

STOPPEN WE STRAKS IJZER IN DE TANK? I

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen, beginstoffen-reactieproducten, recycling
Trefwoorden	IJzer, roest, reactievergelijking, exotherm, endotherm, kringloopschema
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

de Volkskrant, 28 december 2016

Stoppen we straks ijzer in de tank?

TU Eindhoven onderzoekt ijzer als brandstof



Demonstratie van de verbranding van 1 gram titaniumpoeder in de lucht. © TU/e, Bart van Overbeeke

Door: Bard van de Weijer

Het lijkt raar, maar volgens onderzoekers van de TU Eindhoven is het logisch: metal fuels. IJzer is een prima brandstof, vooral voor zwaar transport.

Het zou zomaar een toekomstig tankstationafereel kunnen zijn: een auto rijdt voor en de bestuurder steekt enkele cassettes met 10 kilogram roestpoeder in de pomp, die vervolgens nieuwe cassettes van 7,5 kilogram ijzerpoeder teruggeeft. De automobilist steekt ze in zijn auto en kan weer honderden kilometers rijden.

Automobilisten gaan misschien wel ijzer 'tanken' in plaats van benzine of diesel - het lijkt een vreemd idee, maar eigenlijk ligt het gebruik van metal fuels voor de hand, vinden onderzoekers Niels Deen en Philip de Goey van de TU Eindhoven. En dan vooral in het zware transport over land en zee.

IJzer is een prima energiedrager, zegt hoogleraar verbrandingstechnologie De Goey, net als benzine en diesel kan ijzer veel energie in een relatief klein volume herbergen. Fijngemalen ijzer kan worden verbrand, waarbij veel energie vrijkomt. Wat resteert is roest, hetzelfde bruine spul dat aan oude auto's en fietsen kleeft. Het mooie is dat roest weer kan worden gereduceerd tot ijzer en water, door er bij hoge temperaturen waterstof doorheen te blazen. 'Als de waterstof gewonnen is uit zonne- of windenergie, ontstaat een gesloten, duurzame keten', zegt Deen, hoogleraar multiphase and reactive flows, in zijn Eindhovense werkkamer.

(...)

Warmte

Zeker in het zeetransport kunnen metaalbrandstoffen hun nut bewijzen, denken de onderzoekers. Want hun volume is relatief gering en het hoge gewicht maakt in een bulkcarrier niet zoveel uit, daar wordt vooral naar het volume gekeken en hier scoort metaal juist goed.

De wens om energie te willen opslaan in ijzer heeft te maken met de energietransitie die voor de deur staat, waarbij de wereld over gaat van fossiele brandstoffen naar duurzame. Een van de problemen is dat groen opgewekte energie zich nu eenmaal lastig laat bewaren en transporteren en er steeds vaker overschotten ontstaan op momenten dat het stevig waait en de zon flink schijnt. Op zulke momenten zou overtollige elektriciteit gebruikt kunnen worden voor de productie van waterstof uit elektrolyse. Dat is een niet erg efficiënt proces, maar als er energie in overvloed is, maakt dat weinig uit, stellen de onderzoekers.

(....)

Bij het gebruik van metaalbrandstoffen dreigt wel een ander probleem: stikstofoxiden (NO_x). Die ontstaan bij hoge verbrandingstemperaturen, net als bij dieselmotoren. NO_x-vorming kan worden verminderd door zuurstofarm uitlaatgas terug de verbrandingskamer in te leiden, net als bij dieselmotoren gebeurt. En NO_x kan op zijn beurt dienen als oxidator van de ijzerdeeltjes, denkt De Goey. Zolang er meer ijzer dan zuurstof in de verbrandingskamer is, worden stikstofoxiden terug gereduceerd tot stikstof.

Aan de Technische Universiteit Eindhoven doen de hoogleraren Niels Deen en Philip de Goey onderzoek naar “metal fuels”.

- 1 Geef een Nederlandse term voor *metal fuels*.
- 2 Leg uit waarom zij onderzoek doen aan metal fuels.

De verbranding van metalen is een exotherm proces.

- 3 Noteer een deel van een zin uit het artikel waaruit dit blijkt.
- 4 Leg uit dat de foto in het artikel aantoont dat je bij de verbranding van het metaal titaan te maken hebt met een exotherm proces

IJzer als brandstof

- 5 Leg uit waarom men het ijzer in de vorm van poeder (fijngemalen) gebruikt.

Bij de verbranding van ijzer ontstaat roest. Een mogelijke formule voor roest is Fe₂O₃.

- 6 Noteer de reactievergelijking voor de volledige verbranding van ijzer.

“Zeker in het zeetransport kunnen metaalbrandstoffen hun nut bewijzen, denken de onderzoekers. Want hun volume is relatief gering en het hoge gewicht maakt in een bulkcarrier niet zoveel uit, daar wordt vooral naar het volume gekeken en hier scoort metaal juist goed.”.

- 7 Welk woord moet de auteur in de tekst gebruiken in plaats van “gewicht”.
- 8 Leg uit welke stofeigenschap in dit stukje tekst aan bod komt.

Recyclen

Het ijzer kan, na de verbranding, weer worden terug gewonnen: “Het mooie is dat roest weer kan worden gereduceerd tot ijzer en water, door er bij hoge temperaturen waterstof doorheen te blazen”.

- 9 Noteer de reactievergelijking voor het recyclen van roest (Fe_2O_3).
- 10 Leg uit of je hier te maken hebt met een exotherm of een endotherm proces.
- 11 Licht toe dat als je naar het rijden en het recyclen kijkt, je te maken hebt met een kringloop.
- 12 Teken deze kringloop. Vermeld hierin de *formules* van de stoffen die betrokken zijn.

Voor het recycling proces moet waterstof gemaakt worden.

- 13 Geef de naam van het proces waarmee men waterstofgas kan maken.

In begin van het artikel staat: "... een auto rijdt voor en de bestuurder steekt enkele cassettes met 10 kilogram roestpoeder in de pomp, die vervolgens nieuwe cassettes van 7,5 kilogram ijzerpoeder teruggeeft."

- 14 Leg uit of de cassette bij het pompstation gerecycled kan worden. Noem in je antwoord drie voorwaarden waaraan moet worden voldaan zodat een automobilist bij een pompstation zijn cassette met roestpoeder kan recyclen.

Er worden voor roest meerdere chemische formules gebruikt: onder andere FeO , Fe_2O_3 en Fe_3O_4 . Voor elk van deze roestformule geldt een eigen massaverhouding ijzer : roest.

Roestformule	Massaverhouding ijzer: roest
FeO	5,6 : 7,2
Fe_2O_3	11,1 : 16,0
Fe_3O_4	16,7 : 23,1

- 15 Leg uit of je uit de gegevens in de zin "... een auto rijdt voor en de bestuurder" kunt concluderen welke chemische formule voor roest de auteur van het artikel heeft gebruikt. Licht je antwoord toe met berekeningen

In de motor

Bij de hoge temperaturen in de motor kunnen bij de verbranding met lucht ook stikstofoxiden ontstaan.

- 16 Noteer de reactievergelijking voor het ontstaan van NO_2 .

Zolang er meer ijzer dan zuurstof in de verbrandingskamer is, worden stikstofoxiden weer omgezet in stikstof.

- 17 Noteer de vergelijking voor de reactie van ijzer met NO_2 waarbij Fe_2O_3 en stikstof ontstaat.

Duurzaam

IJzer wordt gewonnen uit ijzererts.

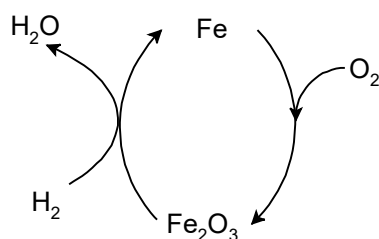
Ijzererts is een erts waaruit het metaal ijzer gewonnen kan worden. Dit gebeurt door verhitting tot een zeer hoge temperatuur, tot boven het smeltpunt van ijzer, in een gesloten oven, na toevoeging van bijvoorbeeld koolstof (cokes) om het metaal uit zijn oxide te winnen. De ovens die voor dit proces worden gebruikt, heten hoogovens.

Bron: Wikipedia

- 18 Geef je onderbouwde mening of het gebruik van metal fuels bijdraagt aan duurzaamheid.

Stoppen we straks ijzer in de tank? I

- 1 Metaalbrandstoffen
- 2 In verband met de 'energietransitie' van fossiele naar duurzame brandstoffen.
- 3 "Fijngemalen ijzer kan worden verbrand, waarbij veel energie vrijkomt."
- 4 In de foto zijn oplichtende deeltjes te zien, die duiden erop dat er energie vrijkomt.
- 5 Bij poeder (een fijnere verdelingsgraad) is het reactieoppervlak groter en zal de reactie dus sneller verlopen en komt energie dus sneller vrij. Ook zijn poeders gemakkelijker door buizen/slangen aan en af te voeren.
- 6 $4 \text{ Fe} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3$
- 7 Massa
- 8 Het gaat over volume en massa: stofeigenschap is dus dichtheid (= massa/volume).
- 9 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{ H}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe} + 3 \text{ H}_2\text{O}$
- 10 Het is voor ijzer het omgekeerde proces van de verbranding, dus endotherm.
- 11 Je gaat uit van ijzer en krijgt weer ijzer terug
- 12



- 13 Elektrolyse (van water)
- 14 Er moet met hoge temperatuur worden gewerkt, er moet waterstofgas beschikbaar zijn en het proces moet snel verlopen, wil de automobilist zijn eigen cassette weer mee kunnen krijgen. Dit lijkt gezien de voorwaarden geen realistische optie.
- 15

Roestformule	Massaverhouding ijzer: roest	Massaverhouding ijzer: roest omgerekend
FeO	5,6 : 7,2	0,78 : 1,0
Fe ₂ O ₃	11,1 : 16,0	0,69 : 1,0
Fe ₃ O ₄	16,7 : 23,1	0,72 : 1,0
Artikel	7,5: 10	0,75 : 1,0

Je kunt dus geen conclusie trekken, want geen enkele massaverhouding is hetzelfde als in het artikel.

- 16 $2 \text{ N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ NO}_2$
- 17 $6 \text{ NO}_2 + 8 \text{ Fe} \rightarrow 3 \text{ N}_2 + 4 \text{ Fe}_2\text{O}_3$
- 18 Op zich is de kringloop van metal fuels duurzaam, onder voorwaarde dat men de energie voor de waterstofproductie duurzaam wint. Indien er echter geen methode wordt gevonden om ijzer duurzamer te produceren dan met veel energie in hoogovens, kun je metal fuels niet duurzaam noemen.

RUNNING ON IRON

With a few modifications an internal combustion engine could run on metal fuel. Unlike a petrol or diesel engine, this design will produce almost no pollutants

In the removable fuel canister, a movable membrane separates fresh and burnt fuel. Metal fuel is injected into the engine cylinder using a carefully controlled air flow



Metal powder is ignited by a spark and burns at low temperatures. This creates almost no nitrogen oxides, soot or CO₂



Exhaust gas carries oxidised metal particles into the fuel canister. An electromagnetic strip collects the particles, and the exhaust gas flows out. When full, the canister is recharged



Bron: http://www.mng.org.uk/gh/renewable_energy/metal_NS_article.htm

STOPPEN WE STRAKS IJZER IN DE TANK? II

Klas	4,5 hv
Subdomein	Energie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Energiediagram, exotherm, endotherm, vormingswarmte, reactiewarmte
Trefwoorden	Berekening, ijzer, titaan, verbranding, verdelingsgraad, roest
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

de Volkskrant, 28 december 2016

Stoppen we straks ijzer in de tank?

TU Eindhoven onderzoekt ijzer als brandstof



Demonstratie van de verbranding van 1 gram titaniumpoeder in de lucht. © TU/e, Bart van Overbeeke

Door: Bard van de Weijer

Het lijkt raar, maar volgens onderzoekers van de TU Eindhoven is het logisch: metal fuels. IJzer is een prima brandstof, vooral voor zwaar transport.

Het zou zomaar een toekomstig tankstationafereel kunnen zijn: een auto rijdt voor en de bestuurder steekt enkele cassettes met 10 kilogram roestpoeder in de pomp, die vervolgens nieuwe cassettes van 7,5 kilogram ijzerpoeder teruggeeft. De automobilist steekt ze in zijn auto en kan weer honderden kilometers rijden.

Automobilisten gaan misschien wel ijzer 'tanken' in plaats van benzine of diesel - het lijkt een vreemd idee, maar eigenlijk ligt het gebruik van metal fuels voor de hand, vinden onderzoekers Niels Deen en Philip de Goey van de TU Eindhoven. En dan vooral in het zware transport over land en zee.

IJzer is een prima energiedrager, zegt hoogleraar verbrandingstechnologie De Goey, net als benzine en diesel kan ijzer veel energie in een relatief klein volume herbergen. Fijngemalen ijzer kan worden verbrand, waarbij veel energie vrijkomt. Wat resteert is roest, hetzelfde bruine spul dat aan oude auto's en fietsen kleeft. Het mooie is dat roest weer kan worden gereduceerd tot ijzer en water, door er bij hoge temperaturen waterstof doorheen te blazen. 'Als de waterstof gewonnen is uit zonne- of windenergie, ontstaat een gesloten, duurzame keten', zegt Deen, hoogleraar multiphase and reactive flows, in zijn Eindhovense werkkamer.

IJzer is heel goede energiedrager, zeggen de onderzoekers. Het herbergt per kilogram veel meer energie dan bijvoorbeeld de lithium-ionaccu's die nu in elektrische auto's worden gebruikt. Met name voor het langeafstandstransport van goederen over de weg en zee, zijn accu's niet geschikt. 'Nu torst een truck een tank met 600 liter diesel mee. Als je dat wilt vervangen door accu's, heb je het equivalent van 40 ton nodig', zegt De Goey. 'Dat is meer dan het totale laadvermogen van veel trucks.'

(...)

Warmte

Zeker in het zeetransport kunnen metaalbrandstoffen hun nut bewijzen, denken de onderzoekers. Want hun volume is relatief gering en het hoge gewicht maakt in een bulkcarrier niet zoveel uit, daar wordt vooral naar het volume gekeken en hier scoort metaal juist goed.

En dan? De warmte die vrijkomt bij de verbranding ('In feite een heel snel roestproces'), kan worden gebruikt voor de aandrijving van een stirlingmotor. Naast transporttoepassingen denken de onderzoekers aan het bijstoken van ijzerpoeder in energiecentrales. Onder meer energieonderzoekscentrum ECN, energiecentraleproducent Mitsubishi en de Budelse zinkproducent Nyrstar hebben interesse getoond om samen met de onderzoekers te kijken of metaalbrandstoffen nuttig gebruikt kunnen worden.

De wens om energie te willen opslaan in ijzer heeft te maken met de energietransitie die voor de deur staat, waarbij de wereld over gaat van fossiele brandstoffen naar duurzame. Een van de problemen is dat groen opgewekte energie zich nu eenmaal lastig laat bewaren en transporteren en er steeds vaker overschotten ontstaan op momenten dat het stevig waait en de zon flink schijnt. Op zulke momenten zou overvloedige elektriciteit gebruikt kunnen worden voor de productie van waterstof uit elektrolyse. Dat is een niet erg efficiënt proces, maar als er energie in overvloed is, maakt dat weinig uit, stellen de onderzoekers.

(...)

Nodeloze tussenstap

Zijn metaalbrandstoffen geen nodeloze tussenstap als waterstof ook direct gebruikt kan worden als energiedrager? Waterstof is voor internationaal wegtransport erg lastig, vooral vanwege het grote volume, dat volgens De Goey al snel een factor 5 groter is dan ijzerpoeder.



[Een waterstoftankstation in Rhoon. © ANP](#)

Bij het gebruik van metaalbrandstoffen dreigt wel een ander probleem: stikstofoxiden (NOx). Die ontstaan bij hoge verbrandingstemperaturen, net als bij dieselmotoren. NOx-vorming kan worden verminderd door zuurstofarm uitlaatgas terug de verbrandingskamer in te leiden, net als bij dieselmotoren gebeurt. En NOx kan op zijn beurt dienen als oxidator van de ijzerdeeltjes, denkt De Goey. Zolang er meer ijzer dan zuurstof in de verbrandingskamer is, worden stikstofoxiden terug gereduceerd tot stikstof. Een andere uitdaging is om alle roestdeeltjes uit de hete gassen op te vangen, al denken de onderzoekers dat meer dan 99 procent haalbaar is.

Aan de Technische Universiteit Eindhoven doen de hoogleraren Niels Deen en Philip de Goey onderzoek naar “metal fuels”.

- 1 Verklaar de term *metal fuels*.
- 2 Leg uit waarom zij onderzoek doen aan metal fuels.

IJzer als brandstof

- 3 Leg uit waarom men het ijzer in de vorm van poeder (fijngemalen) gebruikt.

Bij de verbranding van ijzer ontstaat roest. Een mogelijke formule voor roest is Fe_2O_3 .

- 4 Noteer de reactievergelijking voor de volledige verbranding van ijzer.

In Binas tabel 57A staan de vormingswarmten van stoffen vermeld.

- 5 Leg uit dat de vormingswarmte van Fe_2O_3 hetzelfde is als de verbrandingswarmte van Fe.
- 6 Teken het energiediagram voor de vorming van Fe_2O_3 .

“Zeker in het zeetransport kunnen metaalbrandstoffen hun nut bewijzen, denken de onderzoekers. Want hun volume is relatief gering en het hoge gewicht maakt in een bulkcarrier niet zoveel uit, daar wordt vooral naar het volume gekeken en hier scoort metaal juist goed.”.

- 7 Welk woord moet de auteur in de tekst gebruiken in plaats van ‘gewicht’.
- 8 Leg uit welke stofeigenschap in dit stukje tekst aan bod komt.

Recyclen

Het ijzer kan weer worden terug gewonnen: “Het mooie is dat roest weer kan worden gereduceerd tot ijzer en water, door er bij hoge temperaturen waterstof doorheen te blazen”.

- 9 Noteer de reactievergelijking voor het recyclen van roest (Fe_2O_3).
- 10 Bereken de reactie-energie voor deze recyclingreactie. Ga ervan uit dat het water als gas vrijkomt.
- 11 Teken het energiediagram voor deze recyclingreactie.

Voor het recycling proces moet waterstof gewonnen worden.

- 12 Geef de naam van het proces waarmee men waterstofgas kan maken.
- 13 Is dit een endotherm of een exotherm proces?

In het begin van artikel staat: “... een auto rijdt voor en de bestuurder steekt enkele cassettes met 10 kilogram roestpoeder in de pomp, die vervolgens nieuwe cassettes van 7,5 kilogram ijzerpoeder teruggeeft.”

- 14 Leg uit of de cassette bij het pompstation gerecycled kan worden. Noem in je antwoord drie voorwaarden waaraan moet worden voldaan zodat een automobilist bij een pompstation zijn cassette met roestpoeder kan recyclen.

Er worden voor ijzerroest verschillende chemische formules gebruikt: onder andere FeO , Fe_2O_3 en Fe_3O_4 .

- 15 Leg uit of je uit de gegevens in de zin “.... een auto rijdt voor en de bestuurder” kunt concluderen welke chemische formule voor roest de auteur van het artikel heeft gebruikt. Licht je antwoord toe met berekeningen

In de motor

Bij de hoge temperaturen in de motor kunnen bij de verbranding ook stikstofoxiden ontstaan.

- 16 Noteer de reactievergelijking voor het ontstaan van NO_2 .

Zolang er meer ijzer dan zuurstof in de verbrandingskamer is, worden stikstofoxiden weer omgezet in stikstof.

- 17 Noteer de vergelijking voor de reactie van ijzer met NO_2 waarbij Fe_2O_3 en stikstof ontstaat.
- 18 Leg uit of reactie van ijzer met NO_2 meer of minder exotherm is dan de verbranding van ijzer. In beide gevallen ontstaat Fe_2O_3 .

Energiedrager

Titaan is ook een energiedrager, zoals uit de foto blijkt. De vormingsenergie van titaan(IV)oxide = $-9,11 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- 19 Bereken de energie in J die vrij komt als je 1,0 g titaan verbrandt.

“IJzer is een prima energiedrager net als benzine veel energie in een relatief klein volume herbergen.”, zegt het artikel.

In Binas tabel 28D staat de verbrandingswarmte (stookwaarde) van benzine.

- 20 Controleer de uitspraak die in het artikel staat. Bereken hiervoor de verbrandingswarmte van ijzer in $\text{J} \cdot \text{m}^3$. Ga hierbij uit van de vorming van Fe_2O_3 .

Nodeloze tussenstap

- 21 Geef je mening over de uitspraak in de eerste drie regels van het stukje tekst “Nodeloze tussenstap”. Neem in je toelichting de vergelijking in energieopslag mee tussen waterstof en ijzer.

Duurzaam

IJzer wordt gewonnen uit ijzererts.

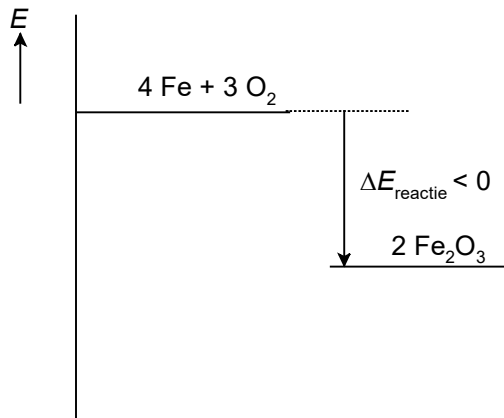
Ijzererts is een erts waaruit het metaal ijzer gewonnen kan worden. Dit gebeurt door verhitting tot een zeer hoge temperatuur, tot boven het smeltpunt van ijzer, in een gesloten oven, na toevoeging van bijvoorbeeld koolstof (cokes) om het metaal uit zijn oxide te winnen. De ovens die voor dit proces worden gebruikt, heten hoogovens.

Bron: Wikipedia

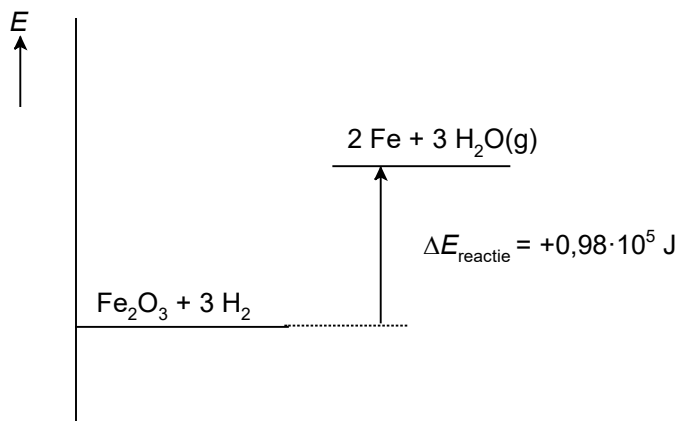
- 22 Geef je onderbouwde mening of het gebruik van metal fuels bijdraagt aan duurzaamheid.

Stoppen we straks ijzer in de tank? II

- 1 Metalen kunnen met zuurstof reageren waarbij metaaloxiden ontstaan en waarbij energie vrijkomt. Het metaal is dan de brandstof.
- 2 In verband met de 'energietransitie' van fossiele naar duurzame brandstoffen.
- 3 Bij een fijnere verdelingsgraad van een vaste stof, poeder, is het reactieoppervlak groter en zal de reactie dus sneller verlopen en komt de energie dus sneller vrij. Ook zijn poeders gemakkelijker door buizen/slangen aan en af te voeren.
- 4 $4 \text{ Fe} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3$
- 5 De vergelijking van de vormingsreactie is: $4 \text{ Fe} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3$. Dit is ook de vergelijking voor de verbrandingsreactie van Fe (zie antwoord vraag 4).
- 6



- 7 Massa
- 8 Het gaat over volume en massa: stoffeigenschap is dus dichtheid (= massa/volume)
- 9 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{ H}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe} + 3 \text{ H}_2\text{O}$
- 10 $\Delta E_{\text{reactie}} = 3 \times -2,42 \cdot 10^5 - (-8,24 \cdot 10^5) = +0,98 \cdot 10^5 \text{ J}$
- 11



- 12 Elektrolyse (van water).
- 13 Een endotherm proces: elektrolyse, ontleding onder invloed van elektrische stroom. Er wordt energie toegevoerd.
- 14 Er moet met hoge temperatuur worden gewerkt, er moet waterstofgas beschikbaar zijn en het proces moet snel verlopen, wil de automobilist zijn eigen cassette weer mee kunnen krijgen. Dit lijkt gezien de voorwaarden geen realistische optie.

15 *Methode 1*

Reactievergelijking vorming "roest"	Molverhouding ijzer : "roest"	Massaverhouding*	Massa- verhouding ijzer : "roest" (vereenvoudigd)
$2 \text{ Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ FeO}$	1 mol Fe $\equiv$ 1 mol FeO	55,85 : 71,844	7,8 : 10
$4 \text{ Fe} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3$	2 mol Fe $\equiv$ 1 mol Fe ₂ O ₃	2 x 55,85 : 159,69	7,0 : 10
$3 \text{ Fe} + 2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	3 mol Fe $\equiv$ 1 mol Fe ₃ O ₄	3x 55,85 : 231,53	7,2 : 10
		Artikel	7,5 : 10

* molaire massa, Binas tabel 98, 99

Je kunt dus geen conclusie trekken, want geen enkele massaverhouding is hetzelfde als in het artikel.

