

Kerosine uit zonlicht

Europese chemici zijn erin geslaagd om vliegtuigbrandstof (kerosine) te produceren uit koolstofdioxide en water. De onderzoekers gebruikten voor deze omzetting een zogeheten solar-reactor. Hierin wordt zonlicht gebundeld waardoor in de reactor een zeer hoge temperatuur ontstaat. De reactie (reactie 1) tussen koolstofdioxide en water verloopt bij hoge temperatuur (1000 K).



- 3p 1 Bereken de reactiewarmte voor reactie 1 per mol water. Neem aan dat onder deze omstandigheden de waarden van de vormingswarmten uit Binas mogen worden gebruikt.

De gevormde zuurstof moet worden verwijderd voordat het gasmengsel verder kan worden gebruikt. De onderzoekers hebben hiervoor in de reactor een fijn gaas aangebracht, bedekt met cerium(III)oxide. Als cerium(III)oxide reageert met zuurstof ontstaat cerium(IV)oxide (reactie 2). Uiteindelijk wordt door reacties 1 en 2 een mengsel van CO en H₂ verkregen.

- 2p 2 Geef de vergelijking voor reactie 2.
2p 3 Geef aan hoeveel mol cerium(III)oxide minimaal aanwezig moet zijn per mol CO₂ voor het wegvangen van alle zuurstof die ontstaat bij reactie 1. Licht je antwoord toe.

Het in de reactor gevormde cerium(IV)oxide kan door sterke verhitting weer worden omgezet tot cerium(III)oxide (reactie 3).

De onderzoekers willen reacties 1 en 2 uitvoeren met een continue instroom en uitstroom van de gassen.

Om de productie van CO en H₂ uit te voeren als een continuproces moeten reacties 1 en 3 tegelijk plaatsvinden.

- 3p 4 Geef een mogelijk blokschema van deze productie van CO en H₂. Uit het antwoord moet blijken dat het proces als een continuproces verloopt. Geef reactoren en stofstromen weer. Zet bij alle stofstromen de namen en/of formules van de stoffen.

Het gasmengsel waar de zuurstof uit is verwijderd, ook wel syngas genoemd, werd door de onderzoekers met het Fischer-Tropsch-proces omgezet tot kerosine. De gevormde kerosine had een gemiddelde molecuulformule van $C_{14}H_{28}$. Als bijproduct ontstond alleen water.

- 2p **5** Geef de vergelijking voor de vorming van deze kerosine met het Fischer-Tropsch-proces.
- 3p **6** Bereken hoeveel ton CO_2 wordt afgevangen voor het produceren van 20 m^3 van deze kerosine ($T = 298\text{ K}$, $p = p_0$). Ga er bij de berekening van uit dat geen andere koolwaterstoffen dan kerosine ontstaan. Maak gebruik van de volgende gegevens:
- neem aan dat H_2 in overmaat beschikbaar is;
 - de dichtheid van de kerosine bedraagt $7,9 \cdot 10^{-1}\text{ g mL}^{-1}$.

KNOxOUT™-verf

Stikstofoxiden (NO_x) worden voornamelijk uitgestoten door motorvoertuigen en zijn een belangrijke veroorzaker van luchtvervuiling en zure regen. Vooral het roodbruine NO_2 is giftig en een belangrijke veroorzaker van smog. In Makati, een grote stad in de Filipijnen, is een groot project van start gegaan om de NO_x -uitstoot te verminderen. Het gemeten gemiddelde volumepercentage NO_2 op de plek van het project (metrostation Guadalupe) was in 2009 meer dan $9,6 \cdot 10^{-6} \%$.

- 3p 7 Laat met een berekening zien of het gemeten gemiddelde volumepercentage NO_2 hoger of lager was dan de grenswaarde van NO_2 (TGG 8 uur). ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$)

In Makati verfde men het drukke metrostation Guadalupe met een speciaal soort verf: de zogeheten KNOxOUT™-verf van de Filipijnse firma Boysen. Deze verf zorgde ervoor dat de NO_x -concentratie drastisch daalde. Dit succes is te danken aan de katalysator TiO_2 die in de verf verwerkt is. TiO_2 zet water- en zuurstofmoleculen onder invloed van uv-straling om volgens reactie 1.



