

Waterstof

uit

Wind

en

Summary

Woestijn

Zansrijke oplossing voor het klimaatprobleem

vwo-module



Colofon

De nlt-module @@@@ Waterstof uit Wind en Woestijn, met als ondertitel *Kansrijke oplossing voor het klimaatproblemen* is bestemd voor de lessen Natuur, Leven en Technologie (nlt). De module is ... nog niet ... gecertificeerd door de Vereniging NLT voor gebruik in de domeinen (aangegeven, inclusief puntentelling, door de modulecommissie):

B1 (2pt): Interdisciplinariteit	B2 (1pt): Wisselwerking tussen natuurwetenschap en technologie	C1 (1 pt): Processen in levende natuur, aarde en ruimte C2(1 pt): Duurzaamheid	E1 (1pt): Methoden en technieken van technologische ontwikkeling
------------------------------------	--	--	--

De module is gecertificeerd tot ...?... met certificeringsnummer @@@@

De originele gecertificeerde module is in pdf-formaat downloadbaar via: <http://www.betavak-nlt.nl>

Op deze website staat uitgelegd welke aanpassingen docenten aan de module mogen maken, voor gebruik in de les, zonder daardoor de certificering teniet te doen. De module is gemaakt door de Vereniging voor Zonnekrachtcentrales (contact via voorzitter@zonnekrachtcentrales.nl) en is mede mogelijk gemaakt en gecertificeerd door de Vereniging NLT.

Copyright © @@@2020 Vereniging NLT, Doorn; Vereniging voor Zonnekrachtcentrales, Reeuwijk

-Inhoudsopgave-

(NB. De inhoudsopgave werkt wel automatisch, maar de pagina-nummering is van de module zelf.)

Deel A: INLEIDING.....	3
1. Waterstof voor onze toekomst.....	3
1.1 Waterstof in de energietransitie	3
1.2 Een voorbeeldparagraaf	4
2. Waterstof: eigenschappen en kleinschalige productie.....	5
2.1 Algemene en relevante eigenschappen van waterstof	5
2.2 Meer eigenschappen van waterstof.....	6
3. Waterstof: grootschalige productie	7
3.1 De stap naar grootschaligheid	7
3.2 Grijze, blauwe en groene waterstof	7
Deel B: HOE KOM JE ER AAN?.....	9
4. Naar de zon- en windovergoten gebieden voor de waterstofproductie.....	9
5. Transport van waterstof.....	13
Deel C: WAT KUN JE ERMEE?.....	14
6. Waterstof in de industrie en in het vervoer.....	14
6.1 Zware industrie	14
6.2 Waterstof in het vervoer	16
7. Waterstof in het huishouden?	18
8. Tot slot	18

NB: Vanwege het karakter van deze summary zijn de daarin voorkomende teksten uit de module, waaronder die voor de leerlingen, vaak verkort weergegeven. Ook afbeeldingen kunnen verkleind zijn weergegeven.

Bij deze module hoort een **Bijlage** met de volgende **hoofdonderdelen**

1. Verplaatste opdrachten
2. Alternatieve routes
3. Begrippenlijsten
4. Antwoorden

1. Waterstof voor onze toekomst

1.1 Waterstof in de energietransitie

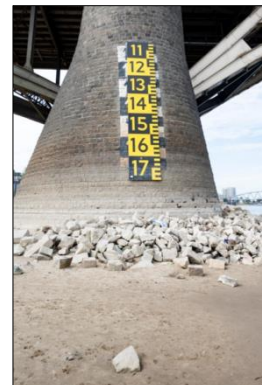
Waarom energietransitie?

Energietransitie is nodig om de volgende vijf redenen :

- Het **broeikaseffect** is versterkt door het gebruik van fossiele brandstoffen en de CO₂-emissie daardoor. Hierdoor was volgens [URL1g](#) in 2021 de mondiale temperatuurstijging 1,1 °C met gevolgen als:
 - zeespiegelstijging
 - droogte
 - ontbossing
 - overstromingen
 - weersextremen
- De energietransitie en het gebruik van waterstof als brandstof maakt ook een einde aan **aardbevingen** zoals in Groningen, althans de *inklinkbare* ruimtes onder de aardbevingsgebieden, groeien niet meer.
- We kunnen zonder fossiele brandstoffen omdat er voldoende **alternatieven** zijn, die vaak ook goedkoper zijn:
 - zonne-energie
 - windenergie
 - waterkracht.
 - biomassa
 - bodemenergie
- **Warmtepompen**
- **Plastics** kunnen ze tegenwoordig van zetmeel maken en van melkzuur waardoor ze in de natuur kunnen worden afgebroken.



Figuur 1a: Valkenburg 15 juli 2021



Waal 20 augustus 2022
Paul Rapp / De Gelderlander

Twee rode lijnen

Over dit soort zaken zijn inhoudelijke objectieve afwegingen te maken maar kun je soms subjectief van mening verschillen. Vandaar de volgende rode lijn:

(NB. Onder andere in verband met de Bijlage kan de nummering van de figuren wat eigenaardig zijn.)

Hoe weet je wat waar is?

Om argumenten te leren wegen en informatie op waarde kunnen schatten zal de vraag “Hoe weet je wat waar is?” een aantal malen gesteld worden. Dit vormt de eerste **rode lijn** door de module. NB. Maak een **lijst** met de diverse manieren van **Hoe weet je wat waar is?** en lever die in als je docent dat wenst.

Eindopdracht voorbereiden

De tweede **rode lijn** is je expertise opbouwen voor je eindopdracht. Je hebt daarin de keuze tussen:

1. Een presentatie tijdens een ouderavond of bij een vergadering van de gemeenteraad of de Provinciale Staten, de Tweede Kamercommissie Duurzaamheid, het Europese Parlement;
2. Het opzetten van een bedrijf dat kennis en expertise op dit gebied gaat runnen om een werkzame bijdrage te leveren aan de energietransitie;
3. Het ontwerpen van een toekomstcontinent waar alles reilt en zeilt zoals het zou moeten in 2050;
4. Het ontwerpen van een site als H2platform of een film en dergelijke;
5. Lesgeven op de basisschool over het thema van deze module;
6. Logistieke complicaties in de waterstofketen;

7. Het uitwerken van een eigen ontwerp, eventueel in het kader van O&O;
8. Een eigen invulling.

Waarom waterstof in de energietransitie?

Het gebruik van waterstof in de energietransitie is om de volgende vijf redenen een goed idee (of niet):

- Elektrische stroom kun je onder andere produceren uit windenergie en zonne-energie. Met die stroom kan door **elektrolyse** waterstof uit water gemaakt worden.
- Wat er aan straling van de zon op de aarde valt, is enige duizenden keren zo groot als de totale energiebehoefte van de wereld. Dus hebben we een energieprobleem?
- Waterstof zal naar verwachting ooit goedkoper worden dan fossiele brandstoffen.
- . Bij de inzet van waterstof kunnen we **geopolitieke** complicaties verder voorkómen door de import hiervan te spreiden over meer landen.
- Tegenargumenten
 - Niet alle waterstof is groen.
 - “Dan elektrolyseer je toch water” maar bij het opwekken van die stroom ontstaat wel degelijk CO₂
 - Bij de elektrolyse van water 25 % van de energie die je er instopt, gaat verloren.

Waterstof als energiedrager en als grondstof

De inzet van waterstof als **energiedrager** kan een belangrijke bijdrage leveren in de bestrijding van het versterkte broeikaseffect.

Met waterstof als energiedrager kun je een paar kanten op:

- Verbranden. Bijvoorbeeld voor hele hoge temperaturen in de industrie (proceswarmte)
- In verbrandingsmotoren
- In Fuel Cells (brandstofcellen): een soort batterijen waarin de rol van het lithium of het lood of het zink overgenomen wordt door waterstof, waarmee je de batterij ook kunt vullen/opladen en waarop een elektromotor kan lopen.
- Zo breed mogelijk de plaats innemen van aardgas.

