

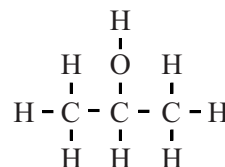
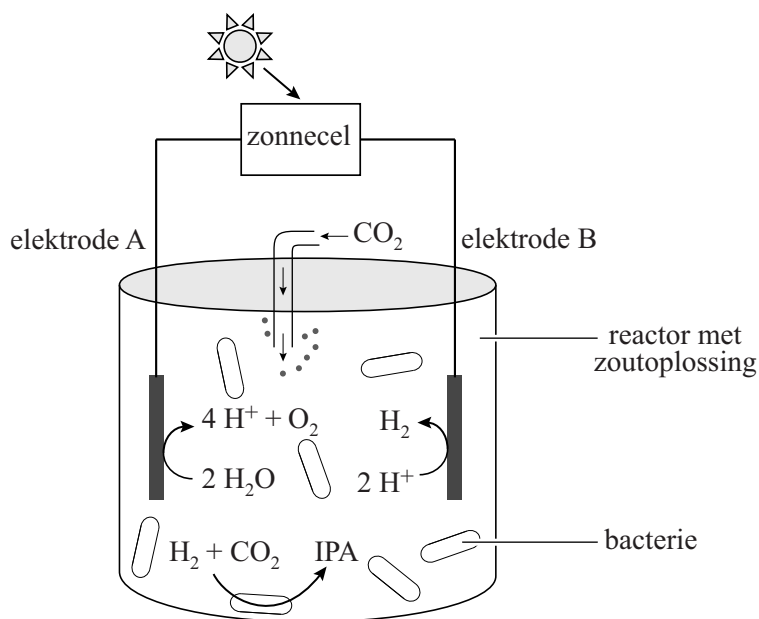
tekstfragment

“Iedere dertig minuten vangt de aarde een hoeveelheid zonlicht op waarmee we de hele wereld een jaar lang van energie kunnen voorzien. Hier ligt voor ons de uitdaging. We moeten gebruikmaken van deze mogelijkheid.” Met deze woorden opende toenmalig kroonprins Willem Alexander in 2011 een seminar in Dresden.

naar: www.groenegrondstoffen.nl

Wetenschappers hebben iets bedacht om zonlicht te kunnen gebruiken als ‘zonnebrandstof’. Voor deze zonnebrandstof wordt zonne-energie gebruikt die is opgevangen door zonnecellen, om water te ontleden tot waterstof en zuurstof. De gevormde waterstof wordt vervolgens door de genetisch aangepaste bacteriesoort *R. eutropha* met koolstofdioxide omgezet tot de zonnebrandstof isopropylalcohol (IPA). Dit proces is vereenvoudigd weergegeven in figuur 1a.

figuur 1



1a. reactor voor het maken van zonnebrandstof

1b. structuurformule IPA

Het proces in figuur 1a heeft overeenkomsten met de natuurlijke fotosynthese. Beide processen hebben bijvoorbeeld zonlicht als energiebron nodig.

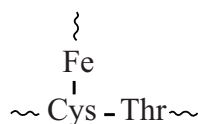
- 2p 1 Geef nog twee andere overeenkomsten tussen de hierboven beschreven vorming van zonnebrandstof en fotosynthese.

Isopropylalcohol (IPA) is een triviale naam. De structuurformule van IPA is in figuur 1b weergegeven.

- 2p 2 Geef de systematische naam van IPA.

Een van de stappen in het proces waarbij bacteriën IPA produceren, is de omzetting van waterstof tot waterstofionen met behulp van 'hydrogenasen'. Een hydrogenase is een enzym met in het reactieve deel onder andere ijzeratomen. In figuur 2 is een fragment van een hydrogenase vereenvoudigd weergegeven. Het zwavelatoom in de restgroep van de cysteïne-eenheid is gebonden aan een ijzeratoom (Fe) in plaats van aan een waterstofatoom. Deze binding is op te vatten als een atoombinding.