- 2p 8 Leg mede aan de hand van de formules van de betrokken deeltjes uit of deze omzetting van water en zuurstof kan worden opgevat als een redoxreactie of als een zuur-basereactie.

De gevormde deeltjes reageren met NO_x tot salpeterzuur. Hierbij wordt uit elk deeltje NO_x één deeltje salpeterzuur gevormd.

Het gevormde salpeterzuur wordt vervolgens door het in de verf aanwezige calciumcarbonaat (CaCO_3) volledig geneutraliseerd. De stoffen die bij deze reactie ontstaan, spoelen tijdens een regenbui weg. Als het gevormde salpeterzuur volledig wordt geneutraliseerd door calciumcarbonaat ontstaan CO_2 en opgelost calciumnitraat.

- 3p **9** Geef de vergelijking van de reactie van calciumcarbonaat met opgelost salpeterzuur waarbij onder andere CO_2 en opgelost calciumnitraat ontstaan.

In het experiment in Makati werd in totaal 4100 m^2 muur geverfd. Gemiddeld zette de verf per m^2 muur $0,26$ gram aan NO_x per dag om tot salpeterzuur. Er is gepland om de muur elke vijf jaar opnieuw te verven.

- 4p **10** Leg uit, met behulp van een berekening van de benodigde massa aan calciumcarbonaat per m^2 muur, of de verf gedurende vijf jaar het ontstane salpeterzuur kan neutraliseren.

Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- per m^2 muur is $0,40$ L verf nodig;
- de dichtheid van de verf bedraagt $1,52 \text{ kg L}^{-1}$;
- de gemiddelde molaire massa van NO_x is $30,8 \text{ g mol}^{-1}$.

Batterijen opladen met NaSi

In 2012 werd op een vakantiebeurs een draagbare batterijoplader gepresenteerd om bijvoorbeeld een mobieltje op te laden.

In de oplader bevindt zich een eenmalig te gebruiken capsule met natriumsilicide. Het benodigde natriumsilicide wordt bereid door siliciumpoeder en vloeibaar natrium met elkaar te laten reageren bij 400 °C.

De verhoudingsformule van natriumsilicide is NaSi. Natriumsilicide is opgebouwd uit Na^+ en Si_4^{4-} ionen. Een Si_4^{4-} ion heeft de vorm van een tetraëder. Op elk hoekpunt van de tetraëder is een Si deeltje aanwezig.

- 3p 11 Geef de Lewisstructuur van een ion Si_4^{4-} . Geef formele ladingen aan.

In de oplader wordt het natriumsilicide in contact gebracht met water, waarbij waterstof ontstaat (reactie 1).



In de technische toelichting bij de oplader staat dat een capsule 4,5 g natriumsilicide-poeder bevat.

Per capsule ontstaat 4,0 L waterstofgas ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$).

- 3p 12 Bereken het rendement van de waterstofproductie in de oplader ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$).

De gevormde waterstof stroomt naar het andere deel van de oplader waar zich een waterstofbrandstofcel bevindt. In de waterstofbrandstofcel wordt de waterstof omgezet tot water.

Bijzonder aan deze oplader is dat de oplader voor gebruik moet worden gevuld met water. Een persbericht over deze oplader kreeg daarom als titel 'Mobieltje opladen met water'. Deze titel lijkt te suggereren dat de oplader zijn energie uit water haalt.

- 2p 13 Geef de vergelijking van de reactie die verloopt in de waterstofbrandstofcel en leg uit dat de energie die de oplader levert niet wordt geleverd door het toegevoegde water.

De oplader wordt in persberichten aangeprezen als duurzaam.

