof voor bijvoorbeeld de pigment-, verf- en inktindustrie maar ook voor de bandenfabrikanten. Autobanden bevatten carbon black als vulmiddel in het rubber. Het verbetert de slijtvastheid en de uv-bestendigheid van de autoband.

Autoband ontleden

Grofweg bestaat een band uit een paar componenten: het karkas, gemaakt van staaldraad en kunststofvezels en het loopvlak, gemaakt van een mengsel van natuur- en kunstrubber, zwavel en vulmiddelen als carbon black en silica. 'We starten de recycling met het shredderen van de band waarbij we het metaal verwijderen', zegt van den Brand. 'Het vervolg van het proces gebeurt in een zuurstofvrije atmosfeer. In een roterende pyrolyseoven ontleedt de geshredderde band tot zuiver koolstof en pyrolysegas. Het gas vangen we op. Deels gebruiken we het als brandstof in een wkk die proceswarmte en voldoende elektriciteit levert voor ons hele recyclingbedrijf. Een ander deel condenseert tot pyrolyseolie die we als secundaire brandstof aan de cementindustrie verkopen.' Na de pyrolyse vinden twee nabewerkingen plaats. In een jet mill worden de koolstofdeeltjes onder hoge druk en door onderlinge wrijving vermalen tot deeltjes van minder dan 4 µm grootte. 'Die deeltjes zijn zeer licht en nauwelijks handelbaar. Daarom maken we er rijstkorrelgrote pellets van die we kunnen verpakken.'

Uniek procédé

De pyrolysetechniek komt uit de koker van Black Bear Carbon uit Baarn. Samen met Rumal richtte dat bedrijf de joint-venture Dutch Green Carbon op die de fabriek in Nederweert exploiteert. Dutch Green Carbon is de eerste pyrolysefabriek voor autobanden in de Benelux, maar niet in de wereld. Toch is het Nederlandse procédé uniek, want het levert carbon black op die kwalitatief vrijwel gelijk is aan die van nieuw carbon black. Van den Brand: 'Black Bear Carbon optimaliseerde zijn proces door het bij fabrikanten van pyrolyseovens en jet mills wereldwijd uit te proberen en zo de optimale mix van apparatuur samen te stellen. Daarnaast zorgen wij voor een aanvoer van autobanden met gelijke

kwaliteit. Dit leidt tot een proces dat een constante en hoge kwaliteit carbon black oplevert. Onze concurrenten maken laagwaardig carbon black dat geschikt is als vulmiddel in rubbers. Ons product is hoogwaardig en geschikt als pigment in zwarte inkt en verf. De eerste klanten hiervoor hebben we inmiddels.'

Halverwege het jaar operationeel

In de fabriekshal rijdt een heftruck af en aan met onderdelen van de installatie. Twee mannen isoleren de pyrolyseoven met glaswol. Halverwege dit jaar moet de fabriek operationeel zijn. Beide partners nemen een jaar de tijd om de productie tot maximale capaciteit op te schalen. Op termijn zal Black Bear Carbon zich uit de joint venture terugtrekken en de productietechniek wereldwijd verkopen. Rumal richt zich dan op de recycling van autobanden.

Autobanden kun je recyclen. De gevormde 'carbon black' is een waardevolle grondstof. In het artikel wordt gesproken over pyrolyse. In de schoolscheikunde heb je een andere term hiervoor geleerd.

- 1 Welke term is dit?

Directeur Jan van den Brand van bandenrecycler Rumal denkt al sinds 1990 na over circulaire productieprocessen.

- 2 Leg uit wat het kenmerk is van een circulair productieproces.
- 3 Geef in een blokschema het recyclen van de autobanden weer.
- 4 Leg uit op welke manier het koolstof onderdeel van een circulair productieproces is.

Een deel van het proces verloopt in een zuurstofvrije omgeving.

- 5 Leg uit waarom dit noodzakelijk is.
- 6 Leg uit of er nog meer stoffen uit de autobanden als grondstof worden gebruikt voor een nieuw proces.
- 7 Beredeneer welke stoffen bij dit proces niet gerecycled worden.

In een artikel in het *Limburgs Dagblad* over dit proces staat het volgende:

'Carbon Black, oftewel roet, maakt autobanden stevig en slijtvast. In iedere autoband zit zo'n drie kilo roet. Om één kilo koolstofpoeder te produceren heb je 2,5 liter aardolie nodig.'

Aardolie is een mengsel van veel koolwaterstoffen.

- 8 Bereken hoeveel koolstof theoretisch uit 2,5 L aardolie geproduceerd kan worden. Neem als gemiddelde dichtheid voor aardolie 900 g L^{-1} . Neem aan dat aardolie gemiddeld 85 massa-% koolstof bevat.

Je antwoord op vraag wijkt nogal af van het gegeven in het artikel in het *Limburgs Dagblad*.

- 9 Geef een reden waarom er uit aardolie veel minder koolstof wordt geproduceerd

Vrachtwagenbanden

Naast autobanden verwerkt Rumal ook banden van vrachtwagens. Dit recycleproces levert gegranuleerd rubber op. Het granulaat dient bijvoorbeeld als ondergrond en vulmiddel in kunstgrasmatten. 'Een kunstgras voetbalveld bevat 100 tot 125 ton gegranuleerde vrachtwagenband', zegt van den Brand. Rumal werkt samen met de Universiteit Twente aan een alternatief recycleproces. 'We willen rubber devulkaniseren, ofwel de zwavelbruggen

tussen de moleculen in het rubber verbreken. De totale, gedevulkaniseerde rubbermassa kan weer als grondstof voor banden dienen.'

Met hun (research)werk aan de recycling van oude banden maken Rumal en Black Bear Carbon de productieketen voor nieuwe banden langzaam maar zeker zo rond als de band zelf.

Bron: Technisch weekblad, 5 februari 2016

Bij vrachtwagenbanden gaat de recycling heel anders dan het hierboven beschreven proces voor autobanden.

10 Wat is het grote verschil met het recyclen van autobanden?

Rubber is een polymeer van buta-1,3-dieen.

11 Teken de structuurformule van buta-1,3-dieen.

12 Geef de algemene structuurformule van het polymeer van buta-1,3-dieen.

Om het rubber steviger te maken, wordt het gevulkaniseerd. Dat wil zeggen dat er zwavelbruggen tussen de polymeerketens worden aangebracht.

13 Leg met behulp van een tekening uit hoe het mogelijk om poly-buta-1,3-dieen te vulkaniseren.

Er is ook onderzoek gaande naar een proces om op grote schaal de vrachtwagenbanden te devulkaniseren.

14 Leg uit wat het grote belang van zo'n proces is.

In de circulaire economie werkt men wel met een piramide waarin de efficiëntie van het recyclen wordt uitgedrukt. Van beneden naar boven neemt de efficiëntie toe.



In de twee recycling processen die in deze opgave zijn besproken komen de volgende zaken aan de orde:

- Shredderen
- Pyrolysegas
- Devulkaniseren
- Carbon black

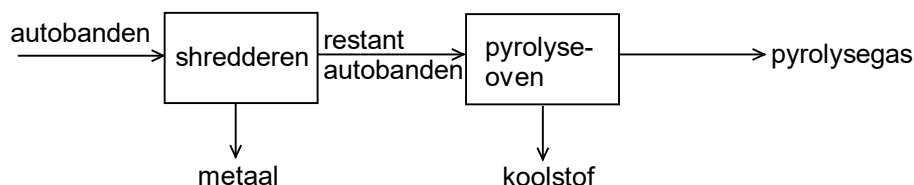
15 Leg van ieder van deze zaken uit op welke trede van de 'piramide' je ze kunt plaatsen.

Trede F (storten) betekent dat de banden begraven worden bij een vuilstort.

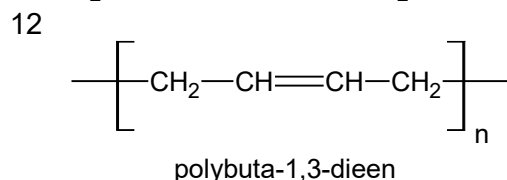
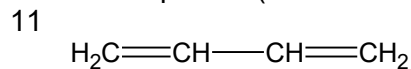
16 Leg uit waarom dit de slechtste keuze is.

Pyrolysefabriek voor duurzame recycling autobanden

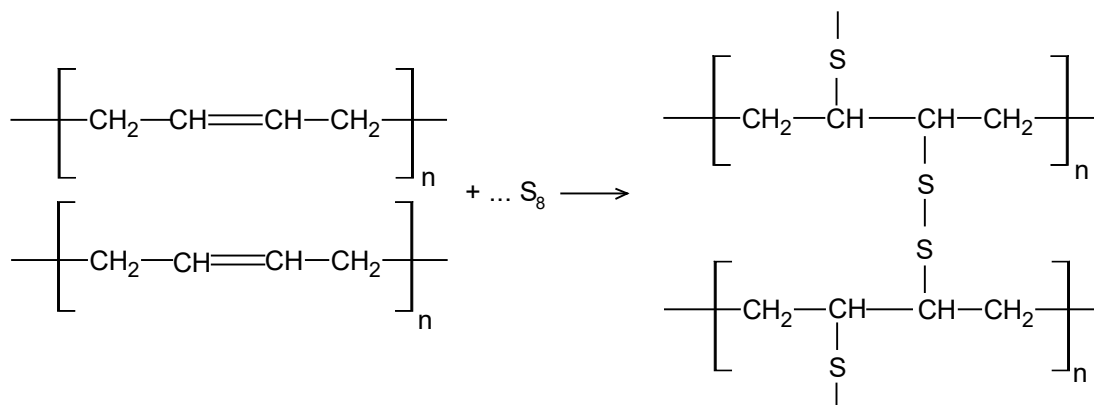
- 1 Thermolyse
- 2 Processen die afval als grondstof gebruiken.
- 3



- 4 In autobanden is carbon black vulmiddel. Het wordt teruggewonnen en weer gebruikt als vulmiddel, maar ook bijvoorbeeld als pigment.
- 5 De pyrolyse oven moet zuurstofvrij zijn anders verbranden de koolstofverbindingen.
- 6 Het pyrolysegas wordt gebruikt als brandstof voor warmte en elektriciteit. Het condensaat (pyrolyseolie) wordt verkocht.
- 7 Rubber en zwavel zitten wel in de autobanden, maar worden blijkbaar bij de pyrolyse omgezet in koolstof en gassen.
- 8 2,5 L aardolie bevat $2,5 \times 900 \times 0,85 = 1,9 \cdot 10^3$ g koolstof.
- 9 Theoretisch zou je bijna twee keer zoveel koolstof kunnen krijgen. Maar je gebruikt ook aardolie om het proces van energie te voorzien en het rendement is waarschijnlijk ook niet 100%.
- 10 Bij de vrachtwagenbanden gaat het erom om het rubber te recyclen. Terwijl het bij het eerste proces (autobanden) ging om het winnen van carbon black.



- 13 Door de dubbele bindingen die nog aanwezig zijn, kunnen er met zwavelatomen nog crosslinks gevormd worden tussen de ketens.



- 14 Je kunt bij dit proces het rubber terugwinnen en weer toepassen in autobanden. Dat scheelt veel grondstoffen.

- 15 Bij het shredderen wordt het metaal eruit gehaald. Dit kan opnieuw gebruikt worden. Dat zit op trede B of C.
Pyrolysegas wordt gebruikt als brandstof voor warmte en elektriciteit: trede D
Carbon Black: wordt opnieuw gebruikt, dus trede B
Devulkaniseren: zorgt ervoor dat het rubber opnieuw gebruikt kan worden als uitgangsstof voor banden: trede B.
- 16 Dan raak je alle uitgangsstoffen voorgoed kwijt.

