

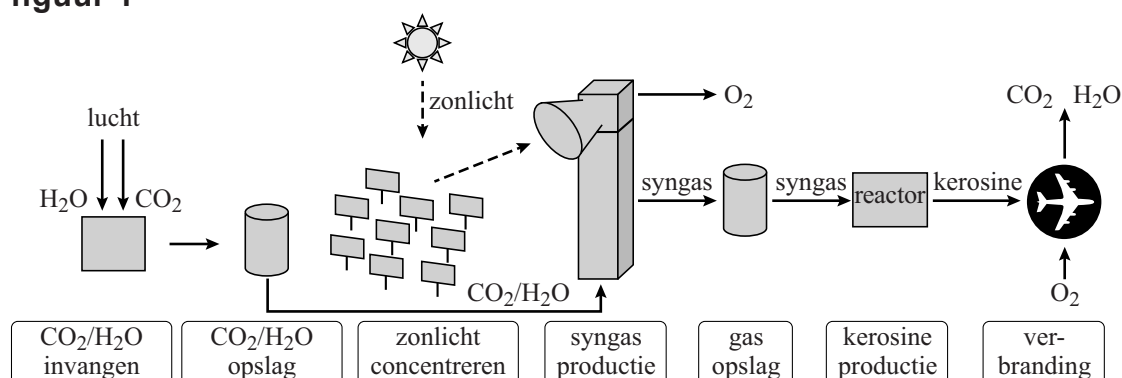
Onderzoekers van het Europese onderzoeksproject Solar-Jet zijn erin geslaagd om met behulp van kunstmatig zonlicht koolstofdioxide en water om te zetten tot syngas. Syngas is een mengsel van de gassen CO en H₂. Vervolgens is het syngas met behulp van een katalysator omgezet tot kerosine. Kerosine is een vliegtuigbrandstof die voornamelijk bestaat uit koolwaterstoffen met 6 tot 16 koolstofatomen.



- 2p 23 Geef de vergelijking van de reactie waarbij CO en H₂ worden omgezet tot de koolwaterstof C₁₂H₂₆ en water.

Het doel van het Solar-Jet-project is het ontwikkelen van een proces waarbij op duurzame wijze vliegtuigbrandstof kan worden gemaakt met behulp van zonlicht. Dit is in figuur 1 schematisch weergegeven.

figuur 1



Bij de verbranding van koolwaterstoffen ontstaat koolstofdioxide. De uitstoot van koolstofdioxide heeft een ongewenst effect op het klimaat.

- 1p 24 Geef de naam van dit ongewenste effect.
- 2p 25 Leg uit dat het gebruik van Solar-Jet-kerosine **niet** bijdraagt aan dit ongewenste effect.

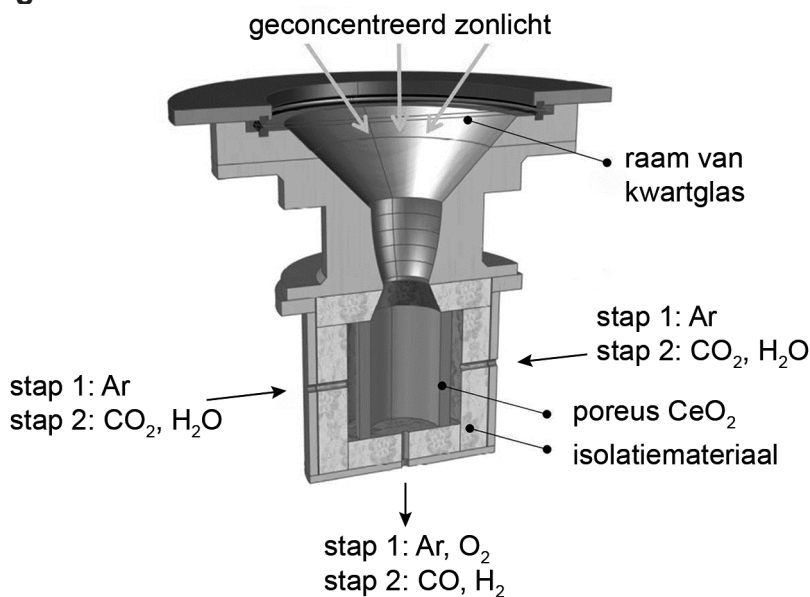
Syngas kan worden geproduceerd door een mengsel van koolstofdioxide en water sterk te verhitten en vervolgens snel af te koelen. De reactie die hierbij verloopt is hieronder weergegeven. Dit is echter geen veilige methode, omdat een gevaarlijk gasmengsel ontstaat.