Waterstof is ook een belangrijke **grondstof** voor de industrie.

Met waterstof als grondstof kun je ook een paar kanten op:

- Zo veel mogelijk de plaats innemen van steenkool bij Tata Steel.
- Grondstof voor de kunstmestindustrie.
- *Hydrocracking*: waterstof voorkómt dat bij het kraken van lange alkanen er alkenen ontstaan.

Het zal je duidelijk gemaakt worden in deze module dat niet iedere vorm van waterstof voldoet aan de eis dat

Overige doelstellingen

Je kunt desgewenst je docent vragen naar de lijst met de overige doelstellingen (DHL, pagina 13).

1.2 Een voorbeeldparagraaf

1. Opdracht: Film ter inleiding Morgenland ►[URL1](#)

Vul deze lijst (van 23 rijen) verder in:

Tijd	Kreet	Verband met waterstof
0:24	klimaatverandering	kan door waterstof worden voorkómen
0:31	binnen de twee graden	kan waterstof bij helpen
0:51	CO ₂ -uitstoot nul in 2050	
1:44		

De samenstellers wensen je een heel zinvolle reis door deze module en een zonnige toekomst!!!!

Mogelijkheid: Powerpointpresentatie van het begin van dit hoofdstuk, nogmaals bekijken.

2. Waterstof: eigenschappen en kleinschalige productie

2.1 Algemene en relevante eigenschappen van waterstof

Gebruiksaanwijzing

Om oponthoud door het slechts éénmaal kunnen gebruiken van het vaklokaal zijn de experimenten overslaanbaar in de tekst opgenomen door zogenaamde **Bruggetjes** die in een paar woorden de inhoud van het experiment weergeven. Bovendien worden de voorschriften herkenbaar door een brilletje  aan het begin en het eind zodat deze ook (tijdelijk) overgeslagen kunnen worden.

Bruggetje:
Waterstof-
peroxide geeft
zuurstof af.

1. Opdracht: Mogelijke misverstanden rond waterstof

Preview

Previews zijn handig:

- niet alleen als overzicht van de inhoud van de opdracht,
- maar ook om je jezelf te kunnen testen na de opdracht.
- Je kunt zien of de opdracht voor jou wel de moeite waard is.
- Pas op: als je hem overslaat: kan de stof wel in de toets komen.
- Je kunt zo afwegen eventueel te kiezen voor een andere route: ② of ⑤ in de Bijlage:

Uit de Bijlage:

Hoofdonderdeel 2: Route-②- en route-⑤-opdrachten

Hoofdstuk 1

1. Opdracht: Film ter inleiding

Kijk bijvoorbeeld thuis met je huisgenoten naar de film [URL1](#) en verzamel hun commentaar en praat er met hen over. houden.

Hoofdstuk 2

1. Opdracht: Mogelijke misverstanden rond waterstof

Met route ② ga je bijvoorbeeld zoveel mogelijk mensen (geen klasgenoten) vragen wat waterstof is en vragen wat ze ervan weten. Ga met hen na wat waar is en wat niet en kijk hoe ze reageren op jouw argumenten.

1. (Gedachte-)experiment: Spoelen met “waterstof”

 Spoel je mond als eerste blancoproef met een slok water door hem hoorbaar flink tussen je tanden heen en weer te persen, een minuut lang. Spuug het resultaat uit in een glas. Kijk naar eventuele troebeling en luister aan het glas. Herhaal de blancoproef meteen en bekijk en begrijp het verschil.

a. Waar is de tweede blancoproef voor nodig?

Spoel nu met 1 % waterstofperoxide en spuug uit in een erlenmeyer. Steek een gloeiende houtspaander in de erlenmeyer als er niets meer verandert in de vloeistof.

b. Geef een verklaring voor wat je (niet) ziet en (niet) hoort.

c. Geef daarbij een reactievergelijking. (einde .)

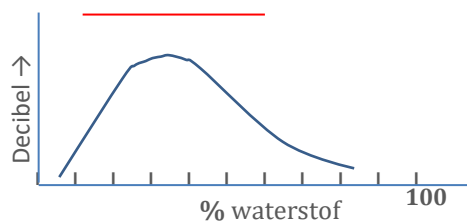
2. ‘Hydrogen-rich Water Cup’

3. (Gedachte-)experiment: self made Hydrogen-Rich Water Cup

NB: Er staan veel vragen in de module!

Om de series vragen niet te lang te maken zijn de opdrachten in onderdelen (zoals hierboven) uit elkaar geknipt, zodat het aantal vragen per onderdeel meevalt.

Het is van belang de leerlingen voortdurend de mogelijkheid te geven hun antwoorden te controleren en hen daartoe de **Bijlage** ter beschikking te stellen.



Figuur 15a: Deze grafiek met voorbeeld-kromme gaan jullie opnemen.

2. Opdracht: Experiment: Explosiegrenzen van waterstof in lucht

Preview

- Berekening van een waterstof-luchtmengsel waarin waterstof : zuurstof = 2 : 1 is.
- Afmeten van de benodigde hoeveelheid waterstof in een reageerbuis.
- Meten van de kracht van de knal met een app.

1. Opzet

- Maak voor degene die het toestel van Hofmann moet klaarzetten een **werkplan**.
- Bij hoeveel % H_2 zit in figuur 15a de explosieondergrens?

2. De explosiegrenzen van waterstof-lucht, uitvoering

3. Opdracht: Experiment: Explosiegrenzen van aardgas

4. Opdracht: Energie-inhouden van waterstof en aardgas vergelijken

1. Vragen:

2. Vergelijking waterstofleiding en hoogspanningsleiding

3. Experiment: Waterstof 'wegen'

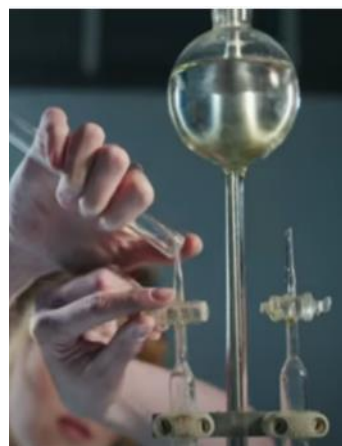
Uit de Bijlage:

Overzicht route-⑤-opdrachten

NB. Route-⑤-opdrachten zijn vervangend voor een hele paragraaf:

2.1 Algemene en relevante eigenschappen

Route ⑤: Deze paragraaf gaat over feiten over waterstof. Om daar achter te komen kun je wikipedia bezoeken met alle links die relevant zijn en je nieuwsgierigheid opwekken. Om iets letterlijk en figuurlijk om handen te hebben kun je onderzoeken wat de belletjes zijn die ontstaan als je aluminiumfolie in een warme sodaoplossing doet. Bedenk hoe je het gas opvangt (in verband met de volgende paragraaf mag je niet meer dan een reageerbuis ervan verzamelen) en hoe je het aantoonst. Combineer je kennis van internet op slimme wijze met je experimenteel bezig zijn. Bijvoorbeeld of waterstof oplost in water en waarom (niet). Als je even moet wachten kijk dan in deze paragraaf of er iets bij staat waar je wat aan hebt. Combineer alles in een mindmap met denkwolkjes op een flipoverpapier en presenteer je ervaringen aan de klas. Overleg daartoe met je docent.



Figuur 14b: Print screen van <https://www.youtube.com/watch?v=L9mo1pRURWM> tijd: 0:57

2.2 Meer eigenschappen van waterstof

5. Opdracht: Gaat waterstof door hennep- of vlasafdichting?

1. Vroeger

2. Toekomst

3. Experiment: Gaat waterstof door teflon?

Beste Sjoerd,

Een vraag die wij almaar niet beantwoord krijgen, is: Heeft u (of een van uw naaste of verre collega 's) al eens onderzocht of waterstof door

teflonbindingen kan diffunderen? Ik denk dat het de hamvraag is voor een betaalbare waterstofenergietransitie.