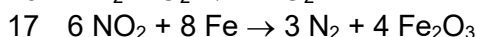
Methode 2

7,5 kg Fe $\equiv$ $7,5 \cdot 10^3 / 55,85 = 0,134 \cdot 10^3$ mol Fe.

- $2 \text{ Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ FeO}$; $0,134 \cdot 10^3$ mol Fe $\equiv$ $0,134 \cdot 10^3$ mol FeO $\equiv$ $0,134 \cdot 10^3 \times 71,844 = 9,6 \cdot 10^3$ g = 9,6 kg FeO
- $4 \text{ Fe} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3$; $0,134 \cdot 10^3$ mol Fe $\equiv$ $1/2 \times 0,134 \cdot 10^3$ mol Fe₂O₃ $\equiv$ $0,067 \cdot 10^3 \times 159,69 = 10,7 \cdot 10^3$ g = 10,7 kg Fe₂O₃
- $3 \text{ Fe} + 2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$; $0,134 \cdot 10^3$ mol Fe $\equiv$ $1/3 \times 0,134 \cdot 10^3$ mol Fe₃O₄ $\equiv$ $0,0447 \cdot 10^3 \times 231,53 = 10,4 \cdot 10^3$ g = 10,4 kg Fe₃O₄

Je kunt dus geen conclusie trekken, want voor geen enkele "roest"formule ontstaat uit 7,5 kg ijzer 10 kg roest zoals in het artikel staat.

16 $2 \text{ N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ NO}_2$



18 De vormingswarmte van NO₂ is groter dan nul (positief, tabel 57A), de ontleding dus negatief. Dit betekent dat de reactie van NO₂ met Fe meer energie oplevert dan de reactie van Fe tot Fe₂O₃.

19 $1,0 \text{ g Ti} \equiv 1,0 / 47,87 = 0,021 \text{ mol Ti} \equiv 0,021 \times -9,11 \cdot 10^5 = -1,9 \cdot 10^4 \text{ J}$

20 Stookwaarde benzine = $33 \cdot 10^9 \text{ J m}^3$.

Dichtheid ijzer 7,87 g/cm³ (tabel 8: 7,87 · 10³ kg/m³).

$$\text{Verbrandingswarmte Fe} = \frac{1}{2} \times \text{vormingswarmte Fe}_2\text{O}_3 = \frac{1}{2} \times -8,24 \cdot 10^5 \text{ J/mol Fe} =$$

$$-4,12 \cdot 10^5 \text{ J/mol Fe} \equiv -4,12 \cdot 10^5 / 55,85 \text{ J/g Fe} = -7,38 \cdot 10^3 \text{ J/g Fe} \equiv$$

$$-7,38 \cdot 10^3 \times 7,87 \text{ J/cm}^3 \text{ Fe} = -5,81 \cdot 10^4 \text{ J/cm}^3 \text{ Fe} = -5,81 \cdot 10^4 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ Fe} =$$

$$-5,81 \cdot 10^{10} \text{ J/m}^3 \text{ Fe. De verbrandingswarmte van ijzer is een factor 1,8 groter dan die van benzine.}$$

21 Facetten die leerlingen mee kunnen nemen:

* waterstof kun je maken door elektrolyse met duurzame energie

* Stookwaarde waterstof (tabel 28B) = $10,8 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$. Verbrandingswarmte Fe = $5,81 \cdot 10^{10} \text{ J/m}^3$.

* Vervoer en opslag vaste stof ijzer makkelijker en minder gevaarlijk dan waterstofgas.

*

22 Op zich is de kringloop van metal fuels duurzaam, onder voorwaarde dat men de energie voor de waterstofproductie duurzaam wint. Indien er echter geen methode wordt gevonden om ijzer duurzamer te produceren dan met veel energie in hoogovens, kun je metal fuels niet duurzaam noemen.

RUNNING ON IRON

With a few modifications an internal combustion engine could run on metal fuel. Unlike a petrol or diesel engine, this design will produce almost no pollutants

In the removable fuel canister, a movable membrane separates fresh and burnt fuel. Metal fuel is injected into the engine cylinder using a carefully controlled air flow



Metal powder is ignited by a spark and burns at low temperatures. This creates almost no nitrogen oxides, soot or CO₂



Exhaust gas carries oxidised metal particles into the fuel canister. An electromagnetic strip collects the particles, and the exhaust gas flows out. When full, the canister is recharged

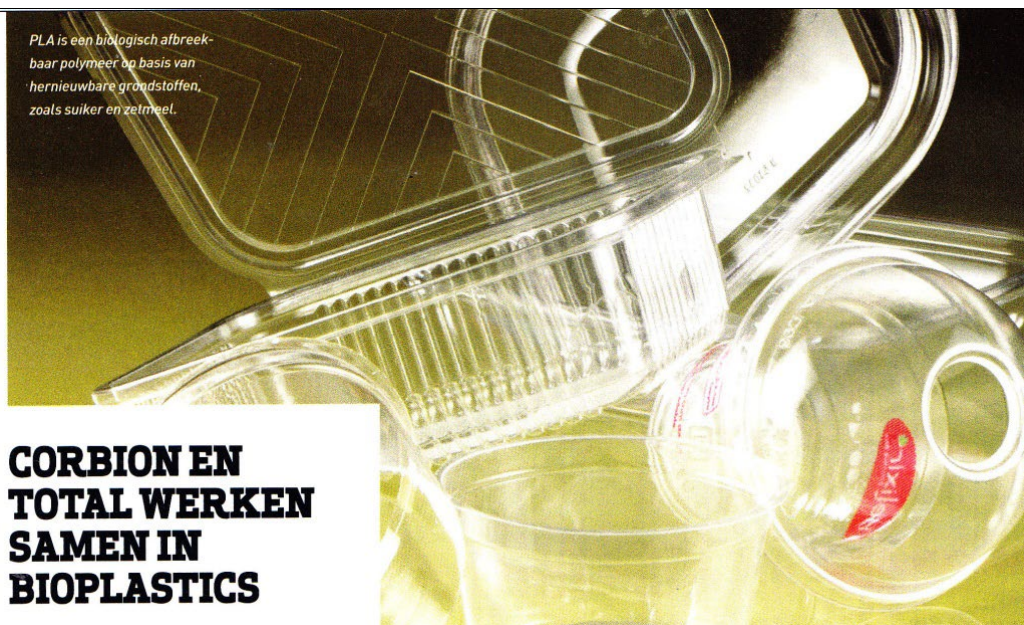


Bron: http://www.mng.org.uk/gh/renewable_energy/metal_NS_article.htm

CORBION EN TOTAL WERKEN SAMEN IN BIOPLASTICS

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische reacties
Trefwoorden	Melkzuur, lactide, PLA, duurzaamheid, polyester, fermentatie, berekening
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemie Magazine, december 2016



Total en Corbion richten een joint venture op voor de productie en marketing van PLA (polymelkzuur). Zij gaan een grootschalige PLA-polymerisatiefabriek bouwen met een capaciteit van 75.000 ton per jaar op de locatie van Corbion in Thailand. Hier bevindt zich al een productie-eenheid voor lactide (PLA-monomeer). Corbion levert het melkzuur dat noodzakelijk is voor de productie van PLA.

De nieuwe onderneming wordt gevestigd in Nederland. De start van de bedrijfsactiviteiten is voorzien voor het eerste kwartaal van 2017. "Ik ben erg ingenomen met deze joint venture, waarmee wij beogen een grote speler te worden in de groeiende markt voor bioplastics", zegt Bernard Pinatel, president-directeur van de Total-divisie Raffinage & Chimie. Volgens Tjerk de Ruiter, CEO van Corbion, is PLA is een van de eerste hernieuwbare en biologisch afbreekbare polymeren die kunnen concurreren met bestaande polymeren.

"Deze joint venture combineert de technische expertise, marketingkennis en leidende

polymeerpositie van Total met de expertise van Corbion op het gebied van melkzuur en biopolymeren."

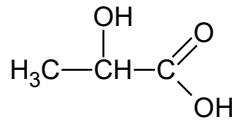
PLA is een biologisch afbreekbaar polymeer op basis van hernieuwbare grondstoffen, zoals suiker en zetmeel, die via fermentatie in melkzuur worden omgezet.

PLA wordt voornamelijk toegepast in verpakkingsmateriaal voor voedingsproducten, in tafelgerei en textiel voor eenmalig gebruik, en in talrijke andere branches, zoals de olie- en gasindustrie, de elektronica-sector, de auto-industrie en het 3D-printsegment.

De bedrijven Corbion en Total gaan samenwerken bij de productie van polymelkzuur (PLA). PLA is in dubbel opzicht een duurzame stof.

- 1 Licht dit toe.
- 2 Waarom hebben juist Corbion en Total hiervoor een joint venture opgericht?

Melkzuur is de grondstof voor het produceren van PLA. Het melkzuurmolecuul, het monomeer voor het PLA polymeer, heeft de volgende structuurformule:



- 3 Geef de systematische naam van melkzuur.

PLA ontstaat door polycondensatie van melkzuur. PLA is een polyester.

- 4 Teken een stuk uit het midden van de polymeerketen. Teken minstens drie eenheden.

Melkzuur ontstaat door fermentatie van C₆ suikers. Ook zetmeel kan als uitgangsstof gebruikt worden.

- 5 Geef de reactievergelijking voor de fermentatie van glucose.
- 6 Geef de reactievergelijking voor de fermentatie van zetmeel, (C₆H₁₀O₅)_n.

De nieuwe fabriek krijgt een capaciteit van 75000 ton PLA per jaar.

- 7 Laat via een berekening zien hoeveel ton zetmeel tenminste nodig is voor de productie van 75000 ton PLA.

PLA is biologisch afbreekbaar. Bacteriën gebruiken het PLA als voedingsstof.

- 8 Geef deze afbraakreactie in molecuulformules weer.

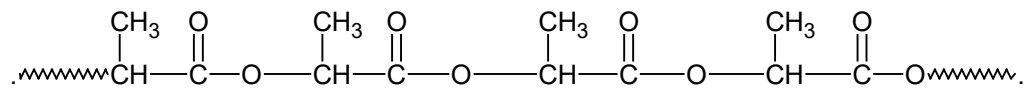
Toepassingen voor PLA zijn er zowel voor eenmalig gebruik als voor langdurig gebruik.

- 9 Geef van elke groep, eenmalig en langdurig gebruik, enkele voorbeelden.

Corbion en Total werken samen in bioplastics

- 1 PLA wordt gevormd uit hernieuwbare grondstoffen en is zelf biologisch afbreekbaar.
- 2 Ze versterken elkaar: de technische expertise, marketingkennis en leidende polymeerpositie van Total met de expertise van Corbion op het gebied van melkzuur en biopolymeren.
- 3 2-hydroxypropaanzuur.

4



5 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3.$

6 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2n \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3.$

7 $75\,000 \text{ ton} = 75\,000\,000 \text{ kg PLA. PLA heeft als formule } (\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2)_n. \text{ Dus } 75\,000\,000 \text{ kg} \equiv 75\,000\,000 / (n \times 72,06) = 1\,041\,000/n \text{ kmol PLA. Dit is gevormd uit } 1/2 \times 1\,041\,000/n \text{ kmol zetmeel} = 520\,000/n \text{ kmol. } 520\,000/n \text{ mol } (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n \equiv 520\,000/n \times 162,14 \times n = 84\,400\,000 \text{ kg} = 84\,400 \text{ ton zetmeel.}$

8 $(\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2)_n + 3n \text{O}_2 \rightarrow 3n \text{CO}_2 + 2n \text{H}_2\text{O}.$

- 9 Eenmalig: verpakkingsmateriaal voor voedingsproducten, in tafelgerei en textiel.
Langdurig: olie- en gasindustrie, elektronicasector en auto-industrie.

MILIEUVRIENDELIJKERE AUTOBAND

Klas	5 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Polymeren
Trefwoorden	Autoband, PET, viscose, rubber, para-aramide, rolweerstand, Eco Efficiency Analyse
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Chemie Magazine, 15 december 2016

MILIEUVRIENDELIJKERE AUTOBAND

De Eco Efficiency Analyse is een hulpmiddel om verschillende producten met elkaar te vergelijken op basis van hun functie over hun levensduur. Voor de vergelijking tussen rayon en para-aramide als verstevigingsmateriaal in autobanden zijn drie varianten onderzocht: rayongarens in combinatie met rubber; een hybride garen van para-aramide en PET met rubber; en alleen para-aramide met rubber. Beers: “Als je kijkt naar de hele waardeketen van grondstof tot en met gebruik, dan blijkt dat de grondstoffen slechts 5 procent uitmaken van de totale milieubelasting en de productie ook nog eens 5 procent. Het overgrote deel van de milieubelasting zit in het gebruik zelf. Dan hebben we het over het *global warming potential* door brandstofverbruik tijdens het

rijden en luchtvervuiling als gevolg van fijnstof, en van stikstofoxiden in de uitlaatgassen.” Belangrijk voor het brandstofverbruik is de rolweerstand van de band. Die blijkt dankzij de vormvastheid van para-aramide lager te zijn dan bij gebruik van rayongarens als versteviging. In combinatie met het lagere gewicht scoren zowel zuivere para-aramide als de combinatie van para-aramide met PET ongeveer een derde lager dan rayon op milieubelasting door uitstoot van broeikasgassen en andere milieueffecten. Daarnaast zijn ook de kosten voor de grondstoffen alleen al een derde lager, terwijl ook gebruikers van de band financieel voordeel hebben door een lager brandstofverbruik. Een duidelijke win-situatie, aldus Beers.

Autobanden bevatten verstevigingsmaterialen. Met de Eco Efficiency Analyse kunnen deze materialen worden vergeleken.

- 1 Welke varianten voor versteviging van autobanden zijn onderzocht?
- 2 Leg uit waarom de grondstoffen en de productie van de gebruikte stoffen elk slechts 5% uitmaken van de totale milieubelasting.

Rayon (viscose) is gemaakt uit cellulose, een biobased grondstof.

- 3 Wat versta je onder een biobased grondstof?
- 4 Leg uit waardoor de synthetische garens beter uit de test komen dan rayongarens.

De para-aramidegarens staan beter bekend onder de handelsnaam Twaron. Aramide staat voor aromatische polyamide, een polymeer gemaakt uit benzeen-1,4-diamine en tereftaalzuur, benzeen-1,4-dicarbonzuur.

- 5 Teken de structuurformules van de beide uitgangsstoffen.
- 6 Teken een stuk uit het midden van de polymeerketen.
- 7 Leg uit dat de vorming een polycondensatiereactie is.
- 8 Leg uit waardoor de aantrekkingskrachten tussen de gevormde polymeermoleculen zo groot zijn.

PET staat voor polyetheentereftalaat, een polymeer gevormd uit tereftaalzuur en glycol.

9 Geef de structuurformules van beide uitgangsstoffen voor PET.

10 Teken een stuk uit het midden van een PET-molecuul.

Door het vergelijken van rolweerstand, gewicht en kosten van grondstoffen/uitgangsstoffen gaf de analyse een duidelijke conclusie ten aanzien van de verstevigingsmaterialen.

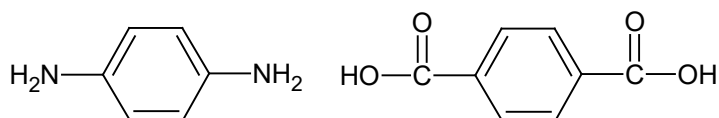
11 Welke conclusie levert de analyse op?

12 Leg uit dat het ook voor de *gebruikers* van de banden met de beste analyseresultaten winst oplevert.

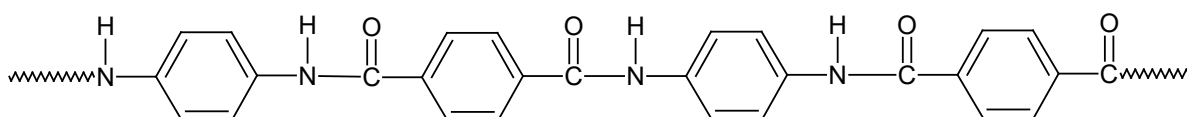
Milieuvriendelijkere autoband

- 1 Rubber met rayon, hybridegaren van Twaron en PET en met Twaron.
- 2 De meeste milieubelasting treedt op bij gebruik dus bij het rijden van auto's op die banden in de vorm van uitstoot koolstofdioxide, fijnstof en stikstofoxiden.
- 3 Een stof die gemaakt is uit een natuurproduct, in dit geval cellulose.
- 4 De rolweerstand is dan veel lager waardoor minder brandstof nodig is.

5

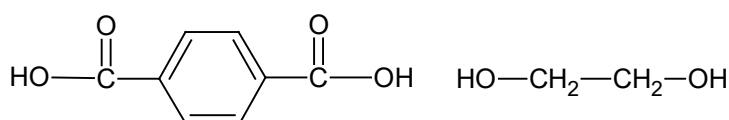


6

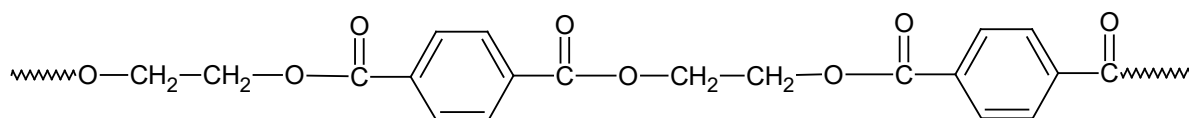


- 7 Het is een reactie waarbij door chemische aaneenkoppeling steeds een klein molecuul wordt afgesplitst.
- 8 De NH-groepen en de C=O groepen van de naast elkaar liggende polymeermoleculen kunnen onderling H-bruggen vormen. Verder liggen de moleculen in de lengterichting gestrekt en (dus) heel dicht bij elkaar waardoor ook nog een sterke vanderwaalsbinding optreedt.

9



10



- 11 Dat de hybridegarens en Twarongarens ongeveer een derde lager scoren op milieubelasting dan rayongarens. Daarnaast zijn de kosten voor de grondstoffen ook nog eens een derde lager.
- 12 Door de lagere rolweerstand is er ook een lager brandstofverbruik.

KOOLDIOXIDE ALS GRONDSTOF VOOR PLASTIC

Klas	5,6 v
Subdomein	Processen en reacties,
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Polymerisatiereacties
Trefwoorden	Polyurethaan, CO ₂ , mesomerie, duurzaam, polyether-polycarbonaat, PPP
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

www.technischweekblad.nl, 1 december 2016

Kooldioxide als grondstof voor plastic



© Covestro

Teake Zuidema

Zonder veel fanfare werd recentelijk in Düsseldorf EnCO₂re gelanceerd, een Europees samenwerkingsverband van universiteiten en bedrijven dat CO₂ promoot als alternatieve grondstof voor plastic.

De organisatie is opgestart door Climate-KIC, de Europese kennis- en innovatiegemeenschap voor klimaatinnovatie.

‘EnCO₂re wil technologieën naar de markt te brengen die de industriële CO₂-cyclus rondmaken’, zegt Ted Grozier, programmanager van EnCO₂re. ‘CO₂ is hier niet langer een afval, maar een grondstof. Op korte en middellange termijn zien wij de beste commerciële mogelijkheden voor het verwerken van kooldioxide in plastics en chemische tussenproducten.’

Plastic is doorgaans niet goed voor het milieu, maar Grozier wijst op de positieve aspecten:

‘Polymeren zijn uitermate belangrijk voor het duurzaam maken van transport. Zonder plastics kun je immers geen lichte en zuinige auto’s en vliegtuigen bouwen. De fundamentele vraag is hoe we dat plastic maken zonder niet-hernieuwbare grondstoffen als olie en gas.’

In welke mate kunnen nieuwe productiemethoden bijdragen aan lagere CO₂-emissies? ‘We zijn nog bezig doelen te formuleren’, zegt Grozier. ‘Onderzoek suggereert dat het in de toekomst mogelijk moet zijn jaarlijks 3,7 miljard ton kooldioxide te hergebruiken. Dat is 10 % van alle antropogene* CO₂-emissies.’

Kooldioxide in matrassen verwerken

EnCO2re is een partner van Covestro AG, een bedrijf dat in juni jongstleden in het Duitse Dormagen een fabriek opstartte die kooldioxide benut voor de productie van polyol, een voorloper van polyurethaanschuim, dat bijvoorbeeld wordt gebruikt in matrassen. Grozier: 'CO₂ vervangt in Dormagen 20 % van de propyleenoxide. Nee, de CO₂ zit niet in het schuimrubber, maar is een onderdeel van polymeerketen.'

Het heeft weinig zin kooldioxide afkomstig van kolencentrales te gebruiken. Grozier: 'Dat is niet een duurzame oplossing en de CO₂ van kolencentrales is bovendien niet puur. Het is beter productemissies te gebruiken, zoals de pure CO₂ die ontstaat bij het maken van staal en cement.'

** door mensen teweeggebracht*

"Plastic is doorgaans niet goed voor het milieu.", staat in het artikel.

- 1 Leg uit waarom het bedrijf Covestro toch koolstofdioxide als grondstof in, onder andere, plastics wil gaan verwerken.

Volgens het artikel heeft het weinig zin koolstofdioxide te gebruiken die afkomstig is van kolencentrales omdat deze oplossing niet duurzaam is en de koolstofdioxide niet puur is.

- 2 Leg uit waarom gebruik van CO₂ afkomstig van kolencentrales geen duurzame oplossing is.
- 3 Noem tenminste twee andere vervuilende stoffen die naast CO₂ in emissies van kolencentrales aanwezig zijn.
- 4 Leg uit waarom Ted Grozier van het bedrijf EnCO2re benadrukt dat CO₂ in de polymeerketen is opgenomen en niet als gas (als schuimmiddel) in het schuimrubber zit.

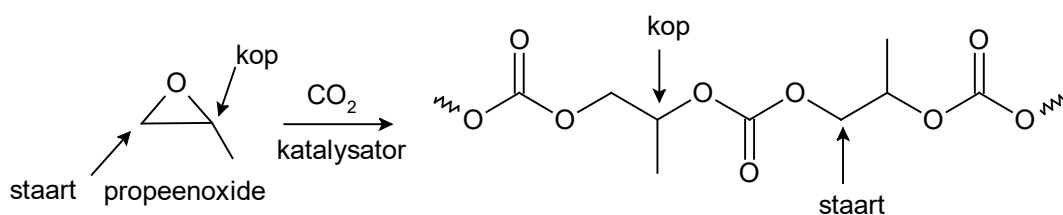
Polyol

Wetenschappers van Covestro werkten samen met experts van CAT Catalytic Center in Aken, een researchinstituut van de universiteit, om de juiste katalysator te vinden die de chemische reactie met CO₂ mogelijk zou maken. In Dormagen gebruikt Covestro de koolstof uit de CO₂ om een nieuw type polyol te maken. Dit zijn basisbouwstenen voor polyurethaan-schuim. De CO₂ wordt chemisch in het materiaal gesloten.

Bron:

<http://www.kunststofenrubber.nl/nieuws/id4008-fabriek-covestro-dormagen-geopend-pur-schuim-met-co2.html>,
17 juni 2016

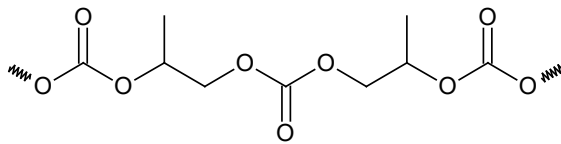
Het bedrijf Covestro produceert polyether- polycarbonaatpolyolen (PPP) als een grondstof voor polyurethanen. Ze laten bij de bereiding van PPP de stof propreenoxide (oude naam: propyleenoxide) onder invloed van een katalysator reageren met koolstofdioxide. In figuur 1 staat een mogelijke reactie weergegeven, waarbij het zogenoemde "kop-aan-staart" polymeer gevormd wordt.



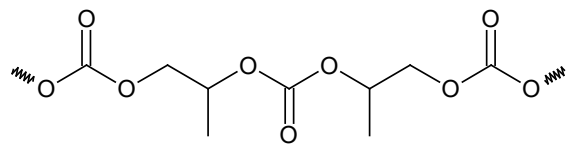
Figuur 1 Kop-aan-staart reactie

Propreenoxide en koolstofdioxide kunnen ook reageren tot “kop-aan-kop” en “staart-aan staart” polymeren.