KOBALTKAT TEGEN BROEIKASGAS

Klas	5 v
Subdomein	Binding en structuur
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Reactiesnelheid, katalyse
Trefwoorden	Kobalt, katalysator, broeikasgas
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 5 februari 2016

KOBALTKAT TEGEN BROEIKASGAS

Gedeeltelijk geoxideerd kobalt is een ongekend goede katalysator voor de elektrochemische reductie van CO_2 tot HCOO^- . Wat vooral verrassend is omdat ongeoxideerd kobalt in die setting niets doet, schrijft de Chinese onderzoeker Yi Xie in *Nature*. Hij creëert kobaltlaagjes, van vier atomen dik door kobalt(III)acetylacetonaat te laten condenseren op een oppervlak. Met dimethylformamide reduceert hij vervolgens het Co^{3+} deels tot Co. Omdat die reactie zelfs bij 220 °C uren duurt, kun je het omzettingspercentage prima in de hand houden. Onder de elek-

tronenmicroscopie lijkt het erop dat minuscule kubische Co_3O_4 -kristalletjes ontstaan, die liggen ingebed in een hexagonaal Co-metaalrooster. Dit oppervlak adsorbeert CO_2 efficiënter dan metallisch kobalt en katalyseert bovendien de vorming van $\text{CO}_2^{\bullet-}$ radicaal-anionen, wat de snelheidsbepalende stap is. Over het onderliggende mechanisme durven de Chinezen nog geen harde uitspraken aan, maar bij een stroomdichtheid van 10 mA/cm² hadden ze slechts 0,24 V overpotentiaal nodig om een product te maken dat voor 90 % uit HCOO^- bestond. (AD) |

Alweer een manier om het broeikasgas CO_2 om te zetten in een bruikbare stof. De Chinese onderzoeker Yi Xie heeft er een katalysator voor gevonden.

Gedeeltelijk geoxideerd kobalt is een ongekend goede katalysator voor de omzetting van CO_2 in HCOO^- . Het kobalt komt in de katalysator tegen als ion in de kristalletjes Co_3O_4 .

- 1 Leg aan de hand van het artikel uit dat kobalt als ion meerdere ladingen kan hebben.
- 2 Leg uit welke ladingen de kobaltionen hebben in Co_3O_4 én in welke verhouding deze ionen voorkomen.

De combinatie van Co_3O_4 kristalletjes ingebed in een metaalrooster van kobalt zorgt er voor dat het prima als katalysator werkt.

- 3 Welke eigenschap van het combinatierooster zorgt ervoor dat het zo goed werkt als katalysator?

Het lijkt erop dat het proces in stappen verloopt. De eerste stap is de vorming van $\text{CO}_2^{\bullet-}$ radicalen. Een radicaal is een deeltje met een ongepaard elektron.

- 4 Hoe ontstaat een $\text{CO}_2^{\bullet-}$ radicaal?
- 5 Leg uit dat een radicaal een zeer reactief deeltje is.

Uiteindelijk ontstaat HCOO^- .

- 6 Geef de halfreactie waarbij HCOO^- ontstaat uit $\text{CO}_2^{\bullet-}$.

Uit HCOO^- kan makkelijk mierenzuur gemaakt worden.

- 7 Beschrijf hoe uit HCOO^- mierenzuur gemaakt kan worden.

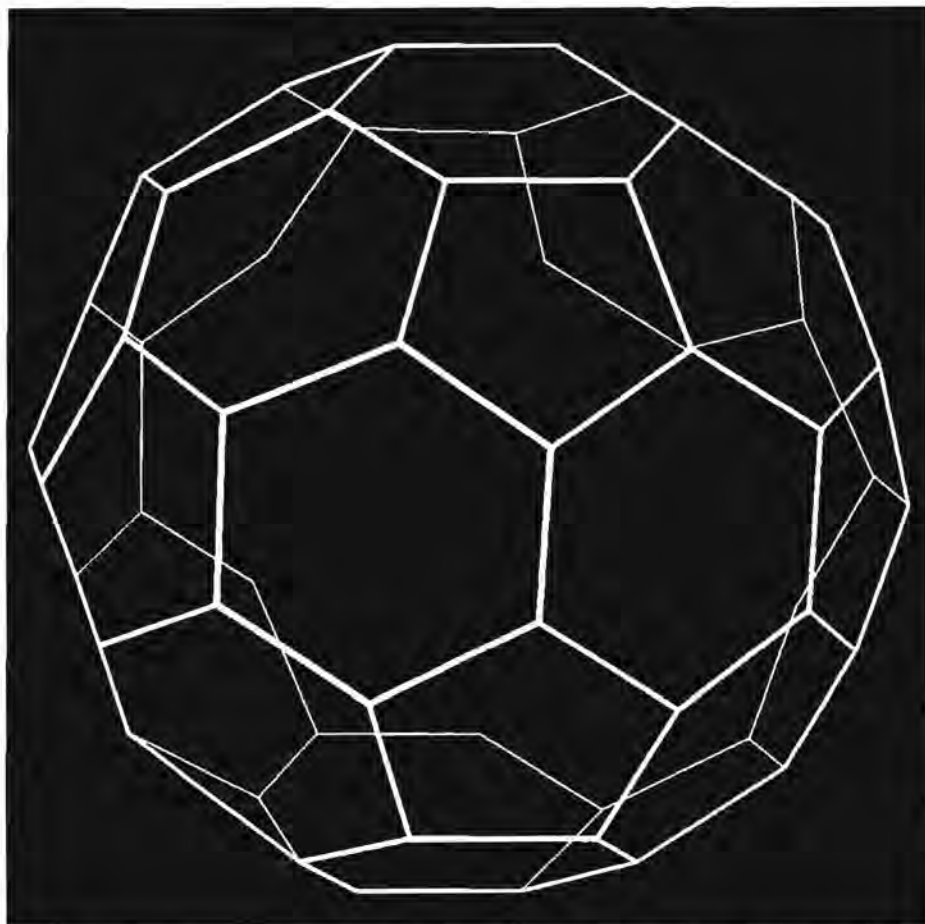
8 Geef de daarbij optredende reactie in een vergelijking weer.

Kobaltkat tegen broeikasgas

- 1 Er staat kobalt(III)acetylacetonaat. Als er een Romeins cijfer staat betekent dat dat het metaalion met meerdere ladingen kan voorkomen.
- 2 Co_3O_4 : 4 oxide-ionen hebben totaal lading 8^- , dus 3 kobaltionen moeten samen 8^+ zijn: 2 Co^{3+} en 1 Co^{2+} .
- 3 Het adsorbeert CO_2 efficiënter en katalyseert tevens de vorming van de radicalen.
- 4 CO_2 neemt een elektron op vanuit het rooster.
- 5 Elektronen willen graag gepaard voorkomen en zoeken dus snel een ander elektron om een atoombinding aan te gaan.
- 6 $\text{CO}_2^{\bullet-} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{HCOO}^- + \text{OH}^-$.
- 7 HCOO^- is een base die H^+ kan opnemen. Dus toevoegen van bijvoorbeeld een zure oplossing (zoutzuur).
- 8 $\text{HCOO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCOOH}$ of $\text{HCOO}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{HCOOH} + \text{H}_2\text{O}$.

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen



De volmaakte buckyball, buckminsterfullereen, genoemd naar de architect Buckminster Fuller. De 60 koolstofatomen vormen een 32-vlak van zes- en vijfhoeken.

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

In het midden van de jaren tachtig ontdekte Richard Smalley en zijn groep aan de Rice Universiteit in Houston dat onder bepaalde omstandigheden vrijwel uitsluitend een koolstofcluster van zestig atomen werd gevormd. Dat moest dus wel een uitermate stabiel geheel vormen. Toen men de molecule-bouwdoos erbij pakte, bleek dat er met een zestig koolstofatomen een prachtige, regelmatige structuur te vormen is, een afgeknotte icosaëdron of twintigvlak. Minder wiskundig aangelegde kenners hebben het gewoon over een voetbal.

De Engelse architect Buckminster-Fuller heeft in de jaren veertig dit soort structuren populair proberen te maken in de vorm van zogenoemde geodetische koepels.

Hij maakte grote bouwwerken van lichte materialen, die zo geconstrueerd waren dat ze geen massieve steunen nodig hadden, zoals de conventionele bouwwerken. Het Aviodome bij de luchthaven Schiphol is er een mooi voorbeeld van. Uit eerbied voor zijn werk wordt het molecuul sindsdien Buckminsterfullereen genoemd, maar in het dagelijks spraakgebruik had men het al gauw over 'buckybal'.

Het bouwbedrijf IBC heeft tien jaar geleden zo'n geodetische koepel gebouwd op het industrieterrein 't Zand in Best. Volgens Buckminster Fuller vormt zo'n (half-)bolvormige structuur van vijf- en zeshoeken de sterkste constructie die je maar kunt bedenken.

Buckyballs. Ze leiden tot een à twee wetenschappelijke artikelen per dag. Ze prijken op de voorplaten van tijdschriften en zelfs al op die van een leerboek organische chemie. Ze staan kortom in het brandpunt van de wetenschappelijke belangstelling, al houdt één onderzoeker van het eerste uur het voor gezien.

NCR 21 november 1991

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

In 1991 en 1992 is een groot aantal artikelen verschenen over buckminsterfullereen (C_{60}). Uit deze artikelen zijn stukjes gehaald om een aantal eigenschappen en toepassingen van buckminsterfullereen te bekijken.

Een nieuwe modificatie van koolstof

NRC 21 november 1991

Zes jaar geleden alweer merkten chemici in Houston bij toeval dat de wereld van de zuivere koolstof meer te bieden heeft dan grafiet en diamant. Ze ontdekten een tot dan toe volstrekt onvermoede derde vorm: bolvormige kooien van koolstof. Ze noemden deze moleculen *fullerenen* of, in de wandeling, *buckyballs*. De belangrijkste daarvan is *buckminsterfullereen*, een molecuul opgebouwd uit zestig koolstofatomen dat als twee druppels water lijkt op een voetbal.

Intermediair 27(20), 39-40, 1991

Toen eind vorig jaar een nieuw koolstofmolecule werd ontdekt, stond de chemische wereld op zijn kop. Een groot aantal scheikundigen houdt zich nu bezig met dit exotische molecule. Reguliere programma's worden stilgezet, en alle beschikbare menskracht is vrijgemaakt. Het gaat om C_{60} , ofwel voetballeen of buckminsterfullereen, kortom buckybal, een bolvormig molecule van zestig koolstofatomen, waarvan men aanneemt dat het zeer ongewone en nuttige eigenschappen heeft.

Chemici interesseren zich al veel langer voor moleculen die volledig uit koolstof bestaan. Naast de bekende vormen van koolstof, diamant en grafiet, moest het mogelijk zijn andere vormen te synthetiseren.

Buckminsterfullereen, een nieuwe modificatie van koolstof. Het verschijnsel van verschillende verschijningsvormen bij één element wordt allotropie genoemd. Dit was voor koolstof dus al eerder bekend. Diamant en grafiet zijn ook zogenaamde modificaties van koolstof.

1 Noem nog een ander element dan koolstof waarbij sprake is van allotropie.

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

De synthese van Bucky Balls

Trouw 24 april 1991

Meijer: "Ze doen het eigenlijk met een lasapparaat: een elektrische vlamboog tussen twee stukken zuivere koolstof. Die branden op, en daarbij produceer je flink wat roet. Om ongewenste verbindingen tussen de koolstof en andere stoffen tegen te gaan, deden ze het experiment in heliumgas in plaats van lucht. Dat was alles: het roet bleek dertig procent fullerenen te bevatten.