Beste groet en bij voorbaat dank, Harrie

Beste Harrie,

Zoals alle gassen diffundeert waterstof (dus net als aardgas) door vaste stoffen heen. Bij metalen is dit zo'n kleine hoeveelheid dat we metalen in de gasdistributie in nieuwstaat als "dicht" beschouwen. Kunststoffen diffunderen meer, maar worden op grote schaal toegepast, omdat de mate zo klein is dat dit als acceptabel wordt beschouwd. Binnen de kunststoffen heeft teflon een hogere dichtheid dan PE en PVC, die op grote schaal in gasdistributie worden gebruikt. Teflon wordt wel in de gasdistributie gebruikt: als pakingsmateriaal bij schroefverbindingen, bijvoorbeeld in binnen-installaties of in gasstations. Om beide redenen is de mate van diffunderen zeer klein en acceptabel.

Kind regards,

Sjoerd Delnooz

Unit manager Piping Systems & Materials

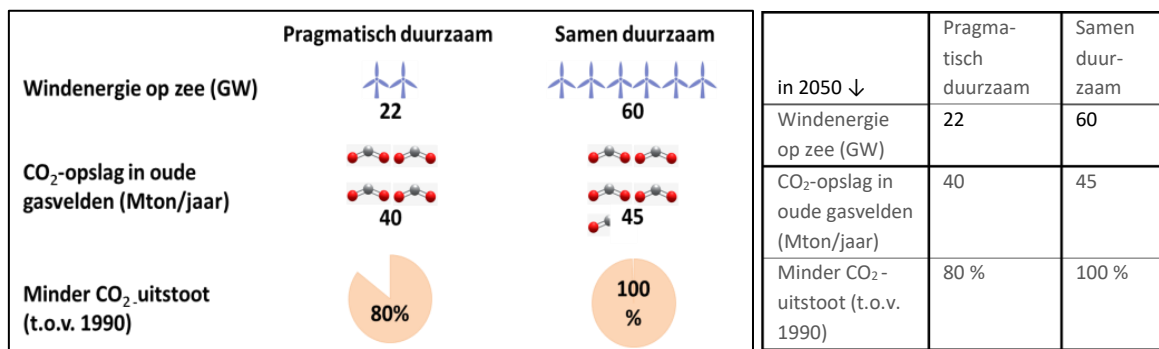
Kiwa Technology

6. Opdracht: Interdisciplinariteit

1. Uitvoering 1

Nlt is interdisciplinair met bijdragen uit de binasvakken en wiskunde en aardrijkskunde. Zoek de volgende figuren en leg uit bij welk vak ze horen: Toestel van Hofmann. Detail van de Hydrogen-rich Water Cup. Overstroming Valkenburg. Figuur 1b.

2. Uitvoering 2



Figuur 15a: Twee toekomstscenario's voor de Noordzee

- Ga met Zoeken na hoeveel keer bio vóórkomt in de module.
- Ga met Zoeken na hoeveel het =-teken vóórkomt in de antwoorden in de Bijlage.
- Zitten er evenveel wiskunde -opgaven in? Leg uit.
- Wat zegt het over de hoeveelheid natuurkunde? Leg uit.
- Zoek hoeveel keer een → (kopieer deze hier) vóórkomt in de Bijlage en trek je conclusie.

3. Waterstof: grootschalige productie

1. Opdracht: Waterstof, feiten

3.1 De stap naar grootschaligheid

2. Opdracht: Waterstof, productiewijzen

3.2 Grijs, blauwe en groene waterstof

3. Opdracht: Kleuren waterstof

1. Van grijs

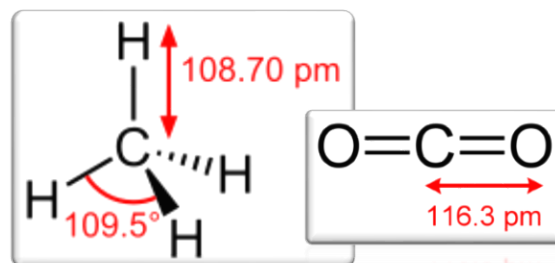
2. Scenario's voor de Noordzee Figuur 15a.

3. Waterstof uit kolen en water

4. Naar blauw

Het zou goed zijn om van deze miljoenen tonnen CO₂ af te komen door ze in oude aardgas- velden te persen..

- Leg met een reactievergelijking uit of je een aardgasveld al of niet opblaast als je de daaruit gebruikte CH₄ om waterstof te maken, in hetzelfde tempo en zelfde plaats vervuult met alleen de daarbij ontstane CO₂.



Figuur 17a: Afmetingen van een CH₄-molecuul en een CO₂-molecuul

5. CCS Carbon Capture and Storage

- Hoe weet je dat er altijd evenveel moleculen in 1 liter gas zitten?
- Hoe kunnen er in de absorptielaag nu toch weer minder CO₂- moleculen per mm² zitten dan CH₄-moleculen?

NB. Deze vragen geven aan dat de vragen nooit terugzoekvragen zijn maar altijd verdiepingsvragen die met de kennis uit de monovakken op te lossen zijn.

4. Opdracht: Veilig met CO₂ omgaan of het ontstaan ervan voorkómen

1. (Gedachte-)experiment: Tegendruk tegen aardbevingen

Vragen:

- Bedenk een kleinschalig experiment waarmee je kunt testen of CO₂ opgenomen kan worden door oude leeggewonnen aardgaslagen.

2. CCU Carbon Capture and Use

3. Tata Steel en Dow zetten concrete stappen in koolstofhergebruik

Nieuwe wegen naar een CO₂-vrije industrie (► [URL22a](#))

Tata Steel (IJmuiden) en Dow Chemical (Terneuzen) zetten een belangrijke stap in het hergebruik van CO₂ in productiegassen als grondstof voor de fabricage van organisch-chemische halffabricaten zoals bijvoorbeeld etheen. (Vraag a en b.)

Het proefproject “Tata en Dow gaan rookgassen omzetten in grondstof voor plastic” is niet alleen innovatief, maar ook veelbelovend en een voorbeeld van nieuwe samenwerkingsverbanden over bedrijfsgrenzen en bedrijfstakken heen. Het project past in een rijtje van concrete en veelbelovende initiatieven om te komen tot een CO₂-neutrale industrie.

- Voor het maken van etheen uit CO₂ is waterstof nodig. Geef de reactievergelijking.
- Leg uit dat etheen

een organisch-chemisch halffabricaat is.

- Hoezo een CO₂-neutrale industrie?

Het is een CO₂-beperkende industrie. Geef twee argumenten.

NB. Dit is een (verkleind) voorbeeld van hoe teksten niet meer onderbroken worden door vragen. De vragen staan nu bij elkaar achter de tekst. Leerlingen

- Opdracht: Voorbeelden van energie** (→ Bijlage blz. 1)
- Opdracht: De ontwikkeling van het CO₂-gehalte** (→ Bijlage blz. 3)
- Experiment: Hoeveel gloeilampen is de zon?** (→ Bijlage blz. 3)
- (Gedachte-)experiment: Krijgen wij genoeg van de zon?** (→ blz. 5)
- Experiment: Broeikaseffect aantonen** (→ Bijlage blz. 5)
- Opdracht: Hoe komt het broeikaseffect tot stand?** (→ Bijlage blz. 6)
- Opdracht: Broeikaseffect van waterdamp?** (→ Bijlage blz. 9)
- Opdracht: Effect van wolken** (→ Bijlage blz. 10)
- Experiment: Kolen maken?** (→ Bijlage blz. 11)
- Experiment: Fijnstof** (→ Bijlage blz. 12)

Er is een groot aantal opdrachten naar de Bijlage verhuisd (toevallig van dit hoofdstuk heel veel), óf omdat ze dreigden te overlappen met andere modules, óf omdat het woord waterstof (hoofdonderwerp van deze module) er niet in vóórkam.

kunnen op twee manieren erachter komen op welk deel van de tekst de vraag slaat. 1. Het staat achter de alinea aangegeven (hier: (Vraag a en b.)) als het meer dan één vraag betreft, óf 2. de letter van de vraag staat in wit (!) achter de alinea (hier achter de laatste alinea: de witte letter). De c is zichtbaar te maken door een markering.

