

RUPSJE NOOIT GENOEG PLASTIC

Klas	4,5 h, 4-6 v
Subdomein	Behoudswetten en kringlopen, Vaardigheden
Vaardigheid	Onderzoeken
Specificaties	Recycling, Onderzoeksvraag
Trefwoorden	Wasmot, polyetheen, plastic afval, naamgeving, reactievergelijking, berekening, IR, massaspectrometrie
Vaardigheidsvraag	Informatieverwerkingsvraag

oikosonline.nl, 3 mei 2017

Rupsje nooit genoeg plastic



Een plastic bekertje vooraf, als hoofdgerecht een oude fles schoonmaakmiddel en om het af te sluiten een boodschappentas. Het klinkt gek, maar dit zou een feestmaal zijn voor de rupsen van de grote wasmot (een nachtvlinder).

Wetenschappers hebben ontdekt dat deze rups de plasticsoort polyethyleen met genot verslindt en deze stof omzet in glycol, een goedje dat vanzelf vergaat. Hoe ze hier achter kwamen is een interessant verhaal. De wetenschappers deden in eerste instantie onderzoek met bijenkorven. Op een dag troffen ze rupsen van de wasmot aan in bijenkorven waar onderzoek mee gedaan werd. Dat is niet gek, de rupsen zijn namelijk ook verzot op bijenwas. Om verder te gaan met het onderzoek namen de wetenschappers de rupsen mee in een plastic tas, maar tot hun verbazing begonnen de rupsen dezelfde tas langzaam op te eten.

En dus kreeg het onderzoek onder leiding van Bertocchini opeens een andere wending. Ze schotelde 100 larven een plastic tas voor. Na 12 uur hadden de beestjes al ongeveer 92 milligram aan plastic verslonden.

Nu is het niet realistisch om duizenden rupsen los te laten op bergen plastic afval. Wat wel meer mogelijkheden biedt is het proces wat plaats vindt in de magen van de dieren. De wetenschappers hopen het verteringsproces uit de maag van rupsen uiteindelijk te kopiëren in hun laboratorium, zodat ze op grote schaal plastic kunnen afbreken tot glycol. Als ze daarin slagen, zou dat volgens hoofdonderzoeker Paolo Bertocchini een belangrijke doorbraak zijn.

Maar hoe kunnen die diertjes in hemelsnaam dat plastic verwerken? Waarschijnlijk moeten de larven om die bijenwas te kunnen verteren chemische bindingen verbreken die vergelijkbaar zijn met de bindingen in polyethyleen. “Was is een polymeer, een soort ‘natuurlijk plastic’,” legt Bertocchini uit. “En het heeft een chemische structuur die niet heel veel verschilt van die van polyethyleen.”

Bertocchini is enthousiast en ambitieus: “Als we weten hoe de rupsen plastic afbreken, kunnen we het kunstje wellicht op grote schaal nabootsen en zo afrekenen met plastic afval. Zo kunnen we onze oceanen, rivieren en het milieu redden van de onvermijdelijke consequenties die plastic heeft.”

Dit onderzoek heeft erg veel aandacht in de pers gehad:

- Deze rups verorbert plastic tasjes (en nog snel ook). (www.scientias.nl)
- Dit beestje eet plastic, kan het onze troep opruimen? (www.nationalgeographic.nl)
- Oplossing voor plastic berg is het nog niet, wel interessant: deze rups eet plastic (de Volkskrant)
- Rups van de grote wasmot eet plastic (zakken) op (www.deredactie.be).
- Larfje lust pap van plastic. (www.reformatorischdagblad.nl)
- Plastic-etende rups ontdekt: hoopgevend, maar het plasticprobleem blijft (www.ad.nl)
- Plastic-etende rups ontdekt. Oplossing plasticprobleem? (www.nporadio2.nl)
- Plastic etende rups geeft mogelijke oplossing voor afvalprobleem (www.nu.nl)
- Rups ontdekt die plastic tasjes eet. Normaliter eet hij bijenwas (www.kennislink.nl)
- Rups eet en verteert plastic (www.deingenieur.nl)
- Wasworm blijkt plastic te verteren (www.nd.nl)

- 1 Waarom zal dit onderzoek veel aandacht hebben gekregen in de pers ?
- 2 Waar komt nu een groot deel van het plasticafval terecht?
- 3 Wat gebeurt nu meestal met het plastic dat we niet kunnen hergebruiken?

Of de rupsen het plastic echt als voedsel gebruiken, is niet duidelijk. ‘Ze willen gewoon uit de zak’, zegt Bertocchini in een ander artikel. “Het zou dus kunnen zijn dat door kauwbewegingen van de rupsen er microplastics gevormd worden.”

Microplastics: piepkleine stukjes plastic die grote problemen veroorzaken in het milieu. De afmeting van de deeltjes is niet gedefinieerd maar ze kunnen op microscopisch niveau voorkomen. Met name in [zeeën](#) en [oceanen](#) kunnen microplastics tot problemen leiden.

- 4 Welke waarneming uit het onderzoek toont aan dat er geen microplastics ontstaan?

Bij het tijdschrift “*de Ingenieur*” luidt de titel van het artikel “Rups eet en verteert plastic”. De vraag is dus bijten de rupsen het plastic kapot of verteren de rupsen het?

In het artikel van EOS staat een conclusie van het onderzoek vermeldt: “Een papje van geplette rups op het plastic smeren had namelijk hetzelfde effect.”

- 5 Leg uit welk onderzoeksvraag de wetenschappers zich bij deze conclusie hebben gesteld.

“Of de rupsen het plastic echt als voedsel gebruiken, is niet duidelijk. Ze willen gewoon uit de zak”, zegt Bertocchini, volgens EOS

- 6 Leg uit hoe de wetenschappers zouden kunnen onderzoeken of de rupsen het plastic als voedsel gebruiken.

Volgens de onderzoekers produceren de rupsen bij het verwerken van het polyetheen de stof glycol.

- 7 Noteer de systematische naam van glycol.
- 8 Teken de structuurformule van het glycolmolecuul.
- 9 Noteer de ontbrekende coëfficiënten in de reactievergelijking van de omzetting van polyetheen, $(C_2H_4)_n$, in glycol $(C_2H_6O_2)$.
..... $(C_2H_4)_n + \dots O_2 + \dots H_2O \rightarrow \dots C_2H_6O_2$

Bij deze omzetting worden C-C bindingen verbroken.

10 Wat voor type binding is een C-C binding ?

Volgens *de Volkskrant*: “Polyethyleen (PE) wordt vooral gebruikt voor verpakkingsmateriaal. Het kan tientallen en soms zelfs honderden jaren duren voordat een plastic zak helemaal is afgebroken.”

Polyetheen is dus moeilijk afbreekbaar via natuurlijke weg. Dit komt doordat de polymeer ketens te lang, te stabiel en hydrofoob zijn

11 Leg uit dat het kraken van alkanen in de olie-industrie een onderbouwing is voor de uitspraak dat de polyetheen keten stabiel is.

12 Leg uit waardoor een polyetheen keten hydrofoob is.

In het artikel staat dat 100 larven volgens de onderzoekers 92 mg plastic verslinden in 12 h. Een gemiddeld polyetheen tasje heeft een massa van 20 gram.

13 Bereken hoeveel dagen 100 larven nodig hebben om een polyetheen tas van 20 gram te verslinden.

Per jaar wordt wereldwijd 80 miljoen ton polyetheen geproduceerd. Na verloop van tijd is deze hoeveelheid polyetheen niet meer nodig. Men wil dit polyetheen in één jaar door larven laten verslinden.

14 Controleer de uitspraak in het artikel “Nu is het niet realistisch om duizenden rupsen los te laten op bergen plastic afval.” Bereken hiervoor hoeveel larven men nodig heeft om in één jaar 80 miljoen ton polyetheen te verslinden.

De titel van een artikel op de site van *NPO 2 radio* luidt “Plastic-etende rups ontdekt. Oplossing plasticprobleem?”

15 Leg uit of jij vindt dat de plastic-etende rups op dit moment een oplossing voor het plasticprobleem is.

5,6 vwo

De onderzoekers hebben IR metingen en MS metingen gedaan aan het verteringsproduct van de rupsen. Ze vonden bij IR-metingen een absorptiegebied bij ongeveer 1700 cm^{-1} .

16 Leg uit of deze IR meting het ontstaan van glycol ondersteunt.

Ook vonden ze bij de IR-meting een absorptie bij ongeveer 3000 cm^{-1} .

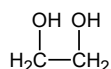
17 Leg uit of deze IR meting het ontstaan van glycol ondersteunt.

18 Leg uit welke twee pieken in een MS spectrum het ontstaan van glycol zouden verklaren. Geef de waarde van m/z en de structuur van het brokstuk.

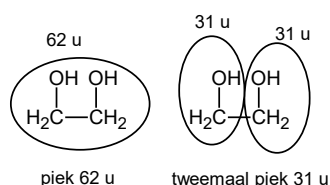
Rupsje nooit genoeg plastic

- 1 Omdat de plasticafvalberg die we in de wereld produceren een groot probleem is.
- 2 Groot deel plastic op vuilnishopen of in milieu/ verspreiding land, rivieren, zeeën en oceanen
- 3 Verbranden
- 4 Dat er glycol ontstaat.
- 5 Is de rups verantwoordelijk voor het afbreken of zijn enzymen in zijn maag verantwoordelijk voor de afbraak?
- 6 De rupsen plastic voeren en kijken of hun massa toeneemt.
- 7 Ethaan-1,2-diol

8



- 9 $2 (\text{C}_2\text{H}_4)_n + n \text{O}_2 + 2 n \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2n \text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$
- 10 Atoombinding.
- 11 Kraken gebeurt bij hoge temperaturen. Er is dus veel energie nodig om de bindingen in de moleculen te verbreken.
- 12 Polyetheen bestaat uit CH_2 groepen, samen vormen ze een apolaire keten die geen H-bruggen kan vormen dus hydrofoob is.
- 13 $20 \text{ g} = 20 \cdot 10^3 \text{ mg} \equiv 20 \cdot 10^3 / (92 \times 2) = 109 \text{ dagen}$.
- 14 1 larve consumeert in 24 u 1,84 mg PE. Dit is per jaar $365 \times 1,84 \text{ mg} = 0,6716 \text{ g PE}$.
 $80 \cdot 10^6 \text{ ton} = 80 \cdot 10^9 \text{ kg PE} = 80 \cdot 10^{12} \text{ g PE} \equiv 80 \cdot 10^{12} / 0,6716 = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ larven}$.
- 15 Mening leerling. Mogelijkheid: gezien het aantal benodigde rupsen en de snelheid geen oplossing.
- 16 IR 1700 cm^{-1} duidt op $\text{C}=\text{O}$ en die is niet in glycol aanwezig.
- 17 IR 3300 cm^{-1} duidt op aanwezigheid van een OH groep, maar daarmee is nog niet aangetoond dat het glycol is.
- 18 Bijvoorbeeld bewijs door MS molecuulionpiek met $m/z = 62$ en piek bij $m/z = 31$.



PLASTIC-ETENDE RUPS

Klas	5 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Organische chemie
Trefwoorden	Rupsen, PE, afbraak, milieu, ethyleenglycol, polyester, polyetheen
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

Gelderlander, 25 april 2017

Plastic-etende rups ontdekt: hoopgevend, maar het plasticprobleem blijft

Plastic is een hardnekkig probleem. We produceren jaarlijks miljarden kilo's afval, maar een oplossing voor de vervuiling lijkt ver weg. Tot nu: wetenschappers stuitten toevallig op een rups die op relatief hoge snelheid plastic kan opeten én verteren. Gisteren verschenen de resultaten in het wetenschappelijke tijdschrift *Current Biology*.

De officiële naam van de rups is de *Galleria Mellonella*: de grote wasmot. Het beestje is de larve van een nachtvlinder, die hun eitjes in bijenwas leggen. Als de larven uitgekomen zijn, eten ze de bijenwas waarin ze genesteld zijn. Bijenhouders beschouwen de beestjes als parasieten, vertelt onderzoeker Federica Bertocchini.

De ontdekking dat de rupsen ook plastic lusten, was een toevalstreffer, beschrijft Bertocchini in een verklaring. „Ik houd bijen voor mijn plezier, en had last van de larven. Ik verwijderde ze uit de was en stopte ze in een afgesloten plastic zak,” vertelde ze. „Toen ik even later terugkwam bij de wormen, waren ze ontsnapt en zat de zak vol gaatjes. Er was maar één uitleg mogelijk: de wormen maakten de gaatjes en zijn ontsnapt. Toen begon het project.”

Antivries

Bertocchini en haar collega's ontdekten dat de rupsen plastic binnen een paar uur af kunnen breken. Om precies te zijn verteren honderd rupsen 92 milligram plastic in twaalf uur. Het plastic verandert dan in een stofje dat ook in antivries en polyester zit. Dat stofje is ethyleenglycol en breekt zichzelf binnen een paar weken af, terwijl 'gewone' plastic tasjes het wel 100 tot 400 jaar kunnen volhouden.

Hoe het precies werkt, weten de onderzoekers nog niet. Ze vermoeden dat de rups het plastic zo makkelijk kan verteren omdat het qua stof op bijenwas lijkt, het normale eten van de rups. „We denken dat een enzym verantwoordelijk is voor de biogradatie”, legt Bertocchini uit. „Als we kunnen ontdekken welk enzym dat is, zouden we het industrieel kunnen produceren. Zo zouden we plastic op een grotere schaal tegen kunnen gaan.”



De rups eet zich door het plastic. © Federica Bertocchini

Plastic tas

Het is een hoopgevende ontdekking. Toch brengt de ontdekking niet direct de oplossing voor het plasticprobleem. Dat ligt vooral aan de snelheid: omgerekend doen de rupsen er honderd dagen over om een plastic tas van twintig gram te verwerken. Dat is veel te traag om de miljarden kilo's plastic afval te verwerken die wereldwijd worden geproduceerd.

Voorlopig zal plastic afval dus op de traditionele manier verwerkt blijven worden. Een deel ervan wordt recycled of verbrand, maar het gros eindigt in grote stapels op een vuilnisbelt, of drijvend in zee.

Toeval speelt vaak een rol bij ontdekkingen. Zo ook bij de ontdekking van de plastic-etende rups.

- 1 Licht toe hoe het toeval bij de ontdekking van de plastic-etende rups een rol heeft gespeeld.

De rups breekt polyetheen af tot ethyleenglycol. Polyetheen, PE, is gevormd uit etheen.

- 2 Geef de structuurformule van het etheenmolecuul en van een deel uit het midden van de PE-keten.
- 3 Zoek de systematische naam voor ethyleenglycol op in Binas en geef de structuurformule van het ethyleenglycolmolecuul.