Om dat te onderbouwen, noemt de fabrikant de volgende punten:

- natriumsilicide wordt bereid uit grondstoffen die zeer ruimschoots aanwezig zijn op aarde: natriumchloride en siliciumdioxide (zand);
- de reactie waarbij natriumsilicide wordt gevormd uit natrium en silicium kost geen energie en levert geen enkel bijproduct op;
- tijdens stroomlevering komt alleen waterdamp in de atmosfeer;
- de capsule kan na gebruik bij het gewone afval omdat de uitgewerkte capsule geen schadelijke stoffen bevat.

Twee leerlingen twijfelen over de duurzaamheid van deze oplader. Ze merken dat de fabrikant positieve punten noemt, zoals de goede atomeconomie van de vorming van natriumsilicide. Om een goede afweging te kunnen maken of deze oplader duurzaam is in productie en gebruik, vullen ze de bovenstaande opsomming aan. Ze noteren enkele gegevens over productie en gebruik van de oplader, waaruit blijkt dat niet wordt voldaan aan enkele uitgangspunten in de groene chemie.

- 3p 14 Noteer bij elk van de volgende uitgangspunten in de groene chemie een gegeven waaruit blijkt dat niet wordt voldaan aan deze uitgangspunten. Gebruik gegevens uit de voorgaande teksten over de productie en het gebruik van de oplader. Gebruik onder andere Binas-tabel 97F. Noteer je antwoord als volgt:
- Uitgangspunt 2: ...
 - Uitgangspunt 6: ...
 - Uitgangspunt 12: ...

Om de waterstofproductie per gram poeder te verhogen heeft de fabrikant nog een andere capsule ontwikkeld waarin behalve natriumsilicide ook natriumboorhydride (NaBH_4) aanwezig is.

De reactie tussen natriumsilicide-poeder en water verloopt snel en exotherm. Natriumboorhydride-poeder reageert maar heel langzaam met water. Opmerkelijk is dat in het mengsel van natriumsilicide-poeder en natriumboorhydride-poeder beide stoffen snel worden omgezet.

- 1p 15 Geef een verklaring voor het gegeven dat zuiver natriumboorhydride slechts moeizaam met water reageert, maar wel snel reageert als het is gemengd met natriumsilicide.

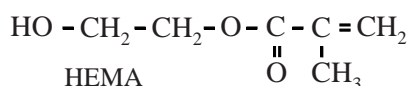
De fabrikant vermeldt niet in welke verhouding de twee stoffen gemengd zijn, maar wel dat 100 g van het mengsel na de reactie met water maximaal 15,7 g waterstof kan leveren.

Uit de reactie van natriumboorhydride met water ontstaan waterstof, natriumhydroxide en B(OH)_3 . Dit is reactie 2.

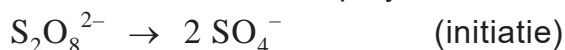
- 2p 16 Geef de vergelijking van reactie 2.
- 4p 17 Bereken met behulp van reacties 1 en 2 hoeveel gram natriumsilicide aanwezig is in 100 g van dit mengsel.
- Neem aan dat het rendement van beide reacties 100% bedraagt.

Zwetende gebouwen koelen af

Het koelen van kantoorgebouwen kost veel energie. Een manier om de energiekosten voor het koelen te verminderen is het dak van het gebouw met sponsachtig materiaal te bedekken dat regenwater opneemt. Wanneer later de zon schijnt, verdampt het water waardoor het gebouw minder opwarmt. Een groep wetenschappers heeft onderzocht of een hydrogel hiervoor een geschikt materiaal is. Een hydrogel is een homogeen mengsel van een polymeer met water. De watermoleculen zijn ingesloten tussen de polymeerketens. Interacties tussen de ketens zorgen ervoor dat het mengsel niet vloeibaar is en niet ontmengt. Wetenschappers onderzochten eerst of een hydrogel gebaseerd op het polymeer pHEMA geschikt was om gebouwen te koelen. pHEMA is het additiepolymeer van HEMA.



pHEMA wordt bereid door aan een mengsel van HEMA met water een kleine hoeveelheid ammoniumpersulfaat, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, toe te voegen. De initiatiereactie van de polymerisatie is hieronder weergegeven.