- 3p **26** Bereken de reactiewarmte in J voor de vorming van een mol CO (bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$) volgens bovenstaande vergelijking. Maak hierbij gebruik van Binas-tabel 57 of ScienceData-tabel 9.2.
- 2p **27** Leg uit waarom het gevormde gasmengsel gevaarlijker is dan syngas, en vermeld daarbij welk extra gevaar daardoor kan ontstaan.

De onderzoekers van het Solar-Jet-project hebben een veilige methode ontwikkeld waarbij het syngas in twee stappen wordt gemaakt met behulp van een speciale reactor. In figuur 2 is een dwarsdoorsnede van deze reactor weergegeven. De reactor is zo ontworpen dat 94% van de lichtenergie wordt geleid naar een reactieruimte die bekleed is met poreus cerium(IV)oxide (CeO_2).

figuur 2



stap 1: De reactiekamer wordt met kunstmatig zonlicht verhit tot $1600 \text{ }^\circ\text{C}$. Hierdoor treedt een redoxreactie op, waarbij een deel van de cerium(IV)ionen wordt omgezet tot cerium(III)ionen en een deel van de oxide-ionen tot zuurstofmoleculen. Deze reactie is endotherm en kan worden weergegeven met de vergelijking:



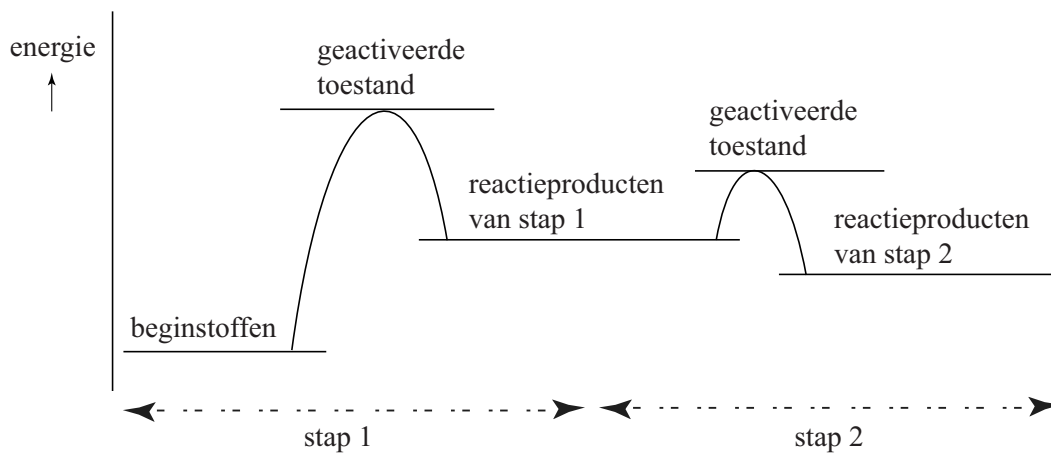
De vrijgekomen zuurstof wordt met argon uit de reactor verdreven.

stap 2: De reactor wordt gekoeld tot 900°C en gevuld met een mengsel van koolstofdioxide en water. Dit mengsel reageert exotherm met cerium(III)oxide (Ce_2O_3) tot syngas en cerium(IV)oxide (CeO_2). Het syngas wordt afgetapt, waarna stap 1 weer kan plaatsvinden.