En nog mooier was, dat die oplosbaar bleken in benzeen en toluen, terwijl gewone koolstof dat niet is. Je wast ze dus uit het roet, laat het oplosmiddel verdampen en houdt een keurig zwart laagje over: een zuiver kristal van fullerenen."

Door te werken in helium in plaats van in lucht worden ongewenste verbindingen tussen de koolstof en andere stoffen voorkomen.

- 2 Geef met een reactievergelijking een voorbeeld van het ontstaan van zo'n ongewenste verbinding.
- 3 Noem twee scheidingsmethoden die men heeft gebruikt heeft gemaakt om de zuivere stof in handen te krijgen.

*Hoe ziet een Bucky Ball eruit?
Een vergelijk met diamant en grafiet.*

NRC 21 november 1991

De voetbalstructuur van het *buckminsterfullereen* gedoopte C_{60} molecuul is met een heel scala van onafhankelijke technieken bevestigd. Alle 60 atomen in het molecuul binden, net als in grafiet, met drie naburige koolstofatomen. Omdat koolstof vier valenties heeft is een van die drie bindingen dubbel. De zeshoeken bevatten (net als benzeen) drie dubbele bindingen en de vijfhoeken alleen enkele. In *buckminsterfullereen* zijn alle koolstofatomen volstrekt gelijkwaardig en ononderscheidbaar.

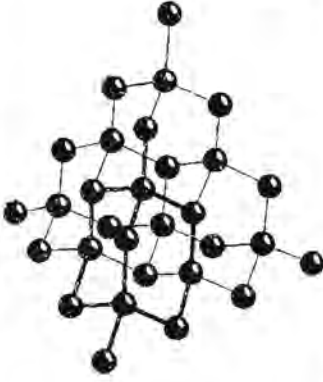
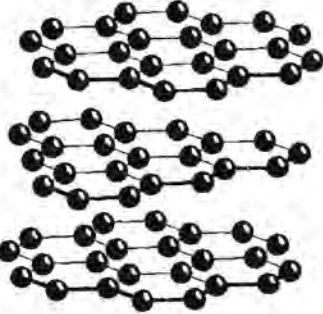
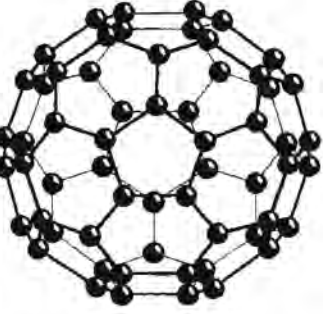
Utrechts Nieuwsblad,

Tot het midden van de jaren tachtig wist men niets anders dan dat zuiver koolstof in twee varianten voorkwam - als diamant of als grafiet. In diamant is elk koolstof-atoom (C-atoom) verbonden met vier andere C-atomen in een regelmatige, ruimtelijke structuur. In grafiet daarentegen zijn de C-atomen gerangschikt in lagen die elk weer bestaan uit met elkaar verbonden zes-ringen. Die lagen kunnen ten opzichte van

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

de Volkskrant 8 juni 1991

Diamant	Grafiet	Koolstof-60
		
Twee vormen van koolstof zijn al langer bekend: diamant en grafiet. In diamant is elk koolstofatoom verbonden met vier andere. Zo ontstaat een driedimensionaal, symmetrisch netwerk, waardoor de koolstofatomen sterk bijeen worden gehouden. Diamant ontleent hieraan zijn hardheid.	Bij grafiet zijn de koolstofatomen in de vorm van honingraten in vlakken aan elkaar gekoppeld. Deze vlakken zijn laagsgewijs gestapeld en glijden gemakkelijk over elkaar heen. Grafiet is daardoor uitstekend als smeermiddel te gebruiken.	In de nieuwe vorm van koolstof - de klasse fullerenen - zijn de atomen geordend in vijf- en zeshoeken. Deze veelvlakken kunnen in willekeurige vorm aan elkaar worden gekoppeld, waardoor aaneengesloten structuren ontstaan. De kleinste structuur in die klasse is de voetbal: twaalf vijfhoeken, gekoppeld aan twintig zeshoeken. Op de hoekpunten zitten de koolstofatomen. Elk koolstofatoom is verbonden met drie andere, wat eveneens een stabiele structuur oplevert.

- 4 Leg uit of je bij Buckminsterfullereen een grote hardheid verwacht (net als bij diamant).
- 5 Leg uit of je bij Buckminsterfullereen goede smerende eigenschappen mag verwachten (net als bij grafiet).

Zoals in het stukje voor vraag 2 staat aangegeven is buckminsterfullereen (C_{60}) is oplosbaar in benzeen en toluen. De andere modificaties van koolstof zijn dat niet.

- 6 Leg uit waarom buckminsterfullereen wel kan oplossen in benzeen en diamant niet. Maak hierbij gebruik van de soorten krachten die tussen de deeltjes een rol spelen, zowel bij het oplosmiddel als bij de op te lossen stof.

BUCKMINSTERFULLEREEN

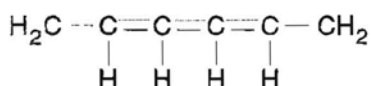
diverse bronnen

In nevenstaand plaatje is aangegeven hoe men zich de bindingen in een C₆₀-molecule voorstelt. Twintig zes- en twaalf vijfhoeken regelmatig gerangschikt in de vorm van een voetbal. In de tekening staan gelokaliseerde dubbele bindingen aangegeven.



NRC 21 november 1991

'Dubbele bindingen' ontstaan als twee of meer C-atomen elk één p-elektron bijdragen aan een chemische binding. Bij etheen (CH₂=CH₂) zijn de p-elektronen gelokaliseerd. Bij 1,3-butadien en bij benzeen is er één doorlopende 'baan' voor alle p-elektronen (gedelokaliseerd):



1,3-butadien



benzeen

- 7a Hoe stel je je de plaats van de p-elektronen voor in grafiet (dat drie bindingen tussen de C-atomen in het vlak heeft)?
- 7b Welke typerende eigenschap van grafiet is hierop gebaseerd?
- 8a Hoe stel je je de plaats van de p-elektronen voor in buckminsterfullereen?
- 8b Zal buckminsterfullereen een geleider zijn? Licht je antwoord toe.

Toepassingen van buckminsterfullereen

Brabants Dagblad

Zoals alle koolstofmoleculen beschikt ook buckminsterfullereen over het vermogen om andere atomen en moleculen aan zich te binden. Plakt men bijvoorbeeld drie kaliumatomen vast aan een 'kaal' fullereenmolecuul, dan ontstaat een molecuul dat supergeleidende eigenschappen vertoont - althans bij een temperatuur van maximaal enkele tientallen graden Kelvin.

NRC 21 november 1991

Spectaculaire ontdekkingen volgden elkaar het afgelopen jaar in hoog tempo op. Zo werd al snel duidelijk dat het kaliumzout van Mr. Bucky, (K₃C₆₀, ook wel 'kaliumbuckide' genoemd) supergeleidend is bij een temperatuur van 18 Kelvin. Andere 'metaalbuckides' doen het zelfs bij nog hogere temperaturen, waardoor ze meer thuishoren in de

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

- 9 Geef de notatie van het buckide-ion.
- 10 Leg uit waarom het kaliumbuckide beter geleidend is dan buckminsterfuller-
een zelf.

de Volkskrant 13 juni 1991

Koolstof-60 met fluor smeert nog beter

In de koolstof-60-chemie is enige vooruitgang geboekt door de ontdekking dat fluor-atomen kunnen worden toegevoegd aan het C_{60} -molecuul.

John Holloway en Eric Hope van de universiteit van Leicester verhitten C_{60} in een stroom van het zeer reactieve fluorgas. Na een dag of drie werd het zwarte koolstof-60 plotseling donkerbruin en na nog eens drie dagen verkleurde het vrij snel tot lichtbruin. Het toevoegen van nog meer fluor leverde een bijna witte vaste stof op, $C_{60}F_{60}$. Roger Taylor en Tony Avent van de universiteit van Sussex en John Langley van de universiteit van Southampton analyseerden het

produkt met spectroscopische technieken. Taylor verklaart de kleurwisselingen doordta fluor stapsgewijs wordt toegevoegd aan de C_{60} -schil. Bij de eerste stap is die schil te stabiel om makkelijk fluor te accepteren. Maar de toevoeging van slechts één fluor-atoom destabiliseert een van de zeshoekige koolstofringen in de schil. Dardoor kunnen nog vijf andere fluormoleculen zich aan de koolstofatomen binden, zodat de eerste koolstofzeshoek is gevuld. Deze stap levert naar de onderzoekers menen het aanvankelijk donkerbruine materiaal $C_{60}F_6$ op. Volgens Taylor is deze verbinding vrij stabiel, wat verklaart waarom het nog drie dagen duurt tot de volgende kleurverandering. De toevoeging van meer fluor-atomen resulteert in het lichtbruine $C_{60}F_{42}$, en de laatste 18 fluor-atomen leiden uiteindelijk tot het kleurloze $C_{60}F_{60}$.

- 11 Geef de reactievergelijkingen in brutoformules van de drie reacties die achtereenvolgens optreden weer.

Uit de reactievergelijkingen kun je opmaken dat C_{60} een onverzadigd molecuul is.

- 12 Leg uit waaruit dat blijkt.
- 13 Geef in een tekening met structuurformules de reactie van fluor met buckminsterfullereen weer tot de vorming van het donkerbruine materiaal (van buckminsterfullereen hoeft je slechts één zesring te tekenen).

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

Voor het ontstaan van het donkerbruine materiaal wordt een mechanisme in drie stappen verondersteld. Bij de eerste, in het artikel niet genoemde, stap splitsten molecule fluor in twee fluoratomen: $F_2 \longrightarrow 2 F$. De stappen twee en drie staan, overigens niet geheel correct, in het artikel beschreven.

- 14 Geef zelf een reactievergelijking voor stap twee en drie in brutoformules.
- 15 Geef aan in welk opzicht de beschrijving in het artikel niet correct is.

Volgens het artikel is $C_{60}F_6$ vrij stabiel.

- 16 Bereken het enthalpie-effect van de vorming van $C_{60}F_6$ uit C_{60} en F_2 . Maak gebruik van je antwoord op vraag 14. Je mag er bij de berekening van uitgaan dat de sublimatie-enthalpieën van C_{60} en $C_{60}F_6$ ongeveer even groot zijn.
- 17 Heeft de uitkomst van vraag 17 iets te maken met de uitspraak dat $C_{60}F_6$ vrij stabiel is.

De overgang van $C_{60}F_6$ naar $C_{60}F_{42}$ heeft een zes maal zo groot enthalpie-effect als je hebt uitgerekend bij vraag 16. Toch verloopt deze reactie niet heel snel.

- 18 Leg uit hoe het komt dat deze omzetting niet snel verloopt.

Trouw 24 april 1991

"Bij IBM hebben ze onderzocht of het geschikt was als smeermiddel voor harde schijven van computers: het blek beter te zijn dan wat ze hadden! En het is elders ook al gelukt om fluoratomen te bevestigen aan alle zestig koolstofatomen: wat je dan in feite hebt is een bolvormig molecuul met een laagje teflon!"

- 19 Teken een stukje van de structuurformule van teflon (zie tabel 102 a Binas).
- 20 Geef commentaar bij de zinsnede 'bolvormige moleculen met een laagje teflon'.