PE kun je weergeven als $(C_2H_4)_n$. Ethyleen glycol als $C_2H_6O_2$.

- 4 Geef de reactievergelijking van de omzetting van PE in ethyleenglycol in molecuulformules weer. Hierbij is zowel water als zuurstof betrokken.

Uitgekomen larven van de grote wasmot eten bijenwas. Hier bleken ze polyetheen te eten.

- 5 Wat kun je afleiden over de structuur van bijenwas?

Ethyleenglycol wordt beschreven als een stofje dat voorkomt in antivries en polyester. Antivries is een mengsel van ethyleenglycol en water. Polyester is een polymeer gevormd uit een diol en dizuur.

- 6 Leg op microniveau uit waarom ethyleenglycol zo goed oplost in water.
- 7 Leg uit dat ethyleenglycol niet als stof voorkomt in polyester.

De wasmotrups verorbert een bepaalde hoeveelheid PE per uur.

8 Bereken hoeveel milligram een wasmotrups per uur verteert.

9 Bereken hoeveel rupsen nodig zijn om 1 miljard kg PE in een jaar om te zetten in ethyleenglycol.

Wetenschappers zijn nu naar op zoek naar het enzym dat ervoor zorgt dat PE afgebroken wordt tot ethyleenglycol.

10 Waarom zal het vinden van het betreffende enzym weer een stap vooruit zijn?

“Ethyleenglycol (...) breekt zichzelf (...) af”, zegt het artikel. Dat gaat niet vanzelf: daarvoor zijn bacteriën nodig.

11 Geef de reactievergelijking van de afbraakreactie van ethyleenglycol waarbij water en koolstofdioxide ontstaan.

Het afbreken door de rupsen en de afbraak van ethyleenglycol in de natuur hebben een bepaald energie-effect.

12 Leg uit of deze afbraakreacties exotherm of endotherm zullen zijn.

Plastic-etende rups

- 1 De wetenschapper had de rupsen opgesloten in een "plastic"(PE)-zak. Enige tijd later zag zij dat er gaten in de PE-zak zaten en dat de rupsen waren ontsnapt.
- 2
$$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 \quad \sim\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2\sim$$
- 3 Ethaan-1,2-diol:
$$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2 \\ | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$$
- 4 $2 (\text{C}_2\text{H}_4)_n + 2n \text{H}_2\text{O} + n \text{O}_2 \rightarrow 2n \text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2.$
- 5 De molecuulstructuur van bijenwas lijkt op de structuur van PE: dus langgerekte koolwaterstofketens.
- 6 Ethyleenglycolmoleculen hebben net als watermoleculen OH-groepen die met elkaar H-bruggen kunnen vormen.
- 7 In polyester hebben een diol en een dizuur met elkaar gereageerd onder afsplitsing van water. Ethyleenglycol is dus opgenomen in de polyesterketen
- 8 100 rupsen hebben in 12 uur 92 mg PE omgezet in ethyleenglycol. Dus 1 rups in 12 uur dan 0,92 mg, ofwel $0,92/12 = 0,077$ mg per uur.
- 9 1 miljard kg = $1 \cdot 10^9$ kg = $1 \cdot 10^{15}$ mg. 1 rups zet 0,077 mg per uur om dat is $0,077 \times 24 \times 365 = 675$ mg per jaar. Dus nodig $1 \cdot 10^{15}/675$, $6 = 1,5 \cdot 10^{12}$ rupsen.
- 10 Dan kun je makkelijker veel enzymmateriaal produceren en ben je niet meer afhankelijk van de rupsen.
- 11 $2 \text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}.$
- 12 De rupsen en bacteriën doen het voor hun energievoorziening, dus exotherm.

BRANDWEER RUKT UIT VOOR MELDING VAN LEKKAGE BIJ AKZO-NOBEL

Klas	4,5 hv
Subdomein	Industriële processen en Groene Chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Veiligheidsrisico's,
Trefwoorden	Waterstofperoxide, chloorazijnzuur, veiligheid, gevarensymbolen, H- en P-zinnen, LD ₅₀
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

De Gelderlander, 12 april 2017

Brandweer rukt groots uit voor melding van lekkage bij AkzoNobel

Brandweerlieden zijn dinsdagavond vanwege een lekkage uitgerukt naar het bedrijf AkzoNobel op industrieterrein De Kleefse Waard in Arnhem. De vrees was dat de zeer gevaarlijke stof monochloorazijnzuur zou zijn gelekt.

Op de achttiende verdieping van de fabriek maken ze de grondstof cellulose, waar onder meer het monochloorazijnzuur voor nodig is. Volgens een woordvoerder van de brandweer was de vrees dat het azijnzuur gelekt was, omdat er 25 tot 30 liter vloeistof in het productiesysteem werd gemist. Uiteindelijk bleek dit niet het geval en was het de onschuldige stof waterstofperoxide die was gelekt, zo meldt een woordvoerder. Deze stof wordt later in het productieproces gemengd met het azijnzuur.

Brandweerlieden deden in beschermende kleding onderzoek in het pand.

Bij veel chemische bedrijven, zo ook bij AkzoNobel, wordt soms gewerkt met gevaarlijke stoffen.

Men vreesde dat op het bedrijf op De Kleefswaard de stof monochloorazijnzuur was gelekt en alarmeerde de brandweer.

Voor monochloorazijnzuur gelden onder andere de volgende veiligheidszinnen uit Binas tabel 97E: H301, H311, P280, P301 en P310.

1 Wegens welke zinnen moesten de brandweerlieden beschermende kleding dragen?

In het artikel wordt naast de stof monochloorazijnzuur ook de stof waterstofperoxide genoemd.

2 Geef de systematische naam van monochloorazijnzuur.

3 Teken de structuurformules van monochloorazijnzuur en waterstofperoxide, H₂O₂.

Uiteindelijk bleek dat de "onschuldige" stof waterstofperoxide was gelekt. Op dat "onschuldig" is ook wel iets aan te merken als je de veiligheidskaart van waterstofperoxide bekijkt. Voor waterstofperoxide gelden onder andere de volgende veiligheidszinnen: H302, H318, P280, P351 en P338.

4 Welke veiligheidszinnen met betrekking tot waterstofperoxide zijn voor de brandweerlieden van belang?

5 Leg uit hoe uit de veiligheidszinnen blijkt dat monochloorazijnzuur gevaarlijker is dan waterstofperoxide. Gebruik hierbij *Binas*.

- 6 Leg uit wat jij met betrekking tot het risico van waterstofperoxide zou hebben geschreven in het artikel.
- 7 Welke pictogrammen, Binas tabel 97B, moeten in ieder geval op de verpakkingen van waterstofperoxide en monochloorazijnzuur zijn aangebracht. Noteer je antwoord als volgt:
Waterstofperoxide:
Monochloorazijnzuur:

Je kunt zowel monochloorazijnzuur als waterstofperoxide minder schadelijk maken door ze met water te verdunnen en zo weg te spoelen.

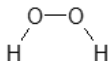
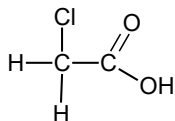
- 8 Leg voor beide stoffen op microniveau uit waardoor je ze gemakkelijk met water kunt verdunnen.

De brandweerlieden dragen beschermende kleding omdat in de veiligheidszinnen voor monochloorazijnzuur sprake is van *acute dermale toxiciteit*. Dit betekent dat monochloorazijnzuur giftig is bij contact met de huid.
De acute (orale) toxiciteit wordt uitgedrukt in de LD₅₀ (in mg per kg lichaamsgewicht).

- 9 Leg uit of de LD₅₀-waarde voor de huid hoger of lager zal zijn.

Brandweer rukt uit voor melding van lekkage bij Akzo-Nobel

- 1 H311 en P280
- 2 Monochloorethaanzuur.
- 3



Monochloorazijnzuur Waterstofperoxide

- 4 H318, P280 en P351.
- 5 Monochloorazijnzuur is giftiger dan waterstofperoxide. Dit blijkt uit H 301 en H302. Bij waterstofperoxide kun je de huid afspoelen met water en bij monochloorazijnzuur onmiddellijk een arts waarschuwen.
- 6 In ieder geval “onschuldig” vervangen door *minder gevaarlijk*.
- 7 Waterstofperoxide: de nummers 03 (brand bevorderen), 05 (bijtend), 07 (schadelijk). Monochloorazijnzuur: 02 (ontvlambaar), 05 (bijtend), 06 (toxisch).
- 8 Beide stoffen kunnen H-bruggen vormen met H₂O moleculen. Ze zijn zeer hydrofiel en lossen goed op in water.
- 9 De LD₅₀-waarde voor opname voor de huid zal hoger zijn, omdat stoffen door de huid veel minder snel wordt opgenomen dan oraal.

SALPETERZUUR OP DE BOERDERIJ

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	zuurbasereacties
Trefwoorden	Salpeterzuur, zwavelzuur, ammoniak, calciumoxide, pH, mestverwerking
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 5 mei 2017

Salpeterzuur op de boerderij

Een lekkende opslagtank voor salpeterzuur zorgde voor evacuaties in het Vlaamse dorp Zevekote. De tank hoort bij een experimentele mestverwerkingsinstallatie.'



'De tank is 's ochtends gevuld. 's Middags zagen we de eerste druppels en al snel een gelige wolk rondom de tank. Toen hebben we direct de brandweer gebeld.' Een paar dagen na het ongeluk vertelt varkensboer Carine Decloedt tegen de Vlaamse tv-zender VTM wat er eind maart op haar erf gebeurde. De toegesnelde brandweer slaagde er niet in het lek te dichten en besluit het zuur over te pompen. Drie pompen en zo'n twaalf uur later zit de 16.000 liter salpeterzuur (HNO_3) veilig in een tankwagen.

Gloednieuw

Ondertussen zijn echter een kleine duizend omwonenden geëvacueerd vanwege een grote wolk nitreuze dampen: een mix van stikstofoxides en verdampt salpeterzuur. De geelrode kleur komt door het aanwezige stikstofdioxide. De damp inademen is ongezond en kan brandwonden op de huid veroorzaken. Gelukkig raakte niemand gewond. De dorpsbewoners konden na een dag weer naar huis; de wolk is dan opgelost. Ook de zesduizend varkens op het bedrijf van Decloedt lijken in orde. Een dierenarts gaat de dieren kort voor de slacht nog grondig onderzoeken. De milieubeweging waarschuwt al langer voor zwavelzuur op boerderijen dat toepassing vindt in gaswassers en mestvergisters. Maar een tank met duizenden liters salpeterzuur is uitzonderlijk. 'De tank hoort bij een nieuw prototype mestverwerker', vertelt Thomas Vannecke, adviseur bij het Vlaams Coördinatiecentrum mestverwerking. In de mestverwerker voeg je ongebluste kalk (calciumoxide) toe aan de dunne mestfractie. De hoge pH drijft de ammoniak uit de vloeistof. Warmte van de anaerobe mestvergister helpt daarbij. Een gaswasser vangt de dampen af en het salpeterzuur zet de ammoniak om in ammoniumnitraat, een belangrijk bestanddeel van kunstmest. Een meer traditionele mestverwerkingsinstallatie gebruikt zwavelzuur voor dit wasproces. Vannecke: 'Salpeterzuur is duurder, maar ammoniumnitraat is waardevoller dan ammoniumsulfaat.' Dit omdat zowel het kation (NH_4^+) als anion (NO_3^-) stikstof bevat.

Salpeterzuur wordt op boerderijen met mestverwerking vaker gebruikt. Het wordt toegepast om ammoniak om te zetten in ammoniumnitraat. De meest gangbare salpeterzuur concentratie is een 53% oplossing van salpeterzuur.

- 1 Geef de notatie voor een 53% salpeterzuuroplossing.

- 2 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als ammoniak door een salpeterzuuroplossing geleid wordt.

In vloeibare mest is de stikstof aanwezig als een mengsel van opgeloste ammoniak en ammoniumionen. Toevoeging van ongebluste kalk laat de pH stijgen waardoor steeds meer ammoniumionen omgezet worden in ammoniakmoleculen. De warmte van de vergister zorgt ervoor dat de ammoniak uit de mest als gas ontwijkt.

- 3 Laat in een reactievergelijking zien dat toevoegen van ongebluste kalk de pH laat stijgen.
- 4 Leg aan de hand van een reactievergelijking uit dat bij een hogere pH er meer ammonium omgezet wordt in ammoniak.
- 5 Leg uit of de anaerobe vergisting een exotherm of endotherm proces is.

In plaats van salpeterzuur kan ook het goedkopere zwavelzuur gebruikt worden bij de mestverwerking.

- 6 Geef de reactievergelijking die optreedt tussen ammoniak en een zwavelzuuroplossing.
- 7 Bereken het stikstofpercentage in ammoniumnitraat en in ammoniumsulfaat.
- 8 Leg uit waarom de varkensboer toch gekozen heeft voor salpeterzuur.

Salpeterzuur op de boerderij

- 1 $\text{H}^+ + \text{NO}_3^-$.
- 2 $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$.
- 3 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^-$. Er ontstaan hydroxide-ionen, dus een basische oplossing. De pH stijgt.
- 4 Bij een hogere pH reageren de ammoniumionen met hydroxide-ionen tot ammoniakmoleculen: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$.
- 5 Er komt warmte vrij dus een exotherm proces.
- 6 $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$.
- 7 Stikstofpercentage in ammoniumnitraat, NH_4NO_3 : $\frac{28,02}{80,043} \times 100\% = 35,01\%$.

Stikstofpercentage in ammoniumsulfaat, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: $\frac{28,02}{132,14} \times 100\% = 21,20\%$.

- 8 Het levert een product op, ammoniumnitraat, dat waardevoller is dan ammoniumsulfaat.

KUN JE KOFFIE GEBRUIKEN ALS BRANDSTOF?

Klas	5 hv, 6 v
Subdomein	Industriële processen en groene chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Groene Chemie (aspecten), blokschema
Trefwoorden	Koffiedrab, biodiesel, blokschema
Vaardigheidsvraag	informatiebewerkingsvraag

www.fagt.nl, 11 mei 2017

Kun je koffie gebruiken als brandstof?

Gebruikte gemalen koffie kun je voor van alles hergebruiken: als waterfilter, luchtfilters en vulling voor het wegdek. Dankzij nieuwe techniek kan koffiedik nu zelfs ingezet worden als biobrandstof.

Koffiedik omzetten in biobrandstof was tot nu toe een ingewikkeld proces. Eerst wordt er n-hexaan bij gedaan, een organisch oplosmiddel. Door het mengsel twee uur lang te laten staan bij 60 graden, verdampt de n-hexaan, waarbij het olieën achterlaat. Door daar methanol en een katalysator aan toe te voegen krijg je biodiesel. Glycerol ontstaat daarbij als bijproduct. Dat moet nog gescheiden worden van de biodiesel.