In figuur 2 staan twee andere polymeren van de reactie tussen propreenoxide en koolstofdioxide weergegeven.



polymeer A



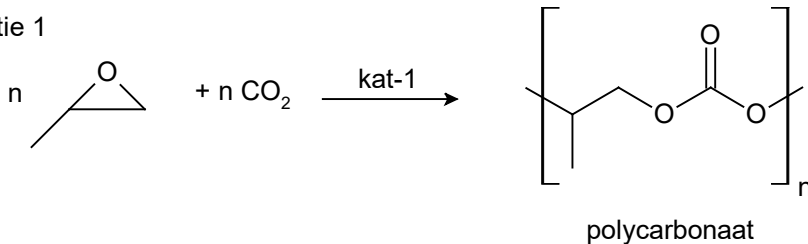
polymeer B

Figuur 2

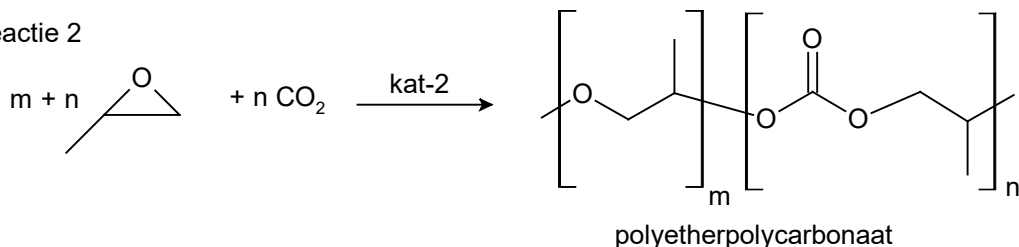
- 5 Neem onderstaande zin over en vul aan met “kop-aan-kop” of “staart-aan staart”:
Polymeer A is ontstaan door de reactie via

Afhankelijk van de gekozen katalysator kan er een polycarbonaat ontstaan of een polyetherpolycarbonaat zoals weergegeven in figuur 3.

reactie 1



reactie 2



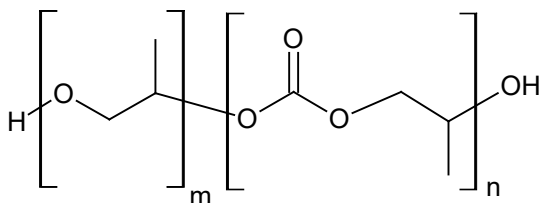
Figuur 3

- 6 Leg uit waarom men de naam carbonaat gebruikt voor het polymeer dat ontstaat in reactie 1 in figuur 3.
7 Licht de naam polyetherpolycarbonaat toe voor het product van reactie 2 in figuur 3.

Volgens Grozier vervangt in de fabriek in Dormagen de koolstofdioxide 20 % van de propyleenoxide.

- 8 Leg uit dat dit betekent dat men in de fabriek in Dormagen een polymeer maakt via reactie 2 en niet via reactie 1.

Het polymeer PPP heeft als kenmerk dat aan de uiteinden van de polymeerketen OH groepen aanwezig zijn (figuur 4).



Figuur 4

Bij de productie van polyurethanen is zo'n diol een van de reactanten.

Polyurethaan

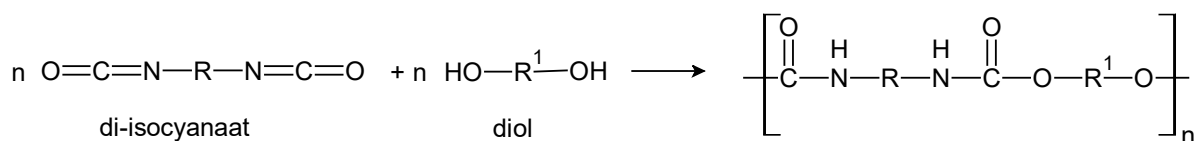
Het PPP gebruikt men om PPP-polyurethaan te maken dat geschikt is voor gebruik in, onder andere, matrassen.

Recticel, de Europese leider in polyurethaan toepassingen, gaat nog een stap verder. Ze stelt duurzaamheid voorop bij innovaties. In elke fase van het ontwikkelproces komt duurzaamheid terug, van aankoop van grondstoffen tot productie, consumptie en recycling en/of hergebruik. Eerder dit jaar kondigde Recticel aan het nieuwe cardyon® polyol met CO₂ basis, ontwikkeld door Covestro, te gebruiken bij de productie van haar soepelschuim.

Bron:

<https://www.intrakoop.nl/Organisatie/Nieuws/Paginas/Recticel,-voor-comfortabel-en-duurzaam.aspx>, 10 oktober 2016

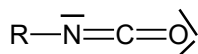
Het polymeer polyurethaan wordt gevormd uit diisocyaanatomoleculen en diolmoleculen, zoals schematisch weergegeven in figuur 5.



Figuur 5

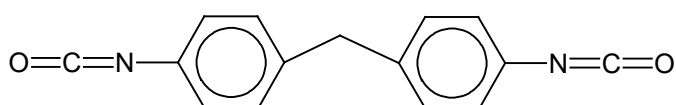
In een diisocyaanatomolecuul is mesomerie mogelijk vanwege de aanwezige isocyaanogroepen.

- 9 Noteer minimaal twee andere grensstructuren die mogelijk zijn voor het isocyaanatomolecuul waarvan de Lewisstructuur staat in figuur 6.



Figuur 6

- 10 Leg uit dat je de reactie tussen diisocyaanatomoleculen en diolmoleculen kunt opvatten als een additiereactie.
- 11 Teken de polymeerketen die ontstaat als twee PPP moleculen (gebruik weergave uit figuur 4) iedere reageren met een verschillend uiteinde van één diisocyaanatomolecuul (MDI) zoals hieronder in figuur 7 staat weergegeven.



Figuur 7 Structuurformule methyleendifenyldi-isocyaanaat (MDI)

Schuim

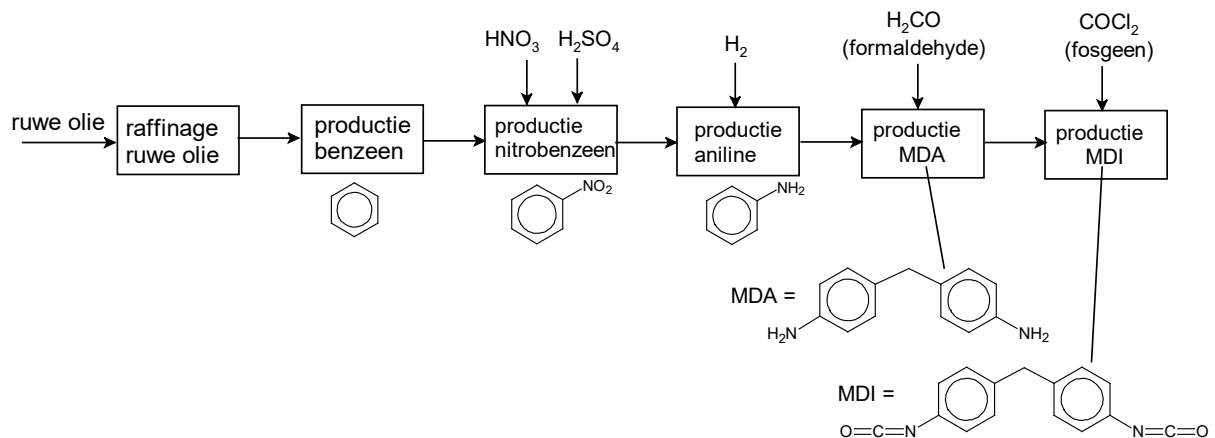
Schuim is een mengsel van gasbellen en een vloeistof of vaste stof. Bij plastics is schuimen een proces waarbij blaasmiddelen met een thermoplast of thermoharder worden gemengd, zodat onder bepaalde druk en temperatuur gasbelletjes in de massa ontstaan. Bij de reactie tussen PPP en diisocyanaat komt veel warmte vrij. Deze warmte gebruikt men om PPP-polyurethaan schuim te vormen. Als blaasmiddel kan bijvoorbeeld vloeibaar pentaan worden gebruikt.

12 Van welke stofeigenschap van pentaan maakt men dan gebruik?

Duurzaam?

Het bedrijf Recticel gaat het nieuwe polymeer PPP gebruiken voor de productie van hun polyurethanen.

In het blokschema in figuur 8 staat het productieschema van de grondstof methyleendifenyldi-isocyanaat (MDI) weergegeven. Daarmee wordt, samen met PPP het polyurethaan gemaakt.

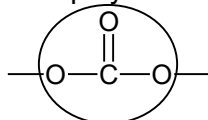


Figuur 8 Productie MDI

13 Schrijf een korte notitie voor de directie van Recticel (maximaal 50 woorden), waarin je hen een advies geeft over een meer duurzame productiemethode van polyurethaan.

Kooldioxide als grondstof voor plastic

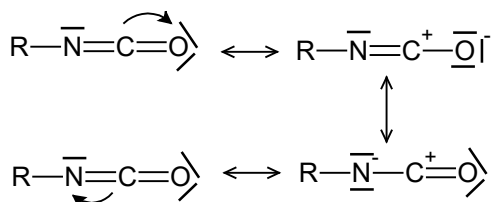
- 1 Zodat men minder niet-hernieuwbare grondstoffen als olie en gas hoeft te gebruiken.
- 2 Bij kolencentrales gebruikt men steenkool als brandstof, ook een niet-hernieuwbare grondstof.
- 3 Stikstofoxiden, fijn stof, zware metalen.
- 4 Het gas is dan niet definitief opgeslagen en zou dan langzaam kunnen ontsnappen.
- 5 Polymeer A is ontstaan door de reactie via "staart-aan-staart".
- 6 Het carbonaation (CO_3^{2-}) heeft ook één C atoom en drie O atomen, net als de groep die in de polymeerketen aanwezig is



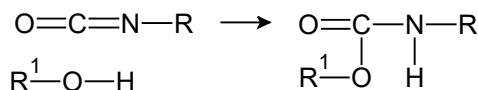
carbonaatgroep

- 7 Het polymeer polyetherpolycarbonaat is opgebouwd uit twee copolymeren. Het ene bevat een ethergroep C-O-C, dus een polyether. De andere bevat een carbonaatgroep, dus polycarbonaat
- 8 Als je bij reactie 1 minder mol CO_2 gebruikt, gebruik je ook evenveel minder mol propenoxide. Je vervangt dus niet propenoxide door CO_2 . Bij het polymeer van reactie 2, kun je variëren in de verhouding tussen m en n.

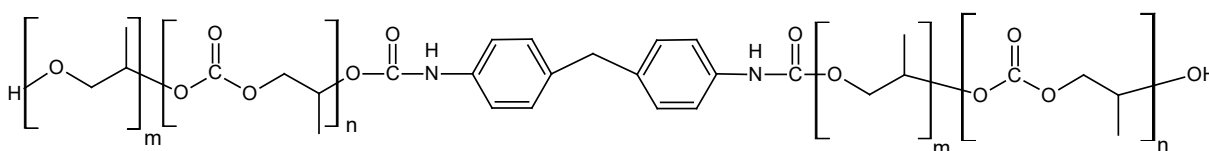
9



10



11



- 12 Dat het een vloeistof is die een laag kookpunt heeft en dus makkelijk een gas vormt.
- 13 Notitie met besef dat momenteel de gebruikte grondstof aardolie is. Bekeken moet worden of benzeen of nitrobenzeen of aniline gemaakt kan worden uit biomassa. Ook bekijken of de productiemethode van formaldehyde en fosgeen duurzaam is. Ook zou bekeken kunnen worden of een diisocynaat zonder benzeenringen, maar met bijvoorbeeld een glucose of fructosering, een goed alternatief kan zijn.

Alternatief vraag 13

In je Binasboek staan in tabel 97E gevarenaanduidingen en voorzorgsmaatregelen vermeld, de zogenoemde H en P zinnen.

Voor de stof methyleendifenyldi-isocynaat (structuurformule figuur 7) gelden de volgende H en P zinnen:

H-zinnen: H315 - H317 - H319 - H332 - H334 - H335 - H351 - H373

P-zinnen: P280 - P305+P351+P338 - P342+P311

Bron: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Methyleendifenyldi-isocynaat>

Het bedrijf Recticel gaat het nieuwe polymeer PPP gebruiken voor de productie van hun polyurethanen.

- 13 Schrijf een korte notitie, maximaal 50 woorden, voor de directie van Recticel, waarin je hen een advies geeft ten aanzien van de risico's en voorzorgsmaatregelen.

Artikel: <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/kooldioxide-als-grondstof-voor-plastic/item9718>

PUR KAN EEN STUK GROENER

Klas	5,6 v
Subdomein	Industriële processen en groene chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Groene chemie
Trefwoorden	PUR, polymeren, schuim, duurzaamheid, procesverbetering
Vaardigheidsvraag	Informatie-begripsvraag

www.nemokennislink.nl, 20 januari 2017

PUR kan een stuk groener

door Renée Moezelaar

We gebruiken elke dag allerlei producten waar PUR in zit. Het zit in matrassen, in muren en in de wieltjes van skateboards. Maar het productieproces van deze belangrijke stof is verre van duurzaam. Wetenschappers proberen groene alternatieven te vinden, maar de industrie heeft nog een zetje nodig om mee te werken.

In bijna elk huis in Nederland kun je PUR of *polyurethaan* terugvinden. Het bekendste voorbeeld van dit polymeer is PUR-schuim, dat in de muren zit en voor isolatie en vuurbestendigheid zorgt. Ook vind je PUR terug in de lak, bumpers en stoelen van je auto. Het zit in matrassen, banken en zelfs in je douchegordijn. Een erg flexibel en handig stofje dus en jaarlijks gaat er meer dan vijftig miljard dollar om in de productie en verkoop. Toch heeft PUR ook een donkere kant.

Wat is PUR?

PUR staat voor polyurethaan, een molecuul dat je kunt maken door isocyanaat en een polyol – een stof met meerdere alcoholgroepen van zuurstof en waterstof – met elkaar te mengen. Deze stoffen gaan een chemische reactie aan en vormen een polymeer, oftewel samengesteld molecuul. Om van dit polymeer het bekende schuim te maken voegen de producenten een vloeistof toe die door de warmte van de reactie gaat ‘koken’ en bellen vormt. Deze bellen zorgen voor de luchtige structuur van PUR die we in veel muren terugvinden. Om ruimte te besparen en transport makkelijker te maken combineren aannemers twee componenten vaak pas op locatie. Het schuim vormt zich dus pas als de stoffen samen tegen de muur aan worden gespoten.



Als isocyanaat en polyol bij elkaar worden gegooid ontstaat er meteen een schuim. Dit schuim neemt veel meer ruimte in dan de twee vloeistoffen.

In het artikel staat een aantal termen zoals 'polyol' en 'polymeer' met een korte uitleg.

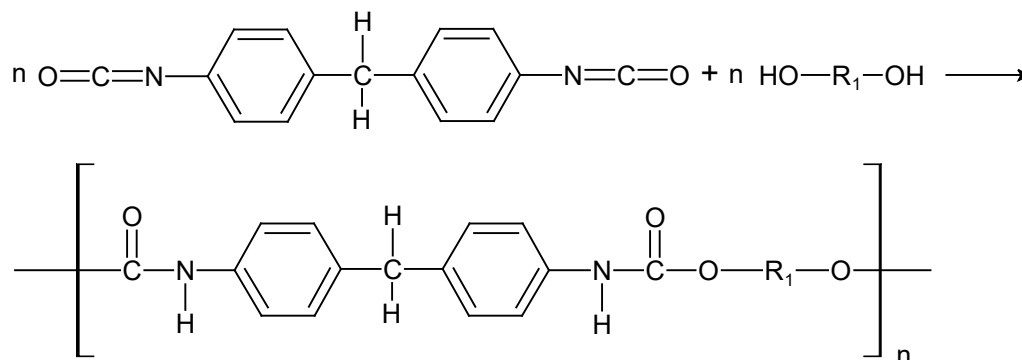
- 1 Geef in je eigen woorden weer wat je onder een polyol verstaat. Geef een structuurformule als voorbeeld.
- 2 Beschrijf wat je onder een polymeer verstaat. Gebruik eventueel een tekening.

Één van de bouwstenen van PUR is een isocyanaat. Met de algemene structuurformule: $R-N=C=O$.

- 3 Wat stelt R hierin voor?

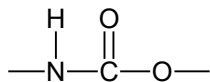
Niet groen PUR

In figuur 1 staat de reactievergelijking voor de vorming van een polyurethaan polymeer uit een diisocyanaat en een polyol met in ieder geval eindstandige OH-groepen: $HO-R_1-OH$.



Figuur 1

De kenmerkende groep in een polyurethaan keten is:



Figuur 2

- 4 Leg uit wat voor soort polymerisatie dit is: een additie- of een condensatiepolymerisatie.

Het artikel zegt: "Om van dit polymeer het bekende schuim te maken voegen de producenten een vloeistof toe die door de warmte van de reactie gaat 'koken' en bellen vormt."

- 5 Leg uit of de polymerisatie exotherm of endotherm is.
- 6 Leg uit op welk ogenblik in de PUR bereiding je deze vloeistof moet toevoegen om te bereiken dat je schuim krijgt: aan het begin of aan het eind van de polymerisatiereactie.
- 7 Leg uit dat PUR zo'n licht materiaal is ofwel een kleine dichtheid heeft.

Uit het artikel:

PUR werkt goed en veelzijdig, maar het productieproces van deze stof is niet bepaald milieuvriendelijk. Het bestaat uit de stoffen polyol en isocyanaat: polyol komt uit fossiele brandstoffen en isocyanaat maak je met fosgeen, een enorm giftig gas. Genoeg redenen dus voor onderzoekers om duurzame alternatieven te vinden die als het even kan ook niet zo gevaarlijk zijn.

Alternatieve reacties

Een van die onderzoekers is Paolo Pescarmona, die aan de Rijksuniversiteit Groningen werkt aan de ontwikkeling van duurzame chemische producten. Hij vertelt dat je de reactie op twee manieren kunt vergroenen: isocyaanaat vervangen door een minder giftige stof of polyol maken uit biogebaseerde grondstoffen – grondstoffen die je bijvoorbeeld uit planten of hout kunt halen. Maar dat is makkelijker gezegd dan gedaan, vooral omdat je rekening moet houden met de toepassingen van het schuim. “Je kunt PUR op dit moment al wel maken met andere grondstoffen, maar die reacties werken niet op locatie”, aldus Pescarmona. “Veel alternatieve reacties werken simpelweg niet snel genoeg.”

Het vervangen van isocyaanaat lukt al grotendeels; in plaats van deze giftige stof gebruiken wetenschappers steeds vaker zogenaamde diamines. Deze moleculen bestaan uit een keten van koolstof en waterstof, met aan beide uiteindes een groep van een stikstofatoom met twee waterstoffen eraan, de NH_2 -groep. Veel amines maken we nu nog gebaseerd op fossiele grondstoffen, maar Pescarmona ziet steeds meer biobased amines op de markt verschijnen. “Diamines zijn niet de meest veilige stoffen op aarde, maar wel een stuk groener en veiliger te maken dan isocyaanaat”, zegt Pescarmona.

Om uiteindelijk PUR te produceren combineer je de diamines met zogenoemde organische carbonaten. Pescarmona werkt zelf aan de combinatie van diamines en cyclische carbonaten, gemaakt van CO_2 . “We kunnen die moleculen niet maken van CO_2 uit de lucht”, licht hij toe. “Maar als je de reactie aan kunt sluiten op uitstoot van fabrieken met een hoge concentratie CO_2 maak je het hele proces nog groener.”

One-pot-reactie

Zo ver is het alleen nog niet. Voorlopig moet Pescarmona de reactie nog optimaliseren, want hij wil van de hele reactie van carbonaat tot PUR graag een one-pot-reactie maken. Bij zo’n reactie gooi je alle grondstoffen in een grote reactor en aan het eind komt er PUR uit. “Als je tussendoor niks hoeft te isoleren, kun je de reactie makkelijker opschalen”, legt de chemisch technoloog uit. “Dat scheelt weer een stap naar een eventuele industriële toepassing, maar dan moeten we eerst een katalysator vinden die alle processen in die pot tegelijk kan versnellen. Dat lukt niet zomaar, zo’n katalysator moet erg flexibel zijn.”

Ondertussen werken ook enkele grote chemische bedrijven zoals BASF aan alternatieve groene productiemethoden, maar Pescarmona verwacht niet dat ze van de een op andere dag hun hele proces om gaan gooien.

(...)

Een isocyaanaat wordt gemaakt uit twee stoffen: een amine, R-NH_2 , en fosgeen, COCl_2 .

- 8 Teken de structuurformule van het fosgeenmolecuul.
- 9 Geef de reactievergelijking voor de synthese van R-N=C=O uit R-NH_2 en COCl_2 weer. Gebruik de formules zoals in de vraag gegeven.

Groener PUR

Onderzoeker Pescarmona werkt aan de Rijksuniversiteit Groningen aan de ontwikkeling van duurzame chemische producten. Hij vertelt dat je de bereiding van PUR kunt ‘vergroenen’. In het artikel worden twee manieren genoemd waarop dit mogelijk is.

- 10 Noem deze twee manieren.
- 11 Beschrijf aan welk principe(s) van de groene chemie wordt tegemoetgekomen door toepassing van deze twee manieren.

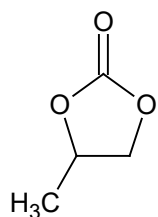
Volgens Pescarmona moet je rekening houden met de toepassingen van het schuim.

12 Verklaar het probleem dat optreedt bij het toepassen van de groenere grondstoffen.

In Groningen werkt men nu aan de reacties tussen diamines en organische carbonaten. Een voorbeeld van een diamine is butaan-1,4-diamine.

13 Teken de structuurformule van butaan-1,4-diamine.

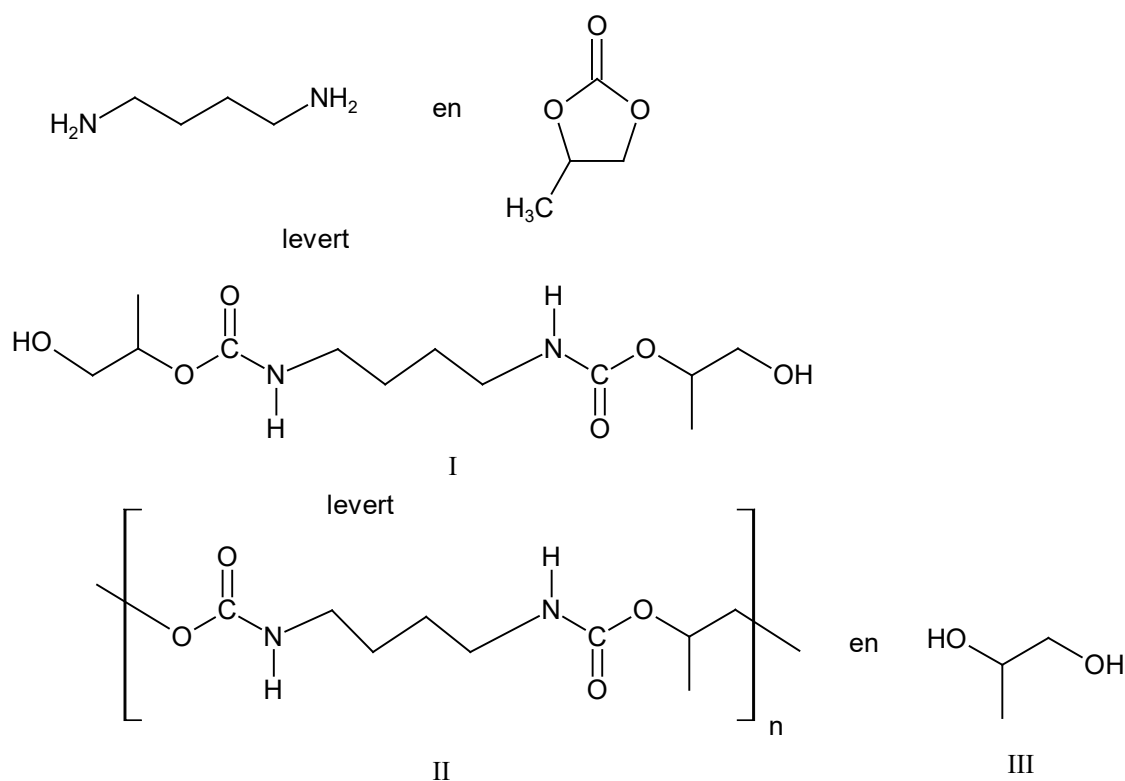
Een voorbeeld van de structuurformule van een organisch, cyclisch carbonaat, propyleencarbonaat, staat in figuur 3.



Figuur 3 Propyleencarbonaat

14 Leg met behulp van de structuurformule uit waarom dit een carbonaat wordt genoemd.

De reactie van butaan-1,4-diamine en propyleencarbonaat levert via een tussenproduct een polyurethaan, zie figuur 4.



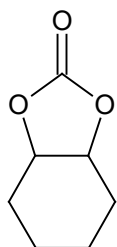
Figuur 4

15 Hoe kun je aan de structuurformule van II zien dat dit een polyurethaan voorstelt?

Het polymeer in *figuur 4* is een flexibel polymeer. Het polymeer in *figuur 1* is opgebouwd uit een flexibel stuk en een rigide (stijf) stuk. De rigiditeit wordt veroorzaakt door de twee benzeenringen.

