

EEN KINDER T-SHIRT GEMAAKT VAN DRIE GERECYCLEDE PETFLESSEN

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties; Industriële processen en Groene Chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Recycling; Blokschema
Trefwoorden	PET flessen, hergebruik, duurzaam,
Vaardigheidsvraag	Informatieverwerkingsvraag

[Bd.nl](#), 6 februari 2019

Een kinder T-shirt gemaakt van drie gerecyclede PET flessen

The Cookie Company verkoopt bergen 'fast fashion' kleding. Het Bossche bedrijf gaat nu - samen met Nickelodeon - ook kleding laten maken van gerecyclede PET flessen uit zee.



Directeur en oprichtster Sabine Hulsman van de Cookie Company een bedrijf dat kleding produceert voor entertainment bedrijven zoals Universal, Nickelodeon. Het gaat kleding maken van petflessen. © copyright Marc Bolsius

The Cookie Company ontwerpt, produceert en verkoopt kleding, vooral voor kinderen tussen de twee en veertien jaar. In de loop van dit jaar komen de eerste T-shirts, badkleding en ondermode op de markt die gemaakt zijn van gerecyclede petflessen. Hulsman: „Voor een kinder T-shirtje worden gemiddeld drie tot vijf plastic flessen hergebruikt."

Serius

Het Bossche bedrijf, dat een omzet heeft van ruim 35 miljoen euro en werkgever is van ruim zeventig medewerkers, verkoopt de kleding niet rechtstreeks aan consumenten, maar aan grote winkelbedrijven in binnen- en buitenland zoals Primark, Zeeman, Aldi, Action, Auchan of Carrefour. „In de branche waar wij actief zijn, gaat het echt om grote hoeveelheden kleding.

Nu wij een samenwerking starten in écht duurzame kleding, kan er misschien iets serieus in de modebranche bereikt worden op het gebied van duurzaamheid", stelt Hulsman. De eerste kleding van gerecyclede PET flessen - officieel R-pet - komt onder de merknaam 'Trashcode' op de markt. Dat onderdeel van de Cookie Company is een samenwerking met het internationale textielmerk Waste2Wear van de Nederlandse Monique Maissan.

Het bedrijf Waste2Wear, gevestigd in China, is gespecialiseerd in het transformeren van gebruikte plastic flessen tot textiel. Hulsman: „Dus bewust geen biologisch katoen, want voor de productie daarvan wordt het landschap enorm aangetast en zijn gigantische hoeveelheden water nodig. Allesbehalve duurzaam dus."

Vlokken

Aan het produceren van een kledingstuk van gerecyclede flessen gaan nogal wat stappen vooraf. Allereerst worden de ingezamelde R-PET flessen gewassen, van labels ontdaan en gedroogd. Nadat de flessen op kwaliteit gesorteerd zijn, worden ze vernalen tot vlokken en opnieuw gewassen en gedroogd. De vlokken worden vervolgens gesmolten en verwerkt tot kleine korrels die nogmaals verhit worden. Het plastic wordt dan verwerkt tot granules waarna er synthetische garens van gesponnen worden. Dit garen wordt op zijn tijd weer gecombineerd met gerecycled polyester, katoen, viscose of wol om er uiteindelijk een kledingstuk van te maken.

Een aantal bedrijven gaat samen kinderkleding maken van PET-flessen uit zee.

- 1 Noem één voordeel dat ze de PET-flessen *uit zee* gebruiken.

Sabine Hulsman van *the Cookie Company* geeft aan dat zij een samenwerking is gestart voor echt duurzame kleding.

- 2 Leg uit of Sabine Hulsman voor haar kleding uit PET-flessen inderdaad de term duurzaam mag gebruiken.

Sabine Huisman kiest bewust niet voor het gebruik van biologische katoen. Zij draagt hiervoor twee argumenten aan.

- 3 Noem twee andere argumenten die zij ook nog kan aanvoeren.

Het bedrijf Waste2Wear is gespecialiseerd in het transformeren (omzetten) van gebruikte plastic flessen tot textiel.

- 4 Licht de naam Waste2Wear toe.

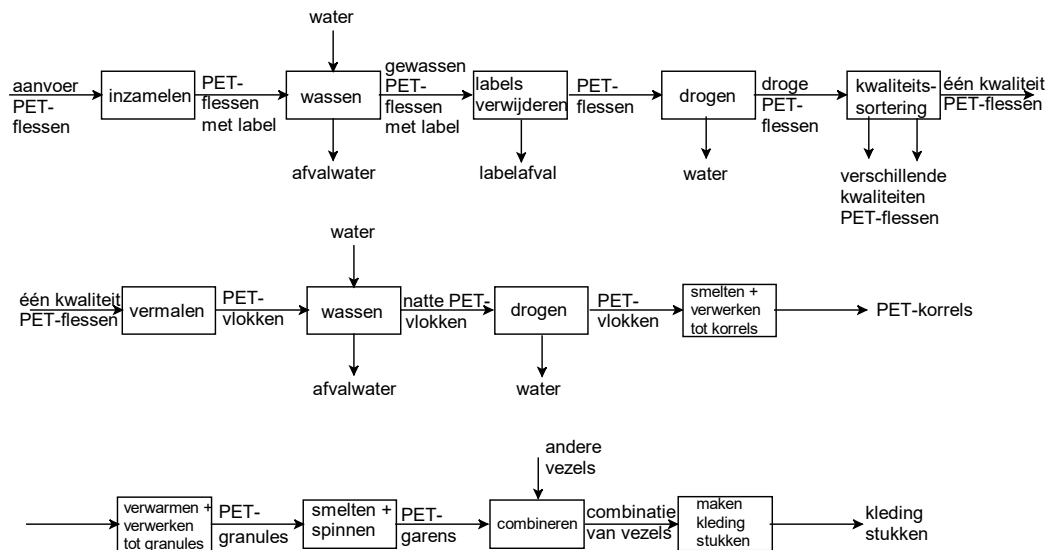
In het artikel staat het proces van PET-fles tot kledingstuk beschreven.

- 5 Maak van dit proces een blokschema.

- 6 Leg uit of jij in de toekomst kleding gaat kopen die van PET flessen uit zee gemaakt is.

Een kinder T-shirt gemaakt van drie gerecyclede petflessen

- 1 Er is daardoor minder plasticafval in de zee waar de dieren en vissen die in zee leven last van kunnen krijgen
- 2 Duurzaam betekent het milieu weinig belastend. Duurzame kleding moet dus op een zodanige manier geproduceerd worden dat het weinig effect heeft op het milieu. Het productieproces maakt gebruik van PET-flessen die uit de zee gehaald zijn. (Naast het milieu wordt er tevens rekening gehouden met de werkomstandigheden van de arbeiders die de kleding fabriceren.)
- 3 Bijvoorbeeld: put de bodem uit en heeft daarom veel kunstmest nodig; heeft veel pesticiden nodig om onkruid en insecten te bestrijden; heeft veel chemische hulpmiddelen nodig om te oogsten en te verwerken.
- 4 Afval om te dragen.

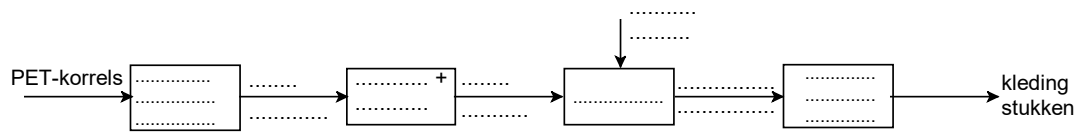
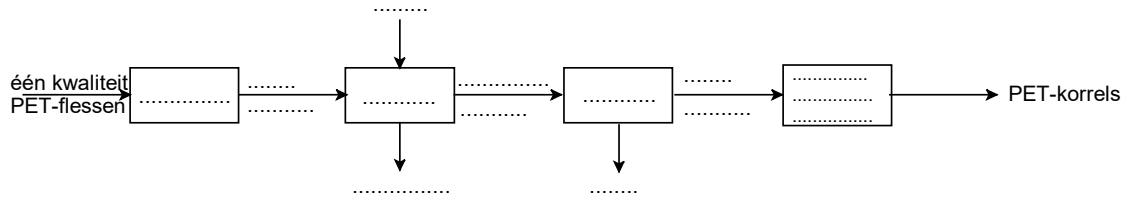
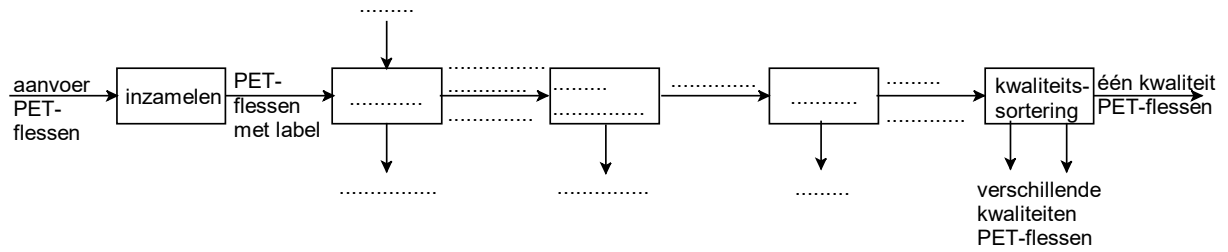


- 5
- 6 Onderbouwde mening leerling.

Opmerkingen

- U kunt bij vraag 5 ook een leeg blokschema geven. Zie hierna.
- Het staat niet in het artikel, maar de combinatie van vezels moet men nog wel weven/breien voor er een kledingstuk van kan worden gemaakt.

Artikel: <https://www.bd.nl/den-bosch-vught/een-kinder-t-shirt-gemaakt-van-drie-gerecyclede-petflessen~afa717fa/>

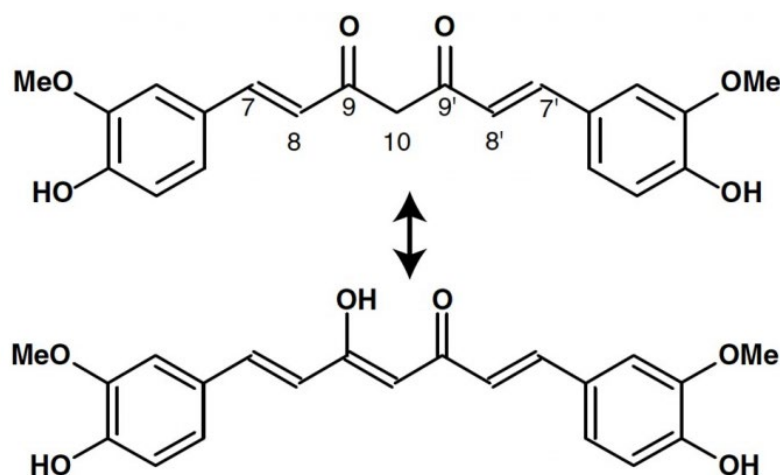


ANORGANISCH AFBREEKBARE LIGNINE

Klas	5,6 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische reacties
Trefwoorden	Ligninen, curcumine, ket-enol, polycondensatie, <i>p</i> -coumarylalcohol, coniferylalcohol, sinapylalcohol, mechanisme, naamgeving
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2w.nl, 28 januari 2019

Anorganisch afbreekbare lignine



Om biomassa beter verwerkbaar te maken moet je je planten genetisch modificeren zodat ze andere bouwstenen gaan aanmaken voor hun lignine. Bijvoorbeeld curcumine, stellen Gentse onderzoekers in *Nature Plants*.

In de natuur lijkt dat lignine te ontstaan door tamelijk willekeurige polymerisatie van een rommelpotje van monomeren dat per plant verschilt. *P*-coumaryl, coniferyl en sinapylalcohol gelden als de belangrijkste bestanddelen maar het zijn zeker niet de enige. In alle gevallen resulteert het in een netwerk dat stevigheid aan de plant geeft, maar dat de extractie in de weg staat van cellulose en aanverwante polysachariden waar de industrie meer aan heeft.

De eerste stap van die extractie bestaat traditioneel uit een behandeling met heet natronloog, die de lignine niet afbreekt maar wel ontwricht door het te laten zwellen. En het idee van Wout Boerjan en collega's is nu om de plant zo ver te krijgen dat hij in zijn lignine een component verwerkt, die chemisch gezien veel slechter bestand is tegen onnatuurlijk hoge pH's. De temperatuur van het natronloog kan dan een stuk omlaag, wat scheelt in het energieverbruik.

Aanvullende eis is dat het niet te veel mag uitmaken voor de mechanische sterkte van lignine, zolang de plant normaal groeit bij een pH die wél natuurlijk is.

Enig zoekwerk bracht Boerjan op het spoor van curcumine, de gele kleurstof in de kurkumaplant *Curcuma longa*. Die verbinding komt normaal gesproken nooit in lignine terecht, maar qua chemische opbouw moet ze probleemloos kunnen meepolymeriseren met de componenten die daar wel in thuishoren. Met name de ketovorm (het bovenste plaatje)

laat zich daarna op papier heel makkelijk met loog hydrolyseren waarbij het molecuul in tweeën breekt.

Bekend is dat *C. longa* slechts twee specifieke enzymen inzet voor curcuminesynthese: diketide-CoA-synthase en curcuminesynthase. Boerjan en collega's hebben nu de bijbehorende genen overgezet naar de zandraket (*Arabidopsis thaliana*), nog altijd een populaire modelplant. Inderdaad ging die voldoende curcumine inbouwen in zijn celwanden om die onder de microscoop een beetje gelig te maken. En het feit dat die kleur verdwijnt bij behandeling met natronloog, doet vermoeden dat de curcuminebouwstenen dan inderdaad worden gesplitst.

bron: *Nature Plants*

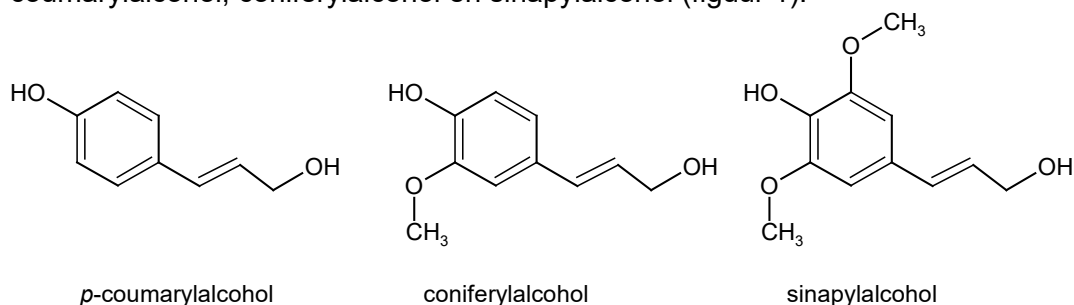
De plant doet het niet goed, vinden de Gentse onderzoekers. In plaats van lignine zou deze andere bouwstoffen moeten gaan aanmaken, bijvoorbeeld curcumine. Curcumine lijkt een stof te zijn die de afbraak van lignine bevordert. Van curcumine is het keto-enolevenwicht in het artikel weergegeven.