4. Op naar groen

5: Navraag

Deel B: HOE KOM JE ER AAN?

Hoofdstuk 4 tot en met 6

4. Naar de zon- en windovergoten gebieden voor de waterstofproductie

Drie manieren om zonne-energie te oogsten

Er zijn in principe drie manieren om zonne-energie te oogsten

1. Concentrated Solar Power (CSP)
2. Zonnepanelen (Photo-Voltaic)
3. Windmolens (windturbines)

Vraag 1: Bereken hoeveel km bij hoeveel km het vierkantje is dat je nodig hebt van de woestijn om de wereldbehoefte aan elektrische energie te dekken.

Vraag 2: Check met figuur 6.

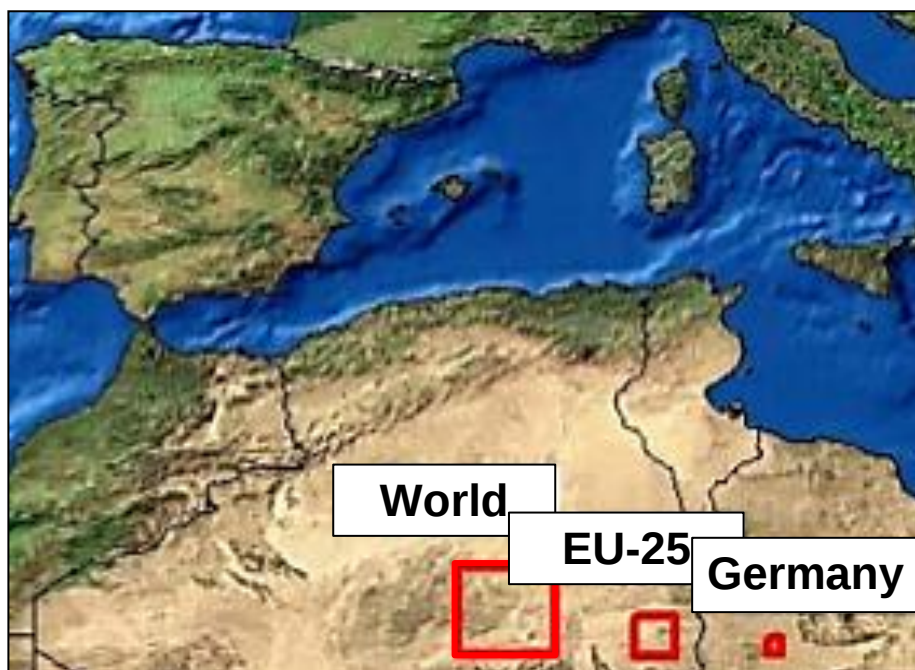
Je gaat je uitkomst vergelijken met welk deel van Spanje je nodig hebt aan woestijn. In deze figuur 6 zit een mogelijkheid (alleen in Word, niet in pdf) om visueel duidelijk te krijgen welk deel van Spanje het grootste rode vierkantje is. Als je daarop klikt, zie je dat er een even groot rood vierkantje extra overheen is getekend.

Je kunt het geselecteerde vierkant van 1,22 cm bij 1,33 cm naar Spanje verschuiven en ongeveer even groot maken als Spanje: 3,45 cm bij 3,53 cm. Bereken hoeveel keer zo groot het vergrootte vierkantje is als het oorspronkelijke vierkantje. Zet het vierkantje weer terug.

1. Opdracht:

CSP-
installatie

1. Figuur 20: 'Waterstof uit de woestijn'
2. Facultatief rollenspel: draaiing spiegels



Figuur 6: Potential Solar Energy: Het rode vierkant geeft aan hoeveel woestijnoppervlak er nodig is om de totale wereldbehoefte aan elektrische energie te dekken.

Bruggetje: Je gaat ondervinden of er verband is tussen de horizontale en de verticale draaiing van de spiegels.

a.  Het draaien van een spiegel zodat hij zo veel

mogelijk zon opvangt en terugkaatst naar de centrale toren ga je zelf **ontwerpen** als een samenspel van een verticale en een horizontale as (gekoppeld met een dubbelklem, zie figuur 70 in de Bijlage) en een geïmproviseerde spiegel. Bedenk hoe je dit met welk practicummateriaal van school (voor de assen), een pannendecksel en een stuk aluminiumfolie voor elkaar kunt krijgen.

b. Om de assen aan te sturen is een uitgebreid digitaal programma mogelijk op basis van de dagelijkse en de jaarlijkse bewegingen van de zon. Maar je gaat nu de beide principes (horizontale en verticale verplaatsing) heel simpel en praktisch met een **rollenspel** aanpakken en aan den lijve ondervinden. Bedenk een rolverdeling voor drie personen. Dus wie speelt de zon bijvoorbeeld en waarmee? Beschrijf ook de andere twee rollen. (Einde .)

Ontwerpprobleem analyseren/beschrijven

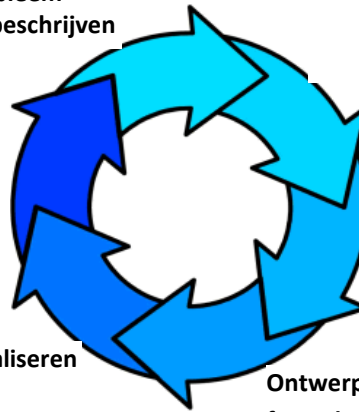
Ontwerp testen en evalueren

Ontwerp realiseren

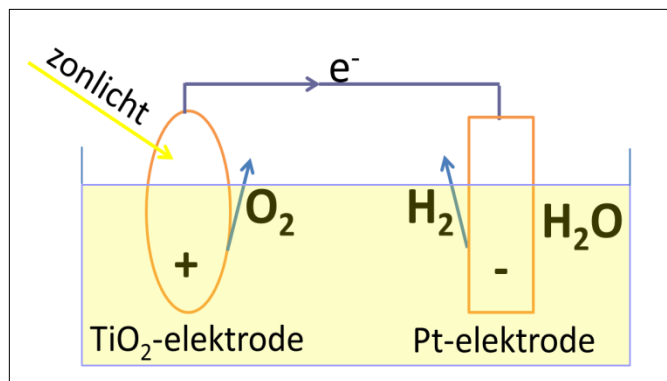
Programma van eisen opstellen

(Deel) uitwerkingen bedenken

Ontwerpvoorstel formuleren



Figuur 21a: Ontwerpcyclus Bron: Havo-startmodule Het Beste Ei



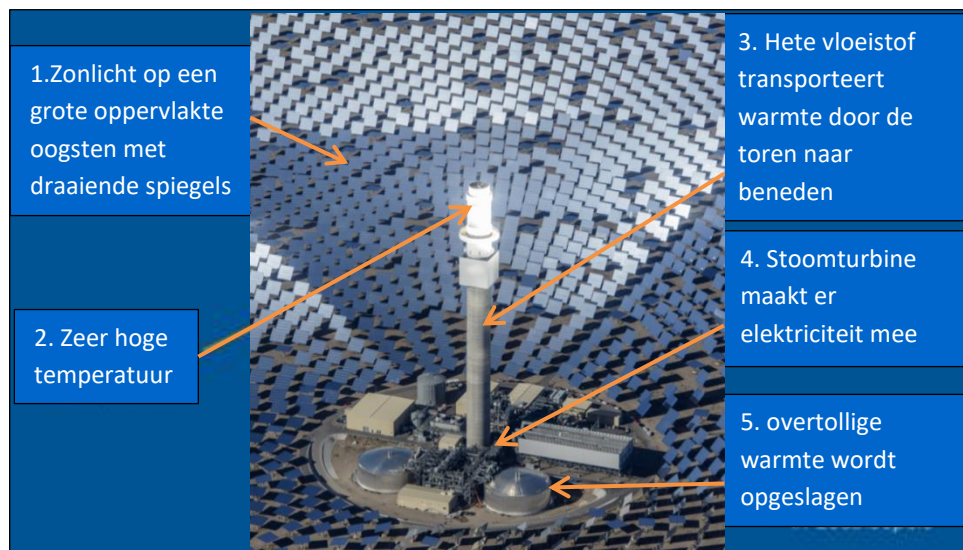
Figuur 22: Fotokatalytische productie van waterstof