Door te variëren in de cyclische carbonaten kun je ook rigide stukken maken in de keten.

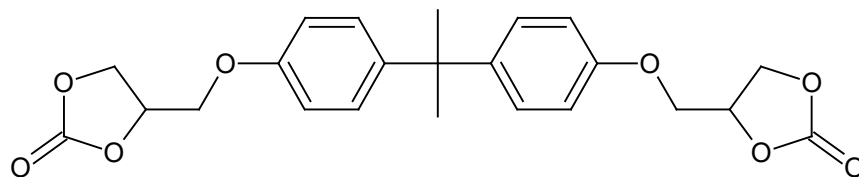
In *figuur 5* staat een voorbeeld van een cyclisch carbonaat getekend waarmee onderzoekers rigiditeit willen bereiken in het polymeer.



Figuur 5

- 16 Teken een stukje van de polymeerketen (analoog aan structuur II in *figuur 4*) als dit monomeer gebruikt wordt bij de polymerisatie.

Polyurethanen met onvertakte ketens zijn thermoplasten. In *figuur 6* staat de structuurformule van een molecuul dat men gebruikt om te onderzoeken of er polyurethanen kunnen worden gevormd die thermoharders zijn.



Figuur 6

- 17 Leg uit dat het gebruik van dit molecuul inderdaad kan leiden tot een thermoharder.

Pescarmona wil van de reactie graag een 'one-pot reactie' maken.

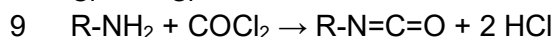
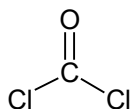
- 18 Leg uit wat je onder een 'one-pot-reactie' verstaat.

- 19 Leg uit waarom het belangrijk is dat de vorming van PUR groener wordt gemaakt.

PUR kan een stuk groener

- 1 Een polyol is een organische verbinding met een molecuul met meerdere hydroxylgroepen, OH-groepen.
- 2 Een polymeer is een keten van monomeren, die aan elkaar zijn verbonden door middel van chemische reacties.
- 3 De R zal een restgroep voorstellen, het kan een koolstofhoudende groep zoals een alkylketen zijn. Het doet er echter niet zoveel toe welke groep het is.
- 4 Het is een additiepolymerisatiereactie. De O van de O-H groep is geaddedeerd aan de C van de N=C=O groep. De H van de O-H groep komt aan de N van de N=C=O groep vast zitten. Er komt geen (klein) molecuul vrij.
- 5 Er is voldoende warmte om de vloeistof te laten koken, zodat gasbellen gevormd worden. De polymerisatie moet dus exotherm zijn.
- 6 De vloeistof mengen met een van de uitgangsstoffen, waardoor de gasbellen overal in het reagerende mengsel zullen ontstaan.
- 7 Een deel van de ruimte wordt nu ingenomen door de gasbellen die een kleinere dichtheid hebben dan het product van de polymerisatie. De dichtheid van het totale product zal dus kleiner zijn

8



10 Isocyanaat vervangen door een minder giftige stof.

Polyolen niet uit aardolie halen maar uit duurzame grondstoffen zoals planten.

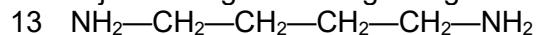
11 Binas tabel 97F, uitgangspunten Groene chemie:

- 1 *Preventie*: als je niet het milieuvervuilende proces hoeft te volgen om isocyanaat te maken.

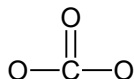
- 3 *Minder schadelijke chemische productiemethode*: zie hierboven

- 7 *Gebruik van hernieuwbare grondstoffen*: bio polyolen

12 PUR wordt vaak gemaakt op de plaats van gebruik. Dit lukt met de nieuwe grondstoffen blijkaar nog niet snel genoeg.

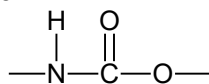


14 Je ziet boven in de structuurformule een groep

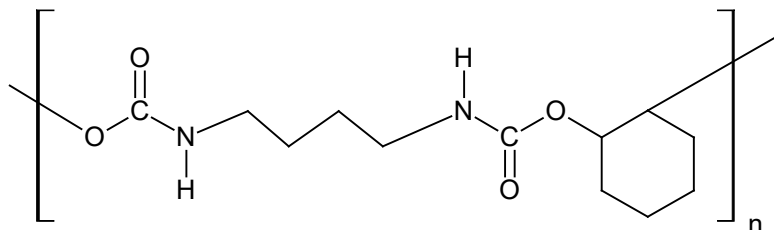


Een carbonaat is een zout met een ion met formule CO_3^{2-} .

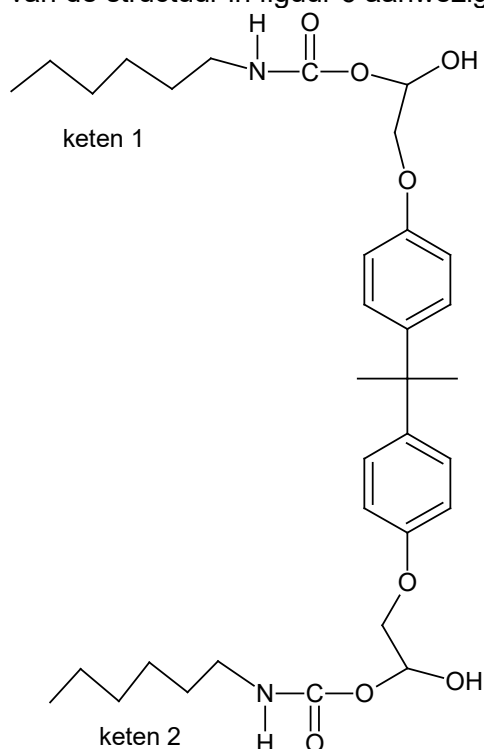
15 Je ziet een keten weergegeven met urethaangroepen erin:



16



- 17 Ja. Een analoog van structuur I uit figuur 4: Er kunnen nu dwarsverbindingen tussen ketens gevormd worden doordat er twee reactieve cyclische carbonaten aan de uiteinde van de structuur in figuur 6 aanwezig zijn

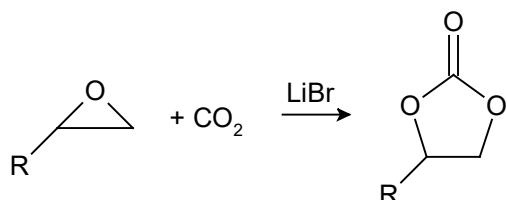


- 18 Een one-pot-reactie is een chemische reactie waarbij alle stappen van de synthese in één reactievat plaatsvinden onder dezelfde omstandigheden met behulp van dezelfde katalysator.
- 119 PUR is een veel gebruikt materiaal met zeer nuttige toepassingen. Maar je wilt door de productie zo weinig mogelijk milieuschade veroorzaken. Dus is het zaak om het hele proces kritisch te bekijken.

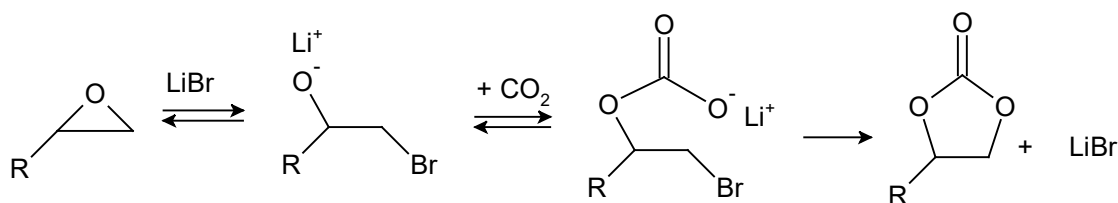
Artikel: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/pur-kan-een-stuk-groener>

Achtergrondinformatie

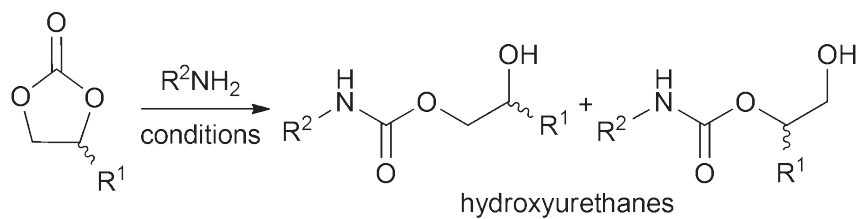
A Vorming organisch cyclisch carbonaat



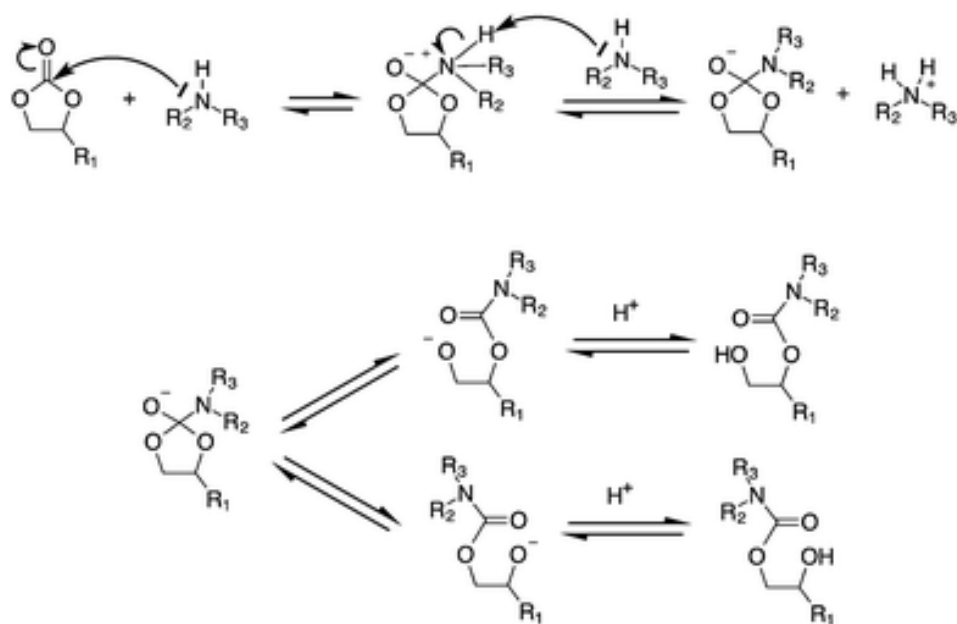
Stappen:



B Reactie amine met organisch cyclisch carbonaat



Mechanisme

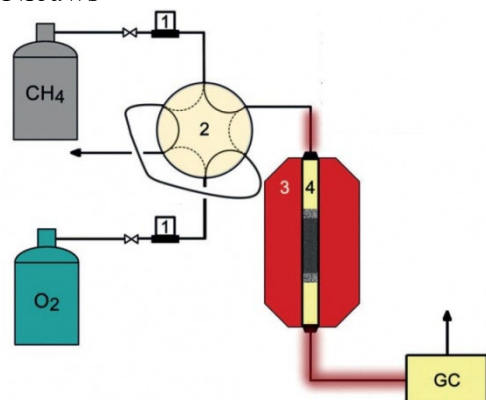


METHAAN PULSEND VLOEIBAAR MAKEN

Klas	5 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische reacties
Trefwoorden	Methaan, benzeen, Mo_2C , MoO_3 , katalysator; zeoliet, poreus
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 9 december 2016

Nieuws



Methaan pulsend vloeibaar maken

Met nu en dan een zuurstofinjectie hou je de katalytische omzetting van methaan in benzeen veel langer vol. Wellicht wordt het zo zelfs commercieel aantrekkelijk, suggereren Eindhovense en Delftse onderzoekers in *Angewandte Chemie*.

Die benzeensynthese is een van de voor de hand liggende manieren om aardgas vloeibaar te maken, zodat je het goedkoper kunt vervoeren. Een combinatie van molybdeencarbide (Mo_2C) en een ZSM-5 zeoliet is geschikt als katalysator: molybdeen activeert methaan en de poriestructuur van de zeoliet zorgt dat benzeen het overheersende reactieproduct is. Qua optimale temperatuur moet je denken aan zo'n 700°C .

Zonder die zeoliet krijg je veel grotere aromatische moleculen, omdat dat thermodynamisch de voorkeur heeft. De vakterm is 'coke', net zoiets als roet. Probleem is alleen dat je mét zeoliet nog steeds coke krijgt naast je benzeen. Binnen korte tijd verstopt dat je poriën.

Elders binnen de petrochemie brandt men die coke periodiek weg door eventjes zuurstof toe te voeren. Maar in dit geval moet je daarvoor eerst de reactor laten afkoelen tot 500°C : als je het bij 700°C probeert wordt je molybdeencarbide geoxideerd tot molybdeenoxides die vervolgens gaan reageren met aluminium in de zeolietstructuur: einde katalysator. En telkens moeten wisselen tussen 500 en 700°C is energetisch onaantrekkelijk genoeg om het hele proces kansloos te maken.

Emiel Hensen, Freek Kapteijn en collega's hebben nu ontdekt dat je dit kunt ondervangen door regelmatig een korte zuurstofpuls toe te voegen aan het methaan. Denk aan een puls van een minuut, met tussenpozen van twaalf minuten.

Ook dan wordt Mo_2C omgezet in MoO_3 , waarbij de koolstof eindigt als CO. Die MoO_3 katalyseert vervolgens de gedeeltelijke oxidatie van de coke tot nog meer CO, waaraan de rest van de zuurstofpuls opgaat. De kunst is precies voldoende zuurstof toe te dienen om de coke te verbranden

die is gevormd sinds de vorige zuurstofpuls; zo voorkom je dat er bij gebrek aan iets anders ook methaan wordt verbrand. Bovendien krijgt MoO_3 zo niet de kans voor een reactie met aluminium uit de zeoliet.

Dát het zo werkt, hebben ze in Eindhoven kunnen aantonen door methaan te gebruiken waarin de gebruikelijke ^{12}C was vervangen door de isotoop ^{13}C .

Als de zuurstof op is, reageert MoO_3 met methaan en wordt zo weer omgezet in Mo_2C . Bijproduct is waterstof, dat je ook inderdaad kunt detecteren bij de uitlaat van de reactor.

Voorlopig is het alleen geprobeerd op laboratoriumschaal; Hensen hoopt dat het proces zich laat opschalen maar garanderen kan hij het niet. Petrochemiebedrijf Sabic, dat binnen het CatC1Chem-programma met de universiteiten samenwerkt, heeft toch maar vast octrooi aangevraagd.

bron: TU Eindhoven

Methaan omzetten in benzeen heeft het grote voordeel dat je het goedkoper kunt vervoeren. Met korte zuurstofpulsen willen onderzoekers de procesvoering verbeteren.

- 1 Geef de reactievergelijking van de omzetting van methaan in benzeen zonder zuurstof. Bedenk welk nevenproduct ook zal ontstaan.
- 2 Welk nadeel kleeft er aan deze katalytische omzetting van methaan in benzeen?

De katalysator is aangebracht op een poreuze drager.

- 3 Waarom gebruikt men een poreuze drager?
- 4 Waarom gebruikt men niet zuiver Mo_2C in plaats van een laagje Mo_2C op een poreuze drager? Geef twee redenen.

Het genoemde nadeel kan tegengegaan worden door de gevormde 'coke' weg te branden.

- 5 Verklaar de benaming 'coke'.
- 6 Welk nadelen kleven er aan de wegbrandmethode?

De onderzoekers hebben de nadelen ondervangen door gebruik te maken van een pulserende zuurstoftoevoer.

- 7 Beschrijf kort de gebruikte nieuwe methode.
- 8 Geef de reactievergelijking die optreedt als Mo_2C omgezet wordt in MoO_3 .

Bij de pulserende zuurstofmethode ontstaat dus ook MoO_3 .

- 9 Welke functie vervult het gevormde MoO_3 ?
- 10 Wat is de kunst hierbij?

In de laatste stap reageert methaan met MoO_3 waarbij weer Mo_2C ontstaat.

- 11 Laat zien dat deze omzetting van MoO_3 in Mo_2C een redoxreactie is.
- 12 Geef de reactie tussen MoO_3 en methaan in een vergelijking weer waarbij ook koolstofmono-oxide en waterstof ontstaan.

Men heeft kunnen bewijzen dat het proces verloopt, zoals is beschreven, door gebruik te maken van 'gelabeld' koolstof in methaan: met de isotoop ^{13}C in plaats van ^{12}C .

- 13 Beschrijf het verschil tussen beide isotopen.
- 14 Leg uit waardoor het gebruik van ^{13}C heeft geholpen bij het vaststellen van de reacties die tijdens het proces verlopen.

De titel van de opgave is een beetje verwarrend weergegeven.

- 15 Wat is er verwarrend aan de titel?
- 16 Geef een titel die beter past bij het artikel.

Methaan pulsend vloeibaar maken

- 1 $6 \text{ CH}_4 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 9 \text{ H}_2$.
- 2 Er ontstaat ook 'coke' die de poriën van de poreuze drager verstoppen..
- 3 Een poreuze drager heeft een zeer groot aanrakingsoppervlak.
- 4 Zoveel Mo_2C is veel te duur. De Mo_2C heeft van zichzelf geen poreuze structuur.
- 5 Het zijn grote aromatische moleculen waarbij verhoudingsgewijs ook heel veel koolstof als element aanwezig is.
- 6 De temperatuur moet verlaagd worden van 700°C tot onder 500°C om te voorkomen dat er MoO_3 ontstaat. Telkens afkoelen en opwarmen is energetisch erg ongunstig. Niet verlagen van de temperatuur betekent dat de katalysator zijn werk niet meer doet.
- 7 Tussendoor steeds een korte zuurstofpuls waardoor de gevormde 'coke' weer wegreageert.
- 8 $2 \text{ Mo}_2\text{C} + 7 \text{ O}_2 \rightarrow 4 \text{ MoO}_3 + 2 \text{ CO}$.
- 9 MoO_3 werkt als katalysator bij de oxidatie van 'coke' tot CO.
- 10 De kunst is om net voldoende zuurstof toe te voegen om alle 'coke' te laten verdwijnen.
- 11 MoO_3 bestaat uit Mo^{6+} en O^{2-} . Mo_2C bestaat uit Mo^{2+} en C^{4-} . De lading van het molybdeenion is veranderd dus er heeft elektronenoverdracht plaatsgevonden.
- 12 $2 \text{ MoO}_3 + 7 \text{ CH}_4 \rightarrow \text{Mo}_2\text{C} + 14 \text{ H}_2 + 6 \text{ CO}$.
- 13 Het zijn isotopen dus ze verschillen in het aantal neutronen in de kern: ^{13}C heeft 7 neutronen, ^{12}C 6 neutronen in de kern.
- 14 ^{13}C is radioactief dus kan er bepaald worden waar zich dit koolstofatoom bevindt, dus in welk molecuul.
- 15 Het is niet dat methaan vloeibaar gemaakt wordt maar dat er een stof, benzeen, ontstaat die bij kamertemperatuur vloeibaar is.
- 16 Benzeen uit methaan maken door kleine stootjes zuurstof.

NIEUWE FLOWBATTERIJ I

Klas	3 hv
Subdomein	Energie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Exotherm
Trefwoorden	Elektrolyse, beginstoffen-reactieproducten, reactievergelijking
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

www.duurzaamnieuws.nl, 8 november 2016

Nieuwe flowbatterij maakt opslag energie rendabel



De 'waterstofbromide flowbatterij' is een innovatieve batterij die een nieuwe en betaalbare manier van energieopslag mogelijk maakt. Daardoor kunnen zonne- en windenergie concurrerend worden met fossiele brandstof. Een consortium, bestaande uit Witteveen+Bos, Elestor BV, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN), onderzoekt met deze pilot op welke manier de batterij op grotere schaal kan worden ingezet. De pilot is een primeur in Europa.

De door Elestor BV ontwikkelde waterstofbromide flowbatterij maakt het mogelijk om elektriciteit, zoals gegenereerd door duurzame energiebronnen, op te slaan tegen een fractie van de kosten van de huidige technologieën. (...) In de flowbatterij van Elestor bevinden de beide chemische componenten zich elk in een eigen gesloten circuit. De componenten zijn van elkaar gescheiden. Als op de batterij een spanning wordt aangelegd, vindt een reactie plaats, waarbij de batterij geladen wordt. Bij het ontladen vindt de reactie in omgekeerde richting plaats. (...) De beide chemische componenten zijn op aarde in overvloed aanwezig en daardoor zeer goedkoop. Het flowbatterij principe is al enige tijd bekend, maar werd in deze vorm nog niet eerder in de gebouwde omgeving toegepast.

Flowbatterijen worden ontwikkeld om elektrische energie op te slaan die opgewekt is door duurzame energiebronnen.

- 1 Noem tenminste drie duurzame energiebronnen.
- 2 Leg uit waarom men elektrische energie wil kunnen opslaan.

- 3 Welke energieomzetting vindt plaats bij opladen en ontladen van een flowbatterij?
- 4 Noem twee voordelen van het gebruik van de flowbatterij ten opzichte van bestaande batterijen, die het artikel vermeldt.

Een van de stoffen in de flowbatterij is waterstofbromide. Tijdens het opladen van de batterij reageert de waterstofbromide-oplossing waarbij waterstofgas en een broomoplossing ontstaan.

- 5 Noteer de vergelijking van deze reactie. Noteer ook de fases.
- 6 Leg uit of bij het opladen sprake is van een elektrolyse.

Bij het ontladen van de batterij treedt de omgekeerde reactie op.

- 7 Leg uit of het ontladen een endotherm of exotherm proces is.

Nieuwe flowbatterij I

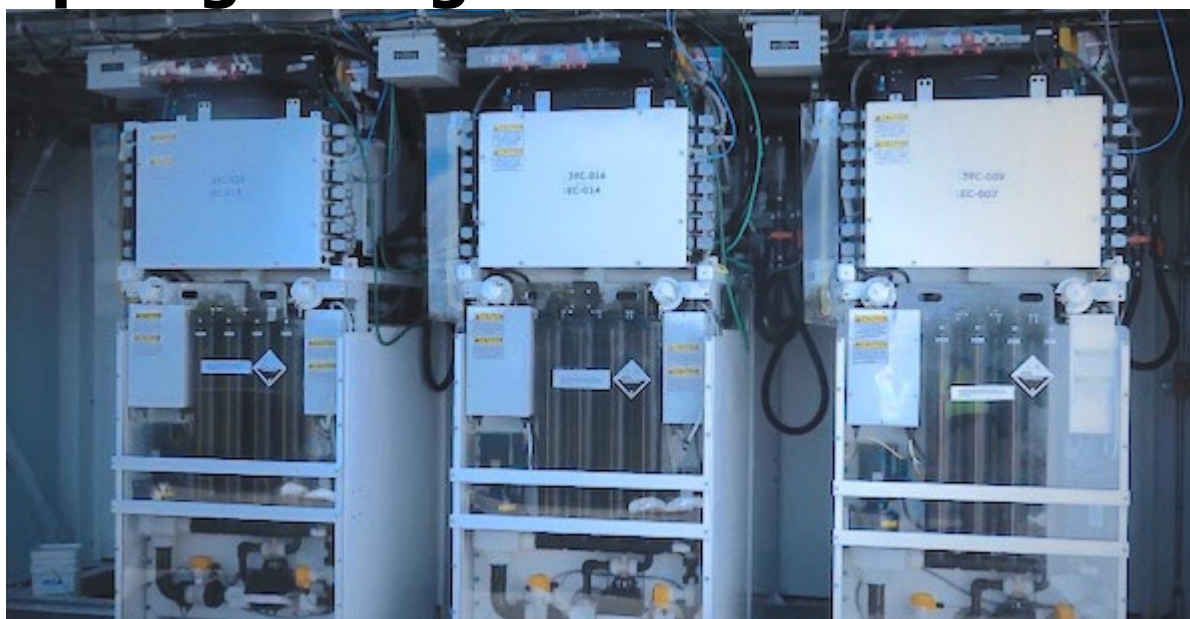
- 1 Windenergie, zonne-energie, waterkracht, geothermische energie
- 2 Opgewekte energie is niet altijd direct nodig, dus men wil manieren vinden om die energie op te slaan en pas vrij te maken als de energie wel nodig is.
- 3 Bij het opladen wordt elektrische energie omgezet in chemische energie. Bij het ontladen chemische energie in elektrische energie.
- 4 De opslag van elektrische energie is rendabel. De gebruikte stoffen zijn goedkoop.
- 5 $2 \text{HBr(aq)} \rightarrow \text{H}_2\text{(g)} + \text{Br}_2\text{(aq)}$
- 6 Ja, want je ontleedt met behulp van elektrische energie één stof in twee andere stoffen.
- 7 Een exotherm proces, want er komt elektrische energie vrij.

NIEUWE FLOWBATTERIJ II

Klas	5 h, 5,6 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Redoxreactie
Trefwoorden	Halfreactie, spanning, energie
Vaardigheidsvraag	Informatieselectievraag

www.duurzaamnieuws.nl, 8 november 2016

Nieuwe flowbatterij maakt opslag energie rendabel



De 'waterstofbromide flowbatterij' is een innovatieve batterij die een nieuwe en betaalbare manier van energieopslag mogelijk maakt. Daardoor kunnen zonne- en windenergie concurrerend worden met fossiele brandstof. Een consortium, bestaande uit Witteveen+Bos, Elestor BV, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN), onderzoekt met deze pilot op welke manier de batterij op grotere schaal kan worden ingezet. De pilot is een primeur in Europa.