- 2p **28** Geef aan of de oxide-ionen die bij reactie 1 (stap 1) betrokken zijn, reageren als oxidator of als reductor. Motiveer je antwoord.
- 3p **29** Geef de vergelijking van de reactie die optreedt tijdens stap 2. Neem aan dat CO en H_2 ontstaan in de molverhouding 1:1.

Door het Solar-Jet-proces wordt lichtenergie opgeslagen als chemische energie in de vorm van syngas. Dit proces is in figuur 3 schematisch in één energiediagram weergegeven.

figuur 3

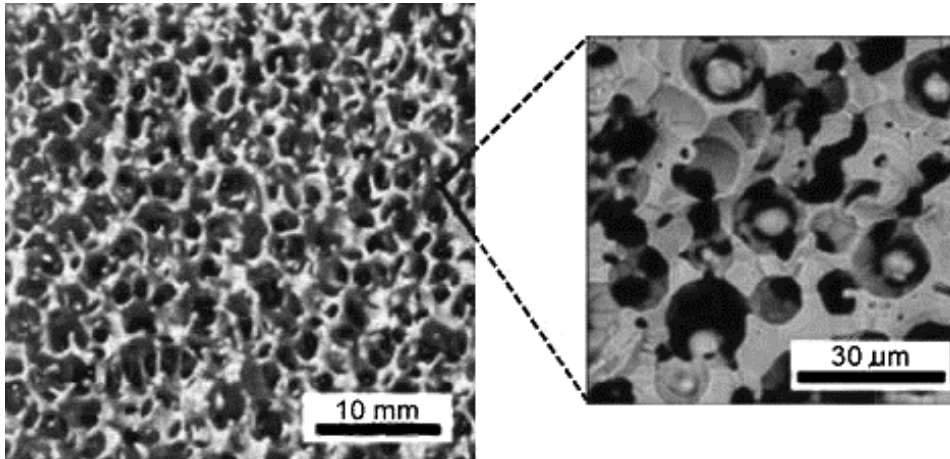


Uit figuur 3 blijkt dat het energieniveau van de stoffen na stap 2 tussen het energieniveau van de stoffen na stap 1, en het energieniveau van de beginstoffen in ligt.

- 2p **30** Licht de onderlinge ligging van deze energieniveaus toe met behulp van de beschrijving van het Solar-Jet-proces.
 Noteer je antwoord als volgt:
 Het energieniveau van de reactieproducten van stap 2 ligt:
- lager dan het energieniveau van de reactieproducten van stap 1 omdat: ...
 - en hoger dan het energieniveau van de beginstoffen omdat:...

De onderzoekers hebben verschillende soorten poreus cerium(IV)oxide getest. Een bepaalde soort cerium(IV)oxide (soort X) is zowel poreus op millimeterschaal (figuur 4a) als op micrometerschaal (de uitsnede in figuur 4b). Een andere soort cerium(IV)oxide (soort Y) is alleen poreus op millimeterschaal.

figuur 4



4a

4b

Wanneer soort X wordt gebruikt, is de reactiesnelheid tijdens stap 2 veel hoger dan wanneer soort Y wordt gebruikt.

- 2p **31** Leg uit aan de hand van het botsende-deeltjes-model waarom de reactiesnelheid van stap 2 bij gebruik van soort X hoger is.
- 2p **32** Geef aan of cerium(IV)oxide in figuur 4b op microniveau is weergegeven. Licht je antwoord toe.

De onderzoekers hebben berekend dat bij hun onderzoek slechts 1,7% van de zonne-energie is vastgelegd in de chemische energie van syngas. Dit lijkt erg weinig, maar de onderzoekers beweren dat de opbrengst van het Solar-Jet-proces verhoogd kan worden door terugdringen van het energieverlies.

- 2p **33** Geef twee maatregelen die het energieverlies in het Solar-Jet-proces kunnen beperken.