Britse wetenschappers zijn er nu in geslaagd om een techniek te ontwikkelen die sneller en eenvoudiger is. Ze noemen hun techniek in-situ transesterificatie. De olie eruit halen en omzetten in biodiesel kan nu in één stap. Bij de techniek is geen n-hexaan meer nodig, nu de methanol en de katalysator direct aan het koffiedik worden toegevoegd. (...)

Brandstof maken uit koffiedik wordt daardoor veel meer commercieel interessant als alternatieve brandstof. Terwijl de resten van een gezond bakkie koffie komen nu nog gewoon terecht in de afvalverwerking, zou het nu dus interessant kunnen zijn om die in te zamelen om er biodiesel van te maken.



Als je koffie zet, blijft er zogenaamde koffiedrab over. Die koffiedrab bevat olie die omgezet kan worden in biodiesel via transesterificatie. Je laat de olie dan reageren met methanol, waarbij biodiesel, de methylester van een vetzuur, en glycerol ontstaan. Als methylesters blijken vooral methylpalmitaat, de methylester van palmitinezuur, en methylolinoleaat, de methylester van linolzuur te ontstaan.

- 1 Geef de reactievergelijking voor de transesterificatie van de olie in koffiedrab waarbij biodiesel ontstaat in structuurformules weer. Gebruik voor de alkylstaart van palmitinezuur of linolzuur de molecuulformule.
- 2 Geef in de reactievergelijking aan uit welke producten de biodiesel bestaat.

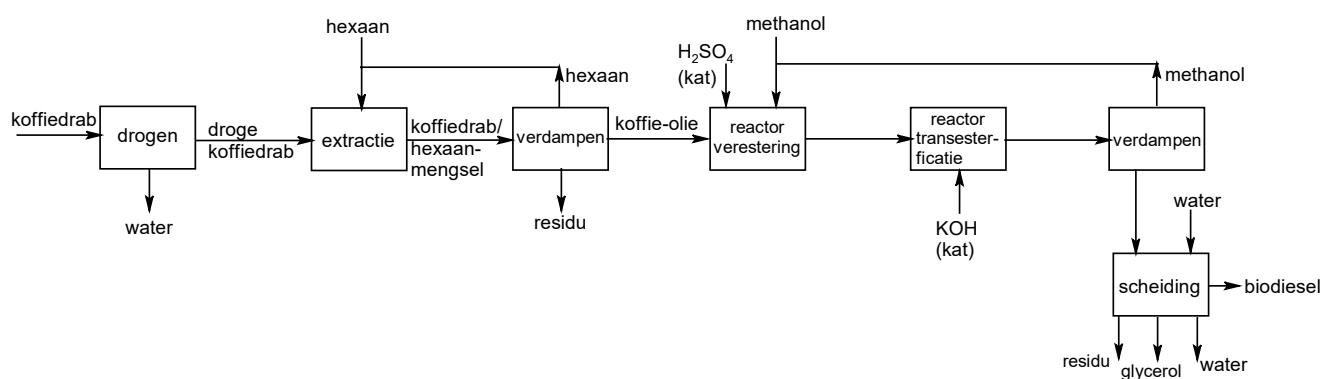
In een ander artikel over dit onderwerp staat dat droge koffiedrab voor 11 tot 20 massaprocent - afhankelijk van de soort koffie - bestaat uit olie.
In weer een ander artikel staat dat 1000 kilogram koffiedrab 250 L biodiesel oplevert.

- Controleer met een berekening of deze twee gegevens met elkaar in overeenstemming zijn. Ga uit van 15 massaprocent olie in koffiedrab. Gebruik als gemiddelde molaire massa voor de olie: 830 g/mol en voor de biodiesel 279 g/mol. De gemiddelde dichtheid van biodiesel is 880 kg m^{-3} .

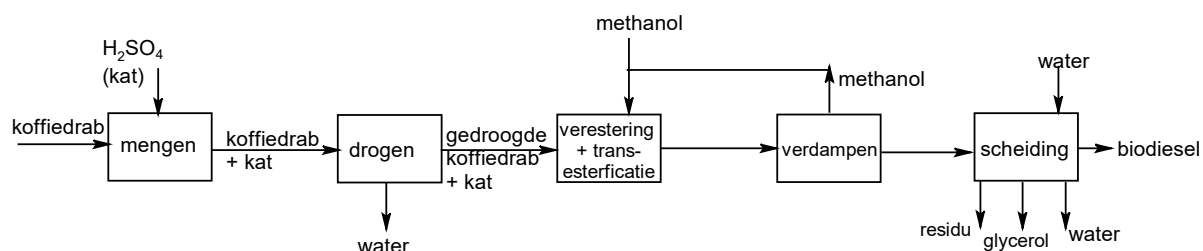
Groener proces?

De Britse wetenschappers hebben een nieuw proces ontwikkeld dat sneller en eenvoudiger is dan het eerdere proces. Betekent dit ook dat het nieuwe proces groener is?

In figuur 1 staat het blokschema van het eerdere “ingewikkelde” proces, *Proces A*. In figuur 2 dat van het nieuw ontwikkelde “eenvoudige” proces, *Proces B*.



Figuur 1, *Proces A*, “ingewikkelde” proces



Figuur 2, *Proces B*, “eenvoudige” proces

In de bijlage vind je een tabel met de twaalf uitgangspunten van de Groene Chemie (zie ook Binas tabel 97F)

- Leg in de tabel in de bijlage uit of en zo ja hoe aan een uitgangspunt voldaan wordt als je het “eenvoudigere” proces (A) vergelijkt met het “ingewikkelde” proces (B).

De titel van een artikel moet kort en aansprekend zijn, de lezer uitnodigen tot lezen. Ook moet de titel een afspiegeling van de inhoud zijn.

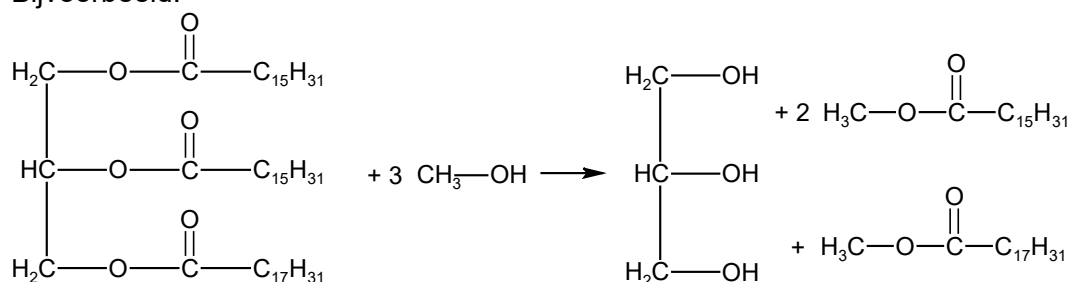
- Formuleer een andere titel voor het artikel.

Bijlage

<i>Uitgangspunt</i>	<i>Uitleg</i>
1. Preventie	
2. Atoomeconomie	
3. Minder gevaarlijke productiemethoden	
4. Ontwikkelen van veiliger stoffen	
5. Veiligere oplosmiddelen	
6. Energie efficiënt ontwikkelen	
7. Gebruik hernieuwbare grondstoffen	
8. Reacties in weinig stappen	
9. Katalyse	
10. Ontwerpen met het oog op afbraak	
11. Preventie milieuverontreiniging door tussentijdse analyse	
12. Veiligere chemie om ongelukken te voorkomen	

Kun je koffie gebruiken als brandstof?

1 Bijvoorbeeld:



2 De beide methylesters: methylpalmitaat en methylolinolaat

3 $1000 \text{ kg koffiedrab} \equiv 0,15 \cdot 1000 = 150 \text{ kg olie} \equiv 150/830 = 0,187 \text{ kmol olie} \equiv 3 \times 0,187$
 $\text{kmol biodiesel} = 0,542 \text{ kmol biodiesel} \equiv 0,542 \times 279 = 151 \text{ kg biodiesel} \equiv 151/0,88 = 172$
 L biodiesel. De beide gegevens komen niet overeen.

4

<i>Uitgangspunt</i>	<i>Uitleg</i>
1. Preventie	Bij beide niet veel afval.
2. Atoomeconomie	Voor beide processen hetzelfde. Dezelfde uitgangsstoffen en eindproducten. Katalysator wordt niet verbruikt.
3. Minder gevaarlijke productiemethoden	Bij proces B geen hexaan (brandgevaarlijk) nodig, dus minder gevaarlijk dan proces A.
4. Ontwikkelen van veiliger stoffen.	Geen verschil tussen beide processen, hetzelfde eindproduct
5. Veiligere oplosmiddelen	Proces B gebruikt geen hexaan. Wel gebruiken beide processen methanol. Dus proces B is gunstiger.
6. Energie efficiënt ontwikkelen	Proces A: zowel hexaan als methanol verdampen. Dit kost meer energie dan wanneer je alleen methanol hoeft te verdampen. Kanttekening: er zijn geen gegevens over de hoeveelheden die in beide processen verdampt moeten worden. Dus het kan zijn dat proces B toch meer energie verbruikt dan proces A
7. Gebruik hernieuwbare grondstoffen	Beide processen gebruiken koffiedrab.
8. Reacties in weinig stappen	Zie blokschema's proces B gebruikt minder stappen.
9. Katalyse	Beide processen gebruiken katalysatoren. Bij proces B slechts één katalysator.
10. Ontwerpen met het oog op afbraak	Bij beide processen ontstaan biodiesel en glycerol.
11. Preventie milieuverontreiniging door tussentijdse analyse	Komt niets over aan bod in artikel of verdere gegevens.
12. Veiligere chemie om ongelukken te voorkomen	Zonder gebruik van hexaan is proces B minder risicovol dan proces A.

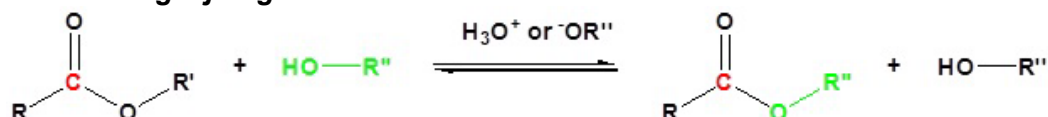
5 Antwoord leerling. Bijvoorbeeld: Biobrandstof maken uit koffiedrab.

Artikel: <http://www.fagt.nl/recent/58541/>

Opmerking: Uit koffiedrab gewonnen biodiesel ruikt overigens ook naar koffie. Zoals auto's die rijden op frituurvet ruiken als een rijdende frietkraam, zouden auto's op koffiedrab volgens de onderzoekers kunnen ruiken naar een vers bakkie troost.

Mechanisme transesterificatie

Reactievergelijking:



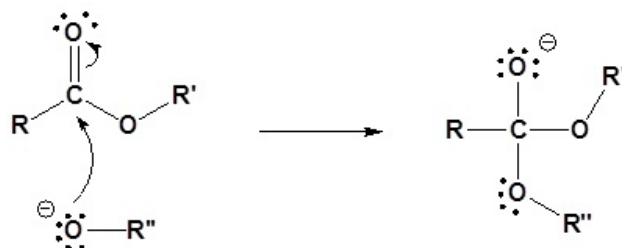
Since both the reactants and the products are an ester and an alcohol, the reaction is reversible and the equilibrium constant is close to one. Consequently, the Le Chatelier's principle has to be exploited to drive the reaction to completion. *The simplest way to do so is to use the alcohol as the solvent as well.*

Mechanismen

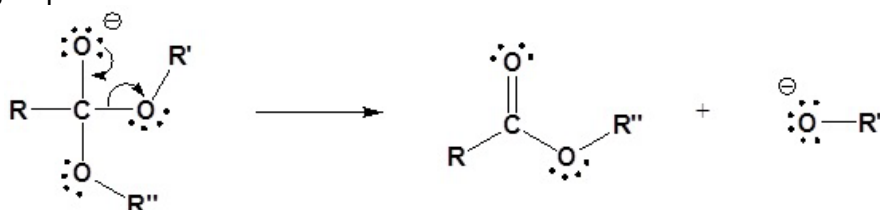
Aan het einde staan de stappen ook zonder elektronenoverdrachtspijlen gegeven. U kunt dus eventueel een vraag toevoegen en naar de elektronenoverdracht vragen.

A Basische katalysator

Nucleophilic attack by an alkoxide

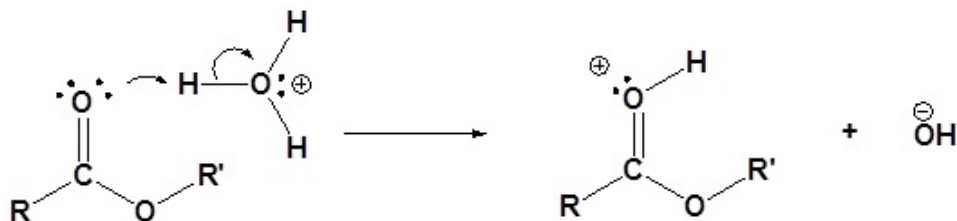


2) Leaving group removal

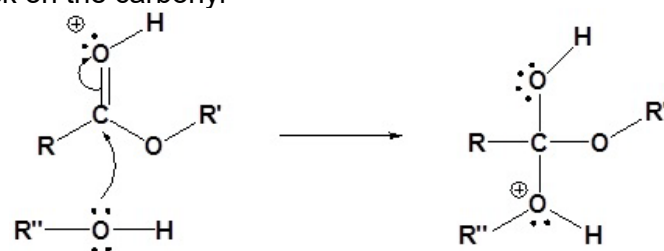


B Zure katalysator

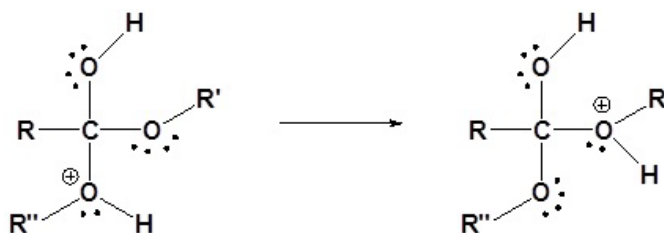
1) Protonation of the carbonyl by the acid. The carbonyl is now activated toward nucleophilic attack.