De door Elestor BV ontwikkelde waterstofbromide flowbatterij maakt het mogelijk om elektriciteit, zoals gegenereerd door duurzame energiebronnen, op te slaan tegen een fractie van de kosten van de huidige technologieën. (...) In de flowbatterij van Elestor bevinden de beide chemische componenten zich elk in een eigen gesloten circuit. De componenten zijn van elkaar gescheiden door een selectief membraan, dat alleen protonen doorlaat.

Als op de batterij een spanning wordt aangelegd, vindt een redoxreactie plaats, waarbij protonentransport door het membraan plaatsvindt en de batterij geladen wordt. Bij het ontladen vindt de reactie in omgekeerde richting plaats. Doordat deze redoxreactie 100 % omkeerbaar is, kent het proces intrinsiek geen degradatie, waardoor de opslagcapaciteit van het systeem na verloop van tijd niet afneemt. De beide chemische componenten zijn op aarde in overvloed aanwezig en daardoor zeer goedkoop. Met name dit aspect, gecombineerd met het door Elestor gepatenteerde systeemontwerp, heeft in een opslagsysteem geresulteerd waarvan de opslagkosten per kWh relatief

heel laag zijn. Het flowbatterij principe is al enige tijd bekend, maar werd in deze vorm nog niet eerder in de gebouwde omgeving toegepast.

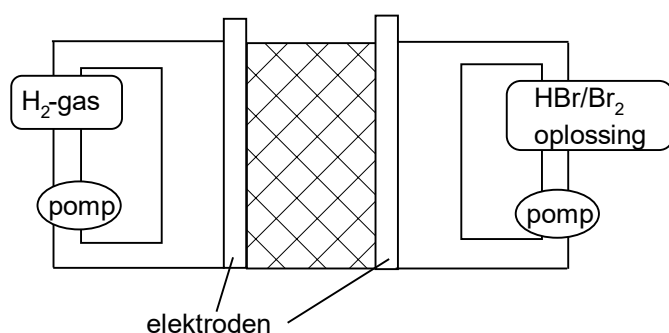
Flowbatterijen worden ontwikkeld om elektrische energie op te slaan, die is gegenereerd door duurzame energiebronnen.

- 1 Noem tenminste drie duurzame energiebronnen.
- 2 Leg uit waarom men elektrische energie wil kunnen opslaan.
- 3 Noem twee voordelen bij het gebruik van deze flowbatterij ten opzichte van bestaande batterijen, die het artikel vermeldt.

Een flowbatterij bestaat uit een centraal gedeelte met twee elektroden ('de cel'), twee opslagtanks en twee pompen. De pompen laten de vloeistoffen uit de tanks naar de cel stromen, elk langs een elektrode. Een membraan voorkomt menging van de vloeistoffen, maar laat wel kleine geladen ionen door. De flowbatterij levert stroom doordat opgeloste stoffen met elkaar reageren. Omdat de stoffen geen direct contact hebben, verloopt de reactie via de elektroden, wat voor stroom zorgt. Bij het opladen vindt de omgekeerde reactie plaats en keren de uitgangsstoffen terug.

Bron: Trouw, 14 november 2015

Bij een waterstofbromide flowbatterij is in de ene opslagtank een oplossing van Br_2 en HBr aanwezig. In de andere opslagtank zit waterstofgas. In figuur 1 staat de redoxflowbatterij schematisch weergegeven



Figuur 1

Bij het ontladen van de flowbatterij, dus tijdens stroomlevering, reageert aan de ene elektrode het aanwezige Br_2 .

- 4 Noteer de halfreactie die optreedt aan die elektrode.
- 5 Noteer de halfreactie die optreedt aan de andere elektrode.
- 6 Leg uit in welke richting de protonen het membraan passeren tijdens stroomlevering.

Indien de batterij opgeladen wordt met elektrische energie (uit liefst duurzame bronnen), dan treden de omgekeerde halfreacties op.

- 7 Geef de naam van het proces dat optreedt als de waterstofbromide flowbatterij wordt opgeladen.
- 8 Bereken met behulp van Binas tabel 48 welke spanning minimaal moet worden aangelegd om de waterstofbromidebatterij onder standaardomstandigheden op te laden.

Nieuwe flowbatterij II

- 1 Windenergie, zonne-energie, waterkracht, geothermische energie
- 2 Opgewekte energie is niet altijd direct nodig, dus men wil manieren vinden om die energie op te slaan en pas vrij te maken als de energie wel nodig is.
- 3 De opslag van elektrische energie is rendabel. De gebruikte stoffen zijn goedkoop.
- 4 $\text{Br}_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Br}^-$
- 5 $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$
- 6 Ze ontstaan aan de elektrode in de halfcel met waterstofgas en gaan door het membraan naar de kant met de Br_2/HBr oplossing. In de tekening dus van links naar rechts.
- 7 Elektrolyse
- 8 $V^0(\text{Br}_2/\text{Br}^-) = 1,09 \text{ V}$; $V^0(\text{H}_2/\text{H}^+) = 0,0 \text{ V}$: minimale spanning $0,0 - (-1,09) = 1,09 \text{ V}$.

OUDE BANDEN, GLOEDNIEUWE CARBON BLACK

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Recycling
Trefwoorden	Autobanden, koolstof, carbon black, pyrolyse, recycling, koolstofdioxide
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 12 december 2016



Oude banden, gloednieuwe carbon black

Black Bear Carbon bouwt fabrieken om carbon black uit autobanden te recyclen. Dit zwarte goedje is gewild, omdat het onder meer de rolweerstand vermindert.

Carbon black, elementaire koolstof, is een goudmijn verstopt in oude banden. Carbon black terugwinnen met pyrolyse maakt van oude banden een nuttige grondstof. Start-up Black Bear Carbon kreeg het pyrolyseproces onder de knie en produceert daarbij meer energie dan het proces zelf vergt. Het is een win-winsituatie voor het milieu en het bedrijf.

PAK's te lijf

Carbon black is elementaire koolstof die bijvoorbeeld de letters van deze tekst zwart maakt. Behalve als pigment in verf en inkt, vindt carbon black vooral toepassing in de bandenindustrie. De koolstof verbetert de rolweerstand, de slijtvastheid en de grip op de weg.

Jaarlijks gaat wereldwijd voor ongeveer € 3 miljard aan carbon black met oude autobanden verloren. Het is dus geen wonder dat onderzoekers sinds de jaren zeventig van de vorige eeuw proberen de elementaire koolstof uit de band terug te winnen. 'Twee obstakels voorkwamen tot nu toe commercieel succes', zegt Twigg. 'Het lukte niet om carbon black met een constante kwaliteit te maken. Elke bandenfabrikanten gebruikte zijn eigen carbon black-variëteiten, de terugwinning leverde daardoor een variabele mix aan carbon black. We lossen dit op door banden op kwaliteit te selecteren door elke individuele band in 1 seconde te analyseren.' De analysemethode houdt het bedrijf geheim.

Het tweede obstakel was het gevolg van het pyrolyseren van de autobanden. Twigg: 'Daarbij bleven vluchtige organische componenten, zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), achter op het oppervlak van de koolstof. Dat heeft ernstige gevolgen voor de oppervlaktechemie en daarmee de bruikbaarheid van het carbon black. Dit lossen we op met een tweede pyrolyse, waarbij we de geadsorbeerde koolwaterstoffen verwijderen. Het product is dan zelfs schoner dan het was bij de productie van de band.'

Het gaat hierbij om minder dan 5 ppm PAK's tegenover zeker 200 ppm in carbon black uit aardolie.

Hogere segmenten

In de fabriek, die sinds september operationeel is, draaien beide pyrolyse-ovens langzaam rond, bij temperaturen tussen de 600 en 800 °C. Patricia Geelen, polymeerchemicus bij Black Bear Carbon: 'In de eerste oven brengen we 'geshredderde', metaalvrije autobanden in. Het rubber warmt langzaam op, waardoor het bros wordt. In de zuurstofvrije atmosfeer ontleedt al het rubber en de kunststof tot pyrolysegas. De elementaire koolstof blijft onveranderd achter. Het pyrolysegas vangen we op en condenseren we deels tot olie (30 % gas en 70 % olie) die we verkopen. Het resterende gas voedt een elektrische generator die onze fabriek van stroom voorziet.'

Vervolgens stroomt het carbon black over naar de tweede pyrolyseoven en dan naar een tientallen meters hoog filter dat het koolstofpoeder concentreert. Geelen: 'In een jet mill (luchtstraalmolen, red.) botsen stikstofstromen met daarin de deeltjes met supersone snelheid op elkaar. De deeltjes vermalen elkaar tot een uniforme korrelgrootteverdeling. Om het materiaal hanteerbaar te maken, maken we er brosse pellets van.' Twigg: 'Onze grootste uitdaging is de vier processtappen synchroniseren: pyrolyse, condenseren, malen en pelleteren.'

(....)

Twigg: 'De traditionele productie van 1 ton carbon black uit aardolie levert 3,2 ton CO₂ op. Ons proces spaart 1,6 ton CO₂. We realiseren dus een reductie van de CO₂-emissie met 4,8 ton. Met de pyrolyseproducten kunnen we de hele fabriek van energie voorzien. We houden dan energie over in de vorm van koolstof vastgelegd in de pyrolyseolie. Vandaar onze negatieve CO₂-voetafdruk.'

Het energieoverschot zorgt ervoor dat Black Bear Carbon kan concurreren met de carbon black uit aardolie. 'De prijs van onze grondstof, banden, fluctueert nauwelijks, in tegenstelling tot die van aardolie', vertelt Twigg.

Oude rubberbanden blijken nog een waardevolle stof te bevatten: carbon black. Carbon Black kent een tweetal toepassingen.

- 1 Welke twee toepassingen worden er genoemd?
- 2 Welke stofeigenschap is het belangrijkste bij elk van beide toepassingen?

Tot nu toe waren er een aantal obstakels die het terugwinnen van carbon black uit autobanden als commercieel proces in de weg stonden.

- 3 Welk twee obstakels worden genoemd?
- 4 Hoe heeft men deze twee obstakels overwonnen?

Pyrolyse is het sleutelbegrip bij de terugwinning van carbon black uit autobanden.

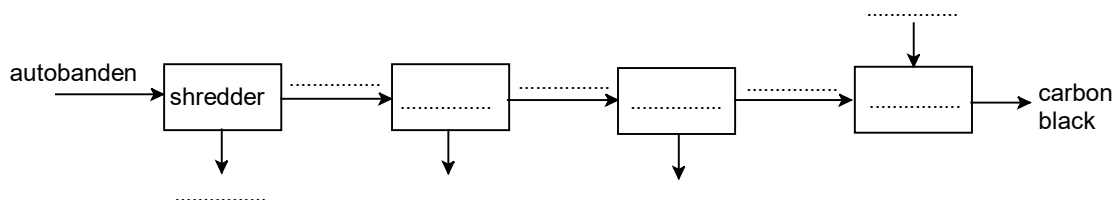
- 5 Wat voor type reactie is pyrolyse? Licht je antwoord toe.
- 6 Wat gebeurt er bij de eerste pyrolysestap?
- 7 Waarom is een zuurstofvrije atmosfeer nodig?

De tweede stap is het verder opwerken van ruwe carbon black die bij de eerste stap ontstaat.

- 8 Beschrijf hoe de tweede stap verloopt.

- 9 Wat is de laatste stap in de verwerking?
- 10 Leg uit of deze beschrijving op micro-, op macroniveau of op beide niveaus gedaan wordt.

Hieronder staat het onvolledige blokschema van het totale proces.



- 11 Neem het blokschema over en vul het ontbrekende aan.

Naast de voordelen van hergebruik komt Twigg met nog een extra argument op milieugebied om het nieuwe proces aan te prijzen. Hij noemt een besparing van 4,8 ton koolstofdioxide per ton geproduceerde carbon black.

- 12 Licht toe hoe hij tot dat getal van 4,8 ton komt.
- 13 Leg uit waardoor het nieuwe proces een negatieve koolstofdioxidebalans heeft.
- 14 Waarom is reductie van de uitstoot van koolstofdioxide zo'n hot item?

Pyrolyseproducten na pyrolyseren van autobanden

De andere componenten die het pyrolyseproces oplevert zijn olie en gas. De vloeibare pyrolyse-olie bestaat bijna geheel uit aromatische koolwaterstoffen waaronder benzeen, toluen en naftaleen. De pyrolyse-olie kan als mengcomponent dienen in stookolie. Het pyrolysegas heeft een hoge verbrandingswaarde maar bevat in het algemeen een vrij grote hoeveelheid verschillende gassen waaronder koolmonoxide en zwavelwaterstof. Voor het pyrolysegas is geen directe afzetmarkt. Het kan nuttig worden toegepast als brandstof voor de energievoorziening van de pyrolyse-installatie; bijvoorbeeld voor het voorverwarmen van het rubber.

Bron: http://www.deconsult.nl/Tekst/pr_pyrolyse.htm

De rubbers en kunststoffen in autobanden zijn voornamelijk koolwaterstoffen. Bij de pyrolyse ontstaan hieruit gasvormige afbraakproducten. Bij afkoeling van die gasvormige afbraakproducten condenseert een deel van die afbraakproducten.

- 15 Wat weet je van de samenstelling van die afbraakproducten? Licht je antwoord toe.
- 16 Leg uit dat de pyrolyseproducten prima brandstoffen zijn.
- 17 Geef aan of de kook- en smeltpunten van de vloeibare pyrolyse-olie, die na afkoeling ontstaat, hoger of lager zijn dan kamertemperatuur?

Je kunt je antwoord op vraag 17 controleren met de gegevens uit onderstaande tabel.

Tabel Kook- en smeltpunten

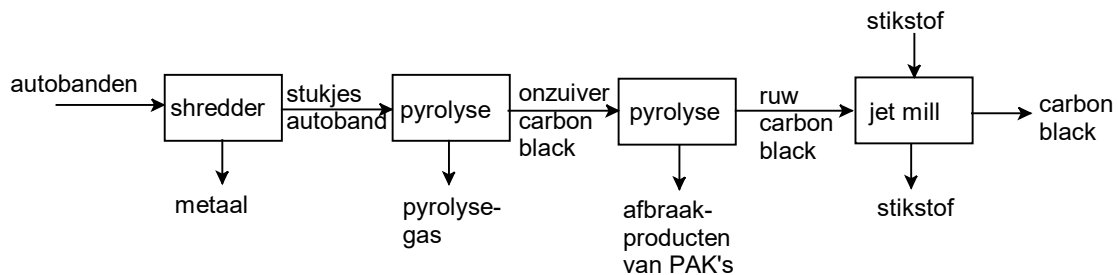
Koolwaterstof	Smeltpunt	Kookpunt
Benzeen, C ₆ H ₆	279 K	353 K
Toluene, C ₇ H ₈	178 K	384 K
Naftaleen, C ₁₀ H ₈	353 K	491 K

- 18 Leg uit of je antwoord op vraag 17 overeenkomt met de gegevens uit de tabel.

Oude banden, gloednieuwe carbon black

- 1 Toepassing als pigment in verf en inkt en als toevoeging in autobanden.
- 2 Pigment: de zwarte kleur van carbon black. Autoband: het verminderen van de rolweerstand van de band en het verbeteren van de slijtvastheid en de grip op de weg.
- 3 De samenstelling die per merk autoband verschillend kan zijn en de aanhechting van PAK's aan carbon black.
- 4 Het eerste obstakel: onderzoek van elke band op kwaliteit via een geheime analysemethode. Het tweede obstakel: een tweede pyrolysestap waarbij de aanwezige PAK's verwijderd worden.
- 5 Een thermolyse: ontledingsreactie door middel van verwarmen zonder toevoer van lucht.
- 6 Verhitten van in stukjes gehakte autobanden bij een temperatuur tussen 600 en 800°C in een langzaam ronddraaiende oven. Hierbij wordt het rubber bros en ontleedt samen met de aanwezige kunststoffen tot pyrolysegas.
- 7 Als er zuurstof aanwezig was zouden de gevormde producten direct verbranden bij de hoge temperatuur.
- 8 In een tweede pyrolyseoven worden de aanwezige PAK's verwijderd.
- 9 Het carbon black komt in een jet mill waarbij stikstofstromen met daarin de carbon blackdeeltjes met supersone snelheid op elkaar botsen. De deeltjes vermalen elkaar daarbij tot een uniforme deeltjesgrootte.
- 10 Zowel micro als macro. Micro: de carbonblackdeeltjes die op elkaar botsen. Macro: vermalen elkaar tot een uniforme deeltjesgrootte.

11



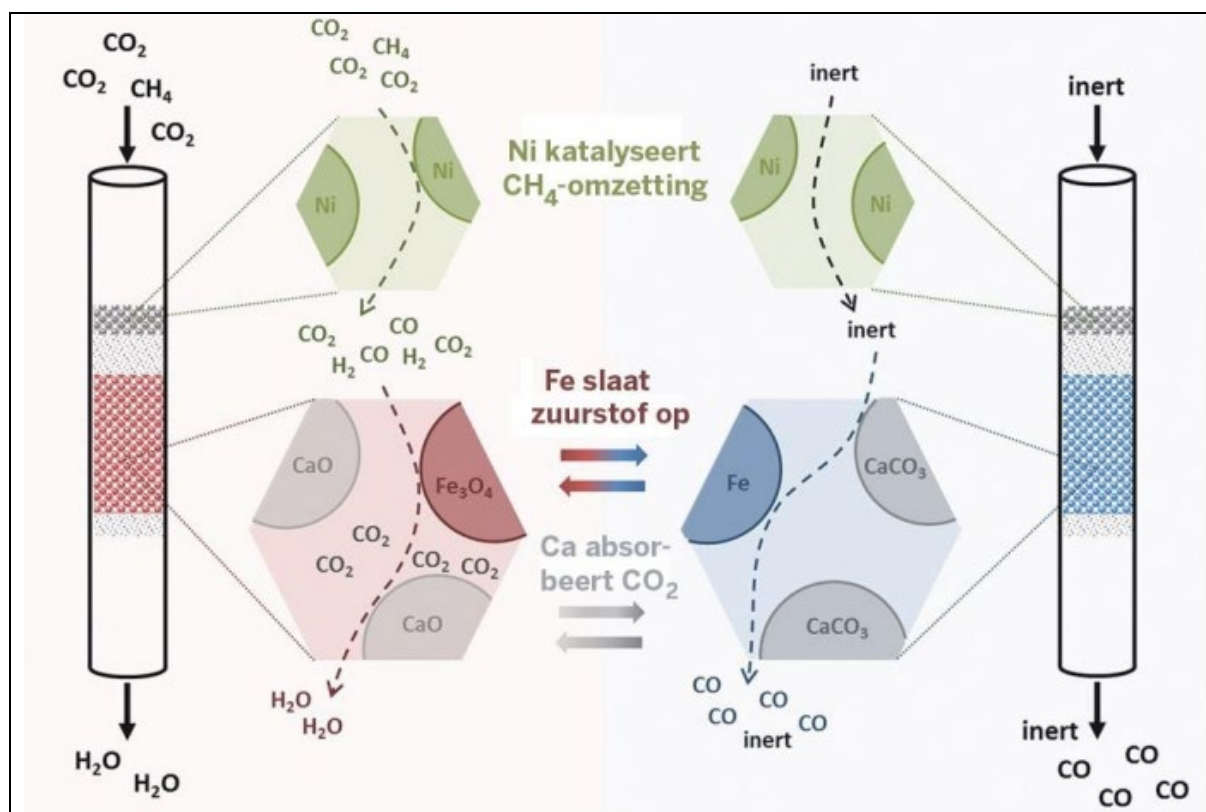
- 12 Traditioneel levert de productie van 1 ton carbon black uit aardolie een uitstoot van 3,2 ton CO₂ op. Het nieuwe proces bespaart per ton juist 1,6 ton CO₂. Het verschil in uitstoot is dus 3,2 - 1,6 ton = 1,6 ton CO₂.
- 13 De pyrolyseproducten zijn bruikbare brandstoffen die voldoende energie leveren om de hele fabriek van energie te voorzien. Ze houden dus energie over die vastgelegd is in de pyrolyse-olie die verkocht wordt.
- 14 De uitstoot van extra koolstofdioxide die nog niet in de koolstofkringloop zat versterkt het broeikaseffect.
- 15 Ze zijn ontstaan uit koolwaterstoffen dus het zullen zelf ook koolwaterstoffen zijn.
- 16 Koolwaterstoffen zijn prima brandstoffen: denk daarbij aan aardgas en benzine.
- 17 De smeltpunten van de stoffen in de pyrolyseolie zullen lager zijn dan kamertemperatuur, de kookpunten juist hoger dan kamertemperatuur.
- 18 Niet helemaal: naftaleen is een vaste stof bij kamertemperatuur.

Artikel: <http://www.c2w.nl/carriere/oude-banden-gloednieuwe-carbon-black/item18715>

METHAAN LEGT KOOLSTOFDIOXIDE VAST

Klas	5hv
Subdomein	Processen en reacties; Energie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten; Reactiewarmte
Trefwoorden	Methaan, koolstofdioxide, metaaloxiden, evenwichten, reactiewarmte, endotherm, exotherm, milieu, inert
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 17 oktober 2016



Methaan legt koolstofdioxide vast

In Gent is een proces ontwikkeld dat een mix van methaan en koolstofdioxide bij 750 °C omzet in koolstofmonoxide als chemische bouwsteen. Of eigenlijk een combinatie van drie processen die volgens het principe van Le Chatelier elkaars evenwichten de gewenste kant op schuiven, schrijven Lukas Buelens, Guy Marin en collega's in *Science*.

Hun *super-dry reforming* is een variant op de bestaande *dry reforming* waarbij CH₄ en CO₂ worden omgezet in synthegas, een mix van CO en H₂. Bij dat proces zet elk CH₄-molecuul één CO₂ om. Bij super-dry reforming zijn het er drie, waarbij je geen H₂ krijgt als bijproduct maar H₂O.

De Vlamingen willen hiervoor een reactor vullen met drie metaaloxiden op inerte dragers: NiO om de oxidatie van CH₄ te katalyseren, CaO als CO₂-absorbens en Fe₃O₄ als zuurstofreservoir.

Het idee is dan dat de mix van CH₄ en CO₂ eerst een laag NiO tegenkomt. Alle CH₄ en een deel van de CO₂ worden dan omgezet in CO en H₂.

Verderop in de reactor komt de gemengde gasstroom een mix van CaO en Fe_3O_4 tegen. CO en H_2 reduceren het ijzeroxide, waarbij het CO weer in CO_2 verandert en H_2 in H_2O . Dat water verdwijnt via de uitlaat, terwijl al het CO_2 reageert met CaO tot CaCO_3 . Beide producten worden dus uit de circulatie gehaald en dat zorgt er voor dat de ijzeroxidereductie op volle snelheid doorgaat.

Tegen de tijd dat alle Fe_3O_4 en CaO zijn verbruikt, stop je de toevoer van CO_2 en CH_4 en blaas je de reactor uit met inert gas. CaCO_3 splitst dan weer in CaO en CO_2 , en dat CO_2 reageert weer met het ijzer tot Fe_3O_4 en CO . Ook hier geldt weer dat die oxidatie wordt bevorderd doordat CO mét het inerte gas verdwijnt via de uitlaat.

Of het energetisch gunstiger is dan conventionele dry reforming, hangt van de definitie af. Per mol CO_2 kost het maar 110 kJ in plaats van 247, dus als CO_2 -vermindering je voornaamste doel is ben je inderdaad goedkoper uit.

Dat je niet de H_2 produceert die je nodig hebt voor de verdere verwerking van CO , heeft geen nadeel te zijn. H_2 kun je bijvoorbeeld ook maken door water te splitsen, en zo'n separaat productieproces heeft het voordeel dat je de verhouding tussen CO - en H_2 -productie vrij kunt instellen.

Experimenten op labschaal hebben aangetoond dat het in principe werkt, maar dat er nog het nodige moet gebeuren eer de theoretische beloftes helemaal worden waargemaakt.

bron: UGent

Bij het dry-reforming proces worden CH_4 en CO_2 omgezet in CO en H_2 . In Gent heeft men nu een *super-dry-reforming* proces ontwikkeld als een verbeterde versie van de dry-reforming. Het is een combinatie van drie processen. De onderzoekers hebben daartoe een reactor gevuld met drie metaaloxiden op inerte dragers.

- 1 Welke drie metaaloxiden gebruikt men?
- 2 Wat is de functie van elk van die drie metaaloxiden?
- 3 Wat wordt bedoeld met inerte drager?

Aan het begin van de reactor wordt een mix van koolstofdioxide en methaan in contact gebracht met NiO . Die mix wordt daarbij omgezet in koolstofmono-oxide en waterstof.