BUCKMINSTERFULLEREEN

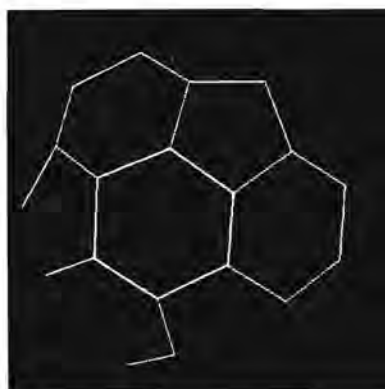
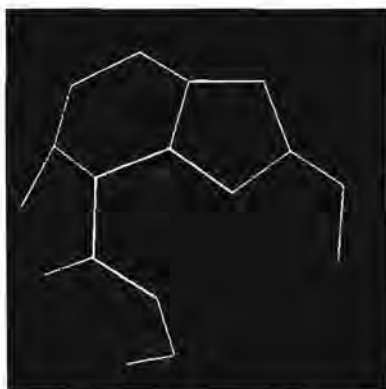
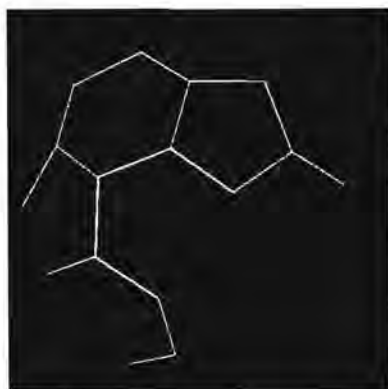
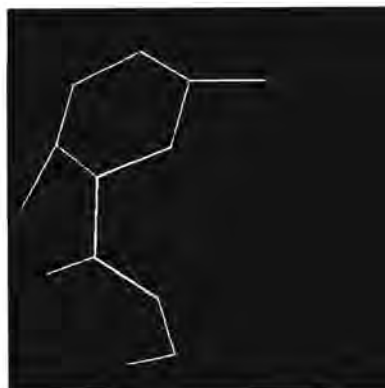
diverse bronnen

De uitsmijter van deze opgave: ook onderstaand stukje kwamen we meerdere keren tegen.

Smalley: "De koolstofkooien van buckyballs nemen uitstekend elektronen op en als je er nu metalen als chloor en natrium instopt zijn ze misschien uitstekend te gebruiken als batterijen

- 21 Denk je dat Smalley deze bewering zo gedaan heeft? Leg uit wat de fout is in het stukje.

Groei van een buckyball. De ruimtelijke structuur ontstaat door de invoeging van vijfhoeken in het normale 'kippegeespatroon' van grafiet. Twaalf vijfhoeken geeft een sluitende holle kool.



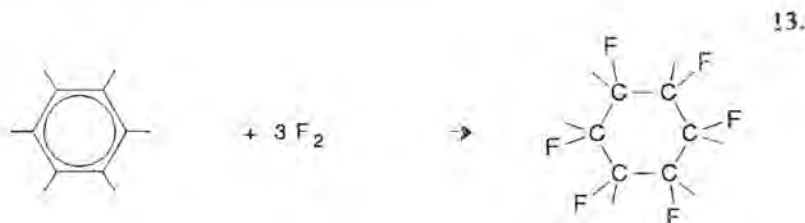
BUCKMINSTERFULLEREEN

(docentenhandleiding)

- 1 Zwavel, fosfor, tin (Binas tabel 57).
- 2 $C + O_2 \longrightarrow CO_2$ of $2 C + O_2 \longrightarrow 2 CO$
- 3 Extractie en indampen.
- 4 Benzeen en buckminsterfullereen zijn beide apolaire stoffen (er zijn slechts apolaire atoombindingen aanwezig). Dergelijke stoffen zijn mengbaar, de een kan oplossen in de ander. Tussen de moleculen van het vaste buckminsterfullereen zijn slechts zwakke vanderWaalskrachten werkzaam. Als benzeen en buckminsterfullereen mengen komen er soortgelijke krachten voor in de plaats. Diamant heeft een ruimtelijke structuur met zeer sterke atoombindingen in alle richtingen. Een wisselwerking tussen benzeen en diamant kan deze sterke atoombindingen niet verbreken.
- 5 Minder hard want er is géén ruimtelijk netwerk met sterke bindingen (zoals diamant) in alle richtingen.
Er zijn meer veerkrachtige eigenschappen. Het molecule kan enigszins vervormd worden waardoor het geen starre ruimtelijke structuur oplevert.
- 6 - Minder goede smeereigenschappen want er is géén lagenstructuur met zwakke bindingen tussen de lagen (zoals bij grafiet).
- Tussen de C_{60} -moleculen zijn slechts zwakke bindingen aanwezig. Dus de moleculen zullen vrij gemakkelijk langs elkaar heen kunnen bewegen. Op basis hiervan wel smerende eigenschappen.
- 7a Oneindig veel p-elektronen verspreid over vlakken.
- 7b Elektrische geleiding (grafietelektrodes, koolborstels).
- 8a De elektronen in de zestig p-orbitalen zijn verspreid over het hele molecule. Zoals je de zes elektronen in benzeen voorstelt door een cirkeltje, zou je bij C_{60} een bolschil moeten tekenen. Men kan verschillende grensstructuren tekenen. Bij buckminsterfullereen is er sprake van mesomerie.
- 8b Nee, want de verplaatsingsmogelijkheid van de elektronen is beperkt tot één molecule. (Benzeen is geen geleider)
- 9 C_{60}^{3-}
- 10 In C_{60} worden de gedelokaliseerde elektronen allemaal in de afzonderlijke moleculen vastgehouden. In C_{60}^{3-} is er een overschot aan elektronen, die kunnen van het ene naar het andere deeltje worden doorgegeven.
- 11 $C_{60} + 3 F_2 \longrightarrow C_{60}F_6$
 $C_{60}F_6 + 18 F_2 \longrightarrow C_{60}F_{42}$
 $C_{60}F_{42} + 9 F_2 \longrightarrow C_{60}F_{60}$
- 12 Er treedt een additiereactie op, dat kan alleen bij onverzadigde moleculen.

BUCKMINSTERFULLEREEN

(docentenhandleiding)



14 Stap 2 : $C_{60} + F \longrightarrow C_{60}F$

Stap 3 : $C_{60}F + 3 F_2 \longrightarrow C_{60}F_6 + F$

15 In het artikel is sprake van 5 moleculen in plaats van 5 atomen die aan de koolstofatomen gebonden worden zodat de eerste koolstofzesring is verzadigd.

16 Je moet verbreken:

$$\begin{array}{ll} 6 \text{ C} \text{ --- } \text{C} & 6 \cdot +5,05 \cdot 10^5 \text{ J} \\ 3 \text{ F} \text{ --- } \text{F} & 3 \cdot +1,53 \cdot 10^5 \text{ J} \end{array}$$

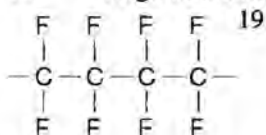
Er vormen zich:

$$\begin{array}{ll} 6 \text{ C} \text{ --- } \text{C} & 6 \cdot -3,50 \cdot 10^5 \text{ J} \\ 6 \text{ C} \text{ --- } \text{F} & 6 \cdot -4,4 \cdot 10^5 \text{ J} \end{array} \quad +$$

$$\text{totaal} \quad -12,5 \cdot 10^5 \text{ J}$$

17 De vorming van $C_{60}F_6$ is een exotherm proces. Dit betekent dat de gevormde verbinding stabiel is dan de uitgangsubstantieën. De genoemde stabiliteit heeft echter te maken met het feit dat de vervolgreactie niet vlug verloopt.

18 Hoge activeringsenergie.



20 Er staat onzin. Je zou wel kunnen zeggen: 'een fullereen met teflonachtige eigenschappen' of 'een fullereen dat aan de buitenkant enigszins op een teflonmolecule lijkt'.

21 Nee. Chloor is geen metaal.

BUCKMINSTERFULLEREEN

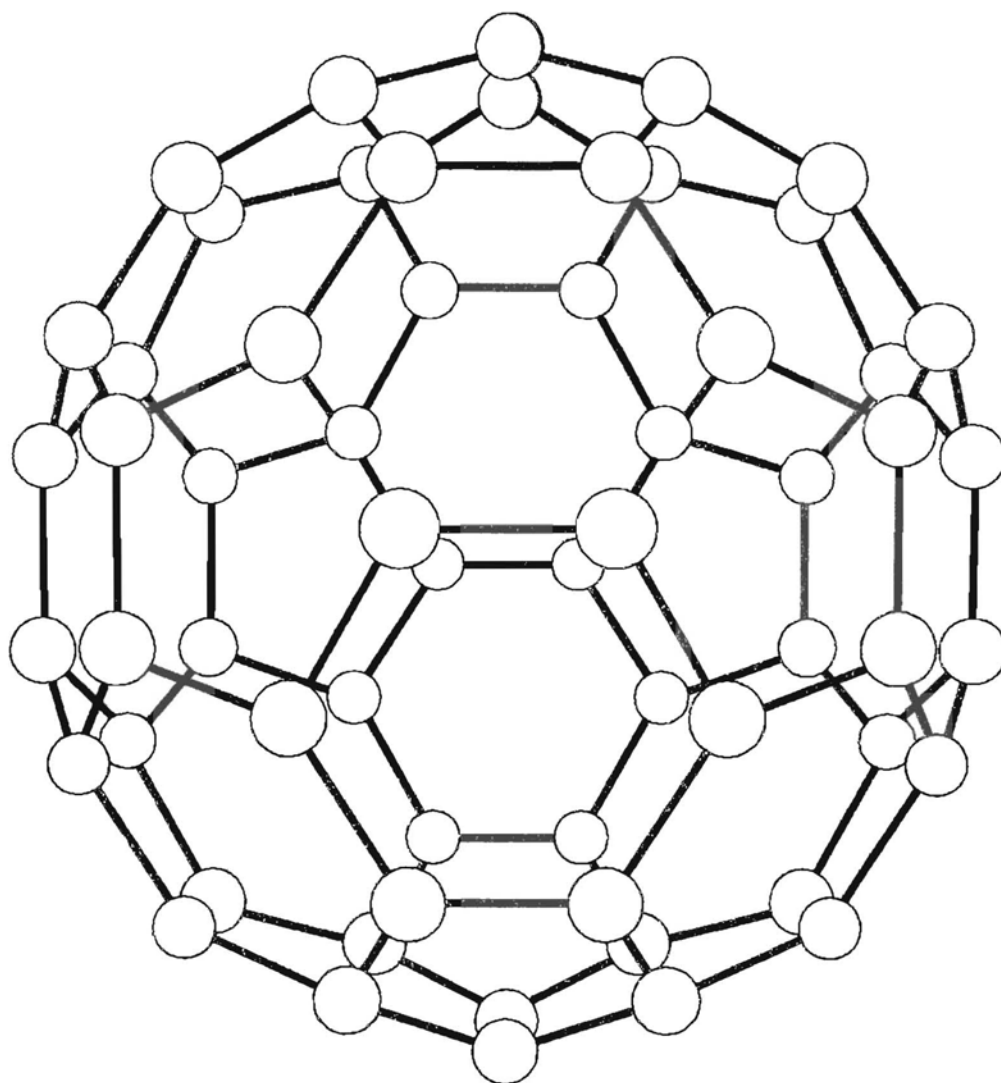
(docentenhandleiding)

Opmerking

Bestellen van de volledige krante-artikelen, die voor de opgave gebruikt zijn, is mogelijk bij de betreffende kranten.

Literatuur

- * Curl R.T., Fullerenes, Scientific American, oktober 1991
- * Smalley R.E., Great balls of carbon, The Sciences, maart/april 1991
- * Koppeschaar C., De ballenjongens van de scheikunde, Kijk 4-7, februari 1992.