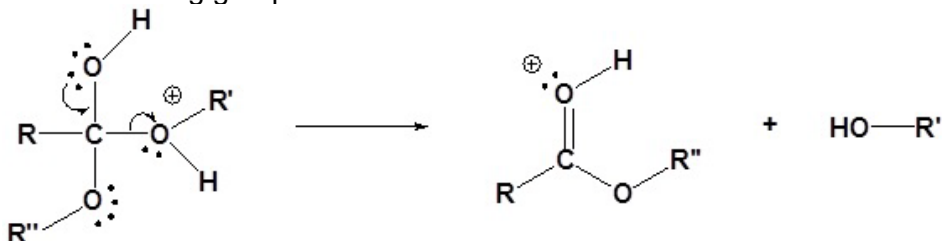
2) Nucleophilic attack on the carbonyl



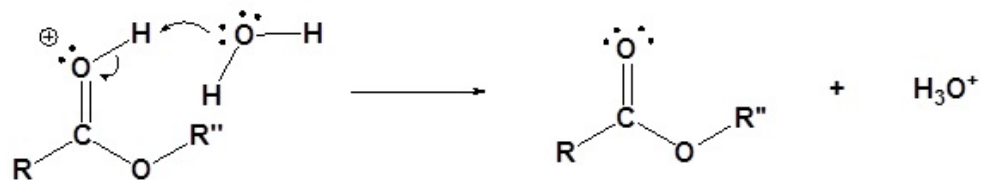
3) Proton transfer



4) Removal of the leaving group



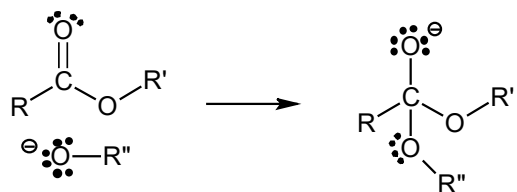
5) Deprotonation



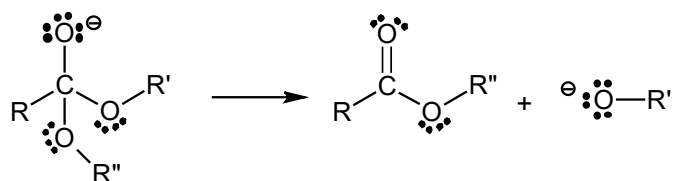
Reactiemechanismen ZONDER pijlen die elektronenoverdracht aangeven.

A Basische katalysator

1) Nucleophilic attack by an alkoxide

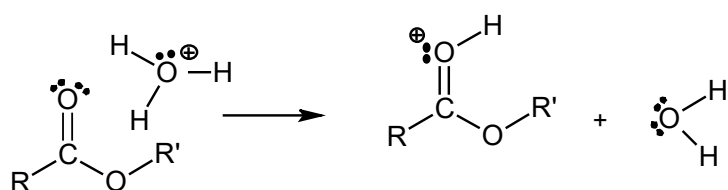


2) Leaving group removal

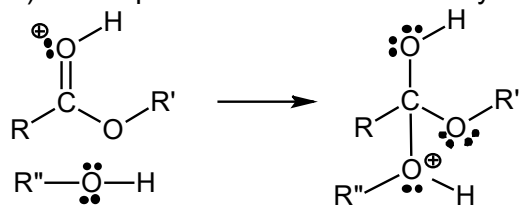


B Zure katalysator

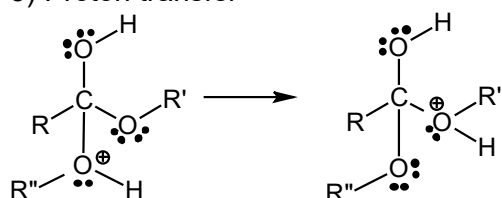
1) Protonation of the carbonyl by the acid. The carbonyl is now activated toward nucleophilic attack.



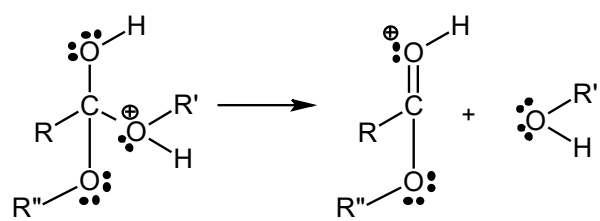
2) Nucleophilic attack on the carbonyl



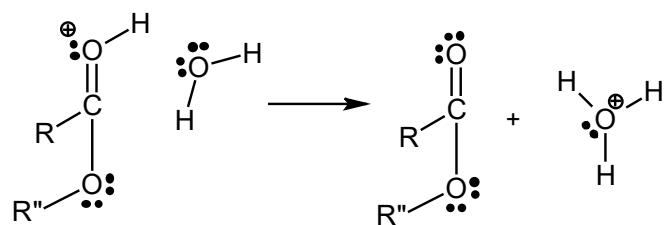
3) Proton transfer



4) Removal of the leaving group



5) Deprotonation

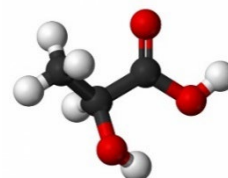


SCHIMMEL MAAKT MELKZUUR

Klas	5 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Polymeren
Trefwoorden	Melkzuur, schimmel, PLA, <i>Monascus ruber</i> , suikers
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 21 april 2017

Schimmel maakt melkzuur



Van de schimmel *Monascus ruber* kun je een prima producent van melkzuur en andere organische zuren maken. Van nature verdraagt hij zeer hoge concentraties bij een lage pH. Energieconcern Total staat op het punt een gemodificeerde variant te testen op pilotplantschaal, meldt Wageningen University & Research in een persbericht.

Dat melkzuur kun je bijvoorbeeld verwerken, tot PLA, de biokunststof waar de meeste 3D-thuisprinters mee werken.

Samen met opdrachtgever Total zijn onderzoekers van Wageningen Food & Biobased Research jarenlang met de schimmel bezig geweest. Het idee om er organische zuren mee te maken is enkele jaren geleden al geïmplementeerd. Maar sindsdien is de gemodificeerde schimmel nog verder geoptimaliseerd, vertelt projectleider Ruud Weusthuis: ‘Als melkzuurproducent doet hij het nu tot twee keer beter dan alles wat tot nu toe in de literatuur beschreven is.’

Eerste vereiste voor zo’n producent is dat hij zijn eigen zuren verdraagt, en dat is dan ook waar Weusthuis en collega’s in eerste instantie op hebben geselecteerd. ‘We hebben micro-organismen uit bosgrond gehaald en daar schudkolven mee geënt die naast voedingsmedium een hoge concentratie melkzuur bevatten. Met de organismen die er het beste tegen konden, zijn we verder gaan experimenteren.’

M. ruber produceert van nature echter zelf geen melkzuur, maar ethanol. ‘Die eigenschap hebben we uitgeschakeld, en er de genen voor melkzuurproductie in gezet’, vertelt Weusthuis. ‘Vervolgens bleek de schimmel zo gewend aan melkzuur dat hij liever daarop groeide dan op suikers. Dat hebben we hem ook nog moeten afleren.’ Via laboratoriumevolutie is *M. ruber* daarna verder geperfectioneerd tot *cell factory* die efficiënt genoeg werkt onder industriële condities om opschaling van de productie te wagen.

Voorlopig produceert hij alleen melkzuur. Maar de experimenten hebben laten zien dat hij ook citroenzuur verdraagt, en het ligt in de verwachting dat dat ook geldt voor andere organische zuren. Met aangepaste genen zou hij die dus ook moeten kunnen maken.

Bijkomend voordeel is dat *M. ruber* en enkele andere *Monascus*-soorten ook al worden ingezet om Chinese roodschimmelrijst te maken, en dus te boek staan als veilig in combinatie met voedsel.

bron: Wageningen University & Research

De schimmel *Monascus ruber* kan onder andere melkzuur maken. Maar dan moet je hem eerst iets afleren.

- 1 Wat produceert de schimmel *M. ruber* van nature uit suikers?
- 2 Geef de reactievergelijking van de vorming van die stof uit glucose.
- 3 Hoe hebben de onderzoekers de schimmel zover gekregen om melkzuur te produceren?
- 4 Wat is een eerste vereiste voor de melkzuurproductie door de schimmel?

Om de schimmel van het laboratorium alleen tot “cell factory” te brengen van de schimmel was een volgende stap.

- 5 Wat wordt hiermee bedoeld?

Voorlopig produceert de aangepaste schimmel alleen melkzuur.

- 6 Geef de systematische naam van melkzuur. Gebruik Binas als informatiebron.
- 7 Teken de structuurformule van het melkzuur molecuul.
- 8 Geef de vergelijking van de reactie (in molecuulformules) waarbij glucose omgezet wordt in melkzuur.

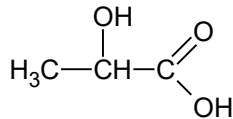
Melkzuur, lactid acid, kan via polycondensatie omgezet worden in polymelkzuur, poly lactid acid (PLA).

- 9 Teken een stukje uit het midden van een PLA-keten.
- 10 Verklaar de benaming polycondensatie.
- 11 Leg uit waarom PLA in 3D-thuisprinters prima gebruikt kan worden.

Schimmel maakt melkzuur

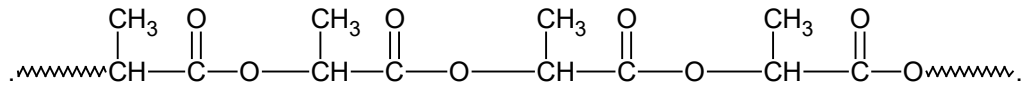
- 1 Ethanol.
- 2 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$.
- 3 Ze hebben de genen die ervoor zorgen dat er ethanol geproduceerd wordt verwijderd uit de schimmel en nieuwe genen toegevoegd die de schimmel aanzet tot de vorming van melkzuur.
- 4 Hij moet zijn "eigen" zuren verdragen.
- 5 Van productie op laboratoriumschaal uitbreiden tot een commercieel aantrekkelijk industrieel proces.
- 6 2-hydroxypropaanzuur.

7



- 8 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_3H_6O_3$.

9



- 10 Bij de vorming van een heel groot molecuul wordt een klein molecuul (water) afgesplitst.
- 11 PLA is een thermoplast en kan dus door verwarmen voldoende zacht gemaakt worden om in een 3D-printer te kunnen gebruiken.

SMEULENDE VRACHTWAGEN MET HOOI

Klas	3 hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Verbrandingen
Trefwoorden	Hooibroei, branddriehoek, exotherm, blussen
Vaardigheidsvraag	informatiebewerkingsvraag

www.bd.nl, 26 mei 2017



De vuurhaard zit midden in de stapel hooibalen. © Joost Korporaal / FPMB

Smeulende vrachtwagen met hooi langs A27 bij Werkendam

WERKENDAM - Een vrachtwagenchauffeur die over de A27 bij Werkendam reed, heeft zijn voertuig aan de kant gezet toen er rook achteruit zijn trailer kwam. De hooibalen die daarin lagen, waren in brand gevlogen.

Volgens de brandweer is de brand ontstaan door broei in de vrachtwagen. Daardoor was het hooi gaan smeulen en ontstond er brand.

Om het vuur te blussen werd water van bovenaf het hooi in gespoten.

Enige tijd was A27 in beide richtingen afgesloten. Inmiddels zijn alle rijbanen weer vrij.

Hooibroei ontstaat niet zomaar. Hooibroei is een proces waarbij hooi door rotting ontleedt.

- 1 Leg uit dat rotting als ontleding niet behoort tot de drie mogelijke ontledingstypen elektrolyse, thermolyse en fotolyse.

Het hooibroeiproces is een chemische reactie met een energie-effect.

- 2 Wat is het energie-effect van het hooibroeiproces? Licht je antwoord toe.

Er kan op een bepaald moment brand ontstaan door zelfontbranding van het hooi.

- 3 Welke drie voorwaarden zijn daarvoor nodig?
- 4 Leg uit waardoor er op een bepaald moment brand kan ontstaan in zo'n hooibaal.

Bij grote pakken hooi is de kans op broei groter dan bij kleinere pakken.

- 5 Hoe komt dat?

Op de foto zie je dat op de vrachtwagen stapels hooi liggen die niet zijn ingepakt. Tegenwoordig zie je steeds vaker dat hooi wordt ingepakt in plastic, zoals op de foto hieronder. Hooi dat ingepakt is in plastic kan niet broeien.



- 6 Leg uit waardoor ingepakt hooi niet kan broeien.

Om het vuur te blussen heeft de brandweer water van bovenaf in het hooi gespoten.

- 7 Leg uit waardoor het water de brand stopt.

De brandweer haalt bewust het hooi niet uit de wagen.

- 8 Hoe komt het dat bij uithalen juist brand ontstaat?

Een titel van een artikel moet kort en aansprekend zijn én de lading dekken. De titel van dit artikel dekt niet de lading.

- 9 Waarom dekt de titel de lading van het artikel niet?
- 10 Formuleer een andere titel voor het artikel.

Smeulende vrachtwagen met hooi

- 1 Bij rotting komt energie vrij terwijl bij de drie genoemde ontledingen energie nodig is.
- 2 De temperatuur stijgt dus het is een exotherm proces.
- 3 Brandstof (hooi), zuurstof (lucht) en een voldoende hoge temperatuur (boven de ontbrandingstemperatuur).
- 4 De temperatuur blijft stijgen omdat de warmte in een hooibaal niet makkelijk weg kan. Als de temperatuur boven de ontbrandingstemperatuur stijgt, ontstaat er brand.
- 5 Er ontwikkelt zich meer warmte, die ook slechter weg kan.
- 6 Deze pakken zijn luchtdicht. Voor broei is lucht (zuurstof) nodig.
- 7 Temperatuurverlaging: voor de verdamping van water is veel warmte nodig, wat aan de brandhaard wordt onttrokken. Ook wordt de toevoer van zuurstof verhinderd.
- 8 Het warme hooi komt dan in aanraking met de lucht waardoor zelfontbranding makkelijker optreedt.
- 9 De vrachtwagen smeult niet maar de lading, het hooi.
- 10 Antwoord leerling. Bijvoorbeeld: Vrachtwagen met smeulend hooi langs de A27.

Artikel: <http://www.bd.nl/werkendam/smeulende-vrachtwagen-met-hooi-langs-a27-bij-werkendam~aa7627eb/>

GEUR VAN REGEN

Klas	5,6 v
Subdomein	Deeltjesmodellen, Chemische vakmethodes, Reactiekinetiek
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Massaspectrometrie, reactiemechanisme
Trefwoorden	Geosmine, structuurisomerie, reactiemechanisme, elektronenverplaatsingen
Vaardigheidsvraag	Informatieverwerkingsvraag

dekennisvannu.nl, 2 mei 2017

Waarom geur zo belangrijk is voor het leven op aarde

Je zou er van versteld staan hoeveel het leven op aarde gebruik maakt van zogenaamde terpenen. Het zijn een type geurstoffjes die planten, bacteriën en schimmels vooral aanmaken om signalen naar de buitenwereld te sturen. Niet alleen komen ze in talloze varianten boven én onder de grond voor, ook jij en ik gebruiken ze elke dag. (...)