2. Opdracht: Van zonne-energie naar waterstof

1. Van straling, naar warmte, naar stroom

2. (Gedachte-)experiment: Ontwerpen van een turbine

Een model turbine/generator kan met een eenvoudige ventilator (waaier met ingebouwde



Figuur 20: Waterstof uit de woestijn

elektromotor) nagebootst worden. Breng een ketel water aan de kook. Demonteer de fluit, zodat hij niet meer fluit, maar wel onverminderd stoom doorlaat. Blaas daarmee tegen de propellers (wieken) van de

ventilator en meet met een multimeter het potentiaalverschil tussen de aansluitpunten. Is er slechts een klein potentiaalverschil meetbaar, probeer het dan met een blazende stofzuigerslang opnieuw.

Vraag:

Welke onderdelen van de ontwerpcyclus (zie figuur 21a) heb je toegepast? (Twee onderdelen pas je twee keer toe, zodat je bij elkaar vijf onderdelen te beantwoorden hebt.) Leg telkens uit.

3. Andere CSP-manieren

3. Opdracht: Zonder turbine, mét en zonder katalysator

1. Het proces Zie figuur 22.

2. Benadering van het rendement

Met Planckkrommen. Zie blauwgroen tekstvak.

3. Navragen en vooruitblik

4. Excursies en voortgezette opleidingen

NB. De turquoise markeringen slaan op voor technische opleidingen relevante zaken.

5. Zonder turbine en zonder katalysator

(Extra: Er is een artikel in het Archief (Zonnepanelen in de woestijn kunnen klimaatverandering verergeren)

NB. Er is een archief met liefst 56 actuele artikelen. Veel daarvan zijn van gele markeringen voorzien en met en zonder die markeringen te lezen.

6. Facultatief: Hoe werkt een zonnecel natuurkundig?

9. Opdracht: Modellen en modelleren

Een model is een vereenvoudigde weergave van een deel of een aspect van een werkelijkheid, zonder dat het die werkelijkheid zelf is.

1. Pannendeksel

Er is in een van de vorige opdrachten een pannendeksel als model voor een parabolische spiegel gebruikt.

a. Welk gebruik van de pannendeksel als model is het meest modelmatig: een pannendeksel met folie bedekt of toen hij niet met folie bedekt was? Leg uit.

2. Wel of geen model?

...Daarmee willen ze de prijs van groene waterstof omlaag brengen (**leercurve**: omzet groter → prijs lager. Fabrikanten 'leren' goedkoper te produceren bij grotere omzet) zodat groene waterstof (naar verwachting rond 2030) goedkoper wordt dan grijze waterstof.

Er is een artikel in het Archief (Groene waterstoffabriek verrijst in drukste containerhaven Engeland, d.d. 9-8-2022) waarin beweerd wordt dat groene waterstof nu goedkoper is dan grijze.

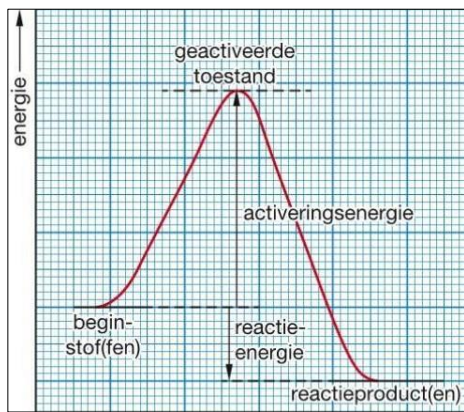
12. Opdracht: elektriciteitsnet optimaliseren

1. Waterstof uit wind op zee ([URL43](#))

2. Stabiel elektriciteitsnet

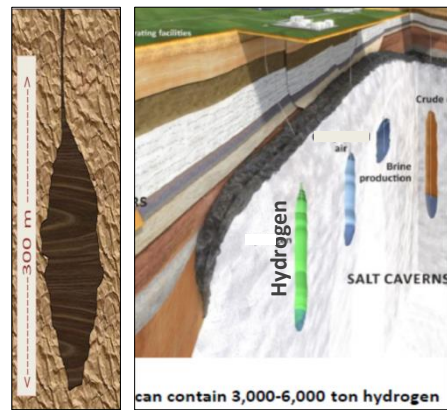
Planckkromme

Een planckkromme geeft de intensiteitsverdeling van de straling als functie van de golflengte van de door een zwarte straler uitgezonden elektromagnetische golven. Voor iedere temperatuur van de zwarte straler is er een andere planckkromme. De oppervlakte onder de kromme geeft de totale hoeveelheid uitgezonden stralingsintensiteit.



Figuur 48: Energieschema exotherme reactie

Waterstof kan in zoutcavernes opgeslagen worden. Aan de enorme afmetingen en capaciteiten ga je de onderstaande vragen beantwoorden:
Stel de vorm van de caverne op een



Figuur 38: Een 2D- en een 3D-impressie van zoutcavernes

cilinder met hoogte (diepte) 300 m en diameter 70 m.

- Bereken het volume van deze caverne.
- Bereken hoeveel keer zo groot/zo klein dit is als de Eiffeltoren (125 m bij 125 m bij 324 m).
- Als je een **Bosatlas van de Duurzaamheid** hebt, zie je op pagina's 44/45 je waterstofbuffertanks van naar schatting 5000 m³ per stuk. Bereken hoeveel van die buffertanks er in een zoutcaverne gaan.

3. Bij hoge druk

Dit was bij normale druk. Maar de druk kan opgevoerd worden tot 60 bar.

- Om enige indruk te krijgen van hoeveel energie een zoutcaverne gevuld met 60 bar waterstof vertegenwoordigt, ga je berekenen hoeveel tijd van windstilte een gevulde zoutcaverne kan overbruggen.

Met waterstofvoorraden kun je dips en tops in de elektriciteitsproductie opvangen. Die waterstofvoorraden worden x keer zo groot als je de druk x keer zo groot maakt.

4. Experiment: De fietspomp als compressor

Omgekeerd ontwerpen

Verander iets aan de pomp zodat hij het niet meer doet en laat een andere groep het probleem oplossen.

Air Liquide	Deltalings	Hygro	https://hygear.com/
Air Products	ENGIE	Louwman Group	Royal Haskoning
Alstom	Gasunie N.V.	New Energy Coalition	https://research.hanze.nl/nl/persons/jan-jaap-au%C3%A9
Batenburg Techniek	Green Planet	Nouryon	Shell Nederland
Berkman	Groningen Seaports	NWBA	Tata Steel
BETA	H2 Point	RAI Vereniging	TOTAL
Bio Energy Netherlands	Havenbedrijf Rotterdam	Recoy	Uniper
Bovag	Holthausen Group	Resato International BV	Vattenfall
VOPAK Gate Terminal	Waterstofnet	Witteveen en Bos	VOPAK Gate Terminal

Figuur 42a: Lijst van excursie- en informatiemogelijkheden

Gaat je technische hart sneller kloppen bij dit soort vragen? In figuur 42a een lijst met excursie- en informatiemogelijkheden..

Waterstofproductie op kleine schaal

13. Opdracht: Wie wind zaait, zal waterstof oogsten

1. Waterstof op boerenbedrijven
2. Particuliere opwekking

Je kunt ze zo kopen: [URL 45a](#) voor € 166,99 een zwarte wokkel (Figuur 43a) waar je als je de advertentie mag geloven 400 W bij 24 V mee kunt opwekken om bijv. je warmtepomp aan te drijven.