- 4 Geef de vergelijking van de reactie die daarbij optreedt.

Verderop komt het gasmengsel een tweetal metaaloxiden tegen.

- 5 Geef de vergelijking van de reactie die als eerste daarbij optreedt.
- 6 Geef ook de vergelijking van de reactie die als tweede optreedt.

Tegen de tijd dat alle methaan en koolstofdioxide op zijn, wordt de reactie gestopt en blaast men de reactor leeg met een inert gas. Daarbij treden twee reacties op.

- 7 Geef de vergelijkingen van de twee reacties die dan optreden.
- 8 Geef ook de totaalreactie van het gehele proces in een vergelijking weer.
- 9 Bereken de reactiewarmte van de totaalreactie in kJ per mol koolstofdioxide.

De drie deelprocessen zorgen ervoor dat de evenwichtsreacties die eigenlijk optreden aflopend worden.

- 10 Licht deze uitspraak toe.

Bij het super-dry-reforming proces wordt waterstof in de vorm van water afgevoerd. Voor synthesegas heb je wel waterstof nodig, maar die benodigde waterstof kan ook via het 'splitsen' van water geproduceerd worden.

- 11 Geef een betere benaming voor 'splitsen van water'.
- 12 Geef de vergelijking van de reactie die daarbij optreedt.
- 13 Welk voordeel heeft zo'n 'separate' bereiding van waterstof?

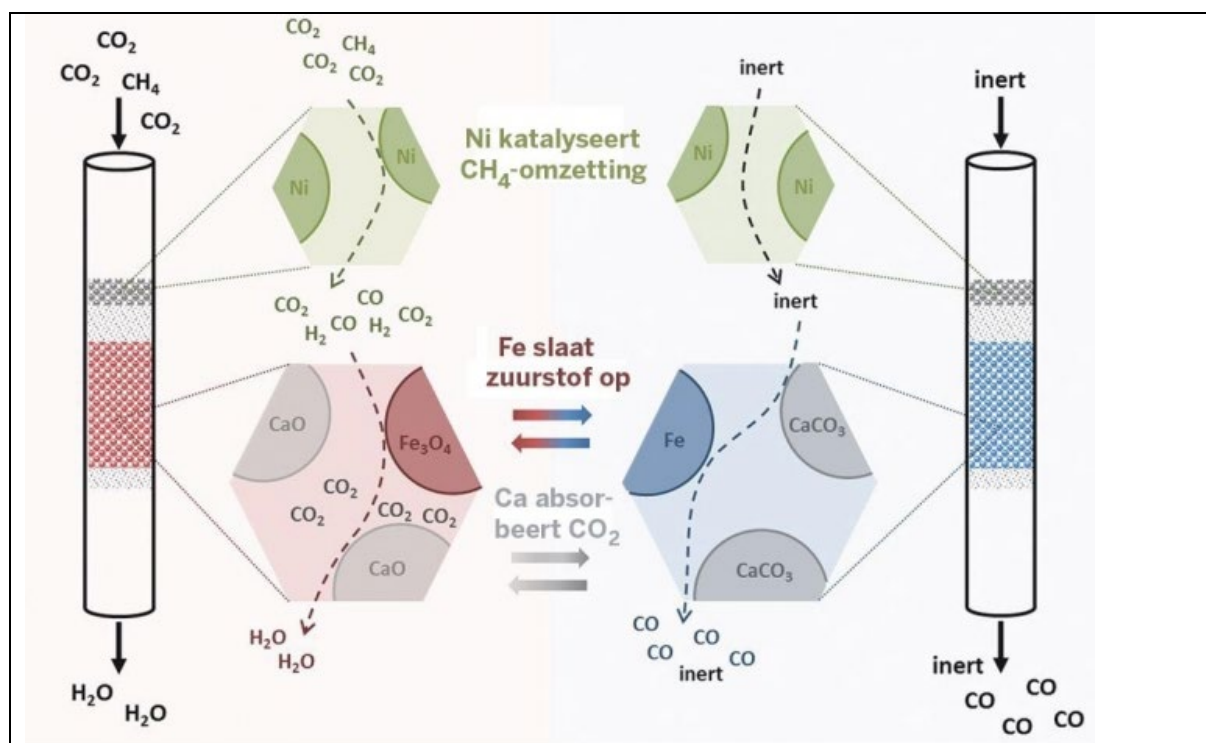
Methaan legt koolstofdioxide vast

- 1 NiO, Fe₃O₄ en CaO.
- 2 NiO is de katalysator voor de omzetting van methaan en koolstofdioxide in koolstofmono-oxide en waterstof. Fe₃O₄ levert de zuurstof voor de oxidatie van koolstofmono-oxide en waterstof. CaO reageert met CO₂ tot CaCO₃.
- 3 Inert betekent dat die stof niet reageert.
- 4 $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$.
- 5 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightleftharpoons 3 \text{Fe} + 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$. (Deze reactie neemt CO₂ en H₂ weg uit het evenwicht)
- 6 $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3$.
- 7 Eerste reactie: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.
Tweede reactie: $3 \text{Fe} + 4 \text{CO}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4 \text{CO}$.
- 8 $\text{CH}_4 + 3 \text{CO}_2 \rightarrow 4 \text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O}$.
- 9 Reactiewarmte = $-(E_{\text{CH}_4} + 3 E_{\text{CO}_2}) + 4 E_{\text{CO}} + 2 E_{\text{H}_2\text{O}} =$
 $-(-0,75 \cdot 10^5 - 3 \cdot 3,935 \cdot 10^5) - 4 \cdot 1,105 \cdot 10^5 - 2 \cdot 2,42 \cdot 10^5 = +3,29 \cdot 10^5 \text{ J}$ voor 3 mol koolstofdioxide, dus $+1,10 \cdot 10^5 \text{ J}$ per mol koolstofdioxide.
- 10 Evenwicht vraag 5 neemt CO₂ en H₂ weg uit evenwicht vraag 4. Evenwicht vraag 6 neemt CO₂ weg uit evenwicht 5.
Hetzelfde geldt voor reacties uit opgave 7: halen reactieproducten weg uit evenwicht vraag 5 en 6.
- 11 Ontleding van water of elektrolyse van water.
- 12 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 13 Je kunt de verhouding CO : H₂ vrij variëren.

METHAAN VALORISEERT KOOLSTOFDIOXIDE

Klas	5hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische reacties
Trefwoorden	Methaan, koolstofdioxide, katalysator, metaaloxiden, evenwichten, reactiewarmte
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 9 december 2016



Methaan valoriseert koolstofdioxide

In Gent is een proces ontwikkeld dat een mix van methaan en koolstofdioxide bij 750°C omzet in koolstofmonoxide als chemische bouwsteen. Of eigenlijk een combinatie van drie processen die volgens het principe van Le Chatelier elkaars evenwichten de gewenste kant op schuiven, schrijven Lukas Buelens, Guy Marin en collega's in *Science*.

Hun *super-dry reforming* is een variant op de bestaande *dry reforming* waarbij CH_4 en CO_2 worden omgezet in synthesesgas, een mix van CO en H_2 . Bij dat proces zet elk CH_4 -molecuul één CO_2 om. Bij *super-dry reforming* zijn het er drie, waarbij je geen H_2 krijgt als bijproduct maar H_2O .

De Vlamingen willen hiervoor een reactor vullen met drie metaaloxiden op inerte dragers: NiO om de oxidatie van CH_4 te katalyseren, CaO als CO_2 -absorbens en Fe_3O_4 als zuurstofreservoir.

Het idee is dan dat de mix van CH_4 en CO_2 eerst een laag NiO tegenkomt. Alle CH_4 en een deel van de CO_2 worden dan omgezet in CO en H_2 .

Verderop in de reactor komt de gemengde gasstroom een mix van CaO en Fe_3O_4 tegen. CO en H_2 reduceren het ijzeroxide, waarbij het CO weer in CO_2 verandert en H_2 in H_2O . Dat water verdwijnt via de uitlaat, terwijl al het CO_2 reageert met CaO tot CaCO_3 . Beide producten worden dus uit de circulatie gehaald en dat zorgt er voor dat de ijzeroxidereductie op volle snelheid doorgaat.

Tegen de tijd dat alle Fe_3O_4 en CaO zijn verbruikt, stop je de toevoer van CO_2 en CH_4 en blaas je de reactor uit met inert gas. CaCO_3 splitst dan weer in CaO en CO_2 , en dat CO_2 reageert weer met het ijzer tot Fe_3O_4 en CO . Ook hier geldt weer dat die oxidatie wordt bevorderd doordat CO mét het inerte gas verdwijnt via de uitlaat.

Of het energetisch gunstiger is dan conventionele dry reforming, hangt van de definitie af. Per mol CO_2 kost het maar 110 kJ in plaats van 247, dus als CO_2 -vermindering je voornaamste doel is ben je inderdaad goedkoper uit.

Dat je niet de H_2 produceert die je nodig hebt voor de verdere verwerking van CO , hoeft geen nadeel te zijn. H_2 kun je bijvoorbeeld ook maken door water te splitsen, en zo'n separaat productieproces heeft het voordeel dat je de verhouding tussen CO - en H_2 -productie vrij kunt instellen.

Experimenten op labschaal hebben aangetoond dat het in principe werkt, maar dat er nog het nodige moet gebeuren eer de theoretische beloftes helemaal worden waargemaakt.

bron: UGent

Het beschreven super-dry reformingproces zou het dry reformingproces moeten vervangen.

- 1 Welk verschil is er tussen beide processen?
- 2 Geef de reactievergelijking van het dry reformingproces. Let op: het is een evenwichtsreactie.
- 3 Geef de reactievergelijking van het super-dry reformingproces. Ook dit is een evenwichtsreactie.

Energie

Of het super-dry reformingproces energetisch gunstiger is dan het dry reformingproces hangt af van de definitie.

- 4 Laat via een berekening zien dat de genoemde 247 kJ per mol CO_2 voor het dry reformingproces juist is.
- 5 Laat ook via een berekening zien dat de genoemde 110 kJ per mol CO_2 voor het super-dry reformingproces juist is.
- 6 Laat ook zien dat als de definitie per mol methaan gesteld wordt, het super-dry reformingproces energetisch niet gunstiger is.

Waterstof

Men heeft vaak synthesesegas nodig, een mengsel van CO en H_2 . Het super-dry reformingproces levert alleen CO , dus moet de benodigde waterstof voor synthesesegas op een andere manier verkregen worden.

- 7 Welke andere manier wordt er genoemd?
- 8 Geef de vergelijking van de reactie die daarbij optreedt.
- 9 Welk voordeel brengt deze afzonderlijke bereidingswijze met zich mee?

Reactiekolom

De onderzoekers hebben een reactiekolom gebouwd met metaaloxiden op een inerte drager.

- 10 Wat is een inerte drager?
- 11 Waarom gebruikt men een inerte drager en niet de zuivere metaaloxiden?

De voeding van CH_4 en CO komt in de reactiekolom eerst een laag NiO tegen.

- 12 Welke functie vervult het NiO ?
- 13 Geef de vergelijking van de evenwichtsreactie die daarbij optreedt.

Even verderop in de reactiekolom komt het gasmengsel een laag met CaO en Fe_3O_4 tegen.

- 14 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt tussen het ontstane gasmengsel en de Fe_3O_4 .
- 15 Verklaar dat hierdoor het evenwicht van vraag 13 naar rechts verschuift.

Het gevormde koolstofdioxide reageert met het aanwezige CaO tot calciumcarbonaat.

- 16 Geef de vergelijking van de daarbij optredende evenwichtsreactie.

Na afloop blaast men stikstof door de reactiekolom waardoor het vastgelegde koolstofdioxide weer vrijkomt. Het vrijkomende koolstofdioxide reageert daarna met het ijzer tot CO en Fe_3O_4 .

- 17 Leg uit dat door het doorblazen met stikstof het calciumcarbonaat weer ontleedt in CaO en koolstofdioxide.
- 18 Geef de reactievergelijking die optreedt tussen het koolstofdioxide en ijzer.
- 19 Leg uit dat Fe_3O_4 voldoet aan de definitie van een katalysator.

Het super-dry-reforming proces produceert CO dat bruikbaar is als grondstof voor de chemische industrie.

- 20 Welk ander nut heeft het super-dry-reforming proces?

Methaan valoriseert koolstofdioxide

- 1 Bij het dry reformingproces reageert 1 mol CH₄ met 1 mol CO₂, bij het super-dry reformingproces is dat 1 mol CH₄ met 3 mol CO₂. Bij het dry reforming proces is het product CO en H₂, bij het super-dry-reforming proces CO en H₂O.
- 2 $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$.
- 3 $\text{CH}_4 + 3 \text{CO}_2 \rightleftharpoons 4 \text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O}$.
- 4 De reactiewarmte is: +75 kJ + 393,5 kJ + 2x-110,5 kJ = +247,5 kJ per mol CO₂.
- 5 De reactiewarmte is: +75 kJ + 3x393,5 kJ + 4x-110,5 kJ + 2x-242 kJ = +329,5 kJ per 3 mol CO₂, dus +110 kJ per mol CO₂.
- 6 Dry reformingproces dan: +247,5 kJ per mol CH₄. Super-dry reformingproces dan +329,5 kJ per mol CH₄.
- 7 Elektrolyse van water.
- 8 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 9 De verhouding CO : H₂ kan dan makkelijker gekozen worden.
- 10 Inert betekent dat die stof niet meedoet aan de reactie, alleen maar dienst doet als dragermateriaal.
- 11 Van zuivere metaaloxiden heb je veel meer nodig en je krijgt door een drager een groter reactieoppervlak.
- 12 NiO is de katalysator voor de omzetting van alle methaan en een deel van het koolstofdioxide in koolstofmono-oxide en waterstof.
- 13 $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightleftharpoons 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$.
- 14 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightarrow 3 \text{Fe} + 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$.
- 15 Uit het evenwicht van opgave 13 haal je hierdoor de CO en H₂ weg waardoor de reactie naar rechts de overhand krijgt.
- 16 $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3$.
- 17 Je blaast met de stikstof het aanwezige gas weg. Koolstofdioxide is een gas. Als dit verdwijnt kan alleen de reactie naar links nog plaatsvinden.
- 18 $4 \text{CO}_2 + 3 \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4 \text{CO}$.
- 19 Fe₃O₄ speelt een rol in het reactieverloop maar wordt niet verbruikt.
- 20 Het is een manier om CO₂ om te zetten in een nuttige stof.

RECEPT VOOR VEILIGE ROOKGRANAAT

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Redox
Trefwoorden	Rode fosfor, witte fosfor, rookgranaat, difosforpentoxide, fosfor(V)nitride
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 11 november 2016

Recept voor veilige rookgranaat

Fosfor(V)nitride is een veilige vervanger voor rode fosfor in rookgranaten. Het rookt perfect en de kans is een stuk kleiner dat de granaat voortijdig afgaat, blijkt uit een publicatie in *Angewandte Chemie*.



Zo'n rookgranaat bevat naast fosfor een oxidant, zoals KNO_3 , en iets oxideerbaars zoals boor of magnesium. De reactie tussen die twee laatste componenten genereert voldoende hitte om rode fosfor (P_r) om te zetten in witte (P_4) die vervolgens met zuurstof uit de lucht kan reageren tot P_4O_{10} . Dat wordt door vocht in diezelfde lucht weer gehydrolyseerd tot fosforzuur, dat nog meer water aantrekt en zo een dichte mist vormt.

Probleem is alleen dat er vrij veel hitte nodig is om dit proces in gang te zetten. Een stoffenmengsel dat er reactief genoeg voor is, is vrijwel automatisch overgevoelig voor wrijving of schokken. Bovendien heeft rode fosfor het nadeel dat het ontleedt als er vocht bij komt, en dat het heftig reageert met chloraten (ClO_3^- en ClO_4^-) waar de vuurwerkindustrie óók op ruime schaal mee werkt. Dat laatste is in de praktijk een ernstig veiligheidsrisico.

Ernst-Christian Koch en Stanisław Cudziło hebben nu onderzocht of je P_r kunt vervangen door P_3N_5 . Die verbinding is in principe niet brandbaar: in combinatie met lucht begint ze pas bij 700°C te ontleden, en die reactie is endotherm. Ontleden doet het ook niet, en reageren met chloraten alleen wanneer je de combinatie aansteekt.

Maar als je zo'n combinatie inderdaad aansteekt, krijg je een reeks reacties waarbij elementaire fosfor (P_4 of P_2) vrijkomt die op de gebruikelijke manier kan doorreageren met luchtzuurstof tot witte rook. Met KNO_3 lukt dit ook. En als de reactie tussen P_3N_5 en KNO_3 eenmaal op gang is verloopt hij volgens de auteurs 200 keer sneller dan wanneer je P_r met KNO_3 laat reageren: voldoende om een dichte rookwolk te genereren.

Om zo'n mengsel aan te steken is een temperatuur van rond de 400°C nodig. Als je het niet aansteekt, is het slechts een beetje gevoelig voor schokken en helemaal niet meer voor wrijving. De auteurs concluderen dat je op deze manier een veilige rookgranaat moet kunnen maken. Onduidelijk blijft of ze het al hebben geprobeerd.

bron: Wiley

Met een rookgranaat kun je een rookgordijn optrekken of een landingsplaats markeren. Ook kun je er de windrichting mee aangeven. Lastig is dat een huidige rookgranaat (over)gevoelig is voor wrijving of schokken.

Huidige rookgranaat

Een huidige rookgranaat bevat naast rode fosfor een oxidant en een onedel metaal. De oxidant (KNO_3) en het onedele metaal, magnesium, reageren als eerste met elkaar waarbij magnesiumoxide, kaliumoxide en stikstof ontstaan.

- 1 Geef de vergelijking van de optredende reactie.

De energie die bij deze reactie vrijkomt zorgt ervoor dat rode fosfor, P_r , omgezet wordt in witte fosfor (P_4).

- 2 Geef de reactievergelijking van deze omzetting.
- 3 Leg aan de hand van Binas tabel 57A uit dat deze omzetting endotherm is.

Witte fosfor reageert daarna met de aanwezige zuurstof tot P_4O_{10} . En P_4O_{10} reageert met vocht (water) tot fosforzuur, H_3PO_4 .

- 4 Geef beide reacties in vergelijkingen weer.

Veilige rookgranaat

Fosfor(V)nitride, P_3N_5 , is een veilige vervanger voor rode fosfor in rookgranaten.

- 5 Wat is er vreemd aan de naam fosfor(V)nitride?
- 6 Geef de systematische naam voor fosfor(V)nitride.

Fosfor(V)nitride is een moleculaire stof.

- 7 Welk type binding is er in een molecuul fosfor(V)nitride en welke binding is er tussen moleculen fosfor(V)nitride onderling?
- 8 Welke covalentie verwacht je voor fosfor en stikstof?
- 9 Laat aan de hand van een structuurformule zien dat de verwachte covalenties mogelijk zijn.

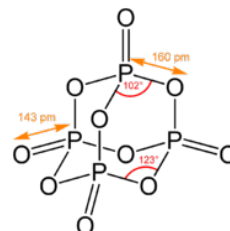
Dat men rode fosfor wil vervangen door fosfor(V)nitride heeft ook te maken met het feit dat rode fosfor nogal heftig kan reageren met chloraten, bijvoorbeeld met kaliumchloraat, KClO_3 , waarbij kaliumchloride en P_4O_{10} ontstaan.

- 10 Geef de optredende reactie in een vergelijking weer.

Difosforpentoxide

Difosforpentoxide is een anorganische verbinding met als brutoformule P_4O_{10} . De witte kristallijne vaste stof is het anhydride van fosforzuur. Het is een krachtig droogmiddel en reageert exotherm met water, onder vorming van fosforzuur.

Bron: Wikipedia



De naam difosforpentoxide komt niet overeen met de brutoformule.

- 11 Welke formule zou je verwachten bij de naam difosforpentoxide?

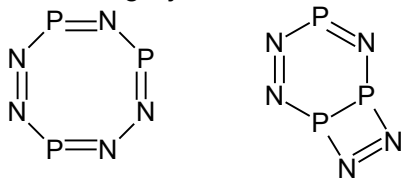
12 Wat is het verband tussen de formule P_4O_{10} en de naam difosforpentoxide?

Aan het einde van het artikel staat: "Onduidelijk blijft of ze het al hebben geprobeerd."

13 Waar in het artikel lijkt een antwoord op deze vraag te staan?

Recept voor veilige rookgranaat

- 1 $2 \text{KNO}_3 + 5 \text{Mg} \rightarrow 5 \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{N}_2$.
- 2 $4 \text{P}_r \rightarrow r \text{P}_4$.
- 3 De vormingswarmte van rode fosfor (uit het element fosfor = witte fosfor) is $-0,18 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. Dus de omgekeerde reactie heeft het tegengestelde energie-effect: $+0,18 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$, endotherm dus.
- 4 $\text{P}_4 + 5 \text{O}_2 \rightarrow \text{P}_4\text{O}_{10}$. En daarna: $\text{P}_4\text{O}_{10} + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_3\text{PO}_4$.
- 5 Het is een moleculaire stof en daarbij gebruiken we geen Romeinse cijfers.
- 6 Trifosforpentanitride.
- 7 In het molecuul: atoombinding; tussen de moleculen: vanderwaalsbinding.
- 8 Voor beide de covalentie 3.
- 9 Twee mogelijke structuren:



- 10 $12 \text{P}_r + 10r \text{KClO}_3 \rightarrow 10r \text{KCl} + 3r \text{P}_4\text{O}_{10}$.
- 11 P_2O_5 .
- 12 $\text{P}_4\text{O}_{10} \equiv 2 \times \text{P}_2\text{O}_5$.
- 13 In de alinea die begint met : "Ernst Christian Koch en Stanislaw Cudzilo hebben nuonderzocht".