Met meer dan 50.000 natuurlijke terpenen die de wetenschap al identificeerde, worden de geurstoffen ook door talloze andere planten, bacteriën, en schimmels geproduceerd. De signalen die ze met terpenen uitzenden kunnen ook heel divers zijn: om zichzelf onaantrekkelijk te maken, om soortgenoten te waarschuwen voor gevaar, of als wapen tegen aanvallers.

(...)

'Terpeens' is misschien dé taal onder de grond

(...)

De typische bodemgeur na een regenbui wordt door vele mensen als aangenaam ervaren. Die geur is het gevolg van geosmine, een terpeen die door (belangrijke) *actinobacteriën* in de bodem wordt aangemaakt. (...)

Terpenen zijn een fascinerend onderdeel van het leven op aarde.

Geosmine

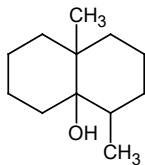
Geosmine is een organische verbinding die geproduceerd wordt door micro-organismen, waaronder bacteriën uit het geslacht *Streptomyces* die leven in de bodem en rottend materiaal op en in de bodem, en door blauwalgen (cyanobacteriën). Het is een bicyclisch alcohol.

Geosmine heeft een geur die doet denken aan vers geploegde grond of modder. De naam van de stof is afgeleid van de Griekse woorden voor 'aarde' en 'geur'. Het draagt bij aan de geur die men kan waarnemen bij een regenbui na een langere droge periode. De geurdrempel is zeer laag; het is waarneembaar vanaf minder dan een ppb. Geosmine is verantwoordelijk voor de typische smaak van rauwe rode biet, maar het geeft een grondsmaak aan drinkwater, wijn en andere voedingsstoffen waarin het terechtkomt. Vissen gekweekt in water waarin geosmine voorkomt afkomstig van blauwalgen, smaken er ook naar.

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

Geosmine

De structuurformule van het geosminemolecuul staat in figuur 1 weergegeven.



Figuur 1 Structuurformule geosmine.

In de natuur maken bacteriën slechts één isomeer. In het laboratorium kan men ook andere isomeren maken. Het isomeer dat in de natuur wordt gevormd heeft een veel duidelijkere geur dan degene die in het laboratorium worden gemaakt.

- 1 Leg uit waardoor bij geosmine meerdere isomeren mogelijk zijn.

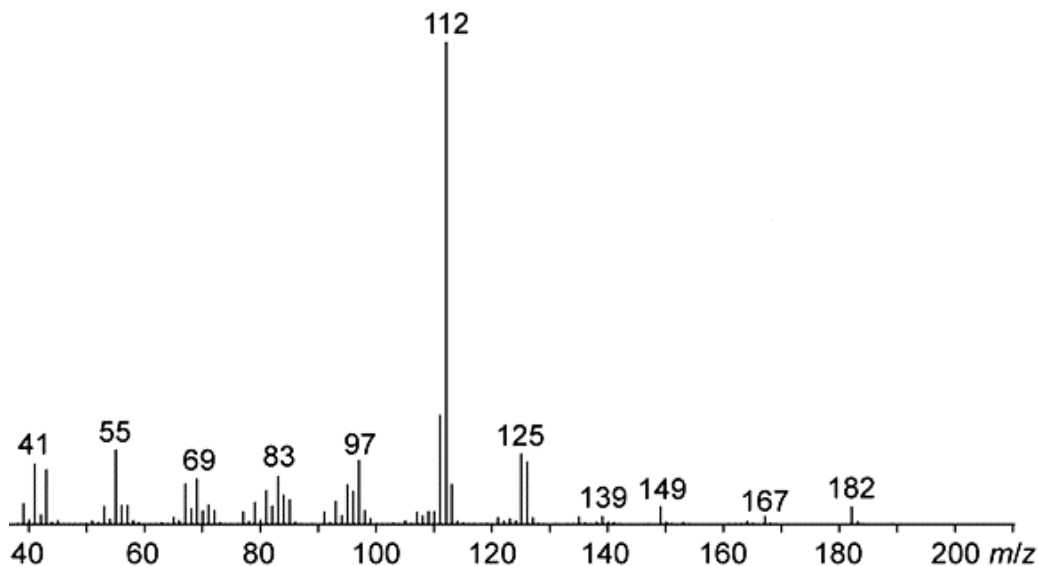
Geosmine is een terpeen. Terpenen zijn een klasse organische moleculen afgeleid van isopreen, die in veel planten, vooral coniferen, geproduceerd worden

- 2 Noteer de structuurformule van isopreen. Maak hierbij gebruik van je Binasboek.

Geosmine is in zeer lage concentraties te ruiken ofwel de geurdrempel is zeer laag. Het is waarneembaar vanaf minder dan één ppb (bron: Wikipedia). 1 ppb betekent 1 g per 10^9 g.

- 3 Bereken hoeveel moleculen isopreen aanwezig zijn in 1 g lucht bij deze geurdrempel.

Men heeft luchtmonsters waarin men geosmine vermoedde, onderzocht met massaspectrometrie. In figuur 2 staat een massaspectrum van een van die monsters.



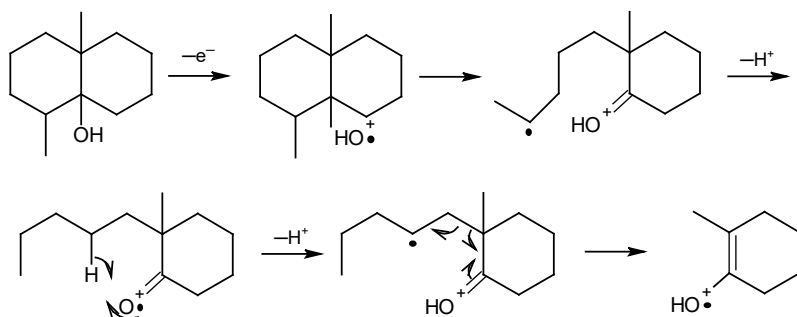
Figuur 2 Massaspectrum geosmine

- 4 Controleer met een berekening of de piek met $m/z = 182$ de molecuulion piek van geosmine kan zijn.

De piek met $m/z = 167$ kan verklaard worden door de afsplitsing van een neutraal fragment uit het geosmine molecuulion.

5 Leg uit welk neutraal fragment dit is. Noteer de molecuulformule.

In figuur 3 staat een van de fragmentatieroutes van geosmine in een massaspectrometer weergegeven.



Figuur 3 Fragmentatie geosminemolecuul

6 Leg uit dat deze fragmentatieroute de basispiek in het massaspectrum van geosmine verklaart.

Tussen verschillende pieken in het massaspectrum van het monster is het verschil 70.

7 Teken de structuurformule van een neutraal fragment dat afsplitst uit geosmine waarmee je het verschil van 70 kunt verklaren. Licht je antwoord toe.

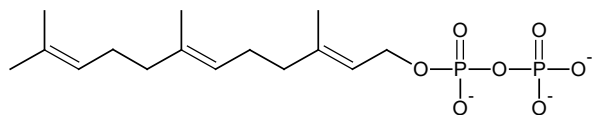
Biosynthese geosmine

Biosynthese Geosmine

De biosynthese van geosmine werd pas in 2006 ontrafeld. Farnesyldifosfaat, een precursor van terpenen, terpenoïden en sterolen, wordt in twee stappen door een bifunctioneel enzym omgezet, eerst in germacradienol, en daarna in geosmine. Een uiteinde van het enzym katalyseert de eerste stap en het andere uiteinde de tweede stap.

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

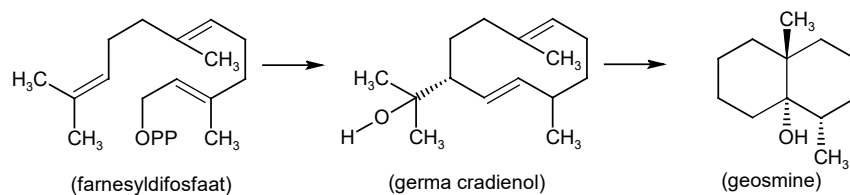
Geosmine is een zogenoemde sesquiterpeen (de naam duidt het aantal terpeen/isopreeneenheden aan) en wordt door bacteriën gemaakt uit farnesyldifosfaat (figuur 4).



Figuur 4 Structuurformule farnesyldifosfaat.

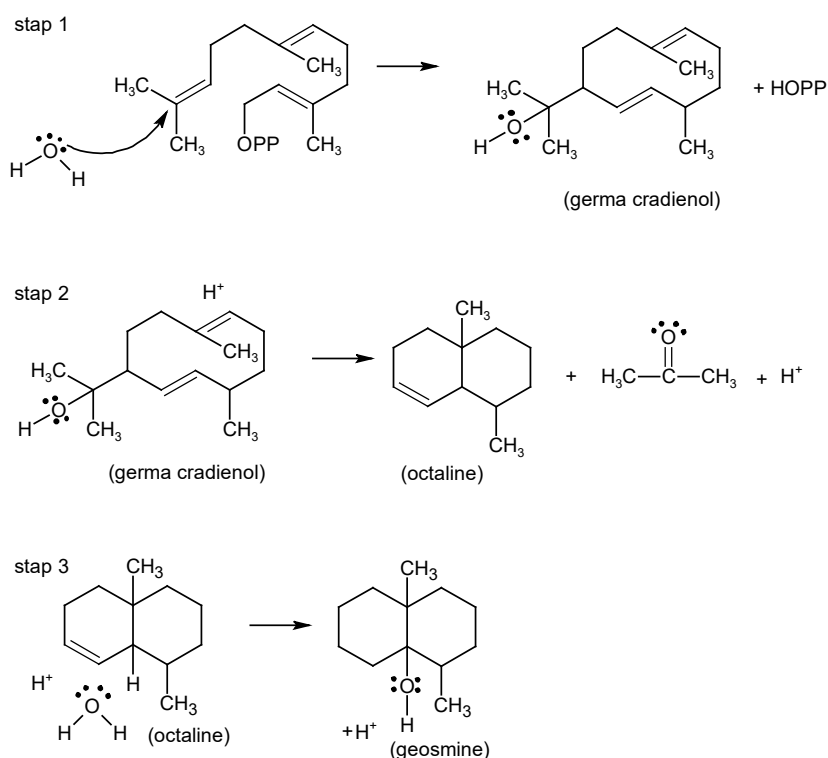
8 Hoeveel isopreeneenheden zijn te herkennen in de structuurformule van farnesyldifosfaat?

In figuur 5 staat de biosynthese van geosmine schematisch weergegeven.



Figuur 5 Biosynthese geosmine. OPP is de afkorting voor het difosfaatgedeelte

Een enzym genaamd germacradienol-geosmine synthase (GGS) bevat twee zeer vergelijkbare katalytische domeinen. Het N-terminaal domein van het enzym zet FPP in germacradienol (stap 1, figuur 6). Germacradienol diffundeert naar het nabij gelegen tweede C-terminaal domein van het enzym, waar de omzetting naar geosmine wordt voltooid via octaline (stap 2 en 3), zie figuur 6.

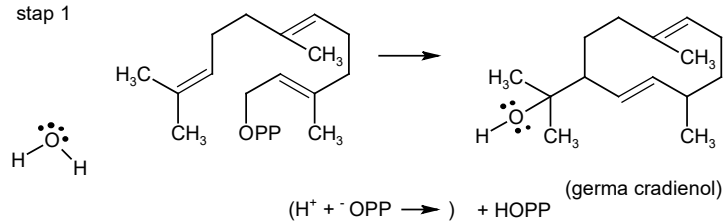


Figuur 6 Mechanisme biosynthese geosmine

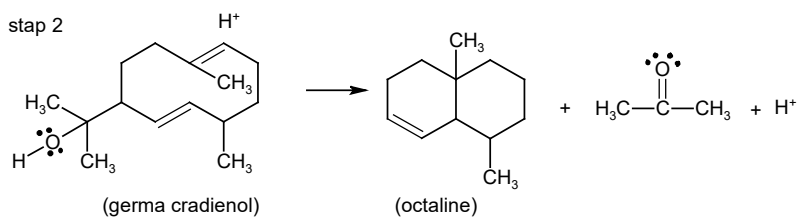
- 9 Vul op je antwoordblad (bijlage) in de structuurformules de elektronenverplaatsingen aan die bij de omzettingen optreden.

Bijlage vraag 9

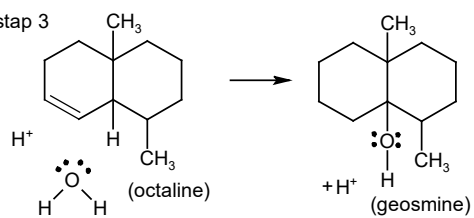
stap 1



stap 2



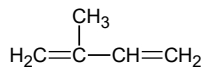
stap 3



Geur van regen

- 1 Door asymmetrische C atomen, waar de groepen -CH₃ en -OH aanzitten, zijn spiegelbeeldisomeren mogelijk. Door dezelfde groepen is ook cis-trans isomerie mogelijk

2



- 3 Molaire massa isopreen = $5 \times 12,01 + 8 \times 1,008 = 68,11$ g/mol. Dus 1 g lucht bevat 10^{-9} g isopreen = $10^{-9}/68,11 = 1,5 \times 10^{-11}$ mol. Dus dan $1,5 \times 10^{-11} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 9 \times 10^{12}$ moleculen isopreen.

- 4 De molecuulformule van geosmine : C₁₂H₂₂O; molaire massa = $12 \times 12,01 + 22 \times 1,008 + 16,00 = 182,31$ g/mol. Dus inderdaad m/z = 182 voor het molecuulion

- 5 Een verschil van $182-167 = 15$. Dit betekent CH₃ fragment

- 6 Het laatste fragment dat ontstaat heeft als molecuulformule C₇H₁₂O met molaire massa = $7 \times 12,01 + 12 \times 1,008 + 16,00 = 112,17$ g/mol. Dus m/z = 112.

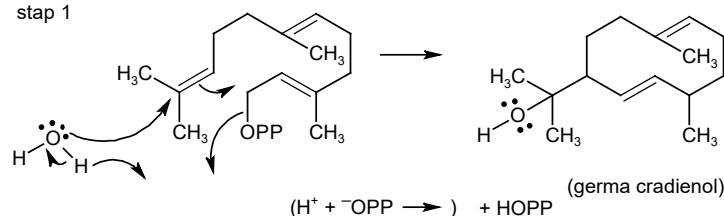
- 7 Er is een verschil van 70 tussen m/z = 182 en m/z = 112: het moet een koolwaterstof zijn, dus C₅H₁₀.