- a. Check met *Binas* tabel 35 D1 $P = U \cdot I$ of 400 W geloofwaardig is. Bereken I en vergelijk die met figuur 43b van een smeltzekering.



Figuur 43a: Een wokkel: een kleine particuliere windmolen.



Figuur 43b:
Zekering

Opdrachten van dit Hoofdstuk 4 in de Bijlage:

4. Opdracht: Zonthermie (→ Bijlage blz. 14)
5. Opdracht: De constructie van een concentrerende spiegel, experimenteel (→ Bijlage blz. 15)
6. Opdracht: De constructie van een concentrerende spiegel, wiskundig (→ Bijlage blz. 17)
7. Opdracht: CSP Trogmodel (→ Bijlage blz. 19)
8. Opdracht: Keuze-experimenten: Vijf zonnespiegelsimulaties (→ Bijlage blz. 20)
10. Opdracht: De grootste windturbine ter wereld – de Haliade-X (→ Bijlage blz. 22)
11. Opdracht: Neptune (→ Bijlage blz. 23)
14. Opdracht: Experiment: Wat wekt nu precies de stroom op? (→ Bijlage blz. 26)

5. Transport van waterstof

1. Opdracht: Het energieke kleintje
2. Opdracht: Vervoer van waterstof als waterstof

1. Japan: de eerste waterstoftanker ter wereld officieel te water

Waterstof Magazine: 11-12-2019

2. Dichtheden waterstof

De dichtheid van vloeibare waterstof is $0,0678 \text{ g/cm}^3$.

- a. Deel deze dichtheid van vloeibare waterstof door de dichtheid van gasvormige waterstof bij standaardomstandigheden.
- b. Leid uit de uitkomst van a af hoeveel keer de moleculen van vloeibare waterstof dichter bij elkaar zitten dan in gasvormig waterstof.

- c. * Check. Neem aan dat de uitkomst van vraag b keer de grootte van een waterstofmolecule de afstand is tussen twee waterstofmoleculen in waterstofgas. Neem aan dat het volume van één H_2 -molecuul de derde macht is van de vanderwaalsstraal (zie *Binas*). Bereken de ruimte die 1 mol van deze waterstofmoleculen innemen en kijk of dit enigszins overeenkomt met het molair volume van een gas.

NB. * slaat op zogenoemde stervragen. Dit zijn extra pittige vragen. Wellicht kunt u extra stimulans aangeven door punten eraan toe te kennen.

3. Opdracht: Via ammoniak een handige omweg?

Het kost 6 % van de energie van een tank waterstof van 1250 m^3 om de temperatuur zodanig te verlagen en de druk zodanig te verhogen dat de waterstof vloeibaar wordt. Daardoor wordt de tijd die een doorsneegezin ervan kan genieten met 11,7 jaar vermindert!!

1. De omweg
2. Ammoniaksynthese
3. Energieschema
4. Meer over ammoniak

4. Opdracht: Experimenten: Nader kennismaken met ammoniak

Deel C: WAT KUN JE ERMEE? Hoofdstuk 6 tot en met 9

6. Waterstof in de industrie en in het vervoer

6.1 Zware industrie

1. Opdracht: Erts, ijzer, staal, chemie

1. IJzer zit in heel veel dingen
2. Klein detail
3. De hoogoven moet opgestookt worden tot 2300 graden

2. Opdracht: En nu met waterstof

1. Inleiding
2. Test staalproductie met waterstof ([URL53](#))
3. Eerste proeffabriek fossielvrij staal

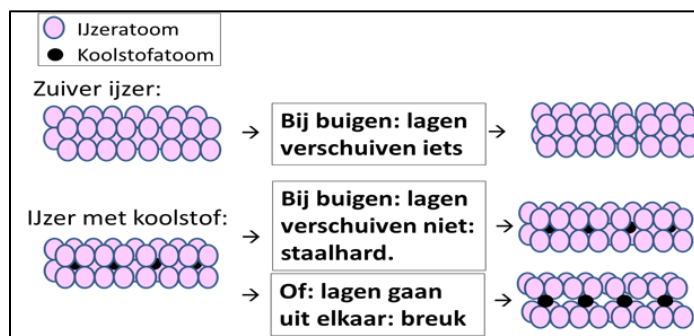
3. Opdracht: Chemport Europe Industrial agenda

1. Samenhang in groene industrieën
2. Syngas is the feedstock for methanol

4. Opdracht: Rendementen

Met rendement kun je vier kanten uit:

1. Atom-balance-rendement
2. Energierendement
3. CO_2 -rendement
4. Financieel rendement.



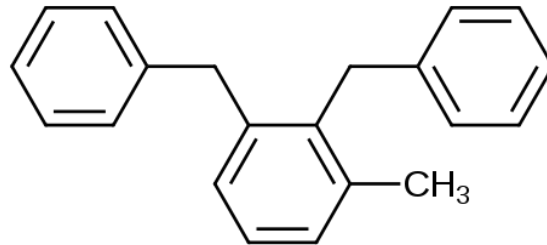
Figuur 51: Buigen of barsten Eigen werk HJ

1. Verdere vragen

2. Energy-lost-ketenrendement

Je ziet dat je de diverse (deel)rendementen met elkaar moet vermenigvuldigen voor het ketenrendement.