- 1 Verklaar de benaming keto-enolevenwicht.

De pijl die in die tekening gebruikt wordt, suggereert het optreden van mesomerie.

- 2 Leg uit of het keto-enolevenwicht een vorm van mesomerie weergeeft.
- 3 Geef het reactiemechanisme van het keto-enolevenwicht in Lewisstructuren weer. Let op er speelt een OH^- ion mee.

Drie bouwstenen die in de plant een rol spelen bij de polymerisatie tot lignine zijn *p*-coumarylalcohol, coniferylalcohol en sinapylalcohol (figuur 1).



Figuur 1 bouwstenen lignine

De systematische naam van *p*-coumarylalcohol is 4-(3-hydroxyprop-1-enyl)fenol.

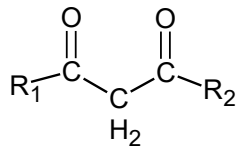
- 4 Verklaar deze naam aan de hand van de structuurformule van *p*-coumarylalcohol.
- 5 Geef de systematische namen van coniferylalcohol en sinapylalcohol.

Bij de polymerisatie van de bouwstenen ontstaat lignine. Daarbij reageren de OH-groepen met elkaar voor de vorming van alkoxybindingen (C-O-C).

- 6 Leg uit dat dit een polycondensatie is.

Curcumine wordt op eenzelfde wijze als de drie bouwstenen bij de polymerisatie gebruikt voor de vorming van lignine. Alleen heeft curcumine de eigenschap om in tweeën te breken als natronloog wordt toegevoegd. Er vindt dan volgens het artikel 'hydrolyse' plaats.

- 7 Geef de 'hydrolysereactie' van curcumine met behulp van natronloog in structuurformules weer. Gebruik voor curcumine de volgende structuurformule:



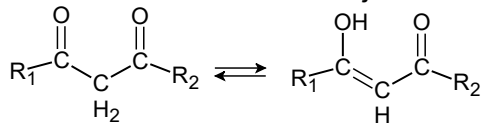
- 8 Licht toe waarom 'hydrolyse' tussen aanhalingstekens geplaatst is.
9 Licht toe dat door gebruik van curcumine de lignine en cellulose door extractie van elkaar gescheiden kunnen worden.

De vraag is natuurlijk of het idee van onderzoeker Boerjan werkt.

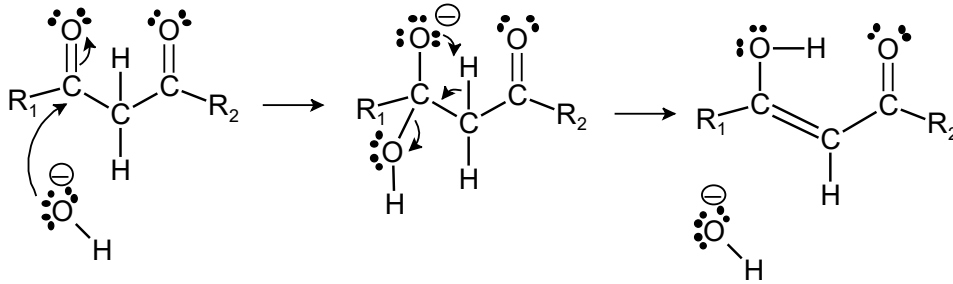
- 10 Leg uit waarop de conclusie van het splitsen van curcumine-delen gebaseerd is.

Anorganisch afbreekbare lignine

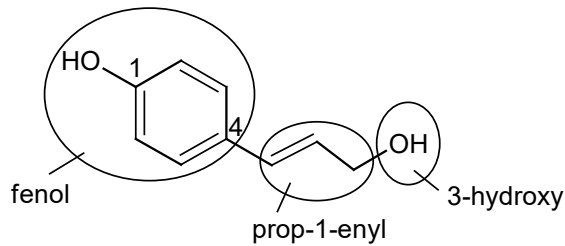
- 1 Keto wijst op C=O, enol wijst op C=C-OH. Je maakt van een keton een alcohol en C=C. In de structuurformules zie je deze overgang van groepen weergegeven:



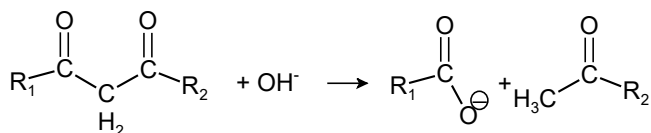
- 2 Nee, mesomerie is dat alleen elektronen verplaatst worden terwijl hier ook atomen verplaatst worden.
3



4



- 5 Coniferylalcohol: 4-(3-hydroxyprop-1-enyl)-2-methoxyfenol. Sinapylalcohol: 4-(3-hydroxyprop-1-enyl)-2,6-dimethoxyfenol.
6 Er vindt bij deze polymerisatie afsplitsing van een klein molecuul, water, plaats.
7



- 8 Hydrolyse: reactie met water. Hier hydrolyse: reactie met loog.
9 De curcuminebouwstenen worden steeds in twee delen gesplitst waardoor vele kleinere brokstukken gevormd worden. Deze kunnen door extractie gescheiden worden van de cellulose.
10 Curcumine geeft de celwanden van de zandraket een lichtgele kleur wat te zien is onder de microscoop. Deze lichtgele kleur werd niet meer waargenomen na reactie met natronloog.

GORDIJN REINIGT LUCHT IN HUIS

Versie 1

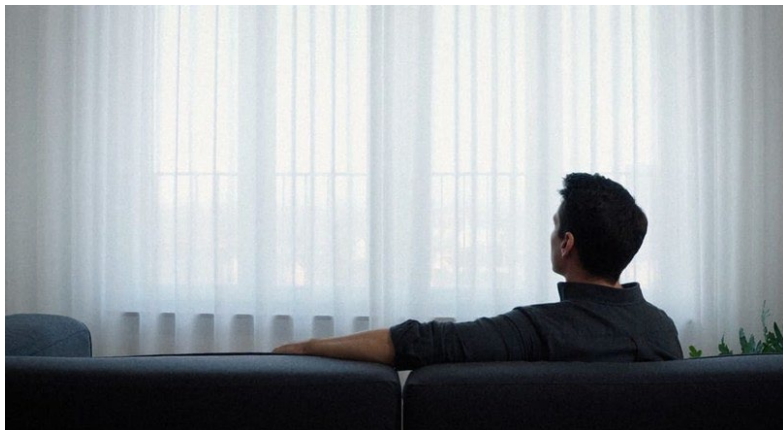
Klas	4 hv
Subdomein	Energie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Energiediagram
Trefwoorden	Katalysator, radicaal, vormingswarmte, reactiewarmte, TiO_2
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

Versie 2

Klas	5,6 v, 5 h (niet vraag 7,11,12)
Subdomein	Energie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Vormingswarmte
Trefwoorden	Lewisstructuur, radicaal, reactiewarmte, halfreacties, TiO_2
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

deingenieur.nl, 21 februari 2019

GORDIJN REINIGT LUCHT IN HUIS



IKEA heeft een gordijn ontwikkeld dat de lucht in huis helpt te zuiveren. Op het textiel zit een stof die onder invloed van licht ongezonde organische stoffen in de lucht afbreekt. Volgend jaar moet het gordijn in de IKEA-winkels liggen.

Het bijzondere gordijn, dat GUNRID is gedoopt, is behandeld met een mineraal dat fotokatalytische eigenschappen heeft. Een fotokatalysator is een stof die onder invloed van licht een chemische reactie sneller laat verlopen. Bij het zuiverende gordijn van IKEA is die reactie het kapotmaken van organische moleculen die in de lucht zweven, en afkomstig zijn uit bijvoorbeeld coatings en kunststoffen.

IKEA geeft als voorbeeld formaldehyde, dat uit kunststof en coatings komt, en allerlei geurstoffen. Het idee is: hang het nieuwe gordijn in je kamer en het ding vangt voortdurend deze vieze stofjes af en breekt ze af tot kleinere, onschuldige moleculen.



Stil uit <https://vimeo.com/318156967>, GUNRID - The air cleaning curtain

OXIDATIE

Hoe dit precies gaat, vertelt IKEA niet, maar waarschijnlijk gebeurt het met oxidatie. Een bekend fotokatalytisch materiaal titaandioxide (TiO_2) zet onder invloed van licht, water en zuurstof om in radicalen. Dit zijn zeer reactieve deeltjes die de ongewenste stoffen in de lucht te lijf gaan; die reageren tot nieuwe stoffen en uiteindelijk tot CO_2 .

KUNSTLICHT

Fotokatalysatoren zijn dus al langer bekend, maar IKEA beweert dat het een stof heeft ontwikkeld die niet alleen met zonlicht uit de voeten kan, maar zelfs genoeg heeft aan kunstlicht, meldt *FastCompany*. In principe gaat het gordijn dus ook in de avond en nacht door met het schoner maken van de lucht in je huis.

ZIEKTEN

Het gordijn is zonder meer een originele aanpak van een relevant probleem, het verbeteren van de lucht in je huis, waar je vele uren per dag doorbrengt. Te vuile lucht hangt samen met gezondheidsproblemen als hart- en vaatziekten en longaandoeningen.

In Nederland valt het vermoedelijk wel mee met de slechte lucht in gebouwen, denkt Guido Mul van de Universiteit Twente. 'Wij hebben, vooral in nieuwere huizen, vaak prima ventilatie. Volgens mij speelt de problematiek van de vuile lucht vooral in gebouwen met airconditioning waarvan de ramen niet open kunnen, zoals in de Verenigde Staten. Ook als de buitenlucht heel vies is, zoals in Chinese steden, heb je een probleem in huis.'

GEEN DETAILS

Maar vervolgens is het nog zeer de vraag of het IKEA-gordijn in dergelijke omstandigheden iets kan betekenen. Het bedrijf zelf heeft geen details over de precieze werking van het bijzondere gordijn bekendgemaakt.

Hoogleraar Mul wijst erop dat het IKEA-gordijn een statisch systeem is: de werking is afhankelijk van hoe snel er nieuwe organische moleculen langs komen. 'Daarvoor ben je afhankelijk van diffusie (de menging van gassen onder invloed van de temperatuur, red.) en ik vraag me af of dat niet beperkend werkt voor de omzettingssnelheid.'



Fabriek waar IKEA het GUNRID-textiel maakt.

VUIL

Dat het gordijn lucht kan reinigen, is gebleken in laboratoriumproeven. Nu moet de werking van het bijzondere textiel verder worden bevestigd in grootschalige proeven, meldde IKEA aan *FastCompany*. We blijven het volgen. Wat in ieder geval zin heeft, is je huis goed ventileren.

Beeldmateriaal IKEA

Versie 1

IKEA heeft het luchtzuiverende gordijn GUNRID ontwikkeld.

1 Waarom heeft IKEA dit gordijn ontwikkeld?

Uit het artikel blijkt dat Ikea de stof TiO_2 in de gordijnen gebruikt om bepaalde organische verbindingen in de binnenhuislucht af te breken.

In het artikel gebruikt men voor TiO_2 de onjuiste naam titaandioxide.

2 Leg uit waarom de naam titaandioxide onjuist is.

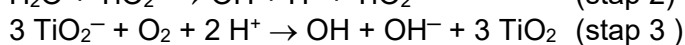
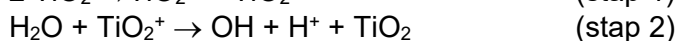
3 Geef de juiste naam voor TiO_2 .

Katalysator

TiO_2 wordt vaak toegepast als fotokatalysator.

4 Wat is er nieuw aan de fotokatalysator die door IKEA ontwikkeld is?

Men veronderstelt dat TiO_2 onder invloed van zonlicht als katalysator optreedt bij de versnelde afbraak van organische verbindingen in de lucht. Het artikel vermeldt: "Een bekend fotokatalytisch materiaal titaandioxide (TiO_2) zet onder invloed van licht, water en zuurstof om in radicalen."



5 Toon met de vergelijking van de totaalreactie aan dat TiO_2 als katalysator dienst doet.

Radicalen

De ontstane OH deeltjes zijn radicalen.

In het artikel staat over radicalen: "Dit zijn zeer reactieve deeltjes."

- 6 Leg uit waardoor radicalen zeer reactieve deeltjes zijn
- 7 Geef de elektronenformule van het OH radicaal.

Men neemt aan dat de ontstane OH radicalen met organische verbindingen reageren tot koolstofdioxide en water.

IKEA geeft formaldehyde, ofwel methanal (CH_2O), als voorbeeld van een organische verbinding die afgebroken kan worden.

- 8 Geef de reactievergelijking, in molecuulformules, voor de afbraak van formaldehyde met OH radicalen.

Oxidatie

De totaalvergelijking voor de oxidatie van formaldehyde luidt: $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

- 9 Bereken de reactie-energie van deze reactie.
- 10 Leg uit waardoor bij deze reactie licht nodig is.
- 11 Teken het energiediagram van deze reactie.
- 12 Noem twee ontwerpeisen bij het ontwikkelen van het gordijn, wil het inderdaad lucht binnenshuis kunnen blijven zuiveren.

Versie 2

IKEA heeft het luchtzuiverende gordijn GUNRID ontwikkeld.

- 1 Waarom heeft IKEA dit gordijn ontwikkeld?
- 2 Noem twee voorwaarden waarmee bij het ontwikkelen van het gordijn rekening moet zijn gehouden, wil het inderdaad lucht kunnen zuiveren.

Uit het artikel blijkt dat Ikea de stof TiO_2 in de gordijnen gebruikt om bepaalde organische verbindingen in de binnenshuislucht af te breken.

In het artikel gebruikt men voor TiO_2 de onjuiste naam titaandioxide.

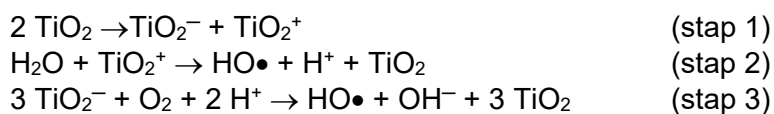
- 3 Geef de juiste naam voor TiO_2 .

Katalysator

TiO_2 wordt vaak toegepast als fotokatalysator.

- 4 Wat is er nieuw aan de fotokatalysator die door IKEA ontwikkeld is?

Men veronderstelt dat TiO_2 onder invloed van zonlicht als katalysator optreedt bij de versnelde afbraak van organische verbindingen in de lucht. Het artikel vermeldt: "Een bekend fotokatalytisch materiaal titaandioxide (TiO_2) zet onder invloed van licht, water en zuurstof om in radicalen."

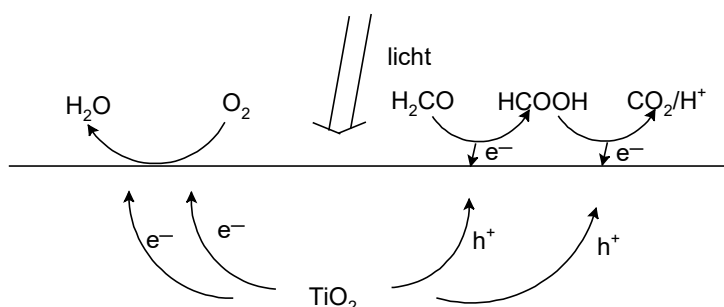


- 5 Toon met de vergelijking van de totaalreactie aan dat TiO_2 als katalysator dienst doet.