Bijvoorbeeld: H₃C—CH₂—CH₂—CH=CH₂

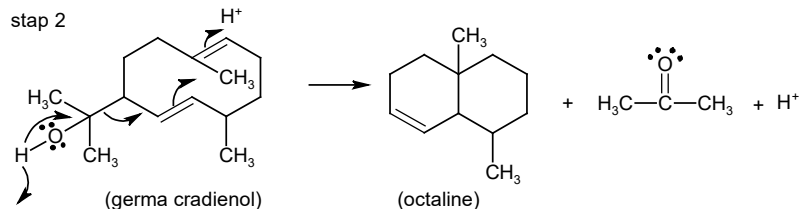
- 8 Drie.

9

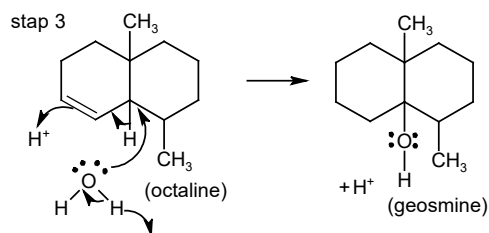
stap 1



stap 2



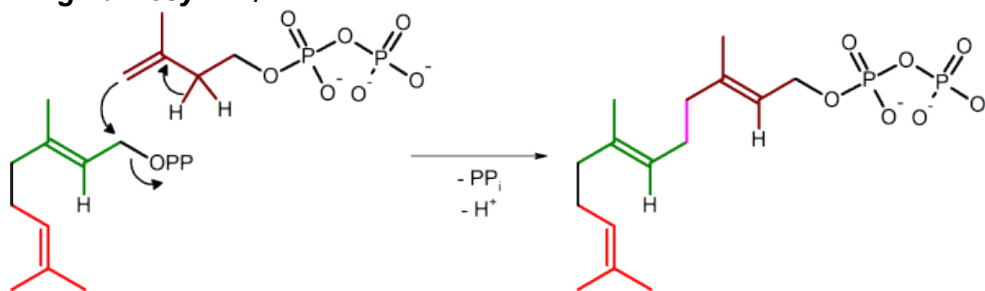
stap 3



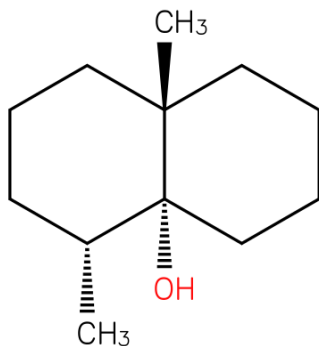
Aanvullende informatie:

- 1 Vorming Farnesyl-PPi:
- 2 Isomerie en naamgeving geosmine
- 3 Extra Artikel, Brabants Dagblad
- 4 Verwijdering geosmine
- 5 Extra tekst
- 6 Cartoon
- 7 Geosmine en kamelen

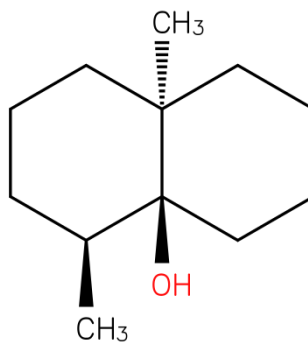
1 Vorming Farnesyl-PP_i:



2 Isomerie en naamgeving geosmine



(+) *geosmine*
Gemaakt in laboratorium

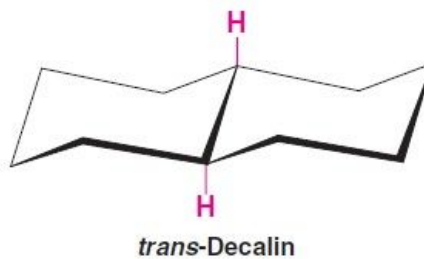
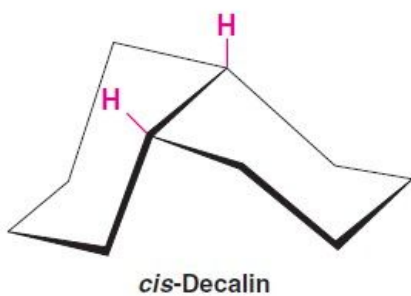


(-) *geosmine*
In de natuur gevormd

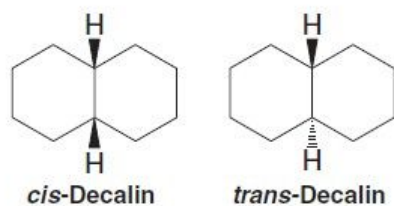
Dit zijn beide trans-isomeren (trans-1,10-dimethyl-trans-9-decalol)

Toelichting cis-trans isomerie bij bicyclische ringen:

Decalin shows cis-trans isomerism:

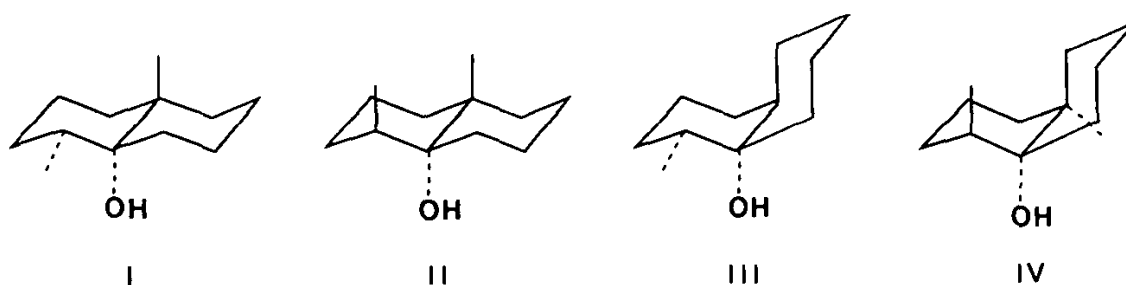


In *cis*-decalin the two hydrogen atoms attached to the bridgehead atoms lie on the same side of the ring; in *trans*-decalin they are on opposite sides. We often indicate this by writing their structures in the following way:



Simple rotations of groups about carbon-carbon bonds do not interconvert *cis*- and *trans*-decalins. They are stereoisomers and they have different physical properties.

In het laboratorium zijn ook de *cis*-isomeren gemaakt, waarbij de tweehexaanringen *cis* gekoppeld zijn.



I *trans*-1,10-dimethyl *trans*-9-decalol

II *cis*-1,10-dimethyl *trans*-9-decalol

III *cis*-1,10-dimethyl *cis*-9-decalol

IV *trans*-1,10-dimethyl *cis*-9-decalol

(bron: Polak (1978), Odor similarities in structurally related odorants, *Chemical Senses and Flavour* 3 (4), 369-380)

3 Extra Artikel

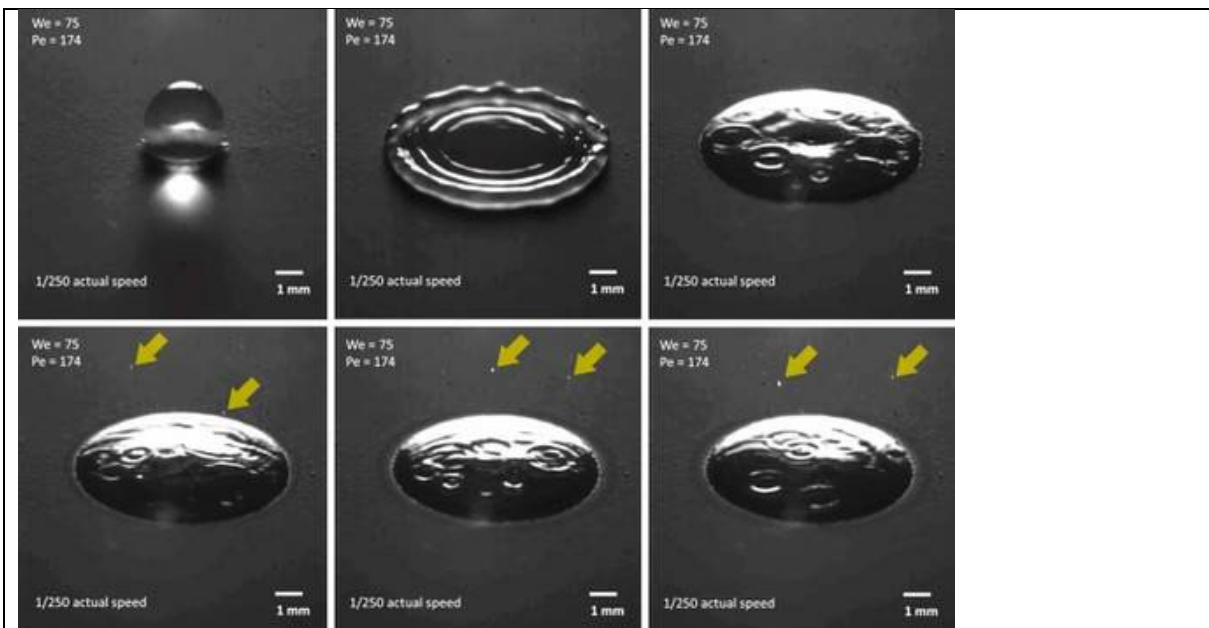
Brabants Dagblad

www.bd.nl, 11 juli 2017

Waarom ruikt het buiten toch zo lekker na een regenbuitje?

Stap je zo nog even naar buiten voor een avondwandeling? Even diep ademhalen en je ruikt zo'n heerlijke zomerse geur [van een regenbui](#). Wetenschappers hebben een naam voor dit natuurfenomeen: petrichor.

Renske Baars



De impact van een druppel op de aarde en het ontstaan van kleine deeltjes, de zogenoemde aërosols. © MIT/Youngsoo Joung

Heerlijk, vindt weerman Raymond Klaassen het, als hij na een zomers buitje even het huis uit stapt. „De geur is het sterkste als regenwater op droge grond terechtkomt”, weet Klaassen. „Het is iets wat iedereen ervaart. Het is een echt zomerdingetje. Vooral na een zware onweersbui kan het zo heerlijk fris ruiken.”

Grappig genoeg heeft regen als het in de lucht zweeft geen geur. Pas als een druppel de grond raakt en het reageert op aarde komt er een bijna zoete lucht vrij. De term hiervoor is *petrichor*, dat terug te leiden is tot het Griekse *petra* dat steen betekent en *ichor* dat refereert aan de vloeistof die als bloed door de aderen van de goden gaat. Het fenomeen werd in 1964 als eerste in het wetenschappelijke tijdschrift *Nature* beschreven door de Australiër Isabel Joy Bear en de Brit Roderick G. Thomas.

„Ze beschreven de olie van planten en een aantal chemicaliën van bacteriën die samen tot die specifieke geur leiden”, schreef Cullen Buie van de Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (MIT) in [een statement](#). „Maar frappant genoeg hebben ze niks gezegd over het mechanisme dat de geur in de lucht krijgt.”

ADVERTISING

Aërosols

Naar het ontstaan van het lekkere luchtje is inmiddels onderzoek gedaan. Het gaat volgens wetenschappers van de MIT om regendruppels die de poreuze aarde raken. Zodra dat gebeurt ontstaan er piepkleine luchtzakjes. Deze luchtbelletjes vliegen daarna weer omhoog, een beetje zoals de luchtbelletjes in champagne, voordat ze het oppervlak van de druppel breken en miljoenen kleine deeltjes verspreiden. Dit zijn aërosols. Volgens onderzoekers zit hier de geur van regen in.

Vooral na een middelmatig buitje lijkt de lucht sterk te zijn. De aarde is dan nog niet natgeregend, waardoor de druppels meer worden opgenomen. „Dus morgenochtend ruik je

dit niet meer", legt Klaassen uit. „[Het regent vannacht aan een stuk door](#), waardoor er waarschijnlijk nergens in Nederland meer sprake is van een droog stukje grond." Helaas? „Welnee", vindt Klaassen. „Na regen komt vanzelf weer zonneschijn en kunnen we het natuurfenomeen weer meemaken."

4

Verwijdering van geosmine

In een zure oplossing wordt geosmine omgezet in het reukloze argosmine. De muffe smaak van vis veroorzaakt door geosmine kan men dus verminderen door azijn en andere zure ingrediënten toe te voegen.

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

Cyanobacteria (blue-green algae) and actinobacteria release geosmin when they die, and this can be absorbed by bottom-feeding freshwater fish. This is a particular problem in parts of the United States, giving off-flavours to fish (particularly catfish (photo, below), carp and mullet) and clams. Geosmin is made odourless by acid, so these fish are often eaten with lemon, leading to recipes like clam chowder with lemon zest, blackened Cajun catfish or grilled catfish with lemon juice.

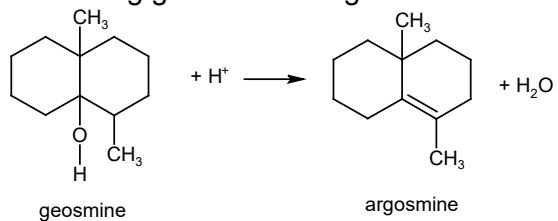


[Catfish and beetroot can both smell of geosmin.](#)

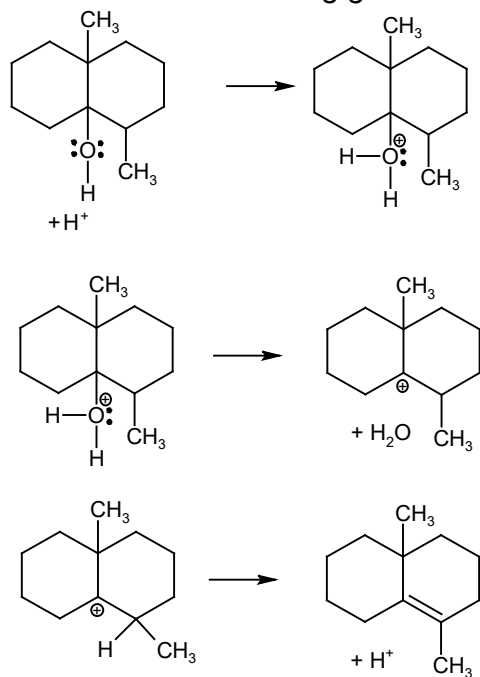
Geosmin is a major contributor to the smell and flavour of beetroot, a variety of *Beta vulgaris*. Not everyone likes the smell, and since geosmin levels vary between cultivars, selective breeding can produce varieties with a bland taste designed to appeal to mass markets

Bron: <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/geosmin/geosminc.htm>

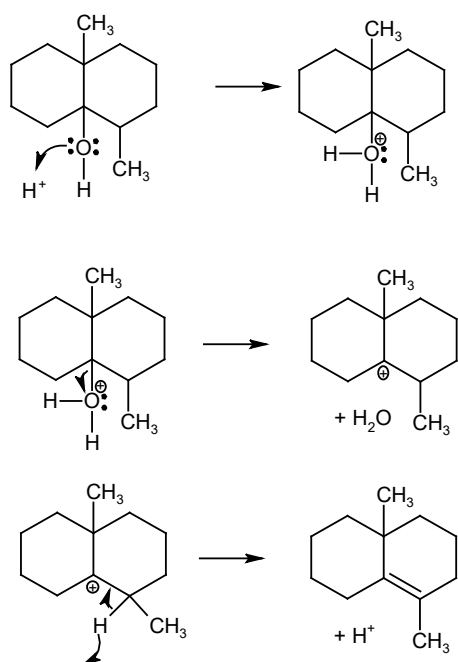
Omzetting geosmine in argosmine:



Mechanisme omzetting geosmine in argosmine:



Mechanisme met elektronenverplaatsingen:



5

Wanneer je na een regenbui naar buiten stapt, dan ruik je die heerlijke frisse geur. Als je ooit hebt afgevraagd waar die mysterieuze geur vandaan komt, dan ben je niet de enige. Vaak wordt deze geur nagebootst in luchtverfrissers, wasmiddelen en geurkaarsen. Het heeft zelfs een eigen naam: petrichor.