C_{60}
"Buckyball"

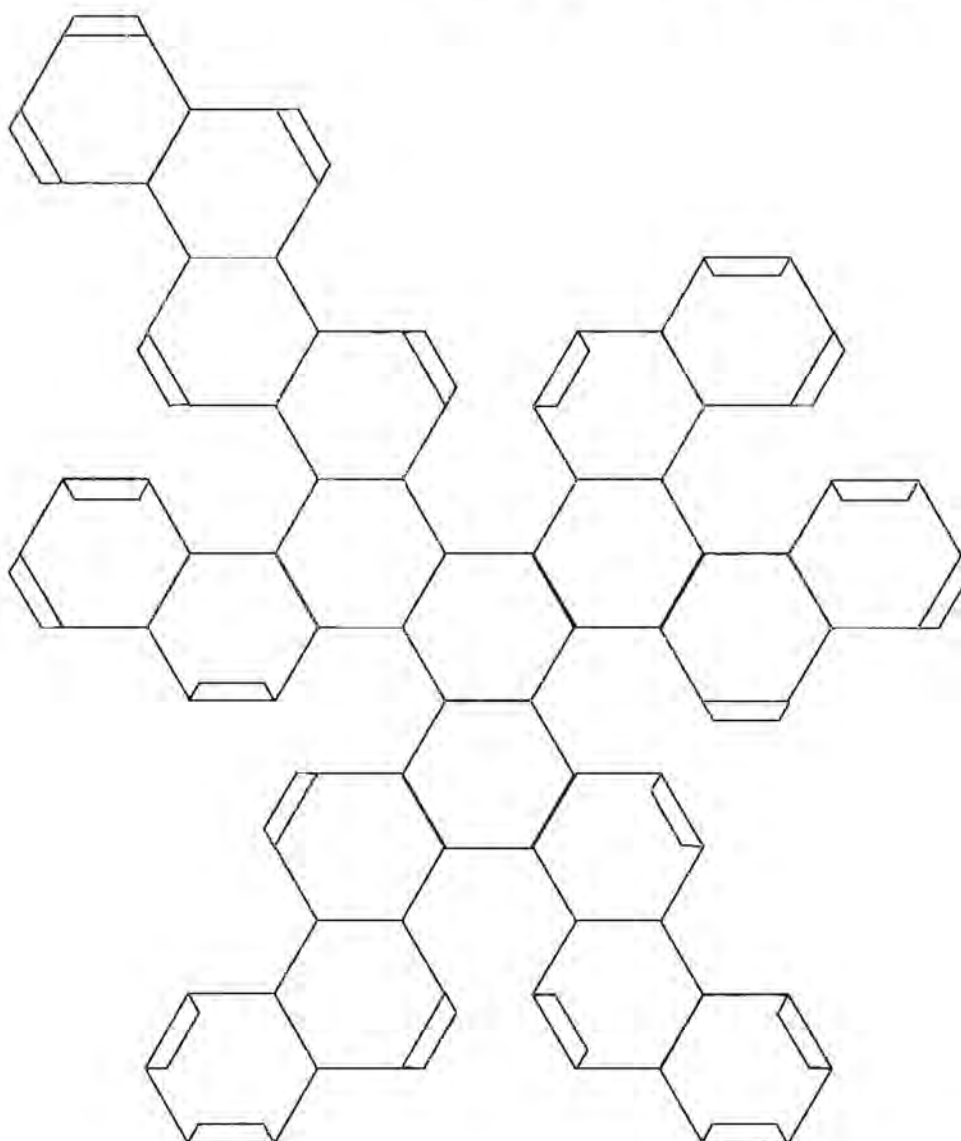
BUCKMINSTERFULLEREEN

(docentenhandleiding)

Extra materiaal

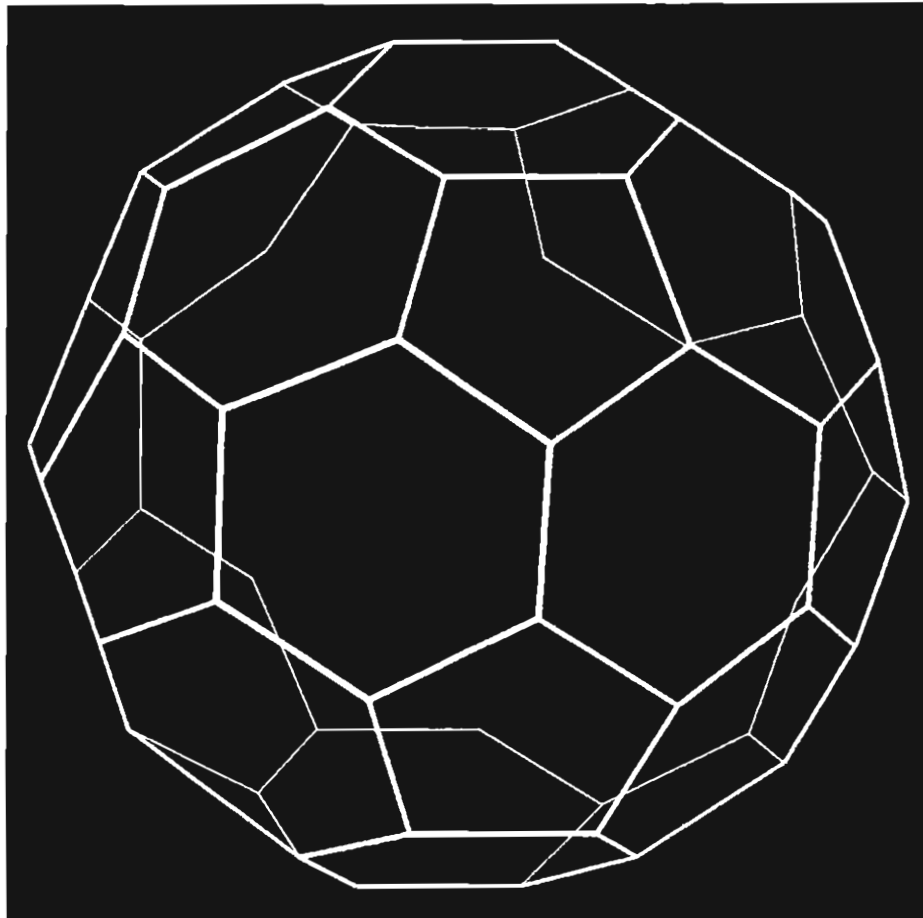
Een bouwplaat van buckminsterfullereen

Mens en Wetenschap, jrg 19, nummer 1, 1992



BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen



De volmaakte buckyball, buckminsterfullereen, genoemd naar de architect Buckminster Fuller. De 60 koolstofatomen vormen een 32-vlak van zes- en vijfhoeken.

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

In het midden van de jaren tachtig ontdekte Richard Smalley en zijn groep aan de Rice Universiteit in Houston dat onder bepaalde omstandigheden vrijwel uitsluitend een koolstofcluster van zestig atomen werd gevormd. Dat moest dus wel een uitermate stabiel geheel vormen. Toen men de molecule-bouwdoos erbij pakte, bleek dat er met een zestig koolstofatomen een prachtige, regelmatige structuur te vormen is, een afgeknotte icosahedron of twintigvlak. Minder wiskundig aangelegde kenners hebben het gewoon over een voetbal.

De Engelse architect Buckminster-Fuller heeft in de jaren veertig dit soort structuren populair proberen te maken in de vorm van zogenoemde geodetische koepels.

Hij maakte grote bouwwerken van lichte materialen, die zo geconstrueerd waren dat ze geen massieve steunen nodig hadden, zoals de conventionele bouwwerken. Het Aviodome bij de luchthaven Schiphol is er een mooi voorbeeld van. Uit eerbied voor zijn werk wordt het molecuul sindsdien Buckminsterfullereen genoemd, maar in het dagelijks spraakgebruik had men het al gauw over 'buckybal'.

Het bouwbedrijf IBC heeft tien jaar geleden zo'n geodetische koepel gebouwd op het industrieterrein 't Zand in Best. Volgens Buckminster Fuller vormt zo'n (half-)bolvormige structuur van vijf- en zeshoeken de sterkste constructie die je maar kunt bedenken.

Buckyballs. Ze leiden tot een à twee wetenschappelijke artikelen per dag. Ze prijken op de voorplaten van tijdschriften en zelfs al op die van een leerboek organische chemie. Ze staan kortom in het brandpunt van de wetenschappelijke belangstelling, al houdt één onderzoeker van het eerste uur het voor gezien.

NCR 21 november 1991

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

In 1991 en 1992 is een groot aantal artikelen verschenen over buckminsterfullereen (C_{60}). Uit deze artikelen zijn stukjes gehaald om een aantal eigenschappen en toepassingen van buckminsterfullereen te bekijken.

Een nieuwe modificatie van koolstof

NRC 21 november 1991

Zes jaar geleden alweer merkten chemici in Houston bij toeval dat de wereld van de zuivere koolstof meer te bieden heeft dan grafiet en diamant. Ze ontdekten een tot dan toe volstrekt onvermoede derde vorm: bolvormige kooien van koolstof. Ze noemden deze moleculen *fullerenen* of, in de wandeling, *buckyballs*. De belangrijkste daarvan is *buckminsterfullereen*, een molecuul opgebouwd uit zestig koolstofatomen dat als twee druppels water lijkt op een voetbal.

Intermediair 27(20), 39-40, 1991

Toen eind vorig jaar een nieuw koolstofmolecule werd ontdekt, stond de chemische wereld op zijn kop. Een groot aantal scheikundigen houdt zich nu bezig met dit exotische molecule. Reguliere programma's worden stilgezet, en alle beschikbare menskracht is vrijgemaakt. Het gaat om C_{60} , ofwel voetballeen of buckminsterfullereen, kortom buckybal, een bolvormig molecule van zestig koolstofatomen, waarvan men aanneemt dat het zeer ongewone en nuttige eigenschappen heeft.

Chemici interesseren zich al veel langer voor moleculen die volledig uit koolstof bestaan. Naast de meest

st bekende vormen van koolstof, diamant en grafiet, moest het mogelijk zijn andere vormen te synthetiseren.

Buckminsterfullereen, een nieuwe modificatie van koolstof. Het verschijnsel van verschillende verschijningsvormen bij één element wordt allotropie genoemd. Dit was voor koolstof dus al eerder bekend. Diamant en grafiet zijn ook zogenaamde modificaties van koolstof.

¹ Noem nog een ander element dan koolstof waarbij sprake is van allotropie.

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

De synthese van Bucky Balls

Trouw 24 april 1991

Meijer: "Ze doen het eigenlijk met een lasapparaat: een elektrische vlamboog tussen twee stukken zuivere koolstof. Die branden op, en daarbij produceer je flink wat roet. Om ongewenste verbindingen tussen de koolstof en andere stoffen tegen te gaan, deden ze het experiment in heliumgas in plaats van lucht. Dat was alles: het roet bleek dertig procent fullerenen te bevatten.

En nog mooier was, dat die oplosbaar bleken in benzeen en toluen, terwijl gewone koolstof dat niet is. Je wast ze dus uit het roet, laat het oplosmiddel verdampen en houdt een keurig zwart laagje over: een zuiver kristal van fullerenen."

Door te werken in helium in plaats van in lucht worden ongewenste verbindingen tussen de koolstof en andere stoffen voorkomen.

- 2 Geef met een reactievergelijking een voorbeeld van het ontstaan van zo'n ongewenste verbinding.
- 3 Noem twee scheidingsmethoden die men heeft gebruikt heeft gemaakt om de zuivere stof in handen te krijgen.

*Hoe ziet een Bucky Ball eruit?
Een vergelijk met diamant en grafiet.*

NRC 21 november 1991

De voetbalstructuur van het *buckminsterfullereen* gedoopte C_{60} -molecuul is met een heel scala van onafhankelijke technieken bevestigd. Alle 60 atomen in het molecuul binden, net als in grafiet, met drie naburige koolstofatomen. Omdat koolstof vier valenties heeft is een van die drie bindingen dubbel. De zeshoeken bevatten (net als benzeen) drie dubbele bindingen en de vijfhoeken alleen enkele. In buckminsterfullereen zijn alle koolstofatomen volstrekt gelijkwaardig en ononderscheidbaar.