Fotodegradatie als redoxreactie

De belangrijkste processen in de fotodegradatie van formaldehyde zijn afgebeeld in figuur 1 en zijn:

- Onder invloed van licht ontstaan er in TiO_2 elektronen (e^-) en positief geladen gaten (weergegeven als h^+ (h is afgeleid van hole)).
- Zowel de elektronen als de positief geladen gaten bewegen naar het oppervlak van TiO_2 .
- Aan het oppervlak treden dan reacties op zoals weergegeven in figuur 1. Formaldehyde wordt eerst omgezet in methaanzuur. Methaanzuur reageert vervolgens tot CO_2 en H^+



Figuur 1 Fotodegradatie van formaldehyde schematisch weergegeven.

6 Geef de halfreactie voor het redoxkoppel $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$

Formaldehyde reageert tot methaanzuur waarbij elektronen die vrijkomen samen gaan met de positieve gaten in TiO_2 .

7 Geef de halfreactie voor het redoxkoppel $\text{H}_2\text{CO}/\text{HCOOH}$.

8 Geef de halfreactie voor het redoxkoppel HCOOH/H^+

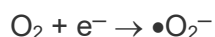
9 Leid met behulp van je antwoorden op vraag 6, 7 en 8 de totaalvergelijking voor de afbraak van formaldehyde af.

10 Laat met behulp van een berekening zien dat de reactie uit je antwoord op vraag 9 exotherm is.

Radicaalmechanisme van de afbraakreactie

Als op TiO_2 licht valt komt er een elektron vrij dat samen met O_2 een $\bullet\text{O}_2^-$ radicaal vormt. En uit water ontstaat bij TiO_2 een $\text{OH}\bullet$ radicaal en een H^+ ion. Als tussenproduct wordt ook methaanzuur (HCOOH) gevormd dat vervolgens wordt omgezet in CO_2 en H_2O .

De eerste deelstappen van een mogelijk mechanisme zijn:



11 Teken de elektronenstructuurformules van de drie radicalen uit dit mechanisme $\bullet\text{O}_2^-$, $\text{OH}\bullet$ en $\bullet\text{CHO}$.

12 Leg uit hoe uit de aanwezige deeltjes HCOOH gevormd kan worden. Maak in je uitleg gebruik van elektronenstructuurformules.

Gordijn reinigt lucht in huis

Versie 1

- 1 Om uit de lucht stoffen die ongezond zijn voor mens en dier af te breken tot stoffen die niet/minder schadelijk zijn.
- 2 TiO_2 is opgebouwd uit een metaal en een niet-metaal, dus een zout. Het telwoord di gebruikt men bij moleculaire deeltjes.
- 3 Titaan(IV)oxide (met Romeins cijfer want titaanion heeft meerdere mogelijke ladingen).
- 4 De fotokatalysator werkt niet alleen met zonlicht maar ook met kunstlicht.
- 5 $2 \text{TiO}_2 \rightarrow \text{TiO}_2^- + \text{TiO}_2^+ \quad \times 3$
 $\text{H}_2\text{O} + \text{TiO}_2^+ \rightarrow \text{OH} + \text{H}^+ + \text{TiO}_2 \quad \times 3$
 $3 \text{TiO}_2^- + \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{OH} + \text{OH}^- + 3 \text{TiO}_2$

Levert als totaalvergelijking: $2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{OH}$. In de totaal vergelijking is geen TiO_2 aanwezig.

- 6 Radicalen bezitten een ongepaard elektron dat graag met een ander elektron een elektronenpaar vormt.

7

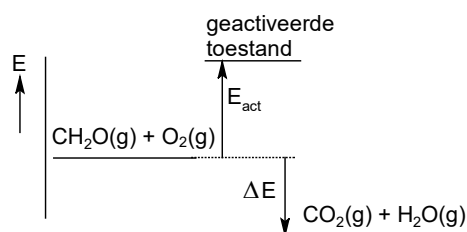


- 8 $\text{CH}_2\text{O} + 4 \text{OH} \rightarrow \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$

- 9 $\Delta E_{\text{reactie}} = - \text{vormingswarmte } \text{CH}_2\text{O} + \text{vormingswarmte } \text{CO}_2 + \text{vormingswarmte } \text{H}_2\text{O(g)} = (+1,09 - 3,395 - 2,42) \cdot 10^5 = -4,73 \cdot 10^5 \text{ J/mol } \text{CH}_2\text{O}$

- 10 De reactie heeft activeringsenergie nodig, deze wordt geleverd door de energie van het licht.

11



- 12 De omzetsnelheid van de schadelijke stoffen moet groot genoeg zijn.
Als het gordijn gewassen wordt, mag de fotokatalysator niet verdwijnen.

Versie 2

- 1 Om uit de lucht stoffen die ongezond zijn voor mens en dier af te breken tot stoffen die niet/minder schadelijk zijn.
- 2 De omzetsnelheid van de schadelijke stoffen moet groot genoeg zijn.
Als het gordijn gewassen wordt, mag de fotokatalysator niet verdwijnen.
- 3 Titaan(IV)oxide (met Romeins cijfer want het titaanion heeft meerdere ladingen).
- 4 De fotokatalysator werkt niet alleen met zonlicht maar ook met kunstlicht.
- 5 $2 \text{TiO}_2 \rightarrow \text{TiO}_2^- + \text{TiO}_2^+ \quad \times 3$
 $\text{H}_2\text{O} + \text{TiO}_2^+ \rightarrow \text{OH} + \text{H}^+ + \text{TiO}_2 \quad \times 3$
 $3 \text{TiO}_2^- + \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{OH} + \text{OH}^- + 3 \text{TiO}_2$

Levert als totaalvergelijking: $2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{HO}\cdot$. In de totaal vergelijking is geen TiO_2 aanwezig.

- 6 $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

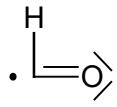
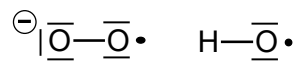
- 7 $\text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCOOH} + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$

- 8 $\text{HCOOH} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$

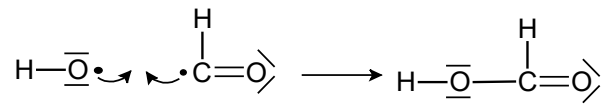
- 9 $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

- 10 $\Delta E_{\text{reactie}} = - \text{vormingswarmte } \text{CH}_2\text{O} + \text{vormingswarmte } \text{CO}_2 + \text{vormingswarmte } \text{H}_2\text{O(g)} = (+1,09 - 3,395 - 2,42) \cdot 10^5 = -4,73 \cdot 10^5 \text{ J/mol } \text{CH}_2\text{O}$

11



12



Artikel: <https://www.deingenieur.nl/artikel/gordijn-reinigt-lucht-in-huis>

HOE WERKT EEN KERNREACTOR?

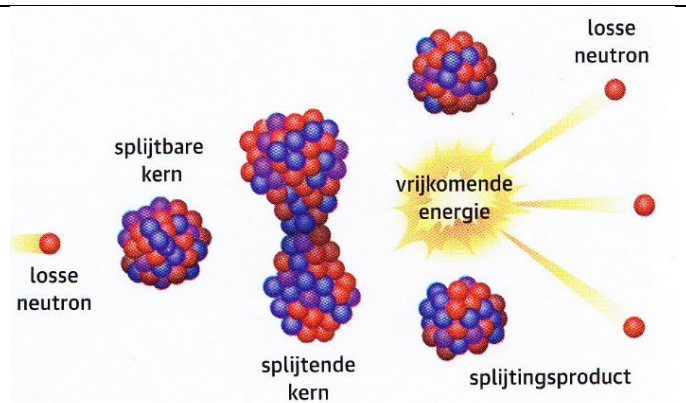
Leerjaar	4 hv
Subdomein	Deeltjesmodellen en eigenschappen op macroniveau
Vaardigheid	Informatievaardigheden
Specificaties	Atoombouw
Trefwoorden	Kernreactie, uranium-235, uranium-238, kernreactie, radioactief afval
Vaardigheidsvraag	Informatieverwerkingsvraag

KIJK, maart 2019

Hoe werkt een kernreactor?

De meeste hedendaagse kerncentrales hebben thermische reactoren en gebruiken uranium-235 als splijtstof. Maar in het splijtstofmengsel zit veel uranium-238. Een neutronenmoderator, vaak gewoon water, moet voorkomen dat dit uranium-238 de losse neutronen opneemt die eigenlijk bestemd zijn voor uranium-235. Dat doet de moderator door losse neutronen af te remmen. Uranium-235 pakt namelijk liever langzame neutronen en uranium-238 liever snelle.

Snelle kernreactoren maken gebruik van die voorkeur van uranium-238. Zo'n uraniumatoom verandert na opname van een vrij neutron in plutonium-239. Vangt zo'n atoom nog een neutron dan valt het net als uranium-235 uiteen en levert het energie. Doordat uranium-238 iedere keer weer een nieuw plutonium kan aanmaken, kweekt dit reactortype zijn eigen brandstof, vandaar de bijnaam 'kweekreactor'. Bij dit proces blijft er veel minder langlevend radioactief afval over. Ook is het energierendement veel hoger omdat er veel meer uranium-238 wordt verbruikt dan uranium-235. Maar deze snelle reactoren zijn over het algemeen een stuk complexer dan thermische reactoren en stellen nieuwe eisen aan het ontwerp en de materialen.



“De meeste hedendaagse kerncentrales hebben thermische reactoren”, zegt het artikel.

1 Wat wordt bedoeld met ‘thermisch’?

De kerncentrales gebruiken uranium als splijtstof. Het element uranium komt in de natuur voor als U-234, U-235 en als U-238.

2 Geef de kernsamenstelling van U-235 en U-238.

3 Wat zijn U-234, U-235 en U-238 van elkaar? Licht je antwoord toe.

In een zogenaamde snelle kernreactor wordt uranium-238 gebruikt. Als uranium-238 een neutron invangt ontstaat plutonium-239.

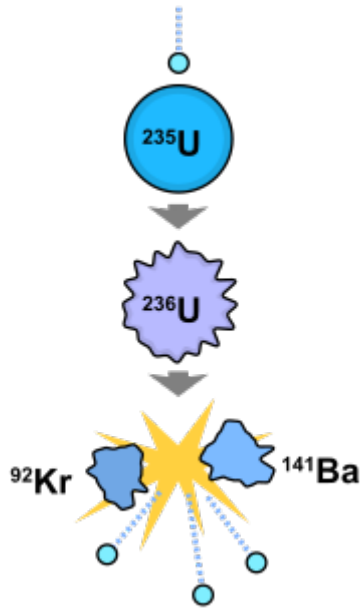
4 Geef de kernsamenstelling van plutonium-239.

5 Leg uit welke kernreactie er heeft plaatsgevonden in de kern van uranium-238 nadat een neutron in deze kern is opgenomen.

Dit type kerncentrale wordt ook wel een snelle kweekreactor genoemd.

6 Verklaar de naam ‘snelle kweekreactor’.

Er komt heel veel energie vrij bij de kernsplijtingsreactie.



Figuur kernsplijting (bron: Wikipedia)

Bekijk bovenstaande figuur van een mogelijke kernsplijtingsreactie.

- 7 Beschrijf hoe de diverse kernreacties verlopen. Ga daarbij ook in op de samenstelling van de kernen die ontstaan en de deeltjes die bij een stap worden uitgestoten.
- 8 Leg aan de hand van de figuur uit dat de reactie uit de hand kan lopen als er geen maatregelen genomen worden.

Hoe werkt een kernreactor?

- 1 Thermisch betekent dat de vrijkomende warmte gebruikt wordt om er stoom van te maken. Met behulp van stoom worden turbines aangedreven die elektrische stroom produceren.
- 2 U-235: atoomnummer 92, dus 92 protonen en $235-92=143$ neutronen.
U-238: atoomnummer 92, dus 92 protonen en $238-92=146$ neutronen.
- 3 Het zijn alle drie uraniumatomen maar met een verschillend massagetal. Het zijn dus isotopen van elkaar.
- 4 Plutonium-239: Pu heeft atoomnummer 94, dus 94 protonen en $239-94=145$ neutronen.
- 5 Na invangen van 1 neutron is U-238 omgezet in Pu-239. U-238: 92 protonen en 146 neutronen. Deze kern heeft 1 neutron opgenomen, dus 92 protonen en 147 neutronen aanwezig. Pu-239 heeft 94 protonen en 145 neutronen. Conclusie: er zijn twee neutronen omgezet in twee protonen (+ twee elektronen die uitgestoten worden).
- 6 Snel: er worden snelle neutronen door U-238 in de kern opgenomen. Kweekreactor: de kernreactor kweekt zijn eigen brandstof.
- 7 kernen van U-235 nemen een neutron op waardoor U-236 ontstaat.
U-236 valt uiteen in Kr-92 en Ba-141 onder uitstoot van neutronen (en veel energie). U-236: 92 protonen en 144 neutronen. Kr-92: atoomnummer 36 dus 36 protonen en $92-36=56$ neutronen; Ba-141: atoomnummer 56 dus 56 protonen en $141-56=85$ neutronen. Samen hebben Kr-92 en Ba-141 $36+56=92$ protonen en $56+85=141$ neutronen. Dus bij deze kernsplijtingsreactie worden dan ook 3 neutronen uitgestoten.
- 8 De drie vrijkomende neutronen kunnen elk ook weer opgenomen worden door kernen van U-235. Hierdoor kan een kettingreactie ontstaan die oncontroleerbaar wordt.

WETENSCHAPPERS ZETTEN CO₂ OM IN KOOL

Versie 1

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Reactievergelijkingen
Trefwoorden	Duurzaamheid, cerium, koolstof, koolstofdioxide
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

Versie 2

Klas	5,6 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Redoxreactie
Trefwoorden	Halfreactie, koolstofdioxide, koolstof, cerium
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

www.scientias.nl, 26 februari 2019

Wetenschappers zetten CO₂ om in kool



Kolen

Door Vivian Lammerse

De vaste koolstofdeeltjes bieden nieuwe mogelijkheden voor het afvangen en opslaan van CO₂.

Het is onderzoekers gelukt om het broeikasgas koolstofdioxide terug in vaste koolstofdeeltjes te veranderen. Op die manier kan CO₂ uit de atmosfeer gevangen worden. Het veelbelovende onderzoek is gepubliceerd in Nature Communications. “Hoewel we de tijd niet letterlijk kunnen terugdraaien, is het omzetten van koolstofdioxide in kool (kolen) een beetje hetzelfde als het terugspoelen van de emissieklok,” zegt onderzoeker Torben Daeneke.