In 1964 deden Australische wetenschappers (Isabel Joy Bear en R.G. Thomas) onderzoek naar de geur van regen in het artikel "Nature of Agrillaceous Odor." De belangrijkste oorzaak van deze karakteristieke geur komt door een mengsel van oliën, afgescheiden door sommige planten tijdens droge perioden.

Een groep bacteriën die goed gedijt in vochtige en warme grond. Wanneer het lange tijd niet of nauwelijks heeft geregend en het warm is geweest, droogt de grond uit. Om haar voortbestaan te garanderen laten bepaalde bacteriën, de Actinobacteria of straalzwammen, sporen achter in de grond voor betere (vochtigere) tijden in de toekomst. Wanneer het na de lange droge periode gaat regenen, worden de sporen door het vervolgens verdampende vocht en de kracht van de neerploffende regendruppels de lucht in gebracht. Dat kun je ruiken.

<http://www.astroblogs.nl/2014/10/14/waar-komt-de-geur-van-regen-vandaan/>

6



7 Geosmine en kamelen

So geosmin is pretty useless?

Not if you are a camel in search of an oasis!

A camel?

Professor Keith Chater, of the John Innes Centre in Norwich (UK), was a member of the team that in 2002 sequenced the genome (8000 genes) in *Streptomyces coelicolor* A3, a bacterium that produces many chemicals, including geosmin. In the following year he reported

identifying a protein domain needed for biosynthesis of geosmin. He has suggested that camels can detect the smell of geosmin that had been released by *Streptomyces* miles away in wet ground, and track the geosmin to find an oasis; in return the camel could carry away and disperse the spores of the *Streptomyces* bacterium.



Bron: <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/geosmin/geosminc.htm>

AMMONIAKPRODUCTIE BIJ LAGE TEMPERATUUR

Klas	5 hv
Subdomein	Processen en reacties; Industriële processen en Groene Chemie
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten; Groene Chemie
Trefwoorden	Ammoniak, Haber-Boschproces, stikstof, waterstof, ruthenium, katalysator, duurzaam
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 6 maart 2017

Ammoniakproductie bij lage temperatuur

De synthese van ammoniak ($\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$), een essentiële component van onder meer kunstmest en daarmee cruciaal voor de wereldvoedselvoorziening, vereist een katalysator, hoge druk en hoge temperatuur. Die hoge temperatuur is nodig voor de dissociatie van het stikstofmolecuul, maar stimuleert tegelijk de synthesesreactie in omgekeerde richting.



Begin vorige eeuw ontwikkelden de Duitse Nobelprijswinnaars Fritz Haber en Carl Bosch een industrieel proces dat werkt met een ijzerkatalysator. Dit Haber-Boschproces, dat werkt bij een temperatuur boven 300 °C en een druk van 100 tot 200 bar, wordt nog steeds gebruikt voor de synthese van 200 miljoen ton ammoniak per jaar. Zo'n 75 % daarvan gaat naar de productie van kunstmest.

Ruthenium

Naast ijzer werkt ook ruthenium als katalysator in het Haber-Boschproces. Chemicus Camila Fernández dook tijdens haar promotieonderzoek bij de Waalse Universiteit Catholique de Louvain diep in het reactiemechanisme van die katalyse en ontdekte dat het Haber-Boschproces met ruthenium bij lagere temperatuur en druk (<200 °C en 5 bar) mogelijk is. Er is echter een probleem, aldus Fernandez. 'Gedissocieerde stikstofatomen binden bij lage temperatuur aan het actieve oppervlak van de katalysator, waardoor ze de katalysator blokkeren.'

Om dit probleem op te lossen, bracht ze de eigenschappen van de katalysator in beeld. 'Het zijn niet de metaaleigenschappen van ruthenium, maar de structurele eigenschappen van de rutheniumatomen die de dissociatie van stikstof promoten', vervolgt Fernandez. 'Deeltjes van circa 2 nm met veel hoekige structuren, die lijken op een trap, blijken ideaal. De reactie-intermediëren binden het best aan zo'n structuur.'

De chemicus ontdekte dat een combinatie van rutheniumnanodeeltjes variërend van 2 tot 7 nm het beste resultaat geeft. 'Het N_2 dissocieert op de kleine deeltjes, terwijl H_2 dissocieert op de grotere deeltjes. De waterstofatomen diffunderen dan richting de kleinere deeltjes. Daar reageren ze met het stikstof tot ammoniak, dat loslaat van het katalysatoroppervlak. Mogelijk wordt het ruthenium hierbij gereduceerd, waardoor het makkelijker het volgende stikstofmolecuul kan dissociëren.'

Fernández ontving eind vorig jaar de Umicore Materials Technology Award voor haar onderzoek naar rutheniumnanodeeltjes. Een woordvoerder van Umicore laat weten: 'Voor ons is een goed

begrip van het katalytische proces essentieel voor de ontwikkeling van nieuwe katalysatoren. Haar onderzoek heeft voor ons dus grote wetenschappelijke waarde.'

Duurzamere ammoniak

De toekenning van deze award verbaasde Fernández wel: 'Ons onderzoek heeft immers geen directe implicatie voor de ammoniakindustrie. Het Haber-Boschproces is volledig geïntegreerd met de productie van waterstof uit methaan en stoom. De waterstofproductie kost veel meer energie dan de ammoniaksynthese. Pas als de productie van waterstof met bijvoorbeeld elektrolyse commercieel interessant wordt, maakt productie van ammoniak bij lage temperatuur met een rutheniumkatalysator een kans.'

Ruud Swarts, *technology manager sustainability and energy efficiency* van ammoniakproducent OCI Nitrogen in Geleen, beaamt dit: 'De methode die Fernández onderzocht, sluit goed aan bij de transitie naar een duurzamere productie van ammoniak. We zijn bijvoorbeeld betrokken bij het Europese project 'Power to ammonia' dat met duurzaam opgewekte elektrische energie ammoniak wil produceren, die later weer als brandstof gebruikt kan worden.' De toekomst zal leren of ook de rutheniumkatalysator in de praktijk zijn steentje gaat bijdragen.

De stof ammoniak is onder andere belangrijk voor de productie van kunstmest. De synthese van ammoniak vereist een katalysator, hoge druk en hoge temperatuur. Toch is de vorming van ammoniak een exotherme reactie. Tijdens deze reactie stelt zich een evenwicht ($\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$) in.

- 1 Leg uit dat het gebruik van een katalysator en een hoge druk bevorderlijk zijn voor een hogere reactiesnelheid.
- 2 Leg uit dat bij een hogere temperatuur het evenwicht meer naar links ligt.
- 3 Leg uit waarom toch bij een hogere temperatuur gewerkt wordt.

Er wordt jaarlijks wereldwijd zo'n 200 miljoen ton ammoniak geproduceerd.

- 4 Bereken hoeveel ton stikstof en hoeveel ton waterstof daarvoor nodig zijn.

Het Haber-Bosch proces werkt met een ijzerkatalysator. Ook het metaal ruthenium blijkt als katalysator bij het dit proces bruikbaar te zijn.

- 5 Onder welke reactie-omstandigheden verloopt de reactie bij gebruik van ruthenium?
- 6 Welk probleem treedt op bij gebruik van ruthenium?
- 7 Hoe kan dat probleem worden opgelost?

De katalysator fungeert als reactie-oppervlak. Daarop vindt de dissociatie plaats.

- 8 Wat versta je onder de dissociatie van stikstof en waterstof?
- 9 Beschrijf het proces dat plaatsvindt aan het reactie-oppervlak van ruthenium.

Het beschreven proces is zowel op micro-, meso- als macroniveau beschreven.

- 10 Geef aan waar je deze niveaus in het artikel tegenkomt.

De vraag is nu of het nieuwe proces spoedig wordt ingevoerd. Het proces wordt pas echt aantrekkelijk als de productie van waterstof commercieel interessant wordt. Dat zou het geval zijn als de waterstof duurzaam geproduceerd wordt.

- 11 Hoe kan waterstof duurzaam geproduceerd worden?

12 Geef de reactievergelijking die daarbij optreedt.

Behalve als grondstof voor kunstmest zou de ammoniak ook als brandstof kunnen worden gebruikt.

13 Geef de vergelijking van de reactie die dan met ammoniak verloopt.

Ammoniakproductie bij lage temperatuur

- 1 Een katalysator versnelt de reactie zodat de insteltijd van het evenwicht verkort wordt. Een hogere druk zorgt ervoor dat de reacties sneller verlopen en dat het evenwicht meer aan de kant van de minste gasdeeltjes ligt, dus verder rechts, dus meer ammoniak.
- 2 Bij een hogere temperatuur verschuift het evenwicht naar de endotherme kant dus naar links.
- 3 De reactiesnelheid is dan een stuk hoger zodat per tijdseenheid toch meer ammoniak geproduceerd wordt.
- 4 $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$. Uit 1 mol stikstof en 3 mol waterstof ontstaat 2 mol ammoniak.
200 miljoen ton ammoniak = $200/17,031 = 11,7$ miljoen tonmol ammoniak.
Dit is gevormd uit $11,7/2$ miljoen tonmol stikstof en $11,7 \times 3/2$ miljoen tonmol waterstof.
Omrekenen levert $11,7/2 \times 28,02 = 165$ miljoen ton stikstof en $11,7 \times 3/2 \times 2,016 = 35,5$ miljoen ton waterstof.
- 5 Bij een temperatuur lager dan 200°C en een druk van 5 bar.
- 6 Gedissocieerde stikstofatomen binden bij lage temperatuur aan het katalysatoroppervlak waardoor de katalysator geblokkeerd raakt.
- 7 Men gebruikt rutheniumkatalysatoren met deeltjes van verschillende grootte: stikstof dissocieert op de kleinere, waterstof op de grotere rutheniumdeeltjes.
- 8 Het uiteenvallen in losse atomen.
- 9 Waterstofmoleculen vallen uiteen in waterstofatomen, stikstofmoleculen in stikstofatomen. De waterstofatomen diffunderen dan naar de stikstofatomen waarmee ze reageren en ammoniakmoleculen vormen. Deze verlaten dan het oppervlak.
- 10 Microniveau: De structurele eigenschappen van de rutheniumatomen. Gedissocieerde stikstofatomen hechten aan het katalysatoroppervlak. De waterstofatomen diffunderen dan richting kleinere deeltjes.
Mesoniveau: Combinatie van rutheniumnanodeeltjes van 2 tot 7 nm.
Macroniveau: Synthese van 200 miljoen ton ammoniak. Het Haber-Boschproces is volledig geïntegreerd met de productie van waterstof uit methaan en stoom.
- 11 Via elektrolyse van water door middel van duurzaam opgewekte elektriciteit (wind, zon).
- 12 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$.
- 13 $4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

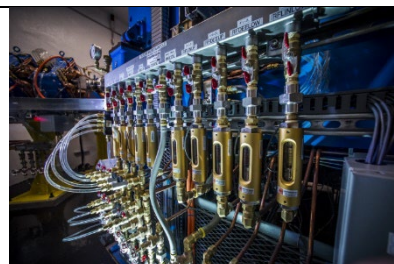
FLUORVERBINDINGEN BETRAPT

Klas	5 v
Subdomein	Deeltjesmodellen
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Structuurformules ; Atoommodel
Trefwoorden	C8, perfluorooctaanzuur, PFAS, PFOA, F-18, radioisotoop, halfwaardetijd
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 21 april 2017

Fluorverbindingen betrapt

In de VS is een manier ontwikkeld om PFOA en aanverwante organofluorverbindingen radioactief te labelen.



Al veel langer is duidelijk dat zulke per- en polyfluoralkylverbindingen (PFAS) biologisch vrijwel niet afbreekbaar zijn, dat je er dus nooit meer vanaf komt als je ze eenmaal hebt binnengekregen, en dat sommige varianten toxisch zijn. PFOA oftewel perfluorooctaanzuur, een hulpstof bij de productie van anti-aanbaklagen, is de bekendste en beruchtste maar bij lange na niet de enige.

Alleen was tot nu toe eigenlijk niet na te gaan welke PFAS zich waar ophoopt. Volgens laatste auteur Suzy Lapi, van de University of Alabama, moet je dan eigenlijk elk orgaan afzonderlijk extraheren en het extract door de massaspectrometer sturen.

Vandaar haar idee om PFAS-moleculen te synthetiseren waarin een fluoratoom is vervangen door fluor-18, een radio-isotoop die vaak wordt ingezet bij PET-scans. Chemisch is dit niet triviaal en omdat fluor-18 een halfwaardetijd van slechts 110 minuten heeft moet je nog vrij snel werken ook. Maar in de praktijk blijkt het te lukken om PFAS op deze manier te labelen, het in te spuiten in een muis en die in de PET-scanner te schuiven voordat de radioactiviteit te ver is afgenomen.

Tot nu toe heeft Lapi het uitgeprobeerd met PFOA en de kortere varianten perfluorhexaanzuur en perfluorbutaanzuur. De scans lieten zien dat er inderdaad verschillen zijn: alledrie de stoffen vind je terug in letterlijk elk onderzocht orgaan, maar bij de langste twee vind je de hoogste concentraties in de lever terwijl perfluorbutaanzuur een voorkeur heeft voor de maag.

Voorlopig is het alleen uitgetest bij muizen. Maar gesuggereerd wordt dat het ook bij menselijke vrijwilligers zou moeten kunnen. Fluor-18 kan immers weinig kwaad. De rest van de in te spuiten PFAS-moleculen daarentegen...

bron: University of Alabama

Veel metaalopperlakken worden bedekt met een laagje teflon. De stof perfluorooctaanzuur (of decapentafluorooctaanzuur), vaak afgekort als C8 of PFOA (van het Engelse perfluorooctanoic acid) is een hulpstof bij het aanbrengen van die lagen. In zuivere toestand is het een kleurloze vaste stof.