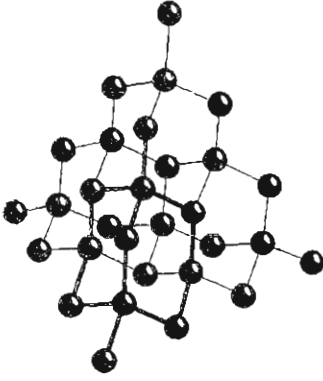
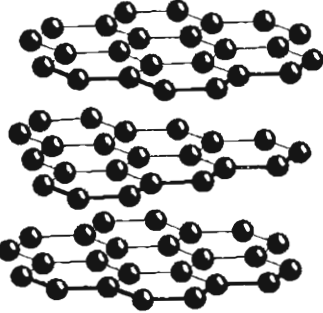
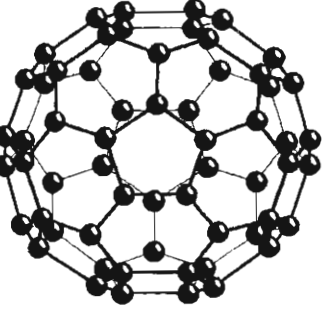
Utrechts Nieuwsblad,

Tot het midden van de jaren tachtig wist men niets anders dan dat zuiver koolstof in twee varianten voorkwam - als diamant of als grafiet. In diamant is elk koolstof-atoom (C-atoom) verbonden met vier andere C-atomen in een regelmatige, ruimtelijke structuur. In grafiet daarentegen zijn de C-atomen gerangschikt in lagen die elk weer bestaan uit met elkaar verbonden zes-ringen. Die lagen kunnen ten opzichte van

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

de Volkskrant 8 juni 1991

Diamant	Grafiet	Koolstof-60
		
Twee vormen van koolstof zijn al langer bekend: diamant en grafiet. In diamant is elk koolstofatoom verbonden met vier andere. Zo ontstaat een driedimensionaal, symmetrisch netwerk, waardoor de koolstofatomen sterk bijeen worden gehouden. Diamant ontleent hieraan zijn hardheid.	Bij grafiet zijn de koolstofatomen in de vorm van honingraten in vlakken aan elkaar gekoppeld. Deze vlakken zijn laagsgewijs gestapeld en glijden gemakkelijk over elkaar heen. Grafiet is daardoor uitstekend als smeermiddel te gebruiken.	In de nieuwe vorm van koolstof - de klasse fullerenen - zijn de atomen geordend in vijf- en zeshoeken. Deze veelvlakken kunnen in willekeurige vorm aan elkaar worden gekoppeld, waardoor aaneengesloten structuren ontstaan. De kleinste structuur in die klasse is de voetbal: twaalf vijfhoeken, gekoppeld aan twintig zeshoeken. Op de hoekpunten zitten de koolstofatomen. Elk koolstofatoom is verbonden met drie andere, wat eveneens een stabiele structuur oplevert.

- 4 Leg uit of je bij Buckminsterfullereen een grote hardheid verwacht (net als bij diamant).
- 5 Leg uit of je bij Buckminsterfullereen goede smerende eigenschappen mag verwachten (net als bij grafiet).

Zoals in het stukje voor vraag 2 staat aangegeven is buckminsterfullereen (C_{60}) is oplosbaar in benzeen en toluen. De andere modificaties van koolstof zijn dat niet.

- 6 Leg uit waarom buckminsterfullereen wel kan oplossen in benzeen en diamant niet. Maak hierbij gebruik van de soorten krachten die tussen de deeltjes een rol spelen, zowel bij het oplosmiddel als bij de op te lossen stof.

BUCKMINSTERFULLEREEN

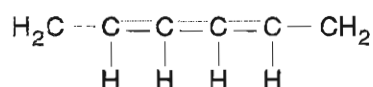
diverse bronnen

In nevenstaand plaatje is aangegeven hoe men zich de bindingen in een C₆₀-molecule voorstelt. Twintig zes-hoeken en twaalf vijfhoeken regelmatig gerangschikt in de vorm van een voetbal. In de tekening staan gelokaliseerde dubbele bindingen aangegeven.



NRC 21 november 1991

'Dubbele bindingen' ontstaan als twee of meer C-atomen elk één p-elektron bijdragen aan een chemische binding. Bij etheen (CH₂=CH₂) zijn de p-elektronen gelokaliseerd. Bij 1,3-butadien en bij benzeen is er één doorlopende 'baan' voor alle p-elektronen (gedelokaliseerd):



1,3-butadien



benzeen

- 7a Hoe stel je je de plaats van de p-elektronen voor in grafiet (dat drie bindingen tussen de C-atomen in het vlak heeft)?
- 7b Welke typerende eigenschap van grafiet is hierop gebaseerd?
- 8a Hoe stel je je de plaats van de p-elektronen voor in buckminsterfullereen?
- 8b Zal buckminsterfullereen een geleider zijn? Licht je antwoord toe.

Toepassingen van buckminsterfullereen

Brabants Dagblad

Zoals alle koolstofmoleculen beschikt ook buckminsterfullereen over het vermogen om andere atomen en moleculen aan zich te binden. Plakt men bijvoorbeeld drie kaliumatomen vast aan een 'kaal' fullereenmolecuul, dan ontstaat een molecuul dat supergeleidende eigenschappen vertoont - althans bij een temperatuur van maximaal enkele tientallen graden Kelvin.

NRC 21 november 1991

Spectaculaire ontdekkingen volgden elkaar het afgelopen jaar in hoog tempo op. Zo werd al snel duidelijk dat het kaliumzout van Mr. Bucky, (K₃C₆₀, ook wel 'kaliumbuckide' genoemd) supergeleidend is bij een temperatuur van 18 Kelvin. Andere 'metaalbuckides' doen het zelfs bij nog hogere temperaturen, waardoor ze meer thuishoren in de

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

- 9 Geef de notatie van het buckide-ion.
10 Leg uit waarom het kaliumbuckide beter geleidend is dan buckminsterfullereen zelf.

de Volkskrant 13 juni 1991

Koolstof-60 met fluor smeert nog beter

In de koolstof-60-chemie is enige vooruitgang geboekt door de ontdekking dat fluor-atomen kunnen worden toegevoegd aan het C_{60} -molecuul.

John Holloway en Eric Hope van de universiteit van Leicester verhitten C_{60} in een stroom van het zeer reactieve fluorgas. Na een dag of drie werd het zwarte koolstof-60 plotseling donkerbruin en na nog eens drie dagen verkleurde het vrij snel tot lichtbruin. Het toevoegen van nog meer fluor leverde een bijna witte vaste stof op, $C_{60}F_{60}$. Roger Taylor en Tony Avent van de universiteit van Sussex en John Langley van de universiteit van Southampton analyseerden het

produkt met spectroscopische technieken. Taylor verklaart de kleurwisselingen doordta fluor stapsgewijs wordt toegevoegd aan de C_{60} -schil. Bij de eerste stap is die schil te stabiel om makkelijk fluor te accepteren. Maar de toevoeging van slechts één fluor-atoom destabiliseert een van de zeshoekige koolstofringen in de schil. Dardoor kunnen nog vijf andere fluormoleculen zich aan de koolstofatomen binden, zodat de eerste koolstofzeshoek is gevuld. Deze stap levert naar de onderzoekers menen het aanvankelijk donkerbruine materiaal $C_{60}F_6$ op. Volgens Taylor is deze verbinding vrij stabiel, wat verklaart waarom het nog drie dagen duurt tot de volgende kleurverandering. De toevoeging van meer fluor-atomen resulteert in het lichtbruine $C_{60}F_{42}$, en de laatste 18 fluor-atomen leiden uiteindelijk tot het kleurloze $C_{60}F_{60}$.

- 11 Geef de reactievergelijkingen in brutoformules van de drie reacties die achtereenvolgens optreden weer.

Uit de reactievergelijkingen kun je opmaken dat C_{60} een onverzadigd molecuul is.

- 12 Leg uit waaruit dat blijkt.
13 Geef in een tekening met structuurformules de reactie van fluor met buckminsterfullereen weer tot de vorming van het donkerbruine materiaal (van buckminsterfullereen hoeft je slechts één zesring te tekenen).

BUCKMINSTERFULLEREEN

diverse bronnen

Voor het ontstaan van het donkerbruine materiaal wordt een mechanisme in drie stappen verondersteld. Bij de eerste, in het artikel niet genoemde, stap splitsten moleculen fluor in twee fluoratomen: $F_2 \longrightarrow 2 F$. De stappen twee en drie staan, overigens niet geheel correct, in het artikel beschreven.

- 14 Geef zelf een reactievergelijking voor stap twee en drie in brutoformules.
- 15 Geef aan in welk opzicht de beschrijving in het artikel niet correct is.

Volgens het artikel is $C_{60}F_6$ vrij stabiel.

- 16 Bereken het enthalpie-effect van de vorming van $C_{60}F_6$ uit C_{60} en F_2 . Maak gebruik van je antwoord op vraag 14. Je mag er bij de berekening van uitgaan dat de sublimatie-enthalpieën van C_{60} en $C_{60}F_6$ ongeveer even groot zijn.
- 17 Heeft de uitkomst van vraag 17 iets te maken met de uitspraak dat $C_{60}F_6$ vrij stabiel is.

De overgang van $C_{60}F_6$ naar $C_{60}F_{42}$ heeft een zes maal zo groot enthalpie-effect als je hebt uitgerekend bij vraag 16. Toch verloopt deze reactie niet heel snel.

- 18 Leg uit hoe het komt dat deze omzetting niet snel verloopt.

Trouw 24 april 1991

"Bij IBM hebben ze onderzocht of het geschikt was als smeermiddel voor harde schijven van computers: het blek beter te zijn dan wat ze hadden! En het is elders ook al gelukt om fluoratomen te bevestigen aan alle zestig koolstofatomen: wat je dan in feite hebt is een bolvormig molecuul met een laagje teflon!"

- 19 Teken een stukje van de structuurformule van teflon (zie tabel 102 a Binas).
- 20 Geef commentaar bij de zinsnede 'bolvormige moleculen met een laagje teflon'.

BUCKMINSTERFULLEREEN

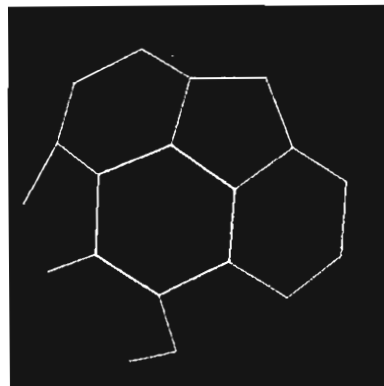
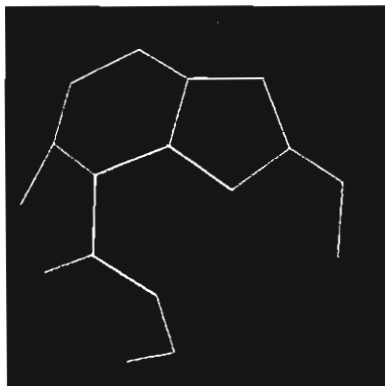
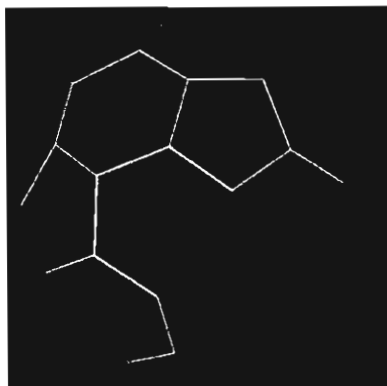
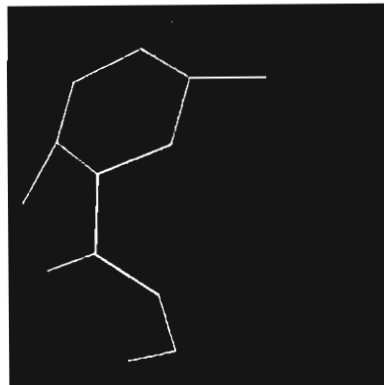
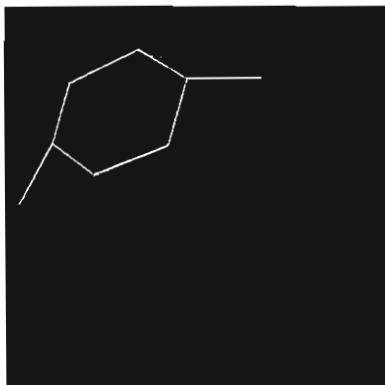
diverse bronnen

De uitsmijter van deze opgave: ook onderstaand stukje kwamen we meerdere keren tegen.