Methode

De onderzoekers ontwikkelden met behulp van vloeibare metalen een techniek om CO₂ om te zetten in een vast koolstofdeeltje. Zo losten de onderzoekers in hun studie koolstofdioxide op in een beker gevuld met elektrolytvloeistof en een kleine hoeveelheid vloeibaar metaal, dat

vervolgens werd geladen met elektrische stroom. Hierdoor werd het gas langzaam omgezet in kool. “Tot op heden is CO₂ alleen bij extreem hoge temperaturen omgezet in een vaste stof,” vertelt Daeneke. “Door vloeibare metalen als katalysator te gebruiken, hebben we aangetoond dat het mogelijk is om het gas op kamertemperatuur terug te zetten naar koolstof.”

Duurzaam

Hoewel er op dit moment al technologieën voor handen zijn die CO₂ vangen en opslaan, richten deze methodes zich voornamelijk op het omzetten van het broeikasgas in vloeibare vorm. Vervolgens wordt het naar een geschikte locatie vervoerd en daar de grond in gespoten. Toch zitten er aan deze methode wat haken en ogen. Zo lopen onderzoekers hierbij tegen een aantal technische uitdagingen aan en kan de stof ook uit de grond lekken; wat vervolgens toch weer het milieu kan aantasten. De onderzoekers van de huidige studie beweren echter dat hun methode een duurzame aanpak is.

Versie 1

Er wordt in de wereld veel onderzoek gedaan naar het afvangen van koolstofdioxide uit de atmosfeer.

- 1 Leg uit waarom men zoekt naar mogelijkheden om koolstofdioxide uit de atmosfeer te verwijderen.

In de Volkskrant staat een artikel over de uitvinding om CO₂ uit elkaar te pulken tot zuurstof en koolstof in vaste vorm.

- 2 Noteer de vergelijking van deze reactie.
- 3 Leg op basis van de reactievergelijking uit of deze ontleding exotherm of endotherm is.
- 4 Noem een zin uit het artikel die je antwoord op vraag 3 bevestigt.

Het proces is echter complexer dan simpel uit elkaar pulken. Er vindt een aantal stappen plaats. Onderzoeker Daeneke meldt dat ze daarbij met vloeibare metalen werken. De onderzoekers maken onder andere gebruik van het metaal cerium (Ce).

Stap 1 Om het metaal cerium te maken, ontleedt men cerium(III)oxide (Ce₂O₃) met behulp van elektrische stroom.

Stap 2 Het metaal cerium uit stap 1 reageert met koolstofdioxide tot cerium(IV)oxide (CeO₂) en koolstof.

Stap 3 Uit cerium(IV)oxide ontstaat via een ontledingsreactie weer cerium.

- 5 Geef de naam van een ontleding met elektrische stroom zoals in stap 1 wordt gebruikt.
- 6 Noteer de reactievergelijking van stap 1.
- 7 Noteer de reactievergelijking van stap 2.
- 8 Leg aan de hand van je antwoord op vraag 7 en stap 3 uit waarom men in dit proces niet hoeft te beginnen met heel veel cerium(III)oxide.

De foto in het artikel geeft ‘kolen’(steenkolen) weer. Onderzoeker Daeneke zegt in het artikel: “Hoewel we de tijd niet letterlijk kunnen terugdraaien, is het omzetten van koolstofdioxide in kolen een beetje hetzelfde als het terugspoelen van de emissieklok.”

- 9 Licht de uitspraak “het terugspoelen van de emissieklok” toe.

De onderzoekers van de huidige studie beweren echter dat hun methode een duurzame aanpak is.

- 10 Geef een argument voor en tegen de uitspraak dat deze methode een duurzame aanpak is.

In de titel van het artikel en in de foto gaat het over kool/kolen.

- 11 Leg uit of je het gebruik van de term kool/kolen terecht vindt.

Versie 2

Er wordt in de wereld veel onderzoek gedaan naar het afvangen van koolstofdioxide uit de atmosfeer.

- 1 Leg uit waarom men zoekt naar mogelijkheden om koolstofdioxide uit de atmosfeer te halen.

Het proces om koolstof te maken uit koolstofdioxide is gebaseerd op een aantal (half)reacties waarbij het metaal cerium (Ce) is betrokken. Men start met een elektrode die gemaakt is van een alliage met onder andere cerium.

Het bijzondere aan de elektrode is dat hij vloeibaar is. Hij bestaat uit galinstan, een legering van gallium met een beetje indium en tin die smelt bij $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Op zich is galinstan niet of nauwelijks katalytisch actief. Maar meng je er een beetje cerium doorheen en breng je dat mengsel in contact met zuurstof, dan zal dat cerium daar als eerste mee reageren. Je krijgt zo een laagje ceriumoxide (in eerste instantie Ce_2O_3) van een paar atomen dik op het metaaloppervlak.

Bron www.technischweekblad.nl, 3 maart 2019

De stappen van het proces zijn als volgt:

- Stap A:* Allereerst reageert het metaal Ce uit de alliage waarvan de elektrode is gemaakt met zuurstof tot cerium(III)oxide
- Stap B:* Aan de negatieve elektrode in de elektrolysecel reageert cerium(III)oxide tot cerium.
- Stap C:* Het cerium dat in stap B ontstaan is, reageert met koolstofdioxide tot koolstof en cerium(IV)oxide.
- Stap D:* Het ontstane cerium(IV)oxide wordt aan de negatieve elektrode weer omgezet in cerium.

- 2 Noteer de vergelijking van de reactie van stap A
- 3 Noteer de vergelijking van de halfreactie van stap B
- 4 Noteer de vergelijking van de reactie van stap C.
- 5 Noteer de vergelijking van de halfreactie van stap D.

Aan de positieve elektrode heb je te maken met het koppel OH^-/O_2 .

- 6 Noteer de halfreactie aan de positieve elektrode.

In het artikel staat: "Door vloeibare metalen als katalysator te gebruiken, ...".

- 7 Toon aan de hand van de (half)reacties aan dat je te maken hebt met cerium als katalysator.

De foto in het artikel geeft 'kolen' (steenkolen) weer. Onderzoeker Daeneke zegt in het artikel: "Hoewel we de tijd niet letterlijk kunnen terugdraaien, is het omzetten van koolstofdioxide in kolen een beetje hetzelfde als het terugspoelen van de emissieklok."

8 Licht de uitspraak "het terugspoelen van de emissieklok" toe.

De onderzoekers van de huidige studie beweren echter dat hun methode een duurzame aanpak is.

9 Geef een argument voor en tegen de uitspraak dat deze methode een duurzame aanpak is.

10 Leg uit of je verwacht dat deze nieuwe methode snel op grote schaal zal worden toegepast.

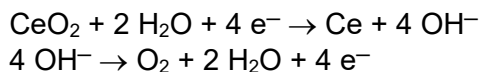
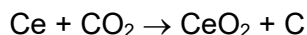
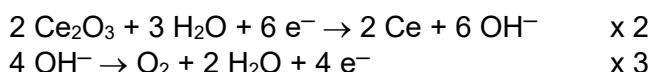
Wetenschappers zetten CO₂ om in kool

Versie 1

- 1 Koolstofdioxide draagt bij aan het versterkte broeikaseffect, de opwarming van de atmosfeer en aarde.
- 2 $\text{CO}_2 \rightarrow \text{C} + \text{O}_2$
- 3 De omgekeerde reactie is een verbranding waarbij warmte vrij komt. De omgekeerde reactie is exotherm, dat betekent dat de reactie uit antwoord 2 endotherm is.
- 4 "Tot op heden is CO₂ alleen bij extreem hoge temperaturen omgezet in een vaste stof."
- 5 Elektrolyse
- 6 $2 \text{Ce}_2\text{O}_3 \rightarrow 4 \text{Ce} + 3 \text{O}_2$
- 7 $\text{Ce} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CeO}_2 + \text{C}$
- 8 In stap 3 treedt de reactie op $\text{CeO}_2 \rightarrow \text{Ce} + \text{O}_2$
Antwoord 7 : $\text{Ce} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CeO}_2 + \text{C}$
Stap 3: $\text{CeO}_2 \rightarrow \text{Ce} + \text{O}_2$
De cerium wordt niet verbruikt, alleen gebruikt. Dus als je uit een beetje Ce₂O₃ het metaal Ce hebt gemaakt, kun je dat na de reactie van stap 2 steeds hergebruiken door stap 3.
- 9 Bij het verbranden van steenkool/kolen ontstaat CO₂. Bij dit proces ontstaat weer koolstof.
- 10 Voor: men haalt het broeikasgas CO₂ uit de lucht; de kool kan weer worden hergebruikt, men hoeft dus geen gebruik te maken van eindige fossiele brandstoffen.
Tegen: De hoeveelheid energie die het kost om uit CO₂ weer C te maken. Is die benodigde energie groene energie?
- 11 Er ontstaat koolstof in de nieuwe methode. Deze koolstof zal niet als kool/kolen ontstaan maar in een kleinere deeltjesgrootte.

Versie 2

- 1 Koolstofdioxide draagt bij aan het versterkte broeikaseffect, de opwarming van de atmosfeer en aarde.
- 2 $4 \text{Ce} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Ce}_2\text{O}_3$
- 3 $2 \text{Ce}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Ce} + 6 \text{OH}^-$
- 4 $\text{Ce} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CeO}_2 + \text{C}$
- 5 $\text{CeO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow \text{Ce} + 4 \text{OH}^-$
- 6 $4 \text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$
- 7 $4 \text{Ce} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Ce}_2\text{O}_3$



Dit alles opgeteld levert als totaalvergelijking op: $\text{CO}_2 \rightarrow \text{C} + \text{O}_2$. Dus Ce wordt wel gebruikt, maar niet verbruikt

- 8 Bij het verbranden van steenkool/kolen ontstaat CO₂. Bij dit proces ontstaat weer koolstof.
- 9 Voor: men haalt het broeikasgas CO₂ uit de lucht; de kool kan weer worden hergebruikt, men hoeft dus geen gebruik te maken van eindige fossiele brandstoffen.
Tegen: De hoeveelheid energie die het kost om uit CO₂ weer C te maken. Is die benodigde energie groene energie?
- 10 Nee, men zal nog heel wat technische problemen moeten oplossen om heel veel CO₂ tegelijkertijd uit de atmosfeer te kunnen halen.

Artikelen:

<https://www.scientias.nl/wetenschappers-zetten-co2-om-in-kool/>

<https://www.volkskrant.nl/wetenschap/wetenschappelijke-droom-komt-uit-chemische-techniek-verandert-co2-in-kolen~b7e827a6/>

<https://www.technischweekblad.nl/nieuws/co2-vastgelegd-bij-kamertemperatuur/item12929>

Bron TW:



En dan komt het nut van dat galinstan om de hoek kijken. Bij vrijwel elke andere katalysator is de vorming van koolstof uiterst ongewenst omdat het vastkoekt op het oppervlak (*coking*, in vakjargon) en zo de katalytische werking steeds meer in de weg gaat zitten. Maar op puur vloeibaar metaal hecht koolstof in het geheel niet; het laat los en komt bovendrijven in de vorm van amorse, 3 nm dikke vlokken die je zo kunt wegscheppen.

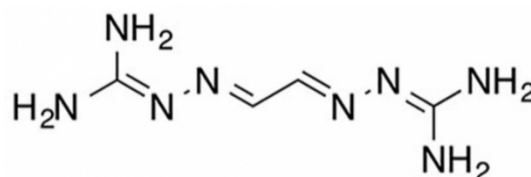
KOOLSTOFDIOXIDEVANGER UIT DE OUDE DOOS

Klas	4,5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Zuur-basereacties
Trefwoorden	Koolstofdioxide, rookgassen, GBIG, PyBIG, evenwichten, verschuiving evenwicht, milieu, blokschema
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2w.nl, 1 februari 2019

Koolstofdioxidevanger uit de oude doos

Chem presenteert organische moleculen die de verwijdering van koolstofdioxide uit rookgassen een stuk energiezuiniger kunnen maken. Vooral omdat ze zich bij een relatief lage temperatuur laten regenereren, schrijven Radu Custelcean en collega's van Oak Ridge National Laboratory.



Figuur 1 GBIG

Het gaat om glyoxaal-bis-iminoguanidine (GBIG), een verbinding die al in 1898 voor het eerst is gesynthetiseerd. Sindsdien werd ze min of meer vergeten, tot iemand een paar jaar geleden ontdekte dat GBIG (dat prima oplost in water) en aanverwante verbindingen reageren met zuurstofhoudende anionen zoals sulfaat en nitraat. Er ontstaan dan kristallijne zouten die in water vrijwel onoplosbaar zijn. Met de combinatie van 2,6-pyridine-bis-iminoguanidine (PyBIG) en CO₂ bleek het ook te lukken. Maar in de literatuur is nergens te vinden dat iemand het ooit heeft geprobeerd met CO₂ en het eenvoudigere en goedkopere GBIG.

Dat werkt dus ook. Het komt er op neer dat GBIG met water reageert tot GBIGH₂²⁺ + 2 OH⁻. In combinatie met CO₂ vormt dat laatste HCO₃⁻, en de combinatie van HCO₃⁻ en GBIGH₂²⁺ lost bij kamertemperatuur erg slecht op in water. Om precies te zijn krijg je GBIGH₂(HCO₃)₂·2H₂O-kristallen, opgebouwd uit HCO₃⁻-dimeren die door GBIGH₂²⁺ worden omringd, waarbij H₂O de verbinding tussen de verschillende lagen vormt - talrijke waterstofbruggen houden de constructie bij elkaar. De oplosbaarheid van CO₂ in de oplossing wordt hierdoor zo laag dat gasvormig CO₂ als het ware de vloeistof wordt ingezogen totdat alle aanwezige GBIG is uitgekristalliseerd.

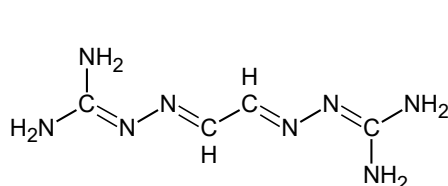
Nadat je de kristallen uit het water hebt gefilterd, is verwarming tot 120 °C ruim voldoende om ze weer uit elkaar te laten vallen. De CO₂ kun je daarbij in zuivere vorm opvangen voor opslag en hergebruik. De auteurs schatten dat die regeneratie 151,5 kJ/mol CO₂ kost, 24 % minder dan bij het populaire CO₂-absorptiemiddel monoethanolamine (MEA). In werkelijkheid is de energiebesparing echter veel groter omdat MEA gedurende het hele proces in oplossing blijft en je dus ook grote hoeveelheden water beurtelings moet verhitten en weer laten afkoelen.

bron: Cell Press

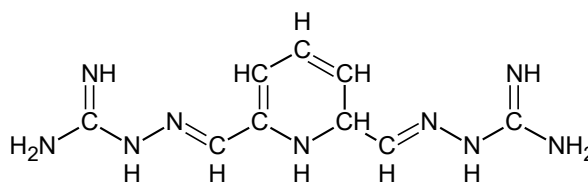
Bij verbranding ontstaan rookgassen die veel koolstofdioxide bevatten. Men wil die koolstofdioxide uit de rookgassen verwijderen.