- 1 Geef de structuurformule van het molecuul van perfluorooctaanzuur.
- 2 Licht de afkorting C8 voor perfluorooctaanzuur toe.

Er wordt ook gesproken over kortere varianten van C8.

- 3 Welke kortere varianten worden genoemd?
- 4 Geef ook de structuurformules van de moleculen van de kortere varianten.

Om te kunnen volgen waar de PFAS-verbindingen zich in het lichaam ophopen, wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd radioisotoop, namelijk fluor-18, F-18.

- 5 Verklaar de benaming radioisotoop.
- 6 Geef de kernsamenstelling van een F-18 atoom weer.

De halfwaardetijd van F-18 is 110 minuten.

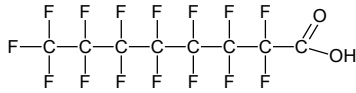
- 7 Wat geeft de halfwaardetijd aan?
- 8 Bereken hoeveel procent van de beginhoeveelheid over is na 440 minuten.

Metingen met muizen leverde informatie waar de diverse PFAS-verbindingen zich ophopen.

- 9 Geef aan wat de testresultaten met muizen opgeleverd hebben.
- 10 Wat vind jij van de suggestie om het op mensen uit te proberen want fluor-18 kan immers weinig kwaad? Beargumenteer je mening.

Fluorverbindingen betragt

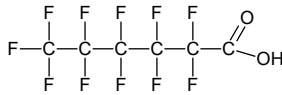
1



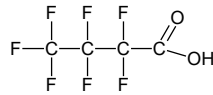
2 C8 geeft het aantal koolstofatomen in perfluorooctaan zuur aan.

3 Perfluorhexaanzuur en perfluorbutaanzuur.

4



perfluorhexaanzuur



perfluorbutaanzuur

5 Radio: het is een radioactief deeltje. Isotoop: het heeft een kern met 9 protonen en 9 neutronen terwijl een fluorkern normaal 9 protonen en 10 neutronen bevat.

6 F-18: de kern bevat 9 protonen en 9 neutronen.

7 De tijd waarin de helft van het aanwezige F-18 omgezet is in een andere kern.

8 De halfwaardetijd is 110 minuten, dus $440/110 = 4 \times$ halfwaardetijd. Na 1 keer 50%, na 2 keer 25%, na 3 keer 12,5%, na 4 keer halfwaardetijd nog 6,25% over.

9 De PFAS-verbindingen worden in elk onderzocht orgaan terug gevonden voor maar de twee langste zoeken vooral de lever op terwijl de kleinste voorkeur heeft voor de maag.

10 Eigen mening leerling.

KALK WINT KALK TERUG

Klas	4hv
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Beginstoffen-reactieproducten
Trefwoorden	Hard water, ontharding, kalk, calcië, calciumcarbonaat, entmateriaal
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

C2W, 19 mei 2017

Kalk wint kalk terug

In Amsterdam loopt een proef met recycling van calciumcarbonaat uit drinkwater. Vroeger liet men het uitkristalliseren rond zandkorrels, nu rond calciëkristalletjes. Calcië is zelf ook een vorm van CaCO_3 zodat je een zeer zuiver product voor hoogwaardige toepassingen. Een klein deel zet je om in nieuwe entkristallen voor de ontkalker. *The Calcië Factory*, zoals de pilotplant heet, is een initiatief van het Amsterdamse waterbedrijf Waternet en Advanced Minerals.

Bij de ontharding worden onderin de reactor natronloog of kalkmelk en een entmateriaal aan het water toegevoegd en kristalliseert er calciumcarbonaat (kalk) op het entmateriaal. Hierbij ontstaat een ronde, vaste korrel (pellet) die voor het grootste deel bestaat uit kalk (calcië). Naast rivier-, zilver-, of granaatzand wordt tegenwoordig ook dit calcië zelf toegepast als entmateriaal.

Bij de oudere technologie ontstaat een reststof in de vorm van kalkkorrels, bestaande uit een kern van zand (entmateriaal) en een schil van calciumcarbonaat (kalk). Dit restproduct wordt als secundaire grondstof in verschillende sectoren hergebruikt (bouw-, agrarische- en minerale grondstoffen sector).

Doordat gebruik van een zandkern als entmateriaal het aantal mogelijke toepassingen reduceert, levert verkoop slechts een winstmarge van circa 7 – 18 % op. Deze kalkkorrels zijn momenteel vaak van onvoldoende kwaliteit om ook hoogwaardige marktsegmenten zoals de papier-, kunststof-, (wit)glas- en voedingsmiddelenindustrie te bedienen, waardoor een hogere winstmarge mogelijk is. De samenstelling van de kalkkorrels kan verbeterd worden door aanpassing van de onthardingscondities. Zo ontstaat bij gebruik van calcië als entmateriaal een kalkkorrel die voor bijna 100% uit calcië bestaat en daardoor in meer toepassingen bruikbaar is.

Bron: H_2O

“Hard” water bevat relatief veel “kalk” in de vorm van opgelost calciumwaterstofcarbonaat. Het ontstaat als regenwater met opgelost koolstofdioxide in contact komt met een bodem die relatief veel calciumcarbonaat bevat.

1 Geef de vergelijking van de reactie die daarbij verloopt.

Bij verhitten van hard water ontstaat kalksteen (calciumcarbonaat).

2 Geef de vergelijking van deze reactie.

Bij de ontharding van het kalkhoudende water wordt natronloog of kalkmelk toegevoegd aan het harde water waarbij weer calciumcarbonaat ontstaat.

- 3 Geef de vergelijking van deze reactie als natronloog wordt toegevoegd.
- 4 Waarvoor dient het entmateriaal?

Bij gebruik van zandkorrels als entmateriaal ontstaat een mindere kwaliteit kalkkorrels dan bij gebruik van calcië kristallen als entmateriaal.

- 5 Licht dit toe.
- 6 Welk groot voordeel heeft het gebruik van calcië als entmateriaal?

Kalk wint kalk terug

- 1 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$.
- 2 $\text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3$.
- 3 $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3$.
- 4 Het entmateriaal dient als basis waarop nieuwe deeltjes calciumcarbonaat zich daaraan kunnen hechten.
- 5 Calciet geënt op zandkorrels kan “alleen” als mengsel gebruikt worden in de bouw.
- 6 Zuiver calciet is voor meer toepassingen bruikbaar dan calciet geënt op zandkorrels. Er is ook meer opbrengst.

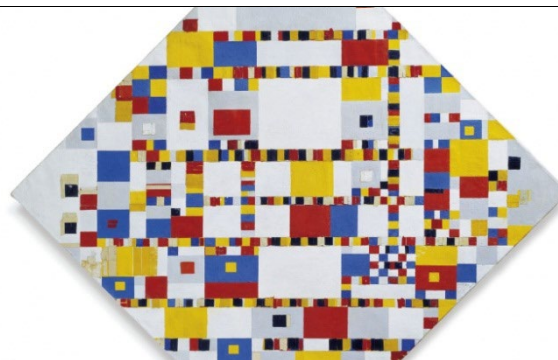
AFM BOOGIE WOOGIE

Klas	5 v
Subdomein	Processen en reacties
Vaardigheid	Informatie
Specificaties	Polymeren; Organische reacties
Trefwoorden	Titaanwit, lijnolie, schilderij, radicaalpolymerisatie, micro- en macroniveau
Vaardigheidsvraag	Informatiebegripsvraag

www.c2w.nl, 9 maart 2017

AFM Boogie Woogie

Met infraroodtechnieken kun je in een vroeg stadium vaststellen of schilderijen worden aangetast door hun eigen witte pigment. Dan kun je wellicht nog tijdig ingrijpen, schrijven Delftse onderzoekers in *ACS Applied Materials & Interfaces*.



Het speelt bij doeken van na 1920, toen het eerste 'titaanwit' op de markt kwam. Daar zat titaandioxide in, dat niet alleen intens wit is maar in combinatie met uv-licht ook een prima fotokatalysator. Het onttrekt elektronen aan zijn omgeving en genereert zo organische radicalen of reactieve zuurstof. Hoe hard dit gaat is mede afhankelijk van de kristalvorm. In verf kom je zowel rutiel tegen als anatase, en soms zijn de TiO_2 -kristallen ook nog gecoat. Het lijkt er op dat pure anatase verreweg het meest agressief is.

In olieverf wordt hun omgeving gevormd door lijnolie die dient als bindmiddel. Die olie bestaat grotendeels uit onverzadigde vetzuren en de uitharding is vooral een kwestie van crosslinking tussen de ketens. Je kunt het zien als een vorm van radicaalpolymerisatie. Je mag verwachten dat dat proces onder invloed van titaandioxide veel verder doorgaat dan de bedoeling is, met als gevolg dat de verf hard en bros wordt. Maar radicaalvorming heeft ongetwijfeld ook tot gevolg dat ketens worden doorgeknapt en de binder in kleine stukjes uit elkaar valt.

Probleem is alleen dat de doeken in kwestie (als voorbeeld worden Mondriaans, Picasso's en Pollocks genoemd) nog vrij recent zijn, en meestal zorgvuldig bewaard in musea. Je kunt er op wachten dat het misgaat, maar voorlopig is de schade nog niet zichtbaar.

Om te bepalen in hoeverre de lijnolie al is aangetast en wat die aantasting precies inhoudt, hebben Joris Dik en collega's nu een manier bedacht om de precieze moleculaire samenstelling van de binder te achterhalen.

De techniek heet AFM-IR; ze bestaat al langer maar is voor zover de auteurs weten niet eerder voor dit doel gebruikt. Het komt er op neer dat je het verfoppervlak aftast met de naald van een atomic force-microscoop, en tegelijk dat oppervlak bestookt met infraroodpulsen. Die verwarmen de aanwezige moleculen, zodat ze uitzetten en de AFM-naald optillen. En de mate waarin dat gebeurt blijkt om te rekenen naar de IR-absorptie bij de gebruikte golflengte. (...)

Het is uitgetest met zelf bereide witte verf op basis van pure anatase of gecoat rutiel. Er werden polyesterplaatjes mee gecoat die twee weken mochten drogen en toen onder sterke uv-lampen werden gezet. Daarna werden ze gescand met zowel FTIR als AFM-IR. (...)

bron: TU Delft

Voor schilderijen die na 1920 gemaakt zijn, werd soms het pigment titaanwit gebruikt. Dat zou op den duur de lijnolie, die gebruikt is voor het schilderij, kunnen aantasten. Titaanwit is de triviale naam voor TiO_2 , dat in verschillende vormen, als anatase of als rutiel, kan voorkomen.

- 1 Geef de systematische naam van TiO_2 . Gebruik daarvoor gegevens uit Binas tabel 40A.
- 2 Verklaar waarom de in het artikel gebruikte naam titaandioxide voor TiO_2 niet juist is.

De stof titaanwit blijkt behalve een goed pigment ook een prima fotokatalysator te zijn.

- 3 Verklaar de benaming fotokatalysator.

De olieverf, die schilders gebruiken, bevat vaak lijnolie als bindmiddel. Lijnolie bevat voornamelijk onverzadigde vetzuren. Bij uitharding van de verf treedt crosslinking op tussen de ketens van onverzadigde vetzuren.

- 4 Leg uit dat door crosslinking de verflaag harder wordt.
- 5 Leg uit dat de aanwezigheid van titaanwit de verf nog harder en brosser maakt.

De vorming van crosslinks kun je volgens het artikel zien als een vorm van radicaalpolymerisatie.

- 6 Wat versta je onder een radicaal?
- 7 Leg uit dat de combinatie van titaanwit en lijnolie kan leiden tot radicaalreacties.

Maar ... radicaalvorming kan ook leiden tot het verbreken van bindingen waarbij juist kleinere moleculen ontstaan.

- 8 Leg uit hoe bindingen verbroken kunnen worden in de vetzuren van de lijnolie.
- 9 Leg uit dat dit proces juist *niet* leidt tot harde en brosse verflagen.
- 10 Leg uit wanneer in deze beschrijving sprake is van microniveau en wanneer sprake is van macroniveau.

De techniek waarmee de verflagen onderzocht zijn heet AFM-IR.

- 11 Waar komt deze techniek op neer?
- 12 Geef je reactie op de zin in het artikel '*Die verwarmen de aanwezige moleculen, zodat ze uitzetten en de AFM-naald optillen*'.
- 13 Welk advies kun je verfmakers geven op grond van het onderzoek(je) dat beschreven wordt in het artikel?

AFM Boogie Woogie

- 1 Titaan(IV)oxide, met Romeins cijfer want het titaan-ion heeft twee mogelijke ladingen volgens Binas tabel 40A.
- 2 De toevoeging di mag je alleen gebruiken bij moleculaire stoffen. Titaan(IV)oxide is een zout en geen moleculaire stof.
- 3 Titaanwit werkt alleen als katalysator als er ook uv-licht ingestraald wordt.
- 4 Door crosslinking krijg je via atoombindingen structuren met een veel grotere omvang, een netwerk. De moleculen kunnen dan niet meer makkelijk langs elkaar wegschuiven.
- 5 Titaanwit versnelt het proces waardoor meer crosslinks ontstaan in kortere tijd.
- 6 Een radicaal is een deeltje met een ongepaard elektron.
- 7 De moleculen van lijnolie bevatten onverzadigde vetzuren. De dubbele bindingen in die vetzuurmoleculen zijn zeer reactie en breken makkelijk in aanwezigheid van een radicaal, waarbij in de vetzuurketen een koolstofradicaal ($\sim\text{C}\bullet\sim$) gevormd wordt.
- 8 Als niet alleen de dubbele binding verbroken wordt maar ook de dan ontstane enkele binding ten gevolge van de vorming van radicalen.
- 9 Je krijgt dan kleinere brokstukken dus kleinere moleculen die makkelijk langs elkaar kunnen bewegen.
- 10 Micro: verbreken van bindingen waarbij kleinere moleculen ontstaan.
Macro: ze worden minder hard en bros.
- 11 Het komt er op neer dat je het verfoppervlak aftast met de naald van een atomic force-microscoop, en tegelijk dat oppervlak bestookt met infraroodpulsen. Die verwarmen de aanwezige moleculen, zodat ze meer gaan bewegen en de AFM-naald optillen. En de mate waarin dat gebeurt blijkt om te rekenen naar de IR-absorptie bij de gebruikte golflengte.
- 12 Moleculen zetten niet uit maar de stof zet uit.
- 13 Advies: Maak titaanwit voor schilders van gecoat rutiel, gebruik geen anatase.