



Waterstof is onmisbaar voor een duurzaam energiesysteem?