3. Atom-balance-rendement en energy-lost-rendement gecombineerd

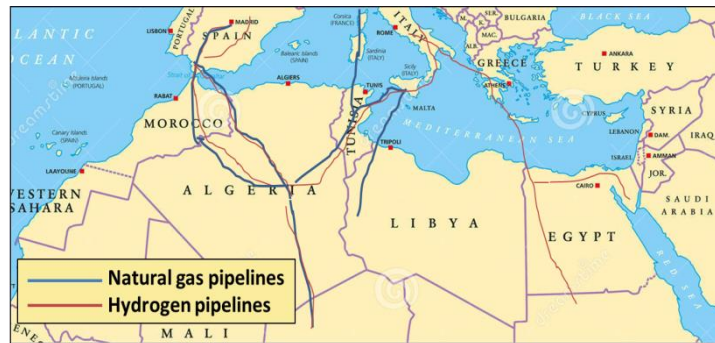


Figuur 56: Structuurformule van de LOHC dibenzyltolueen

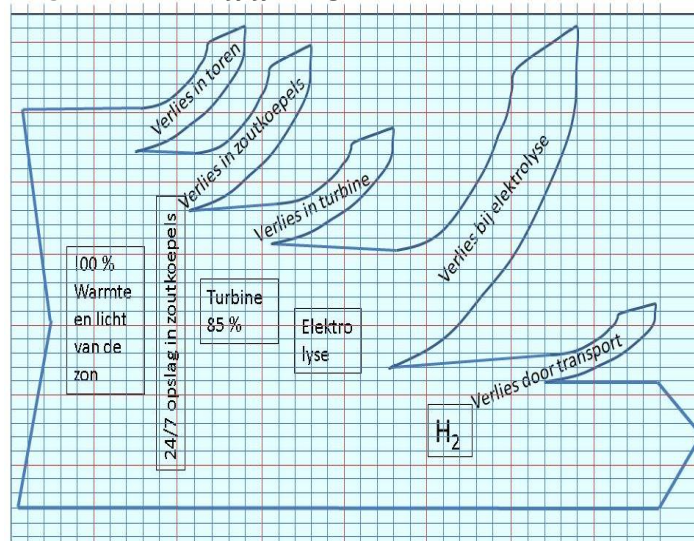
5. Opdracht: Rendement van de omweg

1. Omweg domweg?
2. LOHC handig?
3. LOHC versus ammoniak
4. Figuur 57: Waterstofpijpleidingen

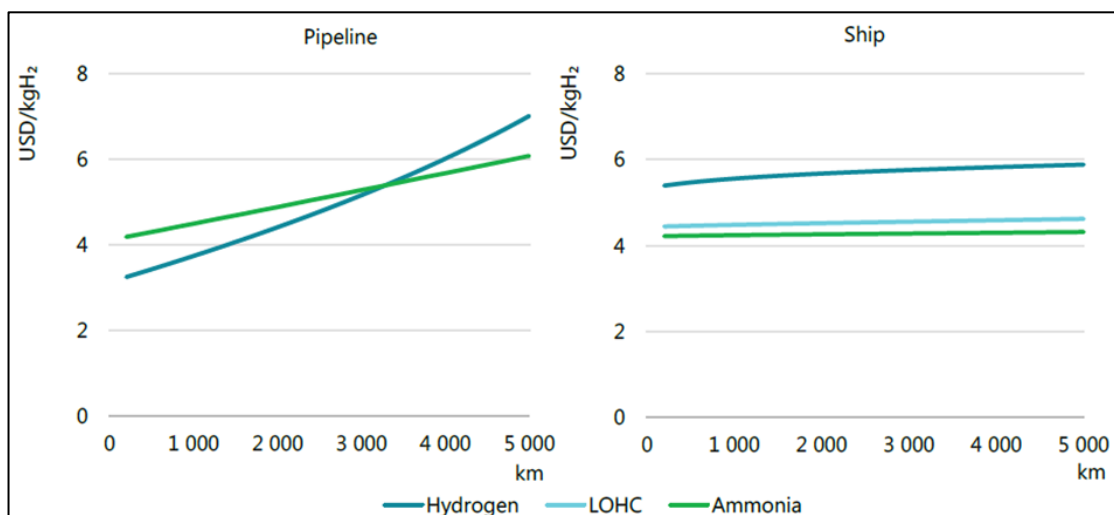
In een rapport over de eerste versie van deze module werd aanbevolen om via de Bosatlas van de Duurzaamheid meer aandacht te besteden aan de chemische industrie in de provincie Zeeland. Een van de opstellers van het rapport heeft bovendien contact gelegd met een directielid van kunstmestfabriek Yara te Sluiskil de heer Gijsbrecht Gunter. Deze heeft volop informatie geleverd over de waterstofproductie bij Yara en over "Smart Delta Resources".



Figuur 57: Waterstofpijpleidingen



Figuur 53: Handschoen ketenrendement. Iedere stap heeft een eigen rendement. Dat is nooit 100 % omdat er altijd een deel verloren gaat, als warmte.



Figuur 55: Full cost of hydrogen delivery by pipeline or by ship in 2030

6. Opdracht: Waterstofnetwerk in Zeeland

1. Figuur 57a

a. Waar in figuur 57a zie je waterstof als brandstof en waar als grondstof?

2. Van monomeer tot polymeer Waar zie je dat in figuur 57a?

3. Economie binnen en tussen bedrijven In welke figuren zie je dat?

4. Kunstmest Welke grondstof daarvoor zie je in figuur 57a?

5. Communicatie met Yara

6. Elektrolyse bij Yara Waar zie je dat in figuur 57a?

7. Regionaal waterstofnetwerk Dat staat in figuur 57b. Hoe kun je dat in figuur 57a aangeven? Welke onderdelen vervallen er dan?

8. Waterstof in en waterstof uit

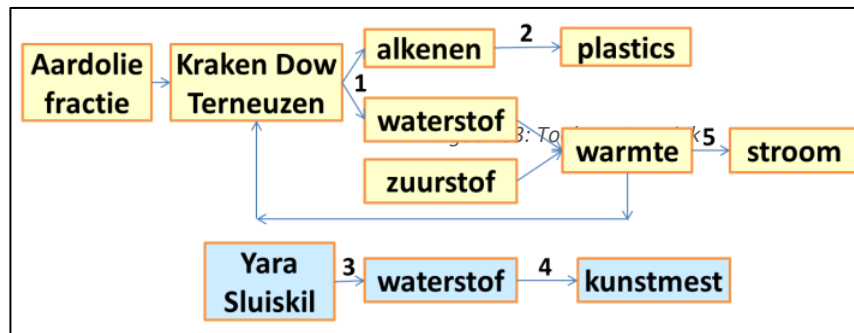


Figuur 57c: Een chemische proces-technologe bij Yara

Mochten jullie als docenten en/of jullie leerlingen – zodra de covid-maatregelen het toelaten – interesse hebben om een locatie-bezoek te doen, weet dan dat jullie welkom zijn. We hebben dit eerder voor het middelbaar onderwijs in Zeeland gedaan, wat langs beide kanten zeer gewaardeerd werd.

Met vriendelijk groet.
Gijsbrecht Gunter. .

9. Over drie jaar staat er een groene waterstoffabriek in Vlissingen-Oost



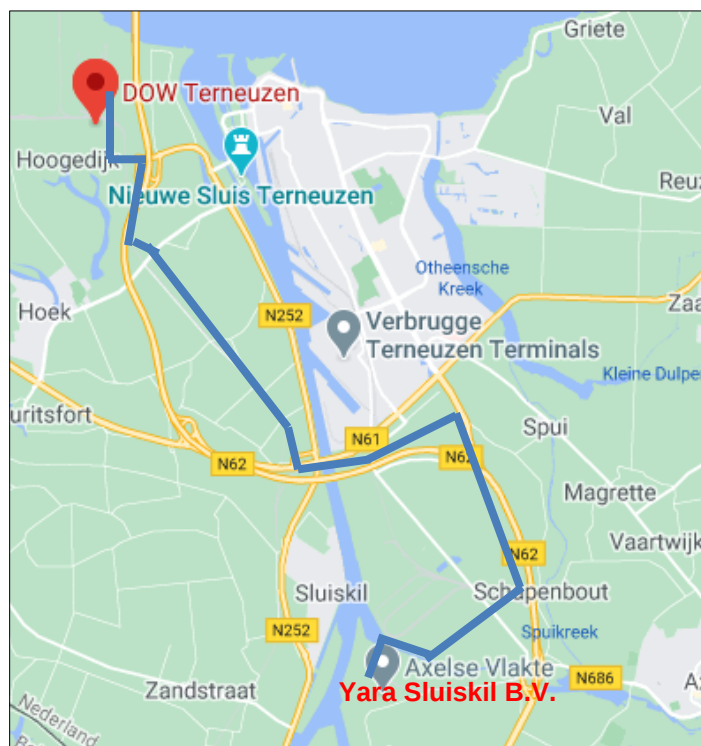
Figuur 57a: Waterstof: van brandstof tot grondstof Eigen werk HJ

6.2 Waterstof in het vervoer

7. Opdracht: Trekker op waterstof komt dichterbij

1. Toestel van Hofmann als

brandstofcel Zie figuur 60. Als je het toestel van Hofmann afschakelt, kun je tussen de elektroden een potentiaalverschil meten. Je hebt dan het principe van een fuel cell (brandstofcel) . Zie ook figuur 59.



Figuur 57b: Waterstof in oude gasleiding van Dow Chemical Terneuzen naar Yara Sluiskil Google Maps en Fioren werk HI

2. Trekker op waterstof komt dichterbij Zie figuur 59a. De trekker kan met stroom geladen worden. Als hij een fuel Cell heeft, kan dat met waterstof dat gemaakt is door elektrolyse met de stroom van de zonnepanelen op het dak. Maar die waterstof kan ook gewoon in de tank opgeslagen worden als de verbrandingsmotor van de trekker op waterstof loopt.

Figuur 63: In het archief bevindt zich het artikel "Over 6 jaar retourtje Amsterdam-Londen op waterstof".