figuur 2



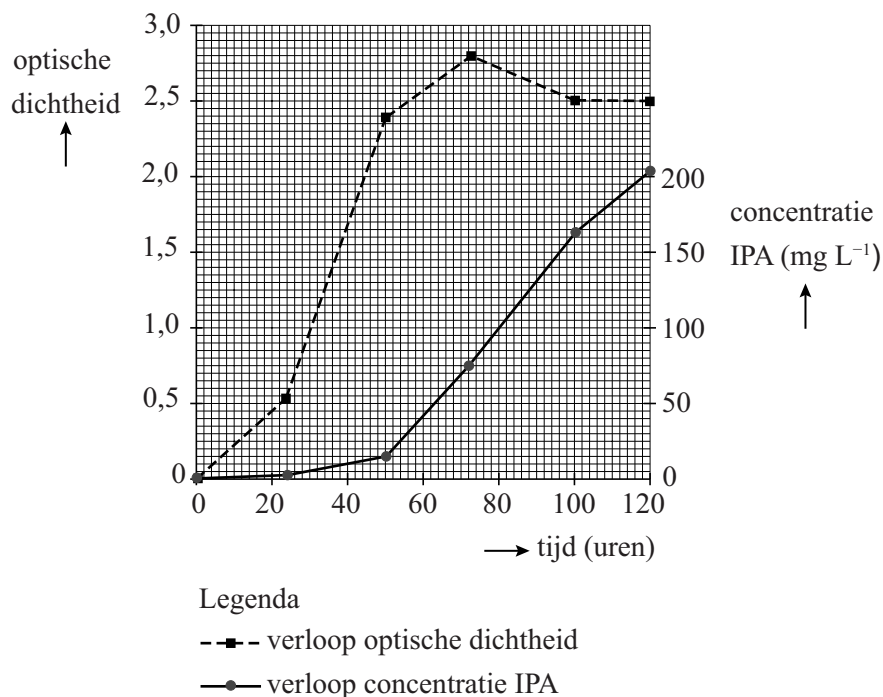
- 4p 3 Geef de structuurformule van het fragment uit figuur 2. Gebruik Binas-tabel 67H1 of ScienceData-tabel 13.7c.

De omzetting van waterstof tot waterstofionen door het enzym is een halfreactie.

- 2p 4 Leg uit, aan de hand van deze halfreactie, of voor deze omzetting van waterstof een oxidator of een reductor nodig is. Gebruik eventueel Binas-tabel 48 of ScienceData-tabel 9.1f.

De wetenschappers hebben onderzocht of het mogelijk is om bacteriën doelgericht IPA te laten produceren. Daarvoor hebben ze een experiment uitgevoerd waarbij waterstof en koolstofdioxide worden geleid door een suspensie van bacteriën in een verdunde zoutoplossing. De bacteriën kunnen zich in dit mengsel voortplanten. De groei van het aantal bacteriën in het mengsel werd gemeten. Hiervoor werd een maat gebruikt die de 'optische dichtheid' wordt genoemd. Hoe hoger de optische dichtheid, hoe meer bacteriën er in het mengsel aanwezig waren. Ook de productie van IPA door de bacteriën werd in de tijd gemeten. Beide resultaten zijn weergegeven in figuur 3.

figuur 3



Als hun voedingsstoffen (zoals de zoutoplossing) opraken, stoppen de bacteriën met zich te vermenigvuldigen en gaan ze IPA produceren. In het beschreven experiment gebeurt dit wanneer de optische dichtheid van 2,4 is bereikt.

- 2p **5** Bereken de gemiddelde snelheid in mg IPA per liter per uur waarmee IPA wordt gevormd tussen 50 en 72 uur na de start van het experiment.

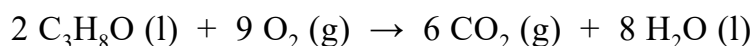
Om IPA van het reactiemengsel te scheiden, wordt de suspensie met bacteriën gefiltreerd. Het filtraat bevat water en onder andere opgelost IPA. Hieraan wordt vervolgens zo veel keukenzout toegevoegd dat IPA en water zich als twee lagen van elkaar scheiden. Deze scheidingsmethode heet 'uitzouten'. Door toevoeging van het zout raken alle watermoleculen betrokken bij de hydratatie van ionen uit het keukenzout. IPA-moleculen vormen dan waterstofbruggen met elkaar en niet meer met watermoleculen. Op de uitwerkbijlage zijn twee IPA-moleculen weergegeven.

- 2p 6 Voer de volgende opdrachten uit op de uitwerkbijlage.
- Teken een waterstofbrug tussen beide IPA-moleculen.
 - Teken de structuurformule van een derde IPA-molecuul dat met een waterstofbrug aan een van de andere IPA-moleculen is gebonden.

Het proces dat beschreven wordt in deze opgave en wordt samengevat in figuur 1a, heeft eigenschappen van een batchproces.

- 1p 7 Beschrijf een verschil op procesniveau tussen een batchproces en een continuproces.

IPA is een energiedrager en heeft een hoge energiedichtheid. De energiedichtheid van een brandstof is de hoeveelheid energie die vrijkomt bij de volledige verbranding van een bepaalde hoeveelheid van die brandstof. De energiedichtheid van vloeibare brandstoffen wordt vaak uitgedrukt in megajoule per liter (MJ L^{-1}). De volledige verbranding van IPA is hieronder met een vergelijking weergegeven.



De reactiewarmte van deze reactie is $-20,1 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ IPA.

- 3p 8 Laat door middel van een berekening zien dat de reactiewarmte van de volledige verbranding van IPA gelijk is aan $-20,1 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ IPA.
- Gebruik Binas-tabel 57A of ScienceData-tabel 9.2.
 - Gebruik voor de vormingswarmte van IPA: $-3,18 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$.
- 3p 9 Bereken de energiedichtheid van IPA in MJ L^{-1} .
Gebruik de volgende gegevens:
- de reactiewarmte voor de volledige verbranding van IPA: $-20,1 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ IPA
 - de dichtheid van IPA: 785 g L^{-1}
 - $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$