Id	Titel opgave	nr opg	Klas
1	Printen met water	1406-1	5v
2	Argon in de ruimte	1406-2	4hv
3	Schone kleding zonder palmolie	1406-3	5hv
4	Mosterdgas zoekt opruimdienst	1406-4	5v
5	Minisyngasgenerator	1406-5	3v, 4hv
6	Imazalil	1406-6	4hv
7	Zuurstof in ruimtestation ISS	1406-7	3hv
8	Radicale chemie	1406-8	5,6v
9	Arseen maakt waterstof	1406-9	5v
10	Propyleenglycoldamp met nicotine	1406-10	4hv
11	Stabiele prestaties van suikerbieten	1406-11	3hv
12	Vier ozonvreter in atmosfeer	1406-12	5,6v
13	Zoek het polonium	1406-13	4,5v
14	Elektriciteit uit afvalgas	1406-14	5v
15	Ik voorzie een CO ₂ tekort	1406-15	4hv
16	Kevertruc verdedigt pinautomaten	1408-1	5hv
17	Superkatalysator zet CO ₂ om in CO	1408-2	5hv
18	Lignineprobleem opgelost	1408-3	5v
19	Serieus afbreekbaar bioplastic	1408-4	5v
20	Goedkoop struviet	1408-5	4hv
21	Productie duurzame energie stijgt, maar niet snel genoeg	1408-6	4hv
22	Groen, goud, blond	1408-7	4hv
23	Bodem boert CO ₂ weer omhoog	1408-8	5,6v
24	Meer ozon door alcoholauto	1408-9	5,6v
25	Contactlens Google meet bloedsuiker	1408-10	5v
26	Robotpil kan injecties overbodig maken	1409-1	4,5hv
27	Efficiënte elektrolysetechniek voor waterstofproductie	1409-2	5v
28	De kat op de tumor binden	1409-3	5v
29a	Wetenschappers maken ethanol uit koolstofmonoxide versie I	1409-4a	5v
29b	Wetenschappers maken ethanol uit koolstofmonoxide versie II	1409-4b	5v
30	Onze slinkende energievoorraad	1409-5	4hv
31a	Nu is pindakaas of chocola al net zo slecht als tabak versie I	1409-6a	5hv
31b	Nu is pindakaas of chocola al net zo slecht als tabak versie II	1409-6b	3-6hv
31c	Nu is pindakaas of chocola al net zo slecht als tabak versie III	1409-6c	5,6v

32	Nieuw chemisch middel belooft revolutie in papierindustrie	1409-7	4,5hv
33	Solarjet maakt kerosine uit zonlicht	1409-8	3hv
34	Power-to-gas-installatie	1409-9	5hv
35a	3D geprinte fopframboos versie I	1410-1a	3,4hv
35b	3D geprinte fopframboos versie II	1410-1b	5h; 5,6v
36	Hoeveel zuurstof produceert een boom gemiddeld?	1410-2	4,5hv
37	Planten maken groene stroom	1410-3	5v
38	Waar komt de batterij vandaan?	1410-4	5v
39	Nano-ui	1410-5	5,6v
40	Centraal verwarmd nanodeeltje	1410-6	5,6v
41	Gas uit licht en water	1410-7	5v
42	Doodzonde om op te stoken	1410-8	5,6v
43	Bioaromaten in opmars	1410-9	5,6v
45	Kat maakt etheen van methaan	1411-1	5,6v
46a	Oude accu wordt nieuwe zonnecel versie I	1411-2a	5v
46b	Oude accu wordt nieuwe zonnecel versie II	1411-2b	5h
46c	Oude accu wordt nieuwe zonnecel versie III	1411-2c	5hv
47	Botten gemaakt van bier	1411-3	4hv
48	Zonnepanelen produceren mierenzuur	1411-4	3hv
49	Tijdelijke tatoeage haalt stroom uit zweet	1411-5	5,6v
50	Naar 50km op zoetjes, kaarsvet en lachgas	1411-6	3hv
51	Krypton dateert eeuwig ijs	1411-7	4hv
52	Enzym duikt in furanen	1411-8	5,6v
53	Te simpel	1411-9	5,6v
54	Tot het laatste kooltje	1411-10	4hv
55	Ethanol kraakt lignine	1501-01	5hv
56	Cholesterol voedt sensor	1501-02	5,6v
57	600 km op 1 tankbeurt	1501-03	4,5hv
58	Een boodschappentas van vissenslijm	1501-04	5,6v
59	Mesvrij vest versie I	1501-05a	3hv
60	Mesvrij vest versie II	1501-05b	4,5hv
61	Complex molecuulontdekt in de ruimte	1501-06a	5hv
62	Vertakte moleculen op sterrenstof	1501-06b	4hv

63	Complexe organische moleculen gevonden in de ruimte	1501-06c	6v
64	Nieuw kristal neemt zuurstof efficiënt op	1501-07	4,5v
65	Het is nu echt tijd voor SMA	1501-08	5hv
66	Magisch zand	1501-09	3,4hv
67	Koning opent DSM-fabriek in VS	1501-10	5hv
68	Bandje om membraaneiwit	1502-01	5v
69	Afgevangen CO ₂ input voor nieuwe producten	1502-02	3hv
70	Natuurgetrouw magnetiet	1502-03	4hv
71	Het terroir zit vol gele en blauwe poeders	1502-04	4hv
72	AkzoNobel en Photanol gaan uit zonlicht en CO ₂ chemicaliën maken (versie 3hv)	1502-05a	3hv
73	AkzoNobel en Photanol gaan uit zonlicht en CO ₂ chemicaliën maken (versie 4hv)	1502-05b	4hv
74	Schaliegaswinning stinkt	1502-06	5v
75	Iets lager suikergehalte in vijfde campagneweek	1502-07	3hv
76	Wat is CCS?	1502-08	4hv
77	Nieuwe wet haalt streep door vele koudemiddelen	1502-09	4hv
78	Visie duurzame brandstoffenmix	1502-10	5v
79	Hoe kan de zon branden als er geen zuurstof is in de ruimte?	1503-01	4v
80	Chemisch spaakwiel	1503-02	5,6v
81	Recycling tandpastatubes met magnetron	1503-03	4,5v
82	Vitamine C	1503-04	5v
83	De suikerbiet als het nieuwe goud	1503-05a	3hv
84	De suikerbiet als het nieuwe goud	1503-05b	4,5hv
85	Teflon helpt palladium	1503-06	5v
86	Slimme polymeren repareren je knie	1503-07	5hv
87	Suikerunie lonkt naar de chemie	1503-08	5v
88	Water ouder dan zon	1503-09	4hv
89	Polymeer trouwt spiegelbeeld	1503-10	5,6v

90	Negenwaardig iridium	1504-01	5,6v
91	Nieuwe microben voor Mars	1504-02	3hv
92	Witte wijn heeft ook roodpigment	1504-03	5,6v
93	Oostenrijkse onderzoekers veranderen CO2 in alcohol	1504-04	5,6v
94	Methaan op Mars	1504-05	3hv
95	Pectine en brandstof uit koffiepulp en drab	1504-06	5hv,6v
96	Er was vrijwel geen zuurstof voor oerdieren	1504-07	4hv
97	Perovskiet maakt waterstof	1504-08	5,6v
98	MOF in dunne plakjes	1504-09	5.6
99	Ruimtereis op hybride stuwstof	1504-10	5v
100	Hoe natrium ontploft	1505-01	4,5hv
101	Natriumexplosie	1505-02	3hv
102	Zoete rozengeur is pure chemie (versie I)	1505-03a	5,6v
103	Zoete rozengeur is pure chemie (versie II)	1505-03b	5,6v
104	Zoete rozengeur is pure chemie (versie III)	1505-03c	5,6v
105	Hoe het leven zich een draai gaf	1505-04	5,6v
106	Fortune telling fish (versie I)	1505-05a	3hv
107	Fortune telling fish (versie II)	1505-05b	5hv
108	Boor bindt beryllium	1505-06	4v
109	Manier om ei te 'ontkoken' helpt ook tegen kanker	1505-07	6v
110	Recept voor groenere nylon	1505-08	5,6v
111	Hoe azobenzeen werkt	1505-09	5v
112	Da Vinci brug van ijs (versie 1)	1509-01a	4hv
113	Da Vinci brug van ijs (versie 2)	1509-01b	3,4hv
114	Groene PETfles uit afvalhout	1509-02	5hv
115	Eeneigige tweelingen uit elkaar houden? Verhit hun DNA	1509-03	4hv; 5,6v
116	Bioplastics in melkpakken Friesland Campina	1509-04	5hv; 6v
117	Spelenderwijs stikstof splitsen	1509-05	5v

118	Pyrolysefabriek in Hengelo geopend	1509-06	3hv
119	Kant en klaar in karton	1509-07	5hv
120	We gooien voor 48 miljard aan metalen weg	1509-08	3hv
121	Katalysator versnelt omzetting biomassa	1509-09	5hv
122	Dunne film voorkomt verdamping (versie 1)	1509-10a	3-5hv
123	Dunne film voorkomt verdamping (versie 2,3)	1509-10b	3hv
124	Dunne film voorkomt verdamping (versie 4)	1509-10c	4hv
125	Dunne film voorkomt verdamping (versie 5)	1509-10d	4hv
126	Knieschijf uit de printer	1509-11	5hv; 6v
127	Schiphol zuivert afvalwater met algen en CO2	1510-01	3hv
128	Zesring kopieert zichzelf	1510-02	5,6v
129	Zink leidt tot nierstenen	1510-03	5,6v
130	Europium slaat neer (versie 1)	1510-04	6v
131	Europium slaat neer (versie 2)	1510-05	5hv
132	Waterstof uit windenergie	1510-06	3hv
133	Enzymcocktail kraakt biomassa	1510-07	5hv
134	Variaties op carbid	1510-08	4,5v
135	De kern van de aarde bevat 90% van al het zwavel op aarde	1510-09	4hv
136	Membraanloos water splitsen	1510-10	5hv
137	Biobased smartphone	1511-01	5,6v
138	Ijsklontjes	1511-02	3v, 4hv
139	Koolzuur in beeld	1511-03	5v
140	Magische kerstboom (versie 1)	1511-04a	3-6hv
141	Magische kerstboom (versie 2)	1511-04b	4-6hv
142	Shell geeft toe: niet goed opgelet (versie 1)	1511-05a	4hv
143	Shell geeft toe: niet goed opgelet (versie 2)	1511-05b	5hv
144	Shell geeft toe: niet goed opgelet (versie 3) Wat voorafging	1511-05c	4,5v
145	Wetenschappers transformeren CO2 in koolstofvezels	1511-06	3hv
146	CO2 is niet vies	1511-07	3,4hv
147	Groene stroom over	1511-08	5hv
148	IJslandse CO2 recycler gaat de commerciële markt op	1511-09	4hv
149	MOF zift acetyleen	1511-10	5hv
150	Tagetesrassen testen op productie luteïne (versie 1)	1601-01a	3hv
151	Tagetesrassen testen op productie luteïne (versie 2)	1601-01b	4hv
152	Nooit meer de geur van varkens	1601-02	3hv
153	Chloortransport op Betuweroute gestopt	1601-03	3hv
154	Koffiecupjes hebben prijs	1601-04	5hv, 6v
155	Drinkbaar water	1601-05	3hv

156	Planeet volop peroxide (versie 1)	1601-06a	3hv
157	Planeet volop peroxide (versie 2)	1601-06b	4v
158	Planeet volop peroxide (versie 3)	1601-06c	4hv
159	Koester onze gascentrales	1601-07	5hv
160	Chloorvrij rood is niet lelijk	1601-08	5v
161	Kobalt reduceert CO2	1601-09	5v
162	Een lamp laten branden op zout water (versie 1)	1602-01a	5hv
163	Een lamp laten branden op zout water (versie 2)	1602-01b	3-5hv
164	Kooldioxide gebonden in cement	1602-02	5v
165	Bliksemsnelle manier om mierenzuur te maken	1602-03	5v
166	Plastic flessendoppen omsmelten tot skateboards	1602-04	5hv, 6v
167	Waterzuivering kan nog klimaatvriendelijker	1602-05	5,6v
168	Aardolievrije PET-fles komt eraan	1602-06	5hv
169	Creatief met hout	1602-07	5v
170	OCI Nitrogen opent haventerminal	1602-08	5v
171	Weerbarstige stikstofoxides	1602-09	4hv
172	AkzoNobel werkt aan businesscase recyclingfabriek	1602-10	5v
173	Smartphone werkt week op brandstofcel	1602-11	5hv
174	Lancering studentenraket TU-Delft mislukt	1602-12	5v
175	Lovejoy	1603-01	5,6v
176	Fruitbedrijf Stevensbeek gaat zelf drank stoken	1603-02	3,4hv
177	Grootste cellulose-ethanolfabriek	1603-03	4v, 5hv
178	Eiwit maakt Stevia minder bitter	1603-04	6v
179	Eierdoos vangt CO2 weg uit fabrieksrook voor hergebruik	1603-05	3,4hv
180	Polymeer tegen kerosinebrand	1603-06	4hv
181	Warmtebatterij voor opslag zonne-energie (versie 1)	1603-07a	3hv
182	Warmtebatterij voor opslag zonne-energie (versie 2)	1603-07b	4hv
183	Silicium smelten voor energie-opslag	1603-08	4v
184	De schone schijn van volkswagen	1603-09	4hv
185	Glycerol omgekat tot methanol	1603-10	5hv
186	COPS vervangt PT	1603-11	4hv
187	Magische stiften	1604-01	4,5hv
188	Periodiek systeem verwelkomt vier nieuwe elementen	1604-02	4hv
189	Gezocht: een atoomnaam die wat beter bekt dan ununtritium	1604-03	4hv
190	Vaqa visnet naar bikini	1604-04	4hv
191	Onwel dor dampen	1604-05	4hv

192	Kabelbacterie redt Grevelingenmeer	1604-06	4hv
193	Nooit meer poetsen	1604-07	5,6v
194	Metaalpoeder: de nieuwe brandstof?	1604-08	3hv
195	Warmte in kalk	1604-09	4hv
196	Nanodestillatie	1604-10	4hv
197	Carbidschieten	1604-11	4hv
198	Slimme jongens: Neanderthalers maakten vuur met mangaanoxide (versie 1)	1605-01a	3hv
199	Slimme jongens: Neanderthalers maakten vuur met mangaanoxide (versie 2)	1605-01b	4hv
200	Slimme jongens: Neanderthalers maakten vuur met mangaanoxide (versie 3)	1605-01c	4hv
201	Splijtingsproces thoriumreactor	1605-02	4hv
202	Kassabon (versie 1)	1605-03a	3hv
203	Kassabon (versie 2)	1605-03b	3hv
204	Accu met thermostaat	1605-04	4,5hv
205	Flesjes maken uit fructose	1605-05	5,6v
206	Extra supersterke vezel	1605-06	5hv
207	CO ₂ als ontsnappingskunstenaar	1605-07	5hv
208	Zijn synthetische vitamines net zo gezond als natuurlijke?	1605-08	5,6v
209	Nieuwe regels voor hydrocrackerkat	1605-09	5hv
210	Pyrolysefabriek voor duurzame recycling autobanden	1605-10	5,6v
211	Kobaltkat tegen broeikasgas	1605-11	5v
212	Zijdeachtige coating houdt aarbeien langer vers zonder koeling (versie 1)	1609-01a	3hv
213	Zijdeachtige coating houdt aarbeien langer vers zonder koeling (versie 2)	1609-01b	6v
214	Peroxide voor de kleine man	1609-02	4,5hv
215	DSM levert materiaal voor smartwatch	1609-03	3hv
216	Lactide en aminozuren	1609-04	5hv
217	Bipolair membraan	1609-05	5,6v
218	Waterstofproductie krijgt boost	1609-06	5v
219	Creatief met DNA	1609-07	5hv
220	Mossellijm lapt wonden pijnsnel op	1609-08	5,6v
221	Staalproductie zonder CO ₂ -uitstoot	1609-09	3hv
222	Meer staal, minder CO ₂	1609-10	5hv
223	Recycling preparative HPLC	1609-11	5,6v
224	Eigen brandstof met bionisch blaadje en zon (versie 1)	1610-01a	3hv
225	Eigen brandstof met bionisch blaadje en zon (versie 2)	1610-01b	4hv
226	Anorganisch anti-aromatisch	1610-02	6v

227	Stap voor stap	1610-03	5,6v
228	Kat kent zijn alkanen	1610-04	5,6v
229	Wetenschappers produceren stroom uit zeewater met nieuwe methode	1610-05	3hv
230	Biodiesel uit magnetron	1610-06	5hv
231	Armband toont je promillage	1610-07	5hv
232	Deze tattoo waarschuwt je wanneer je dronken bent	1610-08	5v
233	Ammoniak als energieopslag	1610-09	5v
234	Minder NOx aan de uitlaat	1610-10	5hv
235	Scheidsrechter geeft kersttintje aan toss	1610-11	5,6v
236	Plant-E	1611-01	5v
237	Groene polyamides stap dichterbij	1611-02	5hv
238	Nieuwe bus stoot alleen water uit	1611-03	5hv
239	Zetmeel geeft PE-folie betere barrière-eigenschappen	1611-04	4hv
240	Folie van zetmeel en polyethyleen	1611-05	5hv
241	Jupiter bevriest eigen maan tijdens zonsverduistering	1611-06	3hv
242	Meer elektriciteit door koolstofdioxide	1611-07	5,6v
243	Metathese tegen plastic soep	1611-08	5v
244	Gemuteerde rups spint het kogelvrije vest van de toekomst	1611-09	6v
245	Maagzuur brandt niet, maar ontsteekt	1611-10	5hv
246	Generatie aangebakken	1611-11	5hv
247	Nederlander Feringa wint Nobelprijs voor scheikunde	1612-01	3hv
248	Nederlandse hoogleraar Ben Feringa krijgt Nobelprijs voor de chemie	1612-02	4hv
249	Nobelprijs 2016 chemie	1612-03	5,6v
250	Moleculaire motor I	1612-04	5,6v
250	Moleculaire motor II	1612-05	5,6v
251	Eerste jeansblauw is 6000 jaar oud	1701-01	5,6v
252	Actie tegen koolmonoxide I	1701-02 I	3hv
253	Actie tegen koolmonoxide II	1701-02 II	5v
254	Productie van waterstof via elektrolyse	1701-03	5hv
255	Idyllisch meer is een tijdbom	1701-04	4hv
256	Membraan maakt benzeen van methaan	1701-05	5,6v
257	Bacterie vreet batterij op	1701-06	5hv
258	Power to liquids	1701-07	5hv

[illegible]

Subdomein	Vaardigheid	Specificaties
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen, organische reacties
Deeltjesmodellen	Informatie	Structuurformules
Duurzaamheid	Informatie	Uitspraken duurzaamheid (waarderen en becommentariëren)
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen, organische reacties
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Deeltjesmodellen	Informatie	Structuurformules
Processen en reacties	Informatie	Reactievergelijkingen
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Bindingen en uv-licht, micro-macro
Processen en reacties	Informatie	Elektrochemische cel
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Stofeigenschappen
Chemisch rekenen	Informatie	Percentages
Vakmethodes en veiligheid	Informatie	Gaschromatografie, massaspectrometrie
Deeltjesmodellen	Informatie	Atoommodel
Processen en reacties	Informatie	Energiebalans, stofkringloop
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen, elementkringloop
Energie	Informatie	Exotherm, reactiewarmte, energiediagram, k
Energie	Informatie	Energiediagram, endotherm, duurzaamheid
Processen en reacties	Informatie	Zuur-base, organische reacties
Processen en reacties	Informatie, Onderzoeken	Polycondensatie, Practicum
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Stofeigenschappen, toepassing zout
Energie	Rekenen	Energiebehoud, Brandstoffen en duurzaamheid
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Behoudswetten en kringlopen	Redeneren mbt tot duurzaamheid	Stofkringloop, elementkringloop
Processen en reacties	Informatie	Analoge reacties ahv gegeven reactie beschrijven, organische reacties
Processen en reacties	Informatie	Redoxreacties, werking enzym
Ontwerpen	-	Programma van eisen
Processen en reacties	Informatie	Redoxreacties, verbrandingen
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties, beginstoffen/reactieproducten
Vaardigheden	Chemische processen	Natuurwetenschappelijk instrumentarium
Chemische processen	Informatie	Elektrolyse
Chemisch rekenen	Informatie	Bekende chemische berekeningen
Vaardigheden	Chemie van het leven	Informatie en communiceren
Processen en reacties	Onderzoeken	Hydrolyse
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties

Processen en reacties	Informatie	Stofeigenschappen, oplosbaarheid, allerlei mengsels
Processen en reacties	Informatie	Reactievergelijkingen, elementbehoud
Processen en reacties	Informatie	Redoxreactie, brandstofcel, verbrandingen
Processen en reacties	Onderzoeken	Chemische kennis in voedselproductie
Bindingen, structuren en eigenschappen	Communiceren	micro-macro structuur
Behoudswetten en kringlopen	Informatie	Stofkringloop, elementkringloop
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Processen en reacties	Informatie	Batterijen, elektrochemische cel, redoxreacties
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Micro-macro, oplosbaarheid, hydrofiel, hydrofoob
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Macro-micro, biodegradeerbaarheid, polymeren, innovatieve processen
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen, stofkringloop, elementkringloop, energiebalans
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties, polymeren
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties, polycondensatie
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten; organische reacties
Industriële processen en Groene Chemie	Natuurwetensch. instrumentarium	Blokschema, structuren, video proces
Industriële processen en Groene Chemie	Natuurwetensch. instrumentarium	Blokschema, structuren, video proces
Processen en reacties	Informatie	Zuur-base; redox
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Oplossen, hydrofiel, toepassing zout
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Processen en reacties	Informatie	Elektrochemische cel
Processen en reacties	Informatie	Verbranding; beginstoffen en reactieproducten
Deeltjesmodellen	Informatie	Atoommodel
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten; redoxreacties
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten; redoxreacties
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Deeltjesmodellen	Informatie	Organische naamgeving en structuurformules
Processen en reacties	Informatie	batterijen, redoxreactie, halfreactie
Processen en reacties	Informatie	Brandstofcel, redoxreacties
Chemie van het leven	Informatie	Structuur van eiwitten
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten; zuur-base reacties
Deeltjesmodellen	Informatie	Organische naamgeving en structuurformules; structuurisomerie
Deeltjesmodellen	Informatie	Structuurformules; structuurisomerie

Deeltjesmodellen	Modelvorming	Organische naamgeving en structuurformules
Deeltjesmodellen, Chemisch rekenen; Energie	Informatie	Atoommodel; Bekende chemische berekeningen; Exotherm/endotharm
Deeltjesmodellen	Informatie	Organische naamgeving en structuurformules
Bindingen, structuren en eigenschappen	Onderzoeken	Hydrofiel, hydrofoob
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten; polyadditie
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten; reactievergelijkingen, massabehoud
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Toepassing zout; oplosbaarheid zout
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Vakmethodes en veiligheid; Industriële processen en Groene Chemie	Informatie	Gaschromatografie, kennis van risico's, waarborging kwaliteit water en lucht
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Stofeigenschappen; mengsels; oplosbaarheid
Processen en reacties	Informatie	Zuurbase; verbrandingen; beginstoffen en reactieproducten
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Stofeigenschappen; bouw stof
Processen en reacties	Informatie	Batterijen/brandstofcel; milieu; verbrandingen
Deeltjesmodellen	Informatie	Atoommodel
Bindingen, structuren en eigenschappen; Processen en reacties	Informatie	Oplosbaarheid, geleidingsvermogen, analoge reactie ahv gegeven reactie; ruimtelijke structuur
Duurzaamheid	Informatie	Uitspraken duurzaamheid (waarderen en becommentariëren)
Processen en reacties	Informatie	Redox
Vaardigheden	Natuurwetensch. instrumentarium	Informatie selecteren, analyseren en structureren
Vaardigheden	Natuurwetensch. instrumentarium	Informatie selecteren, analyseren en structureren
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Roosters en bindingen
Processen en reacties	Informatie	Polycondensatie
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten; organische reacties
Deeltjesmodellen	Informatie	Atoommodel
Bindingen, structuren en eigenschappen; Processen en reacties	Informatie	Micro-, meso en macroniveau, polymerisatiereacties

Deeltjesmodellen	Informatie	Atoommodel, namen, Lewisstructuur
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten, verbrandingen
Vakmethodes en veiligheid	Informatie	Gaschromatografie, zuurbaseindicatoren
Processen en reacties; Industriële processen en Groene Chemie	Informatie	Elektrolyse, rendement, ontwikkeling nieuw proces
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten, verbrandingen, redox
Industriële processen en Groene Chemie	Informatie	Biodiesel, biomassa, duurzaamheid, cradle-to-cradle
Atoommodellen; Processen en reacties	Informatie	Isotopen, verbrandingsreacties
Processen en reacties	Informatie	Redoxreacties
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Microniveau, bouw molecuul
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen, redoxreacties
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie, Onderzoeken	Groepen en reactiviteit, Relatie met onderzoek
Deeltjesmodellen; Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Atoommodel; Relatie met onderzoek
Deeltjesmodellen	Informatie	Organische naamgeving en structuurformules; structuurisomerie
Deeltjesmodellen	Informatie	Organische naamgeving en structuurformules; structuurisomerie
Deeltjesmodellen	Natuurwetensch. instrumentarium	Organische naamgeving en structuurformules; structuurisomerie
Processen reacties; Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Organische reacties, Stereo-isomerie
Vaardigheden	Bindingen, structuren en eigenschappen	Onderzoeken
Bindingen, structuren en eigenschappen	Communiceren	Stofeigenschappen, hydrofiel
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Roosters en bindingen
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie; Onderzoek	Structuren van eiwitten
Industriële processen en Groene Chemie	Informatie; Onderzoek	Procesverbetering, duurzaamheid, rendement
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Stereo-isomerie
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Composiet
Vaardigheden	Onderzoeken	Verwerken resultaat, conclusie
Processen en reacties	Informatie	Polymeren
Bindingen, structuren en eigenschappen; Reactiekinetiek	Informatie	Stofeigenschappen
Industriële processen en Groene chemie; Processen en reacties	Informatie	Processen en duurzaamheid
Reactiekinetiek	Informatie	Reactiemechanisme

Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen
Stoffen en reacties	Informatie	Redox
Deeltjesmodellen	Informatie	Elementbegrip
Processen en reacties	Informatie	Estervorming
Vaardigheden	Onderzoeken	Onderzoeksvraag; Werkplan
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Oplosbaarheid; Hydrofiel en hydrofoob
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Oplosbaarheid; Hydrofiel en hydrofoob
Chemisch rekenen	Informatie	Bekende chemische berekeningen
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Composiet, vervormbaarheid, crosslink
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Bindingen, structuur en eigenschappen	Informatie	Bindingen
Processen en reacties	Informatie	Zouten, zuur-base reacties, redoxreacties
Deeltjesmodellen	Informatie	Elektronenstructuur, valentie-elektronen
Chemische processen	Informatie	Redox, neerslagreacties
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Processen en reacties	Informatie	Biochemie
Deeltjesmodellen	Informatie	Structuurformules, Lewisstructuren, octetregel
Deeltjesmodellen, bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie; Onderzoek	Stofeigenschappen, relatie met onderzoek
Processen en reacties	Informatie	Elektrolyse
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties, polymerisaties
Deeltjesmodellen	Informatie	Micro en macro
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Lewisstructuur, bindingstype
Onderzoeken	Processen en reacties	Onderzoeksvraag; Werkplan; Conclusie
Processen en reacties	Onderzoeken	Oplossen, kristalliseren
Industriële processen	Informatie	Veiligheid proces, productie, reactiekinetiek
Industriële processen	Informatie	Veiligheid proces, productie, reactiekinetiek
Chemische processen	Informatie	Organische chemie
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Chemische processen	Informatie	Koolstofdioxidekringloop
Chemische processen	Informatie	Organische reacties
Energie	Redeneren mbt tot duurzaamheid	Brandstoffen, duurzaamheid, elektrische energie, emissies
Chemische processen	Informatie	Organische chemie
Industriële processen	Onderzoeken	Probleem herkennen, onderzoeksvraag, hydrofiel, hydrofoob, blokschema
Industriële processen en Groene Chemie	Informatie	Onderzoeksvraag, hydrofiel, hydrofoob
Stoffen en materialen	Informatie	Scheidingsmethoden
Processen en reacties	Informatie	Elektrolyse
Processen en reacties	Onderzoeken	Hydrolyse
Stoffen en materialen	Informatie	Scheidingsmethoden

Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen; beginstoffen-reactieproducten
Energie	Informatie	Energiediagram, activeringsenergie, elektronenformules
Bindingen, structuur en eigenschappen	Informatie	Ionrooster, verhoudingsformules
Energie, duurzaamheid	Informatie	Energie-omzettingen, duurzaamheid,
Deeltjesmodellen	Informatie	Verhoudingsformules, structuurformules
Processen en reacties	Informatie	Redox
Processen en reacties	Informatie	Elektrochemische cel, batterij
Onderzoeken, ontwerpen	Processen en reacties	Onderzoeksplan, werkplan, informatie geven
Chemische processen	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten, zuurbase, redox
Industriële processen en Groene Chemie	Informatie	Atoomeconomie, E-factor, ΔE , duurzame brandstoffen
Bindingen, structuur en eigenschappen	Informatie	Bouw stof en vervormbaarheid
Chemische processen	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Chemische processen	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Chemische processen	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Chemische processen	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Bindingen, structuur en eigenschappen	Informatie	Stofeigenschappen, bindingen, covalentie
Chemische processen	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Processen en reacties	Informatie	Brandstofcel; redox
Reacties	Informatie	Redox; Energie
Atoombouw	Informatie	Lewisstructuur
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten
Processen en reacties, Chemisch rekenen	Informatie	Beginstoffen-reactieproducten, Molberekening
Chemie van het leven, Deeltjesmodellen	Informatie	Structuur van koolhydraten, Organische naamgeving en structuurformules
Processen en reacties	Informatie	Brandstoffen, duurzaamheid, elektrische energie, emissies
Stoffen en reacties	Informatie	Brandstoffen, duurzaamheid, elektrische energie, emissies
Energie	Informatie	Endotherm, kringloop
Energie	Informatie	Energiediagram. Kringloop
Energie	Informatie	Energiediagram, energieberekening, duurzaamheid
Processen en reacties	Informatie	Brandstoffen
Stoffen en reacties	Informatie	Organische reactievergelijkingen
Stoffen en reacties	Informatie	Brandstoffen
Onderzoeken	Processen en reacties	Conclusies, evalueren
Deeltjesmodellen	Informatie	Atoombouw
Deeltjesmodellen	Informatie	Periodiek systeem, elektrovalentie, isotopen
Processen en reacties	Informatie	Polymeren
Processen en reacties	Informatie	Evenwichten, zuren en basen

Processen en reacties	Informatie	Redox
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie, Onderzoeken	Thermoharder, netwerkpolymeer, copolymeer
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen, beginstoffen-reactieproducten, recycling
Energie	Informatie	Energiediagram, vormingswarmte, reactiewarmte, energieverlies
Processen en reacties	Informatie	Destillatie
Processen en reacties	Informatie	Verbranding
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen
Energie, deeltjesmodellen	Informatie	Energiediagram, formuletaal
Onderzoeken	Processen en reacties	Onderzoeksvraag, werkplan
Processen en reacties	Informatie	Atoombouw
Onderzoeken	Energie	Onderzoeksvraag, hypothese, werkplan, conclusie
Energie	Informatie	Endotherm, exotherm
Binding en structuur	Informatie	Stofeigenschappen, geleidbaarheid
Processen en reacties; Industriële en groene chemie	Informatie	Copolymeer, polyester, hydrolyse polymeer, hernieuwbare grondstof, innovatief proces
Binding en structuur	Informatie	Organische chemie, polymeren
Processen en reacties	Informatie	zuur-base
Bindingen, structuren en eigenschappen; Processen en reacties	Informatie	Stereo-isomerie, hydrolyse, zuur-base
Processen en reacties	Informatie	Kraakproces
Processen en reacties	Informatie	Polymerisatie
Binding en structuur	Informatie	Reactiesnelheid, katalyse
Onderzoek	Processen en reacties	Opstellen onderzoeksvraag, opstellen werkplan
Chemie van het leven	Informatie	Structuur eiwitten
Reactiekinetiek	Informatie	Katalysator
Organische chemie	Informatie	Polymeren
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties
Processen en reacties	Informatie	Redox
Processen en reacties	Informatie	Redox
Chemie van het leven	Informatie	Structuur
Chemie van het leven, chemische processen	Informatie	Structuur van eiwitten, mesomerie
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten, reactievergelijkingen
Processen en reacties	Informatie	Redox, Rekenen aan reacties
Chemische vakmethodes	Informatie	Chromatografie
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Energie	Informatie	Energiediagram
Deeltjesmodellen	Informatie	Structuurformules

Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Ruimtelijke structuur
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Stereo-isomerie
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties
Processen en reacties	Informatie	Redoxreacties
Processen en reacties	Informatie	Elektrochemische cel
Processen en reacties, Energie	Informatie	Redoxreacties, vormingswarmte
Processen en reacties, Energie	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten, Vormingswarmte
Deeltjesmodellen, Energie	Informatie	Mesomerie, Vormingswarmte
Processen en reacties	Informatie	Elektrochemische cel
Industriële processen en groene chemie	Informatie	Groene chemie (aspecten)
Processen en reacties	Informatie	Redoxreacties
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Oplosbaarheid
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Stofeigenschappen
Binding en structuur	Informatie	Stofeigenschappen
Processen en reacties	Informatie	Brandstofcel
Deeltjesmodellen	Informatie	Structuurformules
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Vervormbaarheid, H-bruggen, duurzame grondstoffen
Processen en reacties	Informatie	Zuur-base
Deeltjesmodellen	Informatie	Structuurformules
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Micro-macro
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Micro-macro
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Micro-macro, stereo-isomerie
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Stereo-isomerie, cis-trans
Deeltjesmodellen, bindingen, structuren en eigenschappen	Modelvorming	Structuurformules
Deeltjesmodellen; Processen en reacties	Informatie	Structuurisomerie ; Hydrolyse
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen
Processen en reacties	Informatie	Verbrandingen
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten
Bindingen, structuren en eigenschappen	Informatie	Mengsel, hydrofoob
Processen en reacties	Informatie	Organische reacties
Processen en reacties	Informatie	Zuur-base
Processen en reacties	Informatie	Beginstoffen en reactieproducten

[illegible]

Trefwoorden
Water-jet printer, hydrochrome stof, isomerie
Imazalil, fungicide, grapefruit, milieu
Wasmiddel, oppervlakte-actieve stof, cradle-to-cradle
Sarin, chemisch wapen, Syrië, mosterdgas, detoxificatie, hydrolyse, MEA
Minireactor, synthesesgas, aardgas, methanol, reactievergelijkingen
Imazalil, fungicide, grapefruit, milieu
ISS, massaverhouding, scheidingsmethoden
Radicaal, perfluortributylamine, methaan, broeikasgas, smog, ozon, milieu
Arseniet, arsenaat, elektrolyse, chloor, radicaal, chloriet
e-sigaret, nicotine, glycol, glycerol, water, dampmiddel
Suikerbiet, suikergehalte, winbaarheid, bietencampagne
Cfk's, ozonlaag, radicaal, milieu, ppt, gaschromatografie, massapectrum
Polonium, radioactiviteit, verval, atoombouw, uranium
Afvalgas, koolstofdioxide, elektriciteit, milieu
CO ₂ , milieu, kringloop, synthesesgas, DME, brandstof
Waterstofperoxide, bomardeerkever, hydrochinon
CO ₂ , CO, superkatalysator, nano, energiediagram, endotherm
Biomassa, lignine, cellulose, fermentatie, PIL, DES, bio-ethanol
Glycerol, citroenzuur, bioafbreekbaar, hydrolyse
Struviet, osmose, membraan, drinkwater, meststof, milieu
Energie, hernieuwbare bron, milieu, PJ, W
Waterstofperoxide, groene methode, katalysator, nano, palladium, goud
Snelheidsvergelijking, CO ₂ -opname en CO ₂ -afgifte door de grond, priming, fotosynthese
Alcohol, radicaalreacties, ozon, duurzaamheid, waarborgen kwaliteit lucht
Contactlens, sensor, enzym, glucose, waterstofperoxide, diabetici
Robotpil, citroenzuur, natriumwaterstofcarbonaat, ontwerp opdracht
Elektrolyse, waterstof, energie, groene chemie, milieu
Katalysator, nano, tumor, palladium, alkylering
Eelektrolyse, fermentatie, informatie selecteren, analyseren, weergeven
Fermentatie, CO, ethanol, acetaat, CuO elektrode, reactiewarmte, katalysator
Energie, autojaar, fossiele brandstof, milieu
AGE's, Maillard, aminozuur, glucose, suiker, informatie verzamelen, presenteren
Maillard, aromastoffen
AGE's, Maillard, additie, hydrolyse, redox, aminozuur, glucose

Papier, cellulose, lignine, scheiden, H-brug
Endotherm, benzine, katalysator, Fischer-Tropsch
Groene chemie, duurzaam, brandstofcel, elektrolyse
Calciumalginaat, vruchtenkaviaar
Presentatie, calciumalginaat, vruchtenkaviaar, cross-link
Fotosynthese, groei, stofwisseling, rekenen
Planten, Plant-E, groene stroom, fotosynthese, elektronenstroom
Batterij, accu, elektrochemische cel, halfreacties
Janus, dendrimeer, dubbellaag
Thermoplast, polycondensatie, lichtgevoeligheid, onderzoeken, gecontroleerde medicijnafgifte, laser, microniveau
CO ₂ , methaan, brandstof, milieu, kringloop, rendement
Lignine, bio-BTX, aroma, fenol, bio-based, vanilline, sinapylalcohol, kraken, atomeconomie, E-factor
Bio-aroma, lignine, PET, GDCA, PEF
Methaan, etheen, katalysator, brandstof, milieu
Spincoaten, duurzaam, accu, zonnecel
Duurzaam, accu, zonnecel
Iodine, Pb, PbO ₂ , Iodine(II), salpeterzuuroplossing, ethaanzuuroplossing
Botaangroei, bierborstel, verhoudingsformule, dubbelzout, zoutformule
Koolstofdioxide, mierenzuur, reactievergelijking
Pyruvaat, lactaat, chemisch rekenen
Lachgas, raket
Krypton, isotoop, halfwaardetijd
Redox, HMF, FDCA
Redox, HMF, FDCA, paraxyleen, koelen
Steenkoolvergassing, milieu, CO ₂
Lignine, aroma, aldehyde, brandstof, milieu
cholesterol, enzym, biobatterij, sensor, hart, Lewisformule
waterstof, brandstofcel, milieu
α-helix, aminozuren, c DNA, waterstofbrugvorming, slijm, microstructuur macroscopische eigenschappen
Kogelvrij vest, ALD, mesvrij
Kogelvrij vest, ALD, mesvrij, zuurbasis
Heelal, isopropylcyanide, isobutyronitril, aminozuur
Interstellair stof, isomeren

Anti, gauche, eclised, aminozuur
Hemoglobinen, zuurstof, ijzer, atoommodel
SMA, ABS, styreen, maleïnezuur, maleïnezuur, maleïnezuuranhydride
Magic sand; maken magisch zand
Biomassa, tweede generatie, bio-ethanol, DSM
Copolymer, maleïnezuur, styreen, SMA, membraan
Kloppend maken, massaverhouding
Magnetiet, ferrihydriet, nano, kristallen, pH, oplosbaarheidsproduct
Druiven, schimmels, grondverontreiniging
Fotosynthese, azijnzuur, butanol, exo- of endotherm
Fotosynthese, azijnzuur, butanol, exo- of endotherm
Schaliegaswinning, fracking, gezondheid
Suikerbiet, fotosynthese, tarra, winbaarheid
Koolstofdioxide, CCS, broeikaseffect, milieu
Koudemiddel, broeikaseffect, koolstofdioxide, freonen, milieu
Biobrandstof, duurzaam, brandstofcel, grafische weergave
zon; kernfusie; waterstof; helium; massadefect
STM; molberekening; spaakwiel; geleiding; tetraëder
Pyrolyse; gelamineerd aluminium; recycling
Vitamine C; ADH; gehalte; experiment
suikerbiet; polymelkzuur, PLA; blokschema
Suikerbiet, polymelkzuur, toepassingen PLA, blokschema, reactievergelijkingen, groen, duurzaam
palladium; teflon; waterstof; katalysator
PCL, PLA, PGA, PTMC, polymeren, biodegradeerbaar
Suikerbiet, biobrandstof, biobased, eerste generatie biobrandstof
Zon, deuterium, waterstof, hypothese, model, micro, macro
Spiegelbeeldisomerie, polymerisatie, duurzaamheid

Iridium, negenwaardig
Planeet Mars, microben, selfsupporting, waterstof, zuurstof
Fotosynthese, anthocyanen, druiven
Enzymen, halfreacties, naamgeving, symbooltaal
Planeet Mars, olivijn, magnetiet, methaan, waterstof, zuurstof
Duurzaamheid, koffiedrab, koffiepulp, pectine, biobrandstoffen
Oersoep, halwaardetijd, zuurstof, leven
Zonnecel, perovskiet, elektrolyse, waterstof, rendement
MOF, membraan, zout, scheidingsmethode, gassen
SS2, stuwstof, hybride, Stratos, booster
Explosie, coulombexplosie, natrium, kalium
Explosie, coulombexplosie, natrium
Molecuulmodellen, stereo-isomerie, spiegelbeeld, asymmetrisch C-atoom, cis-trans
Stereo-isomerie, spiegelbeeld, asymmetrisch C-atoom, cis-trans
Presentatie, stereo-isomerie, spiegelbeeld, asymmetrisch C-atoom, cis-trans
Links- en rechtsdraaiend, racemische mengsel, enantiomeer
Natuurwetenschappelijke methode, hypothese, werkplan, conclusies
Waterstofbruggen, cellofaan, cellulose, wateropname
Boor, beryllium, metaal of niet-metaal, complex
Eiwitten, ontkoken, duurzaamheid
Adipinezuur, groener, experimenten, uv-licht
Azobenzeen, cistrans, stereo-isomerie
Pykrete, brosheid, vezels, hout, papier
Pykrete, brosheid, vezels, hout, papier
PET, polycondensatie, groene chemie, pyrolyse, MEG, tereftaalzuur, aroma
Waterstofbruggen, smelttemperatuur, reactiemechanisme, nucleofiel
Organische reacties, initiatie, propagatie, generaties grondstoffen, radicaal, biobased
Stikstof, ammoniak, katalysator, elektronenformule, elektride

Pyrolyse, verbranding, reactievergelijking, blokschema
Karton, cellulose, lignine, verpakkingsmateriaal, milieu
Metalen, milieu, e-afval
Katalysator, biomassa, industrie, estervorming, levulinezuur, γ -valerolacton
Proefomstandigheden, monolaag, zeep, stearylalcohol, cetylalcohol
Stearylalcohol, monolaag
Stearylalcohol, monolaag
Stearylalcohol, volume molecuul
Polycaprolacton, vezel, hydrogel, GelMA
Reactievergelijkingen, rendabel proces
Halfreactie, evenwichtsverschuiving, DNA, waterstofbruggen, ionbinding, vanderwaalsbinding
Nierstenen, kristalvorming, gezondheid
Zeldzame aardmetalen, fosforen, recycling
Europium, aardmetaal, scheiding, neerslagreactie
Berekening, elektrolyse, reactievergelijking, groen
Enzymen, biomassa, glucose, xylose
Carbides, elektronenstructuurformules
Isotopen, aardkorst, aardkern
Water, membraan, elektrolyse, opschaling, corrosie, pH
Bioplastic, biobased, hydrolyse, ringvorming, recyclebaar
Ijs, sublimeren, nano, satelliet
Lewisstructuur, zuurbase, hydrofoob, vanderwaalsbinding
Kristalvorming, verdampen. Kristallisatie, Pruisisch blauw, blauwsel, natriumchloride
Kristalvorming, verdampen. Kristallisatie, Pruisisch blauw, blauwsel, natriumchloride
Explosie, koolstofverbindingen, katalysator, veiligheidseisen
Reactiemechanisme, reactor, katalysator
Ethylbenzeen, propaan, styreen, propyleenoxide, MSPO, explosie
Reactievergelijkingen, elektrolyse
Koolstofdioxide, broeikaseffect, fotosynthese, ppm, percentage
Synthesegas, groene energie, energiedrager, waterstof, ammoniak, ethanol, methanol
CO ₂ , recyclen, duurzaamheid
MOF, etheen, acetyleen, kraken, polymeer
Afrikaantjes, luteïne, hexaan
Biobased economy, bioraffinage, waardepiramide
Stank, varkensgeur, Farmsuit
Chloor, transport, giftig
PLA, polymelkzuur, demonstratie, praktische opdracht, depolymerisatie
Water zuiveren, destillatie

Magnesiumperoxide
Magnesiumperoxide, reactievergelijkingen
Planeten, zouten
Zonne-energie, windenergie, opslag overtollige energie
Strontiummonohydroxide, formuletaal, naamgeving, PVC, 5-AT, aroma
Organokobalt, CO ₂ , CO, broeikasgas
Koper, aluminium, halfreactie
Elektrochemische cel, zout water
Koolstofdioxide, broeikaseffect, kalksteen, calciumsilicaat, calciumcarbonaat
Mierenzuur, katalysator, waterstofeconomie
Polyetheen, thermoplast, afval, recycleersymbool
Lachgas, broeikaseffect, waterzuivering, Lewisstructuur
PET-fles, biobased, recycling. Lidl, glycol, BTX, xylenen
Hout, cellulose, hemicellulose, lignine, bio-ethanol
OCI Nitrogen, kunstmest, ammoniak, ureum, urean, melamine
Diesel, katalysator, vervuiling
Recycling, afvalverwerking, synthesegas
waterstof, brandstofcel, milieu
Raketten, sorbitol, lachgas
ethaan-dinitril, dikoolstof, komeet
Fotosynthese, vergisting, suiker, alcohol, destillatie
Massapercentage, biobased economy, waardepiramide
Zoetstof, koolstofchemie, smaakreceptoren, eiwit, diterpenen
CO ₂ , eierdoos, absorptie, milieu, broeikasgas
Kerosine, brandgevaar, polymeren, isohtaalzuur, tertiair amine
Strontiumcarbonaat, reactievergelijking, energie-omzetting
Strontiumcarbonaat, reactievergelijking, energie-omzetting
Thermochemische batterij, duurzaamheid
NO _x , volkswagen, milieunorm, driewegkatalysator, milieu, ureum, diesel
Glycerol, methanol, katalyse, biodiesel, blokschema
CoPS, katalysator, Pt, waterstof
zuur-base; redox
Periodiek systeem, nieuwe elementen, element 113, ununtritium
radio-actief verval, bouw atoom
Nylon-6, caprolactam, recycling, visnetten, milieu, monomeer
Chloor, bleekmiddel, pH, evenwicht, giftige dampen

FeS, FEOOH, aeroob, halfreacties, bacteriën, elementencyclus, Grevelingenmeer
3D-printen, tandheelkunde, antibacterieel
Metaal, metaaloxide, reactievergelijking, energiebalans
Calciumoxide, CaO, calciumhydroxide, Ca(OH) ₂ , duurzaam
Nano, destillatie, water, alcohol
Carbid, explosie, melkbus, acetyleen
Brandvoorwaarden, reactievergelijking, mangaanoxide, mangaandioxide, onderzoeksvraag
Brandvoorwaarden, reactievergelijking, MnO ₂ , Mn ₃ O ₄ , onderzoeksvraag
Variabelen
Thorium, kernfusie, kernreactie, energie
Endotherme reactie, thermochroom papier, beeldverslag
Warmtegeleiding, reactie geven op vraag
Nikkel-nanodeeltjes, accu, beveiliging, nano, µm
Groene colaflesjes, fructose, recyclen
Dyneema, DSM, supervazel, PE, mengbaarheid, berekening, micro, macro, meso
Zouten, base, CO ₂ , zure oplossing, brijn
Vitamines, voedsel, opname in lichaam
Katalysator, diesel, kraken, isomerisatie, zeoliet
Autoband, rubber, recycling, pyrolyse, circulaire economie, berekening
Kobalt, katalysator, broeikasgas
Fotosynthese, rijping van fruit, rotten van fruit, duurzaamheid
Primaire en secundaire structuur, duurzaamheid, eiwitten, reactiesnelheid, rijpen
Synthese, waterstofperoxide, katalyse, nano, inert
TPE, DSM, elastomeer, rubber, thermoplast
Lactide, aminozuren, fermentatie, hydrolyse, melkzuur, polymelkzuur
Licht, chemische energie, elektrolyse, zonnecel, membraan, halfreacties
Waterstof, elektrolyse, zonne-energie, energie, bipolair membraan
DNA, cyaanurzuur, adenine, nanovazel, waterstofbruggen
Tyrosine, dityrosine, grensstructuren
Staalproductie, endotherm, blokschema, waterstof, CO ₂ -uitstoot
IJzerproductie, staal, hoogoven, CO ₂ , reductie, berekening
Vloeistofchromatografie, HPLC, recycling vloeistofstroom
Fotolyse, water, fotosynthese, CO ₂
Katalysator, endotherm, structuurformule
Aromaat, anti-aromaat, σ-binding, π-binding

Vlakke structuur, additie, bindingslengte, elektronenverplaatsingen
Alkanen, spiegelbeeldisomerie, katalysator, selectiviteit, groene chemie
Waterstofperoxide, kringloop, endotherm, exotherm, fotolyse
Biodiesel, katalysator, SrO, transesterificatie, magnetron
Halfreactie, elektrolyt, gaschromatografie
Halfreactie, ethanol, Pruisisch blauw, waterstofperoxide
Elektrochemie, brandstof, duurzaam, magnesiumhydride, halfreactie
Milieueisen, DeNOx, SCR-KAT, ureum, CO ₂ , berekening
Grensstructuur, Lewisstructuur, oktetregel, energiediagram, reactiewarmte, activeringsenergie, explosie
Plant-E, fotosynthese, bacteriën, afbraak, elektriciteit
Polyamides, levulinezuur, adipinezuur, naamgeving, milieu, groene chemie
waterstof, waterstofbus, brandstofcel, milieu
Transport, water, zuurstof, waterstofbruggen, polair, apolair, polyetheen, polyethyleen
Polyethyleen, polyetheen, thermoplastisch zetmeel, folie, doorlaatbaarheid
Temperatuur, Celsius, Kelvin, formuletaal
CO ₂ , koolstofdioxide, MFCF, gesmolten zout, halfreactie
Plastic soep, metathese, polyetheen, wasbenzine, dehydrogenering
Genetische manipulatie, eiwitten, primaire structuur
Maagzuur, zoutzuur, pH, slokdarm
Teflon, antiaanbaklaag, C8, GenX, gezondheid
Nobelprijs, nanomotor, nanomolecuul, scheikunde, symthese
Nobelprijs, nanomotor, nanomolecuul, scheikunde
Nobelprijs, moleculaire motor, Feringa, Sauvage, Stoddard, catenaan
Nobelprijs, Feringa, energiediagram, (in)stabiliteit, asymmetrisch koolstofatoom
Molecuuldoos, cis-trans, stabiliteit, energiediagram
Indigo, indigotin, reactiemechanisme, mesomerie, halfreacties
CO, giftig, koolmonoxide, cv-ketel, geiser
CO, giftig, koolmonoxide, cv-ketel, geiser, elektrochemische cel
Elektrolyse, waterstof, methaan, koolstofdioxide, milieu, energie
Natuurramp, methaangas, oplosbaarheid, elektriciteit opwekken
Methaan, benzeen, waterstof, membraan, kathode, anode
Lithiumionbatterij, oxaalzuur, citroenzuur, chemische notatie
Elektrolyse, zonne-energie, waterstof, synthesegas, koolwaterstoffen, milieu

Vraagtype	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Standpuntvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatieselectievraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
-	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
-	
Informatiebewerkingsvraag	

[illegible]

Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Conclusievraag; Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegrips- en informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Argumentenvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieselectievraag; Informatiebewerkingsvraag	
Informatieselectievraag; Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	

Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag, conclusies evalueren	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Werkplan maken	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag; Probleemstellingsvraag	
Informatieselectievraag; Conclusievraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag; Conclusievraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag; Argumentenvraag	
Informatiebegripsvraag	

Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieselectievraag	
Informatieselectievraag	
Informatieselectievraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag, onderzoekvaardigheidsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieselectievraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Conclusievraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Werkplanvraag	
Probleemstellingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag, argumentenvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieselectievraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Onderzoeksvraag	
Informatiebegripsvraag	

Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag, informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag, informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Werkplanvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Imformatiebewerkingsvraag	
Imformatiebewerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiegebripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	

Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag, probleemstellingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieselectievraag	
Informatieselectievraag	
Werkplanvraag	
Informatiebegripsvraag	
Werkplanvraag	
Aanvaardbaarheidsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieselectievraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	

Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatieverwerkingsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebegripsvraag	
Informatiebewerkingsvraag	
Informatiebegripsvraag	

[illegible]