7. Waterstof in het huishouden?

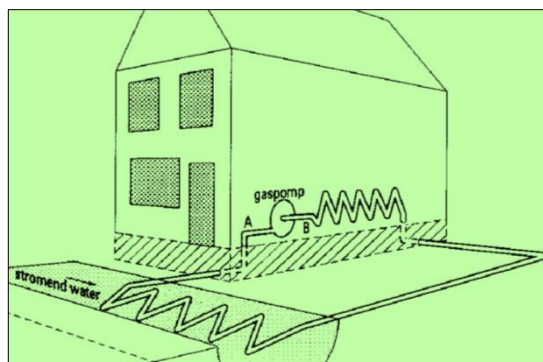
1. Opdracht: Pilots voor toepassing van waterstof in het huishouden

1. Lochem

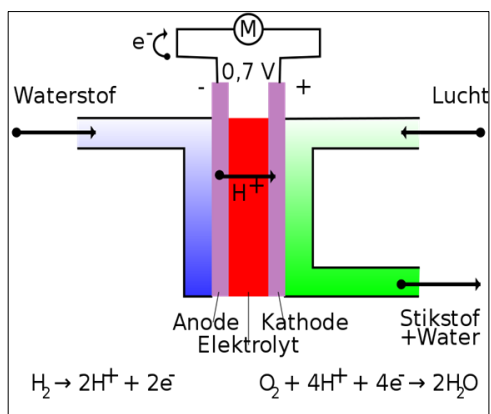
In het archief bevinden zich het artikel 'Lochem

Mogelijke invulling eigen onderwerp, optie 8 eindopdrachten:
Impliciet wordt hier toch weer uitgegaan van waterstof voor huishoudelijk gebruik, wat waarschijnlijk niet gaat gebeuren, dus niet zo relevant. (Als het wel gebeurt, moet je daar niet vóór zijn: er zijn veel te veel betere alternatieven. Zie waterstofladder, eind dit hoofdstuk.)

Figuur 65a: iets voor eindopdracht optie 8?



Figuur 67a: Een warmtepomp

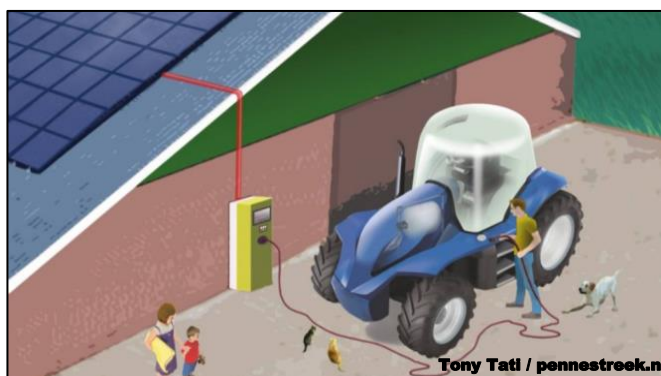


Figuur 60: Brandstofcel: omgekeerde elektrolyse

WATERSTOF

Testrijder Karl Kara van BMW heeft 80.000 km afgelegd in een BMW 7 die in plaats van benzine waterstof gebruikt als brandstof. Over een jaar of 50 is het afgelopen met fossiele brandstoffen waarvan we er nu gigantische hoeveelheden doorheen jagen. Grote fabrikanten studeren dus op alternatieve aandrijfvormen. waterstof levert bij verbranding alleen waterdamp op en is dus interessant. BMW is er al lang mee bezig om waterstof in een 12-cilinder 7-serie te gebruiken als brandstof. Over de hele wereld is er met de auto's rondgereden. Volgens BMW komt binnen een jaar of zes de eerste waterstof-BMW 7 op de markt

Figuur 58 Gelderlander 18-2-2006



Figuur 59a: Stroom of waterstof tappen?



Figuur 59: Waterstofbus (Fuel Cell Bus) in Amsterdam

waterstofpilot' en het artikel 'Lochem'.

Extra: het afleiden van de factor 4

Er is een vwo natuurkunde-examenopgave geweest waarin je uit een aantal eenvoudige gegevens kon afleiden dat het rendement van een warmtepomp een factor 4,4 bedroeg. Zie figuur 67a. In de gaspomp werd ammoniak gecondenseerd en verdampt. De hierdoor verplaatste warmte is gegeven (23 kJ/sec) en met de elektrische gegevens (380 V; 18 A) op de gaspomp kun je het geïnvesteerde vermogen berekenen.

2. Effecten na de gasmeter (waterstofbranders)

- Gastoestellen: 7 % hoger rendement is haalbaar.
- Koolmonoxideongevallen behoren tot het verleden.
- De NO_x-emissie is een punt van onderzoek ,
- Branders en branderdekken zullen anders moeten worden uitgevoerd (kleinere openingen) om de risico's van vlamterugslag te elimineren.

3. (Demo-)experiment: geluid van vlaminslag Zie figuur 68.

4. Meer condensatiewarmte



Figuur 68: Voor waterstof ontworpen kop met kleinere gaatjes
<https://www.gawal>

2. Opdracht: Informatie vanuit de betrokken ondernemingen

3. Opdracht: Informatie vanuit de gebouwde omgeving

8. Tot slot

1. Opdracht: Kritische kijk oefening 1

De verdedigingen van Ad van Wijk

Ad van Wijk, kernlid van de Noordelijke Innovation Board en hoogleraar toekomstige energiesystemen aan de TU Delft, bestrijdt zeven vooroordelen over waterstof:



Figuur 68a: Veilig?

Vooroordeel 1 Waterstof is explosief.

Vooroordeel 2 Waterstofauto's zijn rijdende bommen.

Vooroordeel 3 Van waterstof worden bommen gemaakt, dus het blijft gevaarlijk.

Vooroordeel 4 Waterstof is een broeikasgas.

Vooroordeel 5 Waterstof is per definitie een duurzame energiebron.

Vooroordeel 6 Om waterstof in huishoudens te gebruiken, is een nieuwe infrastructuur nodig.

Vooroordeel 7 Huishoudens kunnen alleen van waterstof worden voorzien, als de hele stad in één keer het gasnet aanpast.

2. Opdracht: Kritische kijk oefening 2

Deel van betreffende tabel:

Adviezen 1	Vragen 1		
'Hoe weet je wat waar is?' Op internet vindt je van alles, over alle mogelijke	a. URL65b zegt: Waterstof is eerst en vooral niet giftig en		

onderwerpen, en ook veel onzin zoals je weet.	vormt dus geen gevaar bij inademing. Leg uit in hoeverre dit onzin is.		
Adviezen 2	Vragen 2	Commentaar van een collega	Vragen 3
Het gaat om bedrijven maar ook om landen die grote belangen hebben. De landen waar veel olie (bv Midden-Oosten), kolen en gas (bv Rusland en USA) wordt gevonden zullen proberen hun enorme financiële en geopolitieke belangen veilig te stellen.	c. Welke “Hoe weet je wat waar is?” - manier zie je hier terug? d. In Saudi Arabië zijn grote Concentrated Power Centrales. Waarom? Geef meerdere argumenten.	Saoedi Arabië heeft een sterk oplopend binnenlands gebruik, niemand weet hoe groot hun voorraden nog zijn, ze zijn nu volop aan het inzetten op duurzaam (om de resterende voorraden te bewaren voor de export). Bovendien kunnen ze nu hun economie diverser maken door op duurzaamheid in te zetten. Waterstof zien ze helemaal zitten want dan kunnen ze wereldleverancier in groene waterstof worden.	c. Waarom is dit meer economisch? Geef twee argumenten. d. Er zit een tegenspraak tussen deze uitspraak en die aan het eind van de cel. Leg uit.

3. Opdracht: Kritische kijk oefening 3

- 0:31 - 0:45. “Wij zijn niet tegen zonne-energie en windmolens, maar wat doe je dan als het een keer niet waait of de zon niet schijnt?” Wat is jouw antwoord?
- 1:40 “Een hele schone bron”: kerncentrales. Welke feiten kun jij hier tegenin brengen?
- 1:59 - 3:46. Etc.

De eindopdrachten

Zie pagina 3, onderaan.



Figuur 69: Radiodiscussie kernenergie tussen Van der Lee en Harbers van de VVD