Het deeltje $\text{SO}_4^{\cdot -}$ is het radicaal dat de polymerisatie op gang brengt.

- 2p 18 Geef een mogelijke Lewisstructuur van het deeltje $\text{SO}_4^{\cdot -}$, waaruit blijkt dat het deeltje een radicaal is. Geef formele ladingen aan. Neem aan dat de covalentie van zwavel zes is.

Het radicaal $\text{SO}_4^{\cdot -}$ reageert met HEMA, waardoor uiteindelijk pHEMA ontstaat.

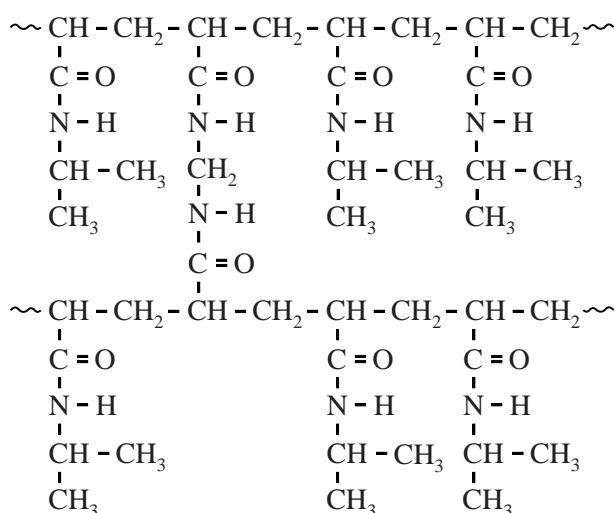
- 3p 19 Geef de vergelijking van de propagatiereactie van een deeltje $\text{SO}_4^{\cdot -}$ met een molecuul HEMA. Geef het deeltje $\text{SO}_4^{\cdot -}$ aan met $\text{R}\cdot$. Geef met pijlen aan hoe elektronen zich verplaatsen tijdens de reactie.

pHEMA kan veel water opnemen. Als pHEMA geheel met water wordt verzadigd, bedraagt het massapercentage water in de ontstane hydrogel 72%.

- 2p 20 Bereken hoeveel moleculen water per monomeereenheid in deze hydrogel van pHEMA worden opgenomen. Neem aan dat het massapercentage ammoniumpersulfaat in de hydrogel te verwaarlozen is.

Omdat pHEMA in de praktijk bleek tegen te vallen, is het verwante polymeer pNIPAM onderzocht. In figuur 1 is een gedeelte van de microstructuur van pNIPAM weergegeven. pNIPAM is een netwerkpolymeer dat wordt gemaakt uit twee monomeren. Bij de polymerisatie treden uitsluitend additiereacties op.

figuur 1



- 2p 21 Geef de structuurformule van het monomeer dat voor de crosslinks in pNIPAM zorgt.

Als pNIPAM-korrels worden samengevoegd met water bij een temperatuur onder 33 °C zwelt het materiaal op door opname van water. Ketendelen van pNIPAM worden dan volledig omgeven door watermoleculen. Op de uitwerkbijlage is figuur 1 nogmaals weergegeven.

- 2p 22 Geef op de uitwerkbijlage weer hoe twee watermoleculen gebonden zijn aan pNIPAM.

Als een dak wordt bedekt met een laag pNIPAM-korrels, kan het materiaal water opnemen tijdens regenbuien. Als dan later de zon schijnt neemt de natte hydrogel energie op én verdampt het water. Hierdoor zal een gebouw minder opwarmen. Omdat het proces herhaalbaar is, kan het materiaal langere tijd worden gebruikt.

Het eerder onderzochte pHEMA is niet geschikt voor deze toepassing omdat bij het verdampen van water zich een harde korst van pHEMA vormt. Hierdoor wordt de opname van water belemmerd. De onderzoekers veronderstellen dat dit wordt veroorzaakt doordat tijdens het opdrogen de polymeerketens van pHEMA zich regelmatig rangschikken waardoor kristallijne gebieden worden gevormd. De interacties tussen de ketens zijn dan zo sterk dat watermoleculen niet meer tussen de ketens kunnen dringen.