1 Waarom wil men koolstofdioxide uit rookgassen verwijderen?

Al langer was bekend dat de stof PyBIG samen met CO₂ onoplosbare kristallijne zouten oplevert. Maar nog niet eerder was het geprobeerd met het veel goedkopere en in water goed oplosbare GBIG, en dat lukte ook.



GBIG



PyBIG

- 2 Leg op microniveau uit dat GBIG goed kan oplossen in water.
- 3 Geef de vergelijkingen van de reacties die achtereenvolgens optreden bij het opnemen van koolstofdioxide in een GBIG-oplossing in water tot en met de vorming van de kristallen.
- 4 Leg aan de hand van het evenwicht tussen gasvormig en opgelost koolstofdioxide uit dat ten gevolge van de reacties beschreven in vraag 3 steeds meer koolstofdioxide in het water opgenomen wordt.
- 5 Geef de reactievergelijking die optreedt als de kristallen na filtratie verhit worden.
- 6 Leg uit dat je hierdoor de koolstofdioxide in zuivere vorm krijgt.
- 7 Geef het blokschema van het totale proces.
- 8 Geef aan welke scheidingsmethoden gebruikt worden bij het verwijderen van koolstofdioxide via de GBIG-methode.

MEA

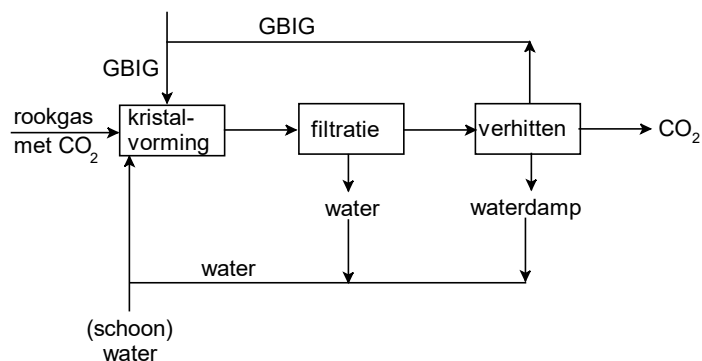
Dit proces van CO₂-verwijdering uit rookgassen is veel goedkoper dan de nu veel gebruikte methode met de stof MEA, 2-aminoethanol.

- 9 Geef de structuurformule van het MEA molecuul.
- 10 Leg uit welk type reactie optreedt als een MEA-oplossing in water in contact gebracht wordt met koolstofdioxide.
- 11 Geef de reactievergelijking die daarbij optreedt in structuurformules weer.
- 12 Leg uit waardoor de toepassing van de MEA-methode waarschijnlijk nog duurder zal zijn dan het genoemde percentage.

Koolstofdioxidevanger uit de oude doos

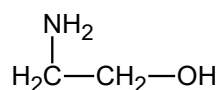
- 1 Koolstofdioxide zorgt voor een versterkt broeikaseffect waardoor ongewenste opwarming van de aarde optreedt.
- 2 Het GBIG molecuul heeft vele NH-groepen die met watermoleculen H-bruggen kunnen vormen.
- 3 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$. GBIG met water: $\text{GBIG} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{GBIGH}_2^+ + 2 \text{OH}^-$. En $\text{CO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$. Daarna: $2\text{HCO}_3^- + \text{GBIGH}_2^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{GBIGH}_2(\text{HCO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
- 4 Het evenwicht $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$ houdt direct verband met het evenwicht $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$. Het H^+ -ion wordt daarbij met OH^- omgezet in H_2O waardoor het evenwicht naar rechts verschuift.
- 5 $\text{GBIGH}_2(\text{HCO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{GBIG} + 4 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2$.
- 6 CO_2 is het enige gas, het is dus gescheiden van de rest van de gassen.

7



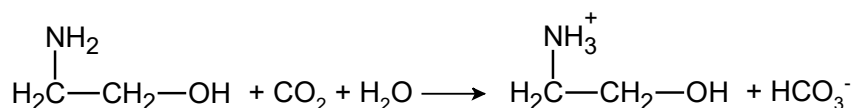
- 8 Scheidingsmethoden: filtreren en indampen (destilleren als in blokschema ook dit water gebruikt wordt..

9



- 10 Koolstofdioxide is in oplossing een zuur (koolzuur) terwijl MEA een aminegroep bevat en dus basisch is. Je krijgt dus een zuurbasereactie.

11



- 12 Je moet niet alleen het zout verwarmen maar ook het water waarin het zout is opgelost.

DRIEMAAL GOED NIEUWS VOOR CCS

Versie I

Klas	3 hv
Subdomein	Energie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Brandstoffen en duurzaamheid; processen en duurzaamheid
Trefwoorden	CO ₂ afvangen en opslaan, biomassa, kernreactie
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Versie II

Klas	6 v
Subdomein	Energie, deeltjesmodellen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Brandstoffen en duurzaamheid, processen en duurzaamheid, lewisstructuur, mesomerie
Trefwoorden	CO ₂ afvangen en opslaan, biomassa, guanadine, kernreactie
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.technischweekblad.nl, 12 februari 2019



Driemaal goed nieuws voor CCS

Voor het eerst is de CO₂ die vrijkomt in een elektriciteitscentrale die volledig op biomassa draait afgevangen. De biomassacentrale van Drax in het Engelse North Yorkshire – de grootste van Europa – had de primeur.

Het afvangen en opslaan van de CO₂ die vrijkomt bij verbranding van biomassa (BECCS) is een manier om te komen tot negatieve emissies. De netto- verwijdering miljarden tonnen CO₂ per jaar uit de lucht halverwege deze eeuw wordt algemeen gezien als onvermijdelijk om de opwarming van de aarde tot 1,5 °C te beperken. De Engelse centrale vangt voorsnog de bescheiden hoeveelheid van 1 ton CO₂ per dag af en gebruikt daarvoor technologie van het bedrijf C-Capture, dat vorige week een kapitaalinjectie van € 4 miljoen kreeg. De bedrijven geven geen technische details over het gebruikte proces, maar C-Capture heeft een breed geformuleerd octrooi op afvang van CO₂ met gebruik van een organisch oplosmiddel en een anorganisch zout.

Een week eerder presenteerden wetenschappers van het Amerikaanse Oak Ridge National Laboratory (ORNL) in het wetenschappelijke tijdschrift Chem een methode om CO₂ af te vangen bij elektriciteitscentrales, die 24 % minder energie vergt dan de doorgaans gebruikte energie-intensieve 'amine scrubbing'. Ze gebruikten daarvoor de natuurlijk voorkomende organische stof guanidine, die met CO₂ in water reageert tot een slecht oplosbaar zout. Door dit zout te filteren en tot slechts 120 °C te verwarmen, komt pure CO₂ vrij die kan worden opgeslagen. Voor dit proces is veel minder warmte nodig dan bij gangbare technieken voor CO₂-afvang, wat voor een forse energiebesparing zorgt. Na verwarming is de guanidine weer beschikbaar om zich opnieuw aan CO₂ te binden. De onderzoekers hebben het proces met 99 % efficiëntie tien keer herhaald zonder dat er degradatie optrad. Het belangrijkste obstakel om het proces op te schalen is de geringe oplosbaarheid van guanidine in water. Door aminozuren toe te voegen hopen de onderzoekers het proces te versnellen. De onderzoekers hopen ook tot een ton CO₂-afvang per dag te komen. Weer een week eerder publiceerden onderzoekers van de universiteiten van Edinburgh en Freiburg in het wetenschappelijk tijdschrift Scientific Reports dat de hoeveelheden CO₂ die uit ondergrondse opslag ontsnappen miniem zijn, zelfs op plekken met breuklijnen in de gesteentes. Ze bestudeerden daarvoor een 420.000 jaar oud natuurlijk CO₂-veld in Arizona. Hieruit leidden de onderzoekers af dat zelfs onder suboptimale omstandigheden CO₂ honderdduizenden jaren ondergronds blijft. Geschiktheid als klimaatoplossing vergt een minimum van 10.000 jaar.

Versie I

Het artikel meldt: "Driemaal goed nieuws voor CCS". Er worden namelijk drie manieren besproken om tot minder koolstofdioxide in de atmosfeer te komen.

De afkorting CCS staat voor Carbon Capture and Storage. In het Nederlands betekent het 'koolstof afvangen en opslaan'.

- 1 Geef voor elk van de drie manieren kort aan hoe de vermindering van koolstofdioxide in de atmosfeer wordt bereikt.

De eerste methode

- 2 Leg uit wat de invloed is van het verbranden van biomassa in plaats van kolen op het versterkte broeikaseffect.
- 3 Leg uit wat je in theorie moet doen om zogenaamde negatieve emissies van koolstofdioxide te bereiken.
- 4 Leg uit wat het effect van negatieve emissies is op het versterkte broeikaseffect.

Bij de centrale in Yorkshire heeft men het niet over CCS, maar over BECCS.

- 5 Bedenk waar de BE in BECCS voor staat. Het is in het Engels hetzelfde als in het Nederlands.

De tweede methode

- 6 Leg uit wat het voordeel is van het feit dat de stof guanidine in de natuur voorkomt.

Er is hier sprake van een guanidine- en een CO₂-cyclus.

- 7 Maak met een tekening of schema duidelijk hoe deze beide cycli werken.

De derde methode

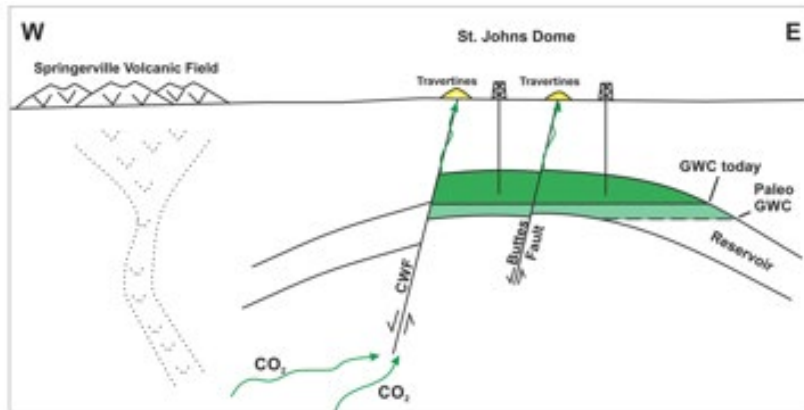
CCS staat voor 'koolstof afvangen en opslaan'. Als je de CO₂ hebt afgevangen moet er wel iets mee gebeuren. Het kan dienen als grondstof voor andere producten of je kan het ondergronds opslaan. De meeste mensen vinden het ondergronds opslaan geen prettig idee.

- 8 Leg uit waar de meeste mensen bang voor zijn.

9 Leg uit wat in de betreffende studie voor ondergronds opslaan is gevonden.

Arizona

Het CO₂ in het onderzochte gebied is afkomstig van onderaardse vulkanische activiteit. Het CO₂ bevindt zich in onderaards gesteente en komt via breuklijnen in de aarde in oplossing naar boven bij dit onderzoek. Aan het oppervlak vormt zich travertin, een kristalvorm van CaCO₃(s). Maar travertin bevat ook sporen van andere elementen.



In deze studie hebben ze op divers plekken de leeftijd van het travertin bepaald door middel van de verhouding tussen ²³⁸U en ²³²Th in het travertin. ²³⁸U is radioactief en de kern valt uiteen in een ⁴He-kern en een ²³⁴Th-kern. De halfwaardetijd voor deze reactie is $4,46 \cdot 10^9$ jaar. Dit betekent dat na $4,46 \cdot 10^9$ jaar de helft van de ²³⁸U kernen uiteen is gevallen. Vervolgens valt een ²³⁴Th-kern via een veel snellere reeks radioactieve stappen uiteen tot uiteindelijk ²³²Th.

- 10 Beschrijf de bouw van een ²³⁸U- en een ²³²Th-kern.
- 11 Leg uit waarom je de sneller verlopende kernreacties niet hoeft mee te nemen in de berekening van de leeftijd van het travertin.
- 12 Leg uit waarom de ²³⁸U/ ²³²Th verhouding in de travertin een maat is voor de leeftijd van het travertin.

De onderzoekers hebben gevonden dat per jaar de hoeveelheid ontsnappend koolstofdioxide voldoet aan de eis die gesteld wordt voor het ondergronds opslaan van koolstofdioxide.

- 13 Welke eis wordt tegenwoordig gesteld aan het ondergronds opslaan van CO₂?

Versie II

Het artikel meldt: "Driemaal goed nieuws voor CCS". Er worden namelijk drie manieren besproken om tot minder koolstofdioxide in de atmosfeer te komen. CCS betekent carbon capture and storage. In het Nederlands koolstof afvangen en opslaan.

- 1 Geef voor de drie manieren kort aan hoe de vermindering van koolstofdioxide in de atmosfeer wordt bereikt.

De eerste methode

- 2 Leg uit wat de invloed is van het verbranden van biomassa in plaats van kolen op het versterkte broeikaseffect.
- 3 Leg uit wat je in theorie moet doen om zogenaamd negatieve emissies van koolstofdioxide te bereiken.
- 4 Leg uit wat het effect van negatieve emissies is op het versterkte broeikaseffect.

Bij de centrale in Yorkshire heeft men het niet over CCS, maar over BECCS.

- 5 Bedenk waar de BE in BECCS voor staat. Het is in het Engels hetzelfde als in het Nederlands.

Het koolstofdioxide moet verwijderd worden uit de verbrandingsgassen van de biomassa. De gassen worden door een vloeistof geleid die minimaal één organische stof bevat en één zout. In het octrooi is te vinden dat het een basische, waterige oplossing is die amino-verbindingen bevat en het liefst alkalizouten/basische zouten van fosforzuur.

- 6 Leg met behulp van een reactievergelijking uit waarom het nodig is dat de oplossing een base bevat.
7 Geef de reactievergelijking van de reactie tussen $\text{CO}_2(\text{g})$ en een oplossing van kaliumfosfaat waarbij HCO_3^- en H_2PO_4^- ontstaan.

Voordat men met biomassa ging werken had men bij de centrale ook installaties om zwaveldioxidegas uit de verbrandingsgassen te verwijderen. Deze zijn niet meer nodig.

- 8 Leg uit waarom deze niet meer nodig zijn.

Nadat het $\text{CO}_2(\text{g})$ is afgevangen, kan men de $\text{CO}_2(\text{g})$ ook weer vrij maken om het op te slaan of als grondstof te kunnen gebruiken. De installatie bij de Drax centrales is bijvoorbeeld in overleg met de frisdrank industrie ontworpen.

- 9 Geef twee principes uit de Groene Chemie die hierbij worden toegepast.

Er is ook onderzoek gaande naar de synthese van nieuwe synthetische brandstoffen.

- 10 Leg uit op welke manier(en) dit positief is voor de duurzaamheid van brandstoffen.

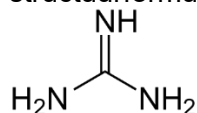
Biogas, ontstaan door anaërobe gisting, bevat voornamelijk methaan en koolstofdioxide. De C-capture methode kan worden toegepast om biogas op te schonen.