Smalley: "De koolstofkooien van buckyballs nemen uitstekend elektronen op en als je er nu metalen als chloor en natrium instopt zijn ze misschien uitstekend te gebruiken als batterijen

- 21 Denk je dat Smalley deze bewering zo gedaan heeft? Leg uit wat de fout is in het stukje.

Groei van een buckyball. De ruimtelijke structuur ontstaat door de invoeging van vijfhoeken in het normale 'kippegaaspatroon' van grafiet. Twaalf vijfhoeken geeft een sluitende holle kool.



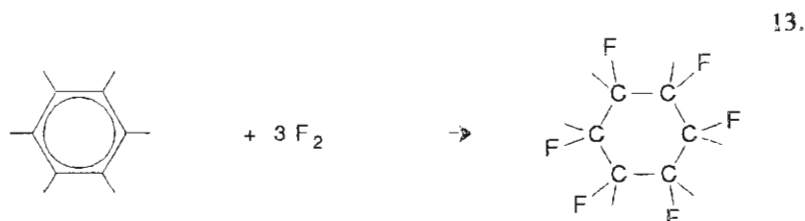
BUCKMINSTERFULLEREEN

(docentenhandleiding)

- 1 Zwavel, fosfor, tin (Binas tabel 57).
- 2 $C + O_2 \longrightarrow CO_2$ of $2 C + O_2 \longrightarrow 2 CO$
- 3 Extractie en indampen.
- 4 Benzeen en buckminsterfullereen zijn beide apolaire stoffen (er zijn slechts apolaire atoombindingen aanwezig). Dergelijke stoffen zijn mengbaar, de een kan oplossen in de ander. Tussen de moleculen van het vaste buckminsterfullereen zijn slechts zwakke vanderWaalskrachten werkzaam. Als benzeen en buckminsterfullereen mengen komen er soortgelijke krachten voor in de plaats. Diamant heeft een ruimtelijke structuur met zeer sterke atoombindingen in alle richtingen. Een wisselwerking tussen benzeen en diamant kan deze sterke atoombindingen niet verbreken.
- 5 Minder hard want er is géén ruimtelijk netwerk met sterke bindingen (zoals diamant) in alle richtingen.
Er zijn meer veerkrachtige eigenschappen. Het molecule kan enigszins vervormd worden waardoor het geen starre ruimtelijke structuur oplevert.
- 6 - Minder goede smeereigenschappen want er is géén lagenstructuur met zwakke bindingen tussen de lagen (zoals bij grafiet).
- Tussen de C_{60} -moleculen zijn slechts zwakke bindingen aanwezig. Dus de moleculen zullen vrij gemakkelijk langs elkaar heen kunnen bewegen. Op basis hiervan wel smerende eigenschappen.
- 7a Oneindig veel p-elektronen verspreid over vlakken.
- 7b Elektrische geleiding (grafietelektrodes, koolborstels).
- 8a De elektronen in de zestig p-orbitalen zijn verspreid over het hele molecule. Zoals je de zes elektronen in benzeen voorstelt door een cirkeltje, zou je bij C_{60} een bolschil moeten tekenen. Men kan verschillende grensstructuren tekenen. Bij buckminsterfullereen is er sprake van mesomerie.
- 8b Nee, want de verplaatsingsmogelijkheid van de elektronen is beperkt tot één molecule. (Benzeen is geen geleider)
- 9 C_{60}^{3-}
- 10 In C_{60} worden de gedelokaliseerde elektronen allemaal in de afzonderlijke moleculen vastgehouden. In C_{60}^{3-} is er een overschot aan elektronen, die kunnen van het ene naar het andere deeltje worden doorgegeven.
- 11 $C_{60} + 3 F_2 \longrightarrow C_{60}F_6$
 $C_{60}F_6 + 18 F_2 \longrightarrow C_{60}F_{42}$
 $C_{60}F_{42} + 9 F_2 \longrightarrow C_{60}F_{60}$
- 12 Er treedt een additiereactie op, dat kan alleen bij onverzadigde moleculen.

BUCKMINSTERFULLEREEN

(docentenhandleiding)

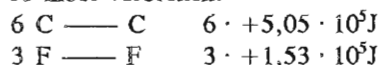


14 Stap 2 : $C_{60} + F \longrightarrow C_{60}F$

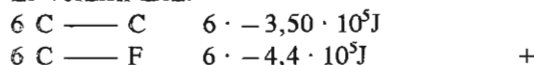
Stap 3 : $C_{60}F + 3 F_2 \longrightarrow C_{60}F_6 + F$

15 In het artikel is sprake van 5 *moleculen* in plaats van 5 *atomen* die aan de koolstofatomen gebonden worden zodat de eerste koolstofzesring is verzadigd.

16 Je moet verbreken:



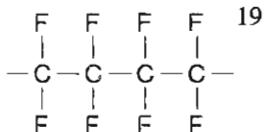
Er vormen zich:



totaal $-12,5 \cdot 10^5 \text{ J}$

17 De vorming van $C_{60}F_6$ is een exotherm proces. Dit betekent dat de gevormde verbinding stabiel is dan de uitgangsubstanties. De genoemde stabiliteit heeft echter te maken met het feit dat de vervolgreactie niet vlug verloopt.

18 Hoge activeringsenergie.



20 Er staat onzin. Je zou wel kunnen zeggen: 'een fullereen met teflonachtige eigenschappen' of 'een fullereen dat aan de buitenkant enigszins op een teflonmolecule lijkt'.

21 Nee. Chloor is geen metaal.

BUCKMINSTERFULLEREEN

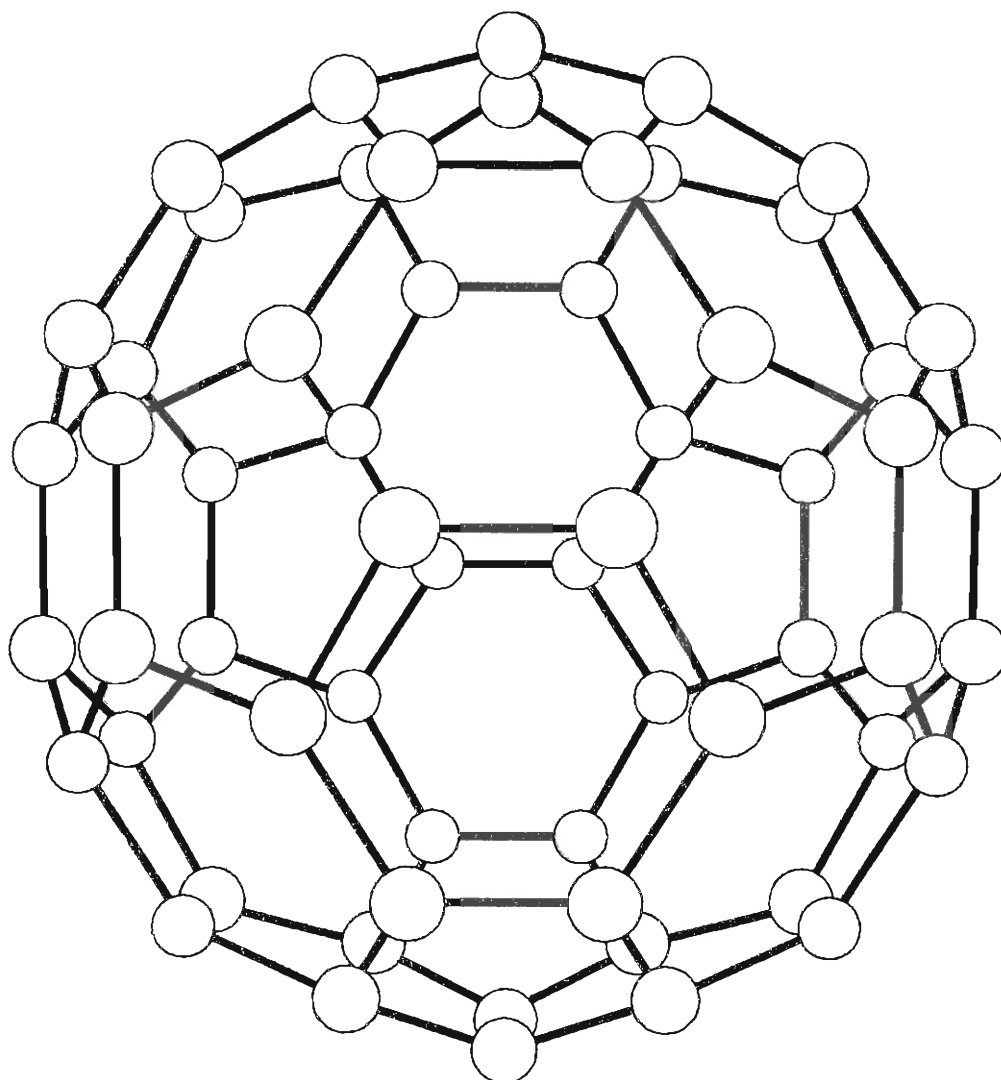
(docentenhandleiding)

Opmerking

Bestellen van de volledige krante-artikelen, die voor de opgave gebruikt zijn, is mogelijk bij de betreffende kranten.

Literatuur

- * Curl R.T, Fullerenes, Scientific American, oktober 1991
- * Smalley R.E., Great balls of carbon, The Sciences, maart/april 1991
- * Koppeschaar C., De ballenjongens van de scheikunde, Kijk 4-7, februari 1992.