- 2p 23 Leg uit op microniveau waarom in pNIPAM geen kristallijne gebieden worden gevormd tijdens het opdrogen.

Om de koelende werking van pNIPAM te onderzoeken, zijn temperatuurmetingen gedaan aan een miniaturhuis waarvan het dak met een laag pNIPAM-korrels is bedekt. Aan het begin van de meting werd de laag verzadigd met water. Het miniaturhuis werd vervolgens verwarmd onder een sterke lamp, terwijl de temperatuur van de natte hydrogel werd gemeten. De temperatuur van de natte hydrogel steeg van 24 °C tot 33 °C door de opname van energie.

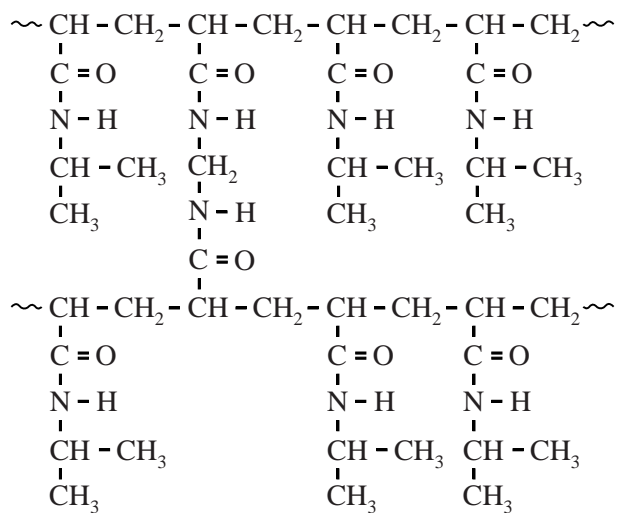
Bij 33 °C bleef de temperatuur constant totdat al het aanwezige water was verdampt.

De totale hoeveelheid energie die op dat moment is opgenomen door de pNIPAM-laag hoeft niet meer door koeling te worden afgevoerd.

- 3p **24** Bereken hoeveel energie per m² is opgenomen door de pNIPAM-laag als gevolg van de temperatuurstijging en het verdampen van het water. Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:
- in de laag was 2,8 kg water per m² aanwezig;
 - het massapercentage water in de pNIPAM-laag bedroeg 84%;
 - de soortelijke warmte van de natte hydrogel bedraagt $4,0 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1}$;
 - de verdampingswarmte van water bedraagt $2,26 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$.

uitwerkbijlage

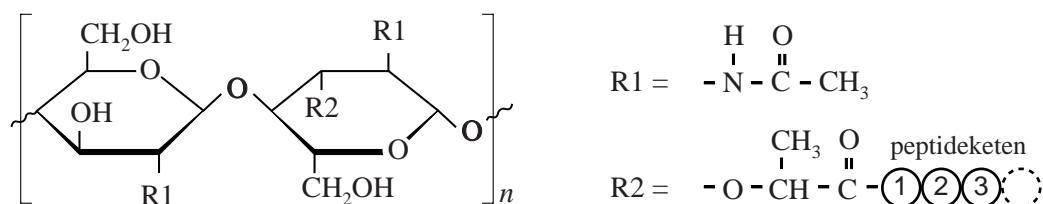
22



De bacteriële celwand

Bacteriën hebben behalve een celmembraan ook een celwand om hun cellen. Het belangrijkste bestanddeel van deze celwand is mureïne. Mureïne bestaat uit lange sacharide-ketens die door korte peptideketens met elkaar zijn verbonden. In de sacharide-keten zijn afwisselend eenheden NAG en NAM aanwezig. In figuur 1 is een deel van de keten van mureïne weergegeven.

figuur 1



NAG en NAM zijn beide afgeleid van één van de monosachariden die zijn weergegeven in Binas-tabel 67F.