- 11 Leg uit waarvoor het methaan kan worden gebruikt in de C-capture methode.

De tweede methode

Ook bij deze methode berust het verwijderen van koolstofdioxide op een zuur-base reactie tussen het koolstofdioxide en (in dit geval) guanidine.

Guanidine wordt gemaakt uit guanine, één van de basen die in DNA voorkomt. De structuurformule van het guanidine molecuul is:



Guanidine is een sterke base.

- 12 Leg uit waardoor guanidine een base is.
13 Teken de Lewis structuurformule van guanidine .

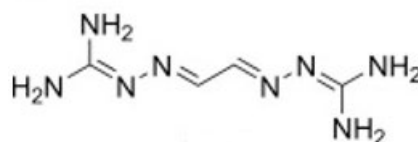
De base is nog sterker dan verwacht omdat mesomerie een rol speelt bij het geconjugeerde zuur van guanidine.

- 14 Teken een aantal grensstructuren voor het geconjugeerde zuur van guanidine.

In het artikel staat dat guanidine slecht oplosbaar is in water.

- 15 Beargumenteer op grond van de structuurformule of jij het eens bent met deze bewering.

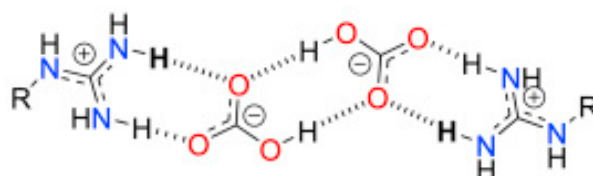
Toch wordt er in plaats van guanidine ook een andere stof gebruikt. Het molecuul daarvan heeft de structuurformule



Deze stof is geproduceerd uit guanidine en wordt aangeduid met de afkorting BIG. De B staat voor bis.

- 16 Leg uit wat hier met bis wordt aangeduid.

BIG reageert met CO_2 en H_2O . Hierbij ontstaan HCO_3^- ionen en BIGH_2^{2+} in een complex ion. Dit levert een vast zout.



Door te verhitten tot zo'n 80°C verhuizen de H^+ ionen en ontstaat er H_2CO_3 , dat uiteenvalt in $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Het CO_2 kan dan in zuivere vorm opgevangen worden.

- 17 Teken het deeltje dat ontstaat nadat de H^+ -ionen zijn overgestapt.

Je hebt zo een cyclus van zowel CO_2 als BIG gekregen.

- 18 Geef dit schematisch weer.

De derde methode

CCS staat voor koolstof afvangen en opslaan. Als je de CO_2 hebt afgevangen moet er wel iets mee gebeuren. Het kan dienen als grondstof voor andere producten of je kan het ondergronds opslaan. De meeste mensen vinden ondergronds opslaan geen prettig idee.

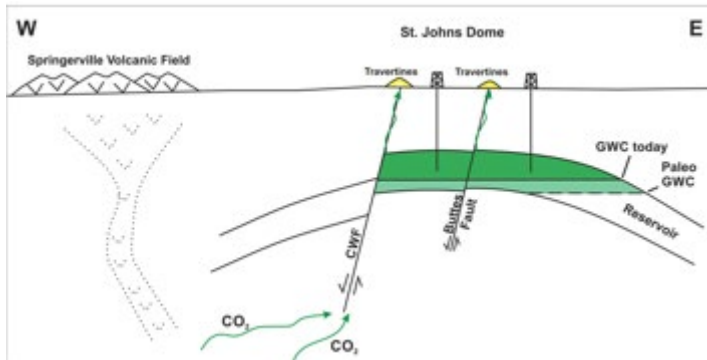
- 19 Leg uit waar de meeste mensen bang voor zijn.

- 20 Leg uit wat in de betreffende studie voor ondergronds opslaan is gevonden.

Arizona

Het CO_2 in het onderzochte gebied is afkomstig van ondergrondse vulkanische activiteit. Het CO_2 bevindt zich in onderaards gesteente en komt via breuklijnen in de aarde in oplossing naar boven bij dit onderzoek. Aan het oppervlak vormt zich travertien, een kristalvorm van $\text{CaCO}_3(\text{s})$. Travertien bevat ook sporen van andere elementen.

- 21 Geef de vergelijking voor het ontstaan van travertien.



In deze studie hebben de onderzoekers op diverse plekken de leeftijd van het travertin bepaald door middel van de verhouding tussen ^{238}U en ^{232}Th in het travertin. ^{238}U is radioactief en de kern valt uiteen in een α -deeltje en een ^{234}Th -kern. De halfwaardetijd voor deze reactie is $4,46 \cdot 10^9$ jaar. Vervolgens valt een ^{234}Th -kern via een veel snellere reeks radioactieve stappen uiteen tot uiteindelijk ^{232}Th .

- 22 Beschrijf de bouw van een ^{238}U - en een ^{232}Th -kern.
- 23 Leg uit waarom je de sneller verlopende reacties niet hoeft mee te nemen in de berekening van de leeftijd van het travertin.
- 24 Leg uit waarom de $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ verhouding een maat is voor de leeftijd van het travertin.

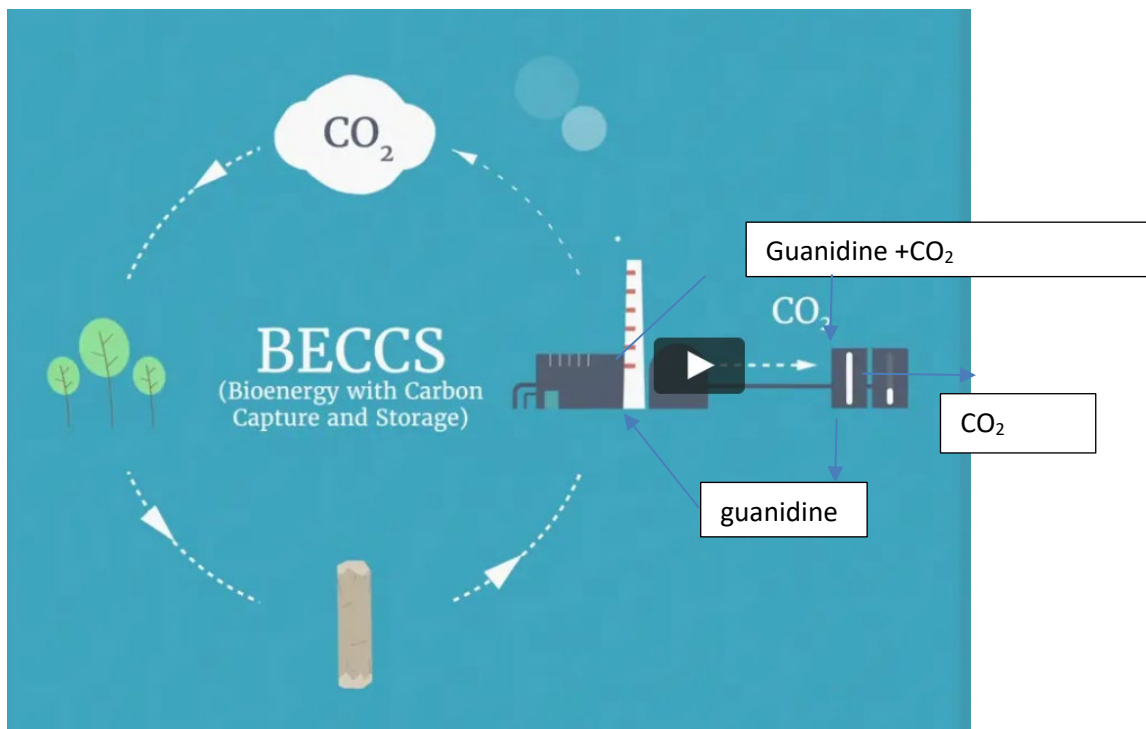
De onderzoekers hebben gevonden dat per jaar de hoeveelheid ontsnappend koolstofdioxide voldoet aan de eis die gesteld wordt voor het ondergronds opslaan van koolstofdioxide.

- 25 Welke eis wordt tegenwoordig gesteld aan het ondergronds opslaan van koolstofdioxide?

Driemaal goed nieuws voor CCS

Versie I

- 1 Methode 1: CO₂ afvangen en vervolgens of gebruiken of opslaan.
Methode 2: CO₂ afvangen.
Methode 3: CO₂ opslaan
- 2 Biomassa is een hernieuwbare brandstof. Bij het groeien van de planten wordt er CO₂ opgenomen. Bij het verbranden wordt het weer afgestaan. Hierdoor wordt er niet bijgedragen aan het versterkte broeikaseffect.
- 3 In theorie moet je het CO₂(g) afvangen en er iets nuttigs mee doen of opbergen. Dan wordt er wel CO₂(g) opgenomen in de planten, maar er wordt niets in de atmosfeer afgegeven.
- 4 Dan is het een gunstig effect op het versterkte broeikaseffect. Dit wordt minder.
- 5 BE staat voor bio energy of bio energie
- 6 Dan is het een hernieuwbare grondstof.
- 7

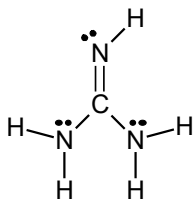


- 8 Mensen zijn bang dat het ontsnapt uit de bodem, waardoor ze kunnen stikken.
- 9 Er is ontdekt dat het ontsnappen van koolstofdioxide uit onderaardse ruimtes erg langzaam verloopt.
- 10 ²³⁸U heeft 92 protonen en 238-92 = 146 neutronen in de kern.
²³²Th heeft 90 protonen en 232-90 = 142 neutronen in de kern.
- 11 De langzaamst verlopende kernreactie is de bepalende voor het hele verloop. Dus die bepaalt de snelheid.
- 12 De verhouding geeft aan hoeveel van de ²³⁸U is omgezet. Met behulp van de halfwaarde tijd kun je berekenen hoe lang geleden de kernreacties in het travertin zijn begonnen. Dit geeft een maat voor de leeftijd van het travertin.
- 13 De eis voor opslag van koolstofdioxide is dat het gemiddeld 10 000 jaar in de grond blijft. Zij hebben ontdekt dat het meer dan honderdduizend jaar in de grond blijft zitten, wel met een zekere lekkage.

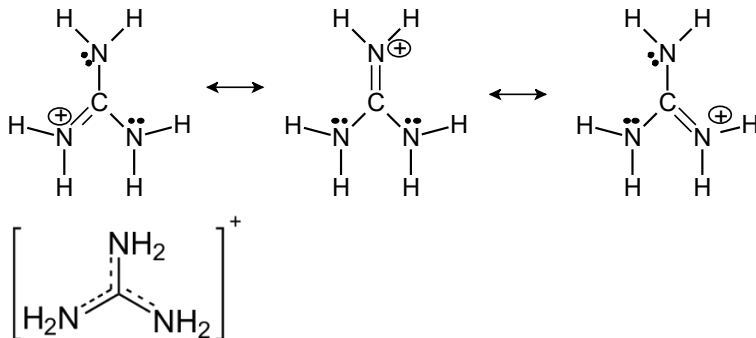
Versie II

- 1 Methode 1: CO₂ afvangen en vervolgens of gebruiken of opslaan.
Methode 2: CO₂ afvangen.
Methode 3: CO₂ opslaan

- 2 Biomassa is een hernieuwbare brandstof. Bij het groeien van de planten wordt er CO_2 opgenomen. Bij het verbranden wordt het weer afgestaan. Hierdoor wordt er niet bijgedragen aan het versterkte broeikaseffect.
- 3 In theorie moet je het $\text{CO}_2(\text{g})$ afvangen en er iets nuttigs mee doen of opbergen. Dan wordt er wel $\text{CO}_2(\text{g})$ opgenomen in de planten, maar er wordt niets in de atmosfeer afgegeven.
- 4 Dan is het een positief effect op het versterkte broeikaseffect. Deze wordt minder.
- 5 BE staat voor bio energy of bio energie
- 6 $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$
- 7 $2 \text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{PO}_4^{3-}(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq}) + 2 \text{HCO}_3^-(\text{aq})$
- 8 Biomassa bevat weinig zwavel. Dan wordt er geen zwaveldioxide gevormd.
- 9 Principe 1: preventie van afval
Principe 6: energie-efficiënt
Principe 7: gebruik van hernieuwbare grondstoffen
- 10 Eerst wordt $\text{CO}_2(\text{g})$ uit de atmosfeer opgenomen om planten te laten groeien. Dan wordt de biomassa verbrand. Hierbij ontstaat de $\text{CO}_2(\text{g})$ weer. Maar deze wordt afgevangen en als grondstof gebruikt voor synthetische brandstoffen.
Wat duurzaamheid betreft: Je hergebruikt het $\text{CO}_2(\text{g})$ telkens weer. Je spaart het milieu en gebruikt geen fossiele brandstoffen meer.
- 11 Het methaan kan worden gebruikt om in het aardgasnet te leiden, of als grondstof voor o.a. medicijnen.
- 12 Guanidine is een base doordat alle N-atomen in het molecuul H^+ ionen kunnen binden.
- 13

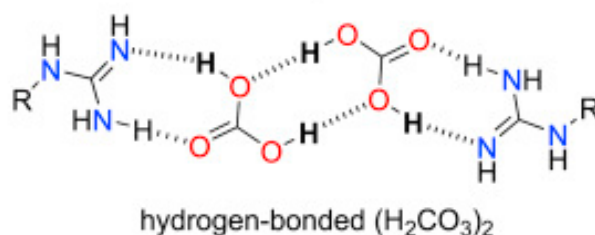


14

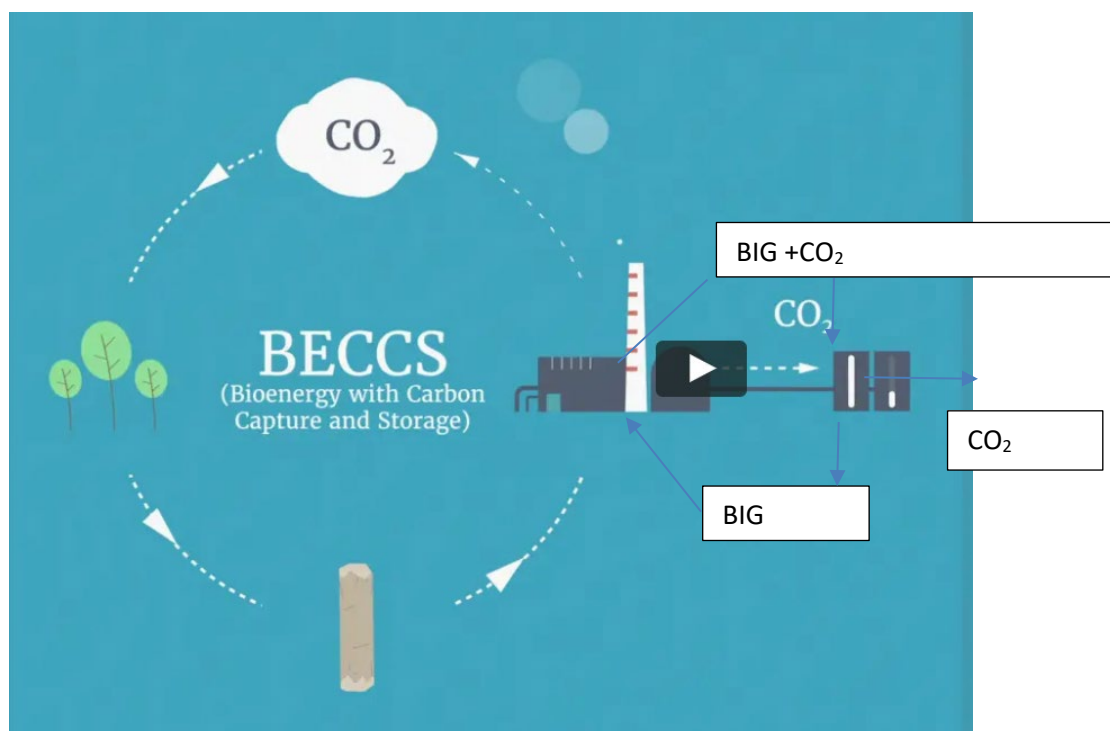


- 15 Guanidine lijkt uitstekend oplosbaar in water. Alle aminogroepen kunnen H-bruggen vormen met watermoleculen.
- 16 In het BIG molecuul zitten duidelijk twee moleculen guanidine verwerkt met een brug ertussen. Bis slaat dus op het voorkomen van die twee groepen.