C_{60}
"Buckyball"

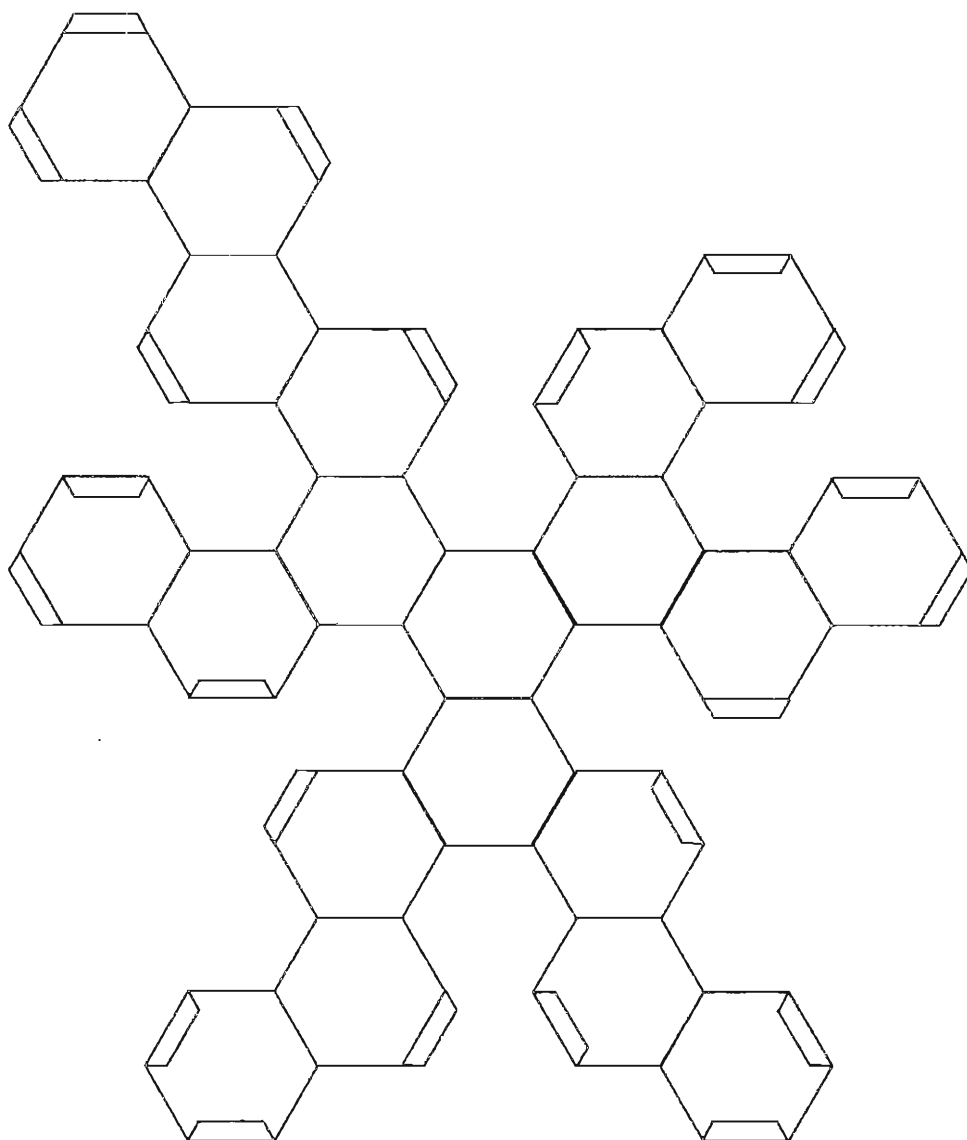
BUCKMINSTERFULLEREEN

(docentenhandleiding)

Extra materiaal

Een bouwplaat van buckminsterfullereen

Mens en Wetenschap, jrg 19, nummer 1, 1992



BUCKMINSTERFULLERENE

Sir Harry Kroto, one of the winners of the 1996 Nobel prize in chemistry, passed away recently. Here, we take a look at the molecule that won him his Nobel prize, C_{60} , or Buckminsterfullerene.

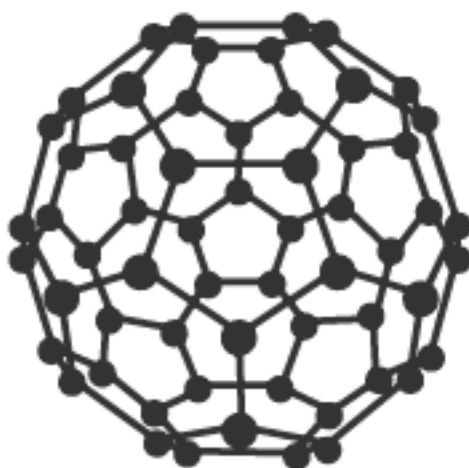
C_{60} – 'BUCKYBALLS'

Football-shaped form of carbon

Truncated icosahedron

12 pentagonal faces, 20 hexagonal faces

Nobel Prize: 1996



C_{60} occurs naturally, and is found in soot in small quantities. It's also been observed in space.

It's named after Buckminster Fuller, an architect whose geodesic domes it resembles.

The first of the fullerenes to be discovered, there are now a number of recognised types, including carbon nanotubes.

A BRIEF HISTORY OF BUCKMINSTERFULLERENE

Existence of the C_{60} molecule proposed by the Japanese scientist Eiji Osawa.

1970

Astrophysicists Wolfgang Krätschmer and Donald Huffman develop a method to make C_{60} in larger quantities.

1990

Buckyballs detected in space; they could be responsible for mystery interstellar absorptions.

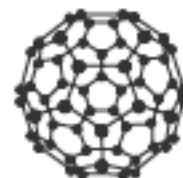
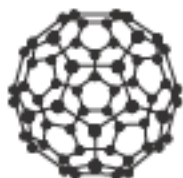
2010

1985

C_{60} discovered during work investigating carbon clusters formed in conditions similar to those in red giant stars.

1996

Nobel prize in chemistry awarded to Harry Kroto, Robert Curl, and Richard Smalley, for discovery of fullerenes (including C_{60})

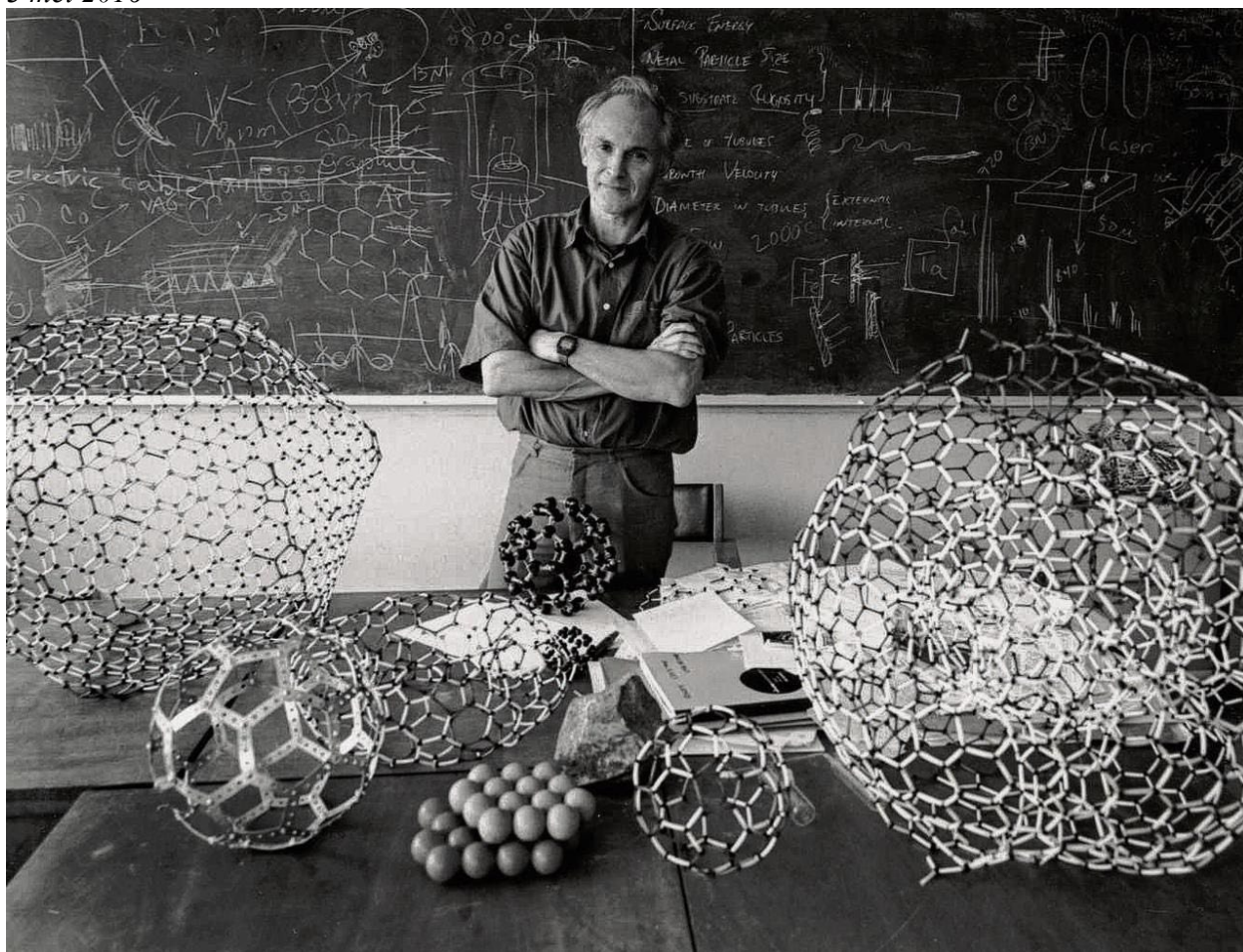


Bron: NRC Handelsblad, 3 mei 2016

Mede-ontdekker van de koolstofkooien

Harry Kroto (1939-2016), chemicus en Nobelprijswinnaar
De Britse chemicus Harry Kroto, die in 1985 samen met anderen de buckybal ontdekte, haalde zijn inspiratie uit de kunst.

Lucas Brouwers
3 mei 2016



De Britse chemicus *Harry Kroto*.. Foto www.kroto.info

Zestig koolstofatomen in de vorm van een voetbal. Dertig jaar na de ontdekking ervan is buckminsterfullereen nog steeds het vreemdste molecuul dat echt bestaat. De Britse chemicus Harry Kroto ontdekte de 'buckybal' in 1985, samen met Robert Curl en Richard Smalley. In 1996 won het drietal er de Nobelprijs voor Scheikunde voor.

Buckybalontdekker Kroto overleed dit weekend op 76-jarige leeftijd. Kroto was de zoon van een joodse ballonmaker. Zijn ouders waren in de jaren 30 voor de nazi's naar Groot-Brittannië gevlucht. Kroto studeerde scheikunde aan de University of Sheffield en werkte van 1967 tot 2004 aan de University of Sussex. Naast chemicus was Kroto ook kunstenaar, logo-ontwerper en overtuigd humanist.

De ontdekking van buckminsterfullereen was het resultaat van een toevallige samenwerking. De Amerikaan Richard Smalley had in Houston een lab met dure apparaten, de Brit Kroto had een plan: hij wilde koolstof verdampen, om te zien of er rond sterren koolstofverbindingen konden ontstaan.

Dat gebeurde. Een mysterieus molecuul met zestig koolstofatomen was de meestvoorkomende en stabielste verbinding. Hoe zag dit molecuul eruit? Kroto zou in discussies het werk van Amerikaanse architect Buckminster Fuller hebben genoemd, die met combinaties van vijfvlakken en zesvlakken koepels bouwde. Na veel gepuzzel bleek dat voor een bolle kooi die uit 12 vijfhoeken en 20 zeshoeken bestaat, net als een voetbal, precies zestig koolstofatomen nodig zijn.

Het onderzoek naar fullerenen nam begin jaren 90 een vlucht. „Buckminsterfullereen gaf een compleet andere kijk op koolstofverbindingen”, zegt Gerard Meijer, collegevoorzitter van de Radboud Universiteit in Nijmegen, die zelf fullerenen heeft onderzocht. „Het moderne werk aan grafeen en nanobuisjes komt in die zin voort uit het fullerenenonderzoek.” Astrofysici bevestigden later ook dat buckyballen van nature worden gevormd rond sterren.

Voor Kroto was wetenschap ook zonder toepassing mooi en de moeite waard, maar hij dacht niet dat leken dat volledig konden vatten. Op een bijeenkomst van Nobelprijswinnaars in 2011 zei hij: „Wiskunde is de enige taal waarin het universum spreekt. Voor wie die taal beheerst, is wetenschap van ultieme schoonheid en spiritueel verheffend.”