- 1p 25 Geef de naam van de monosacharide waarvan NAG en NAM beide zijn afgeleid.

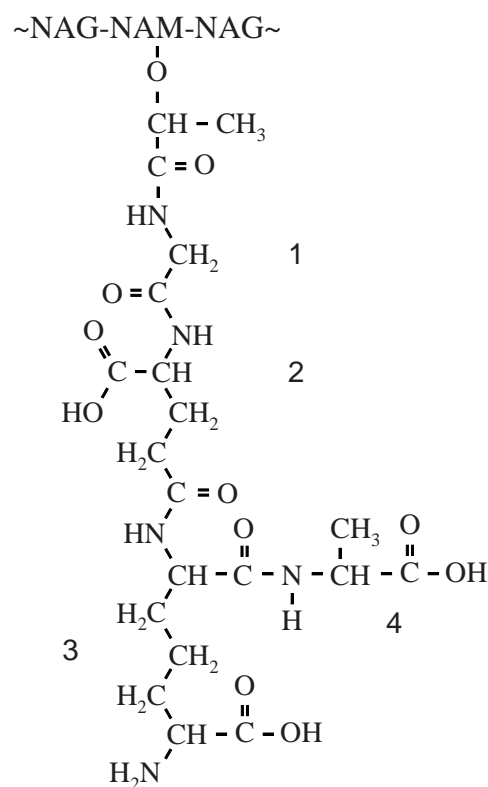
Aan iedere NAM-eenheid is in R_2 een korte peptideketen gebonden. Zowel het aantal aminozuren in de peptideketen als de samenstelling van de aminozuren is hierbij afhankelijk van de bacteriesoort. In figuur 2 is de peptideketen weergegeven die voorkomt in mureïne van de bacteriesoort *E. coli*. Aminozuur 2 in deze peptideketen is op een afwijkende manier in de keten opgenomen.

- 2p 26 Geef de naam van aminozuur 2 en geef aan wat er afwijkend is in de manier waarop dit aminozuur in de peptideketen is opgenomen.
Gebruik Binas-tabel 67H.

Aminozuur 3 in de peptideketen bij *E. coli* is het zogeheten diaminopimelinezuur (DAP).

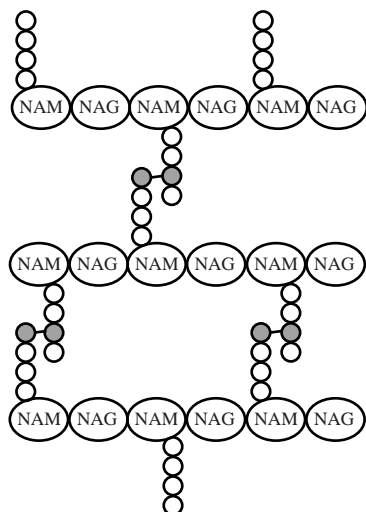
- 2p 27 Geef de structuurformule van het aminozuur DAP. Gebruik figuur 2. Het aminozuur DAP is niet in Binas opgenomen.

figuur 2



De verschillende sacharide-ketens van mureïne liggen parallel aan elkaar. Tussen de peptideketens aan de NAM-eenheden worden peptidebindingen gevormd. Hierdoor ontstaan crosslinks zoals in figuur 3 schematisch is weergegeven.

figuur 3



In *E. coli* komen crosslinks voor tussen het derde en het vierde aminozuur in de peptideketens.

Op de uitwerkbijlage zijn de structuurformules van twee mureïne-ketens van *E. coli* tweemaal weergegeven: eenmaal vóór de vorming van de crosslink en eenmaal ná de vorming van de crosslink.

In de weergave 'na vorming crosslink' zijn van sommige aminozuren enkele O en H atomen weggelaten.

- 2p **28** Geef op de uitwerkbijlage in de weergave 'na vorming crosslink' weer hoe de peptideketens in mureïne van *E. coli* door middel van één peptidebinding met elkaar zijn verbonden.
Vul de weggelaten H en O atomen aan waar nodig.

uitwerkbijlage

28