17



18



- 19 Mensen zijn bang dat het ontsnapt uit de bodem, waardoor ze kunnen stikken.
- 20 Er is ontdekt dat het ontsnappen van koolstofdioxide uit onderaardse ruimtes erg langzaam verloopt.
- 21 $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{HCO}_3^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- 22 ^{238}U heeft 92 protonen en $238 - 92 = 146$ neutronen in de kern.
- 23 ^{232}Th heeft 90 protonen en $232 - 90 = 142$ neutronen in de kern.
- 23 De langzaamst verlopende kernreacties is de bepalende voor het hele verloop. Dus die bepaalt de snelheid.
- 24 De verhouding geeft aan hoeveel van de ^{238}U is omgezet. Met behulp van de halfwaarde tijd kun je berekenen hoe lang geleden de kernreacties in het travertin zijn begonnen. Dit geeft een maat voor de leeftijd van het travertin.
- 25 De eis voor opslag van koolstofdioxide is dat het gemiddeld 10 000 jaar in de grond blijft. Zij hebben ontdekt dat het meer dan honderdduizend jaar in de grond blijft zitten, wel met een zekere lekkage.

Opmerking:

U kunt in versie 1 eventueel de vragen na vraag 9 weg laten. Voor versie 2 geldt dit voor de vragen na vraag 20.

Artikel: <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/driemaal-goed-nieuws-voor-ccs/item12816>

NIEUWE AEROGEL IS PRECIES WAT RUIMTEVAART WIL: LICHT EN ISOLEREND

Klas	5,6 v
Subdomein	Deeltjesmodellen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Lewisstructuren
Trefwoorden	Boornitride, hexagonaal, grafeen, mesomerie, eigenschappen, dichtheid, verbranden
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

www.nrc.nl, 14 februari 2019

Nieuwe aerogel is precies wat ruimtevaart wil: licht en isolerend

Een licht materiaal dat een temperatuursverandering aankan van 275 °C per seconde. Dat is het ideale hitteschild.



De aerogel is zo licht dat het materiaal op de stamper van een bloem kan rusten. Foto X. Xu en X. Duan

Door Dorine Schenk

Een superlicht materiaal dat toch sterk is én extreme temperaturen aankan. Deze zogeheten aerogel die Amerikaanse onderzoekers hebben ontwikkeld, is zo licht dat het op de stamper van een bloem kan blijven liggen. Het bijzondere materiaal, dat voor ruim 99 procent uit lucht bestaat, isoleert uitzonderlijk goed. Als je een twee centimeter dik laagje aerogel direct boven een honderden graden hete vlam houdt en er een bloemetje op legt, beschadigt het kwetsbare plantje nauwelijks. Een internationale groep beschrijft het in *Science*.

De combinatie van eigenschappen is gewild in de lucht- en ruimtevaart. Doordat de aerogel hoge temperaturen en snelle temperatuurwisselingen aankan, en daarbij goed isoleert, zou het bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden als hitteschild voor ruimtevaartuigen die tijdens hun tocht door de atmosfeer gloeiend heet worden.

Aerogels zijn poreuze materialen met een extreem lage dichtheid. Ze zijn bijna doorzichtig en zien er sponsachtig uit. Ze worden gemaakt door een gelachtig materiaal uit te drogen. Er blijft dan een skelet over van dunne wanden die cellen vormen met daarin lucht. Deze structuur lijkt fragiel en bros, maar door de vorm slim te kiezen kunnen aerogels stevig en

veerkrachtig zijn. Ook isoleert het materiaal erg goed doordat het bestaat uit kleine compartimenten met daarin stilstaande lucht.

De basis van de huidige aerogels is vaak een keramisch materiaal zoals silicium. Maar de meeste keramische stoffen zijn bros en breken bij extreme temperatuurwisselingen. De onderzoekers ontwikkelden daarom een nieuwe keramische aerogel. De ene was opgebouwd uit boornitride, de andere uit siliciumcarbide. De structuur werd opgebouwd uit tweedimensionale, slechts één atoomlaag dikke vellen van het materiaal. Om dit voor elkaar te krijgen bouwden de onderzoekers eerst de gewenste structuur van het 2D-materiaal grafeen (opgebouwd uit koolstofatomen). Op dat grafeen-skelet lieten ze boornitride neerslaan. Vervolgens etsten ze het grafeen weg en hielden ze een stevige, dubbelwandige structuur over.

Het resultaat is een extreem poreus en heel licht materiaal: het weegt 0,1 tot 5 milligram per kubieke centimeter. De substructuur geeft het materiaal bijzondere eigenschappen. De hyperbolische opbouw van de cellen zorgt ervoor dat het materiaal onder druk naar binnen klapt en dus smaller wordt in plaats van uitbult. Ook krimpt het ineen als het warmer wordt, in tegenstelling tot de meeste materialen die uitzetten bij warmte. „Deze eigenschappen zorgen ervoor dat het materiaal minder bros is en minder snel breekt onder druk en bij extreme temperaturen”, mailt hoogleraar Xiangfeng Duan, van de University of California Los Angeles.

Amerikaanse onderzoekers hebben een nieuwe aerogel ontwikkeld.

- 1 Leg uit wat een aerogel is.
- 2 Waarom zijn de onderzoekers op zoek gegaan naar een nieuw soort aerogel?

In het artikel wordt als eigenschap van de aerogel de term 'licht' gebruikt.

- 3 Om welke stofeigenschap gaat het als men hier de term *licht* gebruikt.
- 4 Leg uit waarom deze eigenschap van de aerogel van belang is voor de ruimtevaart.

In het artikel worden nog andere eigenschappen van de nieuwe aerogel genoemd.

- 5 Welke twee onverwachte eigenschappen bezit deze nieuwe aerogel?

Boornitride

Voor de nieuwe aerogel hebben de onderzoekers een tweedimensionale laag boornitride of siliciumcarbide aangebracht op een monolaag grafeen (Binas tabel 67 E). Op deze laag wordt hexagonaal gelaagd boornitride aangebracht. Als molecuulformule voor hexagonaal boornitride geldt $(B_3N_3)_n$.

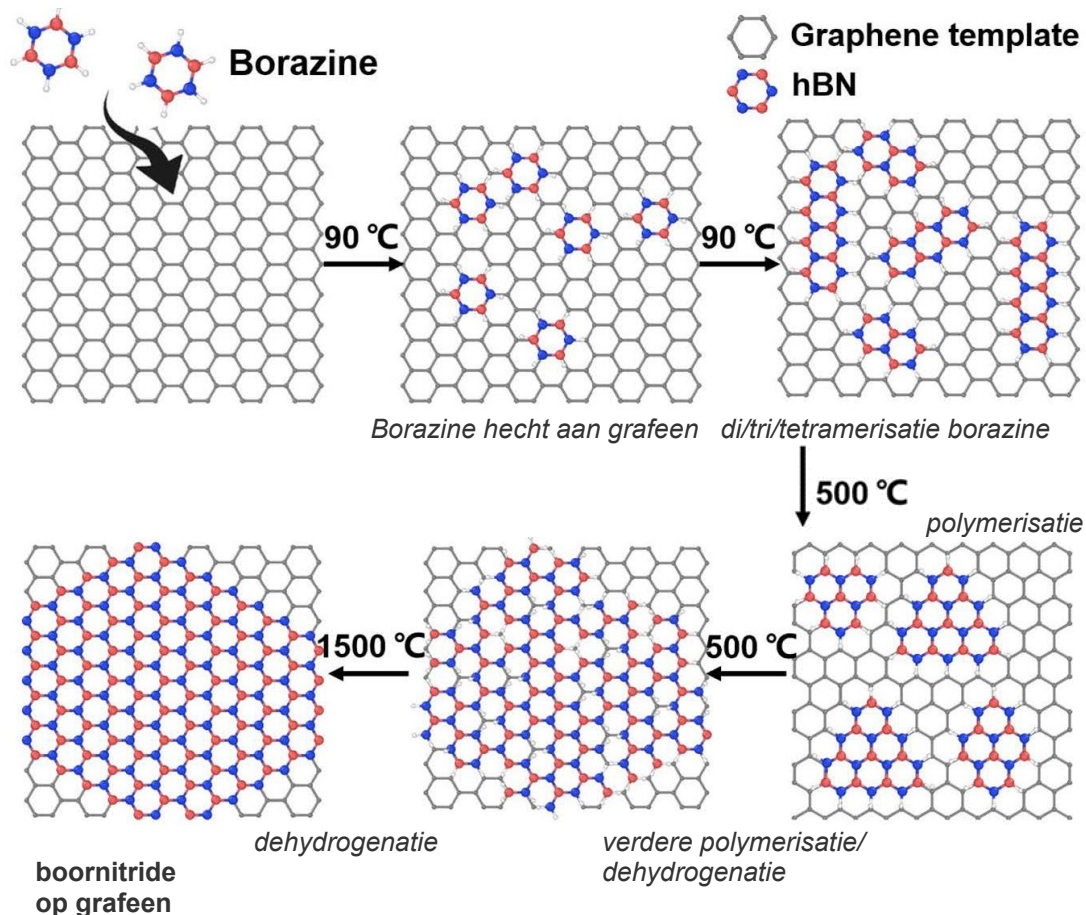
- 6 Teken de Lewis structuurformule van hexagonaal boornitride. Teken van boornitride minimaal zes ringen in meerdere rijen.
- 7 Leg uit dat in hexagonaal boornitride mesomere grensstructuren op kunnen treden. Leg dit uit met de elektronenstructuurformule van één ring. Teken daarnaast minimaal twee mesomere grensstructuren.
- 8 Leg uit dat door de mesomere grensstructuren de ruimtelijke structuur van boornitride vlak moet zijn
- 9 Geef de naam van de binding tussen de boor- en stikstofatomen.

De grafeenmonolaag en de boornitridemonolaag hebben een onderlinge binding.

10 Geef de naam van de binding tussen de grafeenmonolaag en de boornitridemonolaag.

Vorming boornitride

In het artikel uit NRC Handelsblad staat 'Op dat grafeen-skelet lieten ze boornitride neerslaan'. De praktijk was echter wat complexer, zie figuur 1.



Figuur 1 Aanbrengen monolaag hexagonaal boornitride op monolaag grafeen

Men brengt borazine ($B_3N_3H_6$) aan op grafeen, dit polymeriseert tot (on)vertakte polyborazyleen via dimeren, trimeren et cetera. Door dehydrogenering ontstaat uit (on)vertakt polyborazyleen hexagonaal boornitride.

11 In de bijlage staat een deel van de keten van een onvertakte polyborazyleen keten getekend. Teken zelf nog een onvertakte polyborazyleenketen en laat met elektronenpijlen zien hoe dehydrogenatie het hexagonaal boronitride oplevert. Licht je tekening toe

Wegetsen grafeen

Etsen is een oppervlaktebehandeling waarbij een oppervlak van een voorwerp met een middel behandeld wordt. Hierbij treedt een chemische reactie op waarbij het oppervlak (gedeeltelijk) verdwijnt. Het wegetsen van de grafeenmonolaag gebeurt met zuurstof bij 600 °C.

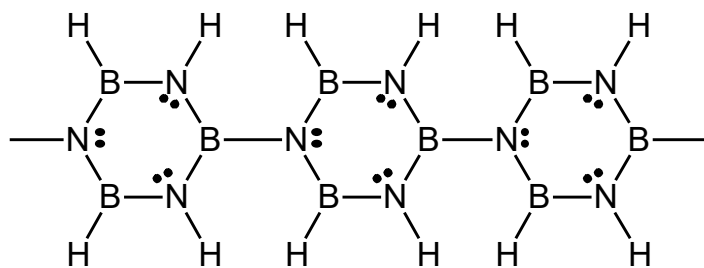
12 Geef de naam van de reactie die optreedt bij het wegetsen van grafeen.

- 13 Noteer de reactievergelijking van het etsen van de grafeen monolaag. Gebruik voor grafeen C_n .

Bij boornitride mag deze reactie met zuurstof bij hoge temperaturen niet optreden als men boornitride wil gebruiken in een hitteschild van een ruimtevaartuig.

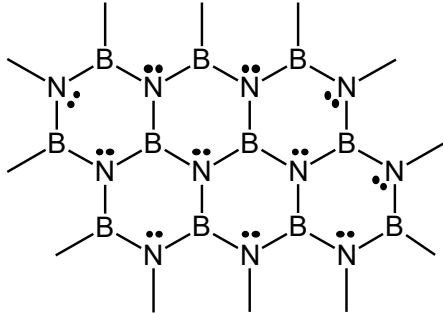
- 14 Licht dit toe.

Bijlage vraag 11

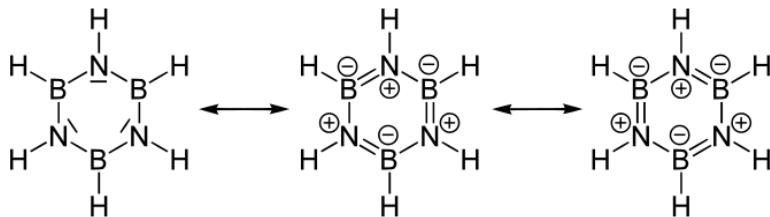


Nieuwe aerogel is precies wat ruimtevaart wil: licht en isolerend

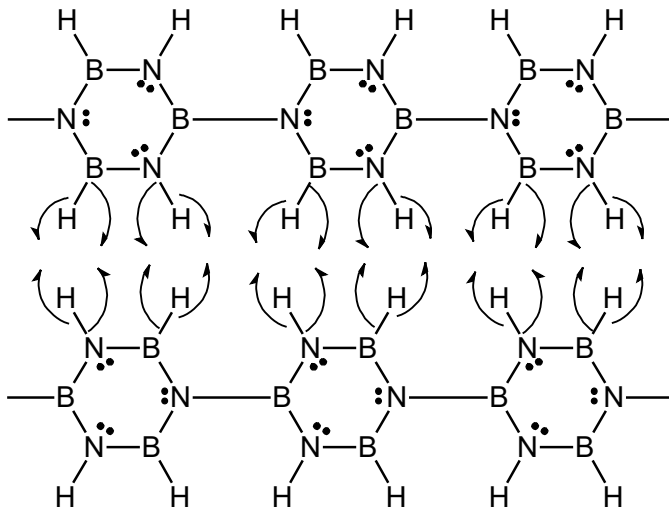
- 1 Aerogels zijn poreuze materialen met een extreem lage dichtheid. Ze zijn bijna doorzichtig en zien er sponsachtig uit.
- 2 De meeste keramische stoffen zijn bros en breken bij extreme temperatuurwisselingen. De huidige aerogels zijn vaak keramische stoffen.
- 3 Dichtheid.
- 4 Hoe kleiner de dichtheid van het materiaal, des te minder stuwkracht (brandstof) zal nodig zijn om een ruimtevaartuig omhoog te krijgen.
- 5 De opbouw van de cellen van de nieuwe aerogel zorgt ervoor dat het materiaal onder druk naar binnen klappt en dus smaller wordt in plaats van uitstulpt. Ook krimpt het ineen als het warmer wordt in plaats van uit te zetten.
- 6



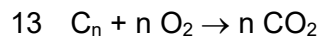
7



- 8 Bij de dubbele bindingen in een mesomere grensstructuur liggen alle atomen in één vlak.
- 9 Polaire atoombinding.
- 10 Vanderwaalsbinding
- 11 Bekijk N-H en B-H binding uit twee polyborazyleen ketens die tegenover elkaar liggen. De atoombindingen tussen de atomen in de N-H groep en de B-H groep worden verbroken en er vormen zich nieuwe atoombindingen tussen de beide H-atomen (er ontstaat H₂) en tussen een N-atoom uit de ene keten en een er tegenover liggend B-atoom van de andere keten.



- 12 Verbranding.



- 14 Bij het betreden van de dampkring door een ruimtevaartuig moet het hitteschild niet aangetast worden. Er treden hier door wrijving temperaturen op tot wel 2000 °C.

Artikel:

<https://www.nrc.nl/nieuws/2019/02/14/nieuwe-aerogel-is-precies-wat-ruimtevaart-wil-licht-en-isolerend-a3654145>

HOE WERKT EEN WATERSTOFAUTO?

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Elektrolyse, waterstof, energiebron, energiedrager, warmte, elektrische energie, groene stroom
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

De Gelderlander, 5 februari 2019

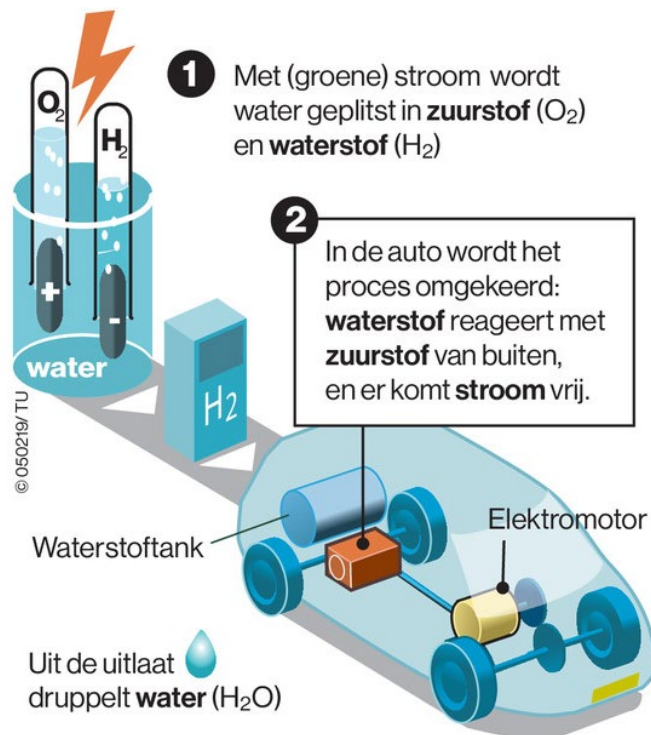
Elektrolyse

Hoe werkt een waterstofauto?

De waterstofauto is een puur elektrische auto, maar dan eentje die zijn elektriciteit niet in loodzware batterijen meeneemt, maar in de vorm van waterstof.

Een reactie van waterstof met zuurstof levert elektriciteit op en als 'afval' komt er schoon water uit de uitlaat.

Het grootste verschil met de elektrische auto's met oplaadkabel is het tanken. In drie tot vijf minuten is de waterstofauto volgegooid en klaar voor weer 500 kilometer, terwijl de elektrische auto pas na een uur geladen is, als tenminste gebruik wordt gemaakt van de sterkste laders. Voorstanders van accu-auto's vinden waterstofauto's inefficiënt. Eerst moet immers via elektrolyse waterstof worden gemaakt en vervolgens moet in de auto met waterstof elektriciteit worden gemaakt. Die omzettingen kosten veel energie.



In een waterstofauto zitten geen batterijen, maar wordt de elektriciteit door een chemische reactie opgewekt. De eerste stap buiten de auto is de productie van waterstof met (groene) stroom.

- 1 Wat versta je onder groene stroom?
- 2 Geef de reactievergelijking die optreedt bij de elektrolyse van water.

Waterstof is een energiedrager, geen energiebron.

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

In de auto wordt waterstof weer omgezet in water én elektriciteit.

- 4 Geef de vergelijking van die optredende reactie.
- 5 Teken een blokschema van het totale proces.

Voorstanders van accu-auto's zoals de Tesla vinden dat de omzetting van water in waterstof en daarna de omzetting van waterstof in water te veel energie kost.

- 6 Leg uit dat het vreemd lijkt dat de omzetting 'water → waterstof → water' energie kost.
- 7 Leg uit waarom de omzetting 'water → waterstof → water' toch (veel) energie kost.

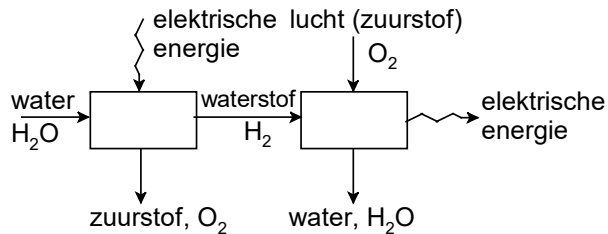
Eén kilo waterstof kost 10 euro en is goed voor 100 km. Een benzineauto gebruikt per 100 km 6 L benzine. Eén L benzine kost 1,60 euro.

- 8 Laat aan de hand van dit getallenvoorbeeld zien welke auto, lettend op brandstofverbruik, goedkoper is per gereden km.

Hoe werkt een waterstofauto?

- 1 Stroom die duurzaam opgewekt is, bijvoorbeeld met zonne-energie of windenergie.
- 2 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 3 Een energiebron is een stof die al zodanig aanwezig is in de natuur, zoals aardolie en aardgas, terwijl een energiedrager energie bevat door menselijk handelen.
- 4 $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$.

5



- 6 De beginstof is hetzelfde als de eindstof dus je zit dan weer op hetzelfde energieniveau. Volgens de wet van behoud van energie zou je verwachten dat het geen energie kost.
- 7 Er ontstaat naast chemische energie ook warmte bij elektrolyse die niet nuttig gebruikt kan worden.
- 8 6 L benzine kost $6 \times \text{€ } 1,60 = \text{€ } 9,60$. Gebruik van waterstof kost slechts € 0,40 meer.

WATERSTOF UIT STOPCONTACT

Klas	5 hv
Subdomein	Industriële processen en Groene chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Groene chemie
Trefwoorden	Waterstof, milieu, groene stroom, elektrolyse, elektrolyzer, waterstoffabriek
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Shell Venster, januari 2019

Waterstof uit stopcontact

De Rheinland-raffinaderij van Shell heeft een Europese primeur. Op deze Duitse raffinaderij is de bouw gestart van de grootste elektrolysefabriek ter wereld. De installatie gaat met groene stroom waterstof maken voor eigen gebruik en mogelijk ook voor klanten buiten de raffinaderij.

Raffinaderijen verbruiken grote hoeveelheden waterstof, die ze maken uit aardgas. Daarbij komt veel CO₂ vrij. Waterstof maken uit water met behulp van groene stroom heeft dan ook de toekomst. Al in 1832 ontdekte Michael Faraday het principe van elektrolyse: met behulp van elektriciteit water splitsen in waterstof en zuurstof. Er zijn nu kleine, zogenoemde electrolyzers op de markt, die volgens dit principe zo'n honderd ton waterstof per jaar produceren. Grootschalige toepassing in de industrie vraagt echter om elektrolyzers die honderd tot duizend keer zoveel waterstof kunnen produceren tegen een vier keer zo lage prijs per kilogram.

Ervaring opdoen

De Refhyne, zoals de nieuwe fabriek heet, gaat circa 1.300 ton waterstof per jaar produceren. Iemand met een waterstofauto kan daar heel wat kilometers op rijden, maar voor de Rheinland raffinaderij is het nog een druppel op de gloeiende plaat. Momenteel verbruikt deze grootste raffinaderij van Duitsland zo'n 180.000 ton waterstof per jaar om producten mee te ontzwavelen en om uit een vat ruwe olie meer lichte producten te winnen zoals lpg, benzine en diesel. De installatie is dan ook vooral bedoeld om ervaring mee op te doen. Intussen kijkt Shell al naar de haalbaarheid van een fabriek die tien keer zoveel waterstof uit elektriciteit en water kan produceren. Als de nieuwe waterstoffabriek straks op groene stroom draait, dan zal dit weer schelen in de CO₂-uitstoot van de raffinaderij. Een bijkomend voordeel is dat de fabriek kan bijdragen aan de stabiliteit van het stroomnet door bij een overaanbod aan groene stroom volop te produceren en bij een bescheiden aanbod daarvan op een lager pitje te draaien of uit te staan.

De waterstoffabriek zal bestaan uit een reeks elektrolysecellen, die samen een zogeheten stack (vrij vertaald 'stapel'/red) vormen. In elke cel zijn anode en kathode gescheiden door een bepaald type membraan (voor kenners een polymeer-elektrolyt-membraan, ofwel PEM).

Bron: Shell Venster

Raffinaderijen gebruiken enorme hoeveelheden waterstof. Tot nu toe wordt die waterstof in de industrie voornamelijk gemaakt door methaan en stoom met elkaar te laten reageren. Naast waterstof ontstaat daarbij koolstofdioxide.

- 1 Geef de reactievergelijking van deze omzetting.

- 2 Leg uit hoe je vanuit het ontstane mengsel zuiver waterstof kunt halen.

In de nieuwe waterstoffabriek, Refhype geheten, gaat Shell met groene stroom waterstof produceren.

- 3 Wat versta je onder groene stroom?

- 4 Geef de elektrolyse van water in een reactievergelijking weer.

De Refhype gaat zo'n 1300 ton waterstof op jaarbasis produceren. Dat lijkt veel maar is slechts een druppel op een gloeiende plaat, zegt het artikel.

- 5 Laat via een berekening zien dat de 1300 ton voor de Rheinland raffinaderij slechts een druppel op een gloeiende plaat is.

De waterstof wordt in de Rheinland raffinaderij gebruikt om zwavel uit producten te verwijderen en om meer lichte producten te winnen uit aardolie. Bij het kraken van de naftafractie ontstaan meer alkanen bij gebruik van waterstof.

- 6 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als zwavel met behulp van waterstof verwijderd wordt.

- 7 Laat met behulp van reactievergelijkingen zien dat bij het kraken meer alkanen ontstaan bij gebruik van waterstof. Neem $C_{12}H_{26}$ als beginstof.

Als de Refhype straks op groene stroom draait, zal dit ook weer schelen in de CO_2 -uitstoot.

- 8 Licht deze uitspraak toe.

De Refhype heeft een piekvermogen van 10 megawatt.

- 9 Laat via een berekening zien of bij een piekvermogen van 10 megawatt en een rendement van 90% jaarlijks 1300 ton waterstof geproduceerd kan worden. Ga uit van 300 effectieve dagen. Gegeven: $1\text{ W} = 1\text{ J s}^{-1}$.

Waterstof uit stopcontact

- 1 $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2$.
- 2 De gevormde koolstofdioxide wegnemen door het gasmengsel) te leiden door een oplossing die met de CO_2 reageert (bijvoorbeeld kalkwater.
Of: Afkoelen: koolstofdioxide wordt veel eerder vloeibaar/vast dan waterstof.
- 3 Stroom die via hernieuwbare bronnen, zoals windenergie en zonne-energie, opgewekt is.
- 4 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 5 De Rheinland raffinaderij heeft jaarlijks 180.000 ton waterstof nodig. De 1300 ton van de Refhype fabriek is dan $\frac{1300}{180000} \times 100 \% = 0,72\%$.
- 6 $\text{H}_2 + \text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$.
- 7 Kraakproces zonder waterstof: $\text{C}_{12}\text{H}_{26} \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{18} + \text{C}_4\text{H}_8$. Dus alkaan + alkeen als reactieproduct waarbij het alkaan als brandstof gebruikt wordt
Kraakproces met waterstof: $\text{C}_{12}\text{H}_{26} + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{18} + \text{C}_4\text{H}_{10}$. Dus alkaan + alkaan als reactieproducten die beiden als brandstof gebruikt kunnen worden.
- 8 Er hoeft dan minder waterstof geproduceerd te worden uit methaan + stoom waardoor dus ook minder koolstofdioxide gevormd wordt.
- 9 10 megawatt = $10 \cdot 10^6 \text{ W} = 10^7 \text{ J s}^{-1}$. Rendement is 90% dus $9 \cdot 10^6 \text{ J s}^{-1}$. De fabriek draait 300 dagen per jaar dus $300 \times 24 \times 3600 = 2,6 \cdot 10^7 \text{ s}$. Totaal gebruikt de fabriek $10^7 \times 2,6 \cdot 10^7 \text{ J} = 2,6 \cdot 10^{14} \text{ J}$. Per mol waterstof is $2,86 \cdot 10^5 \text{ J}$ nodig dus er kan $\frac{2,6 \cdot 10^{14}}{2,86 \cdot 10^5} = 9,1 \cdot 10^8 \text{ mol H}_2 \equiv 9,1 \cdot 10^8 \times 2,016 = 1,8 \cdot 10^9 \text{ g} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ ton}$ waterstof worden gevormd. Maar dit is de opbrengst bij piekbelasting. In het artikel staat dat niet altijd die piekbelasting gehaald wordt, dus 1300 ton is best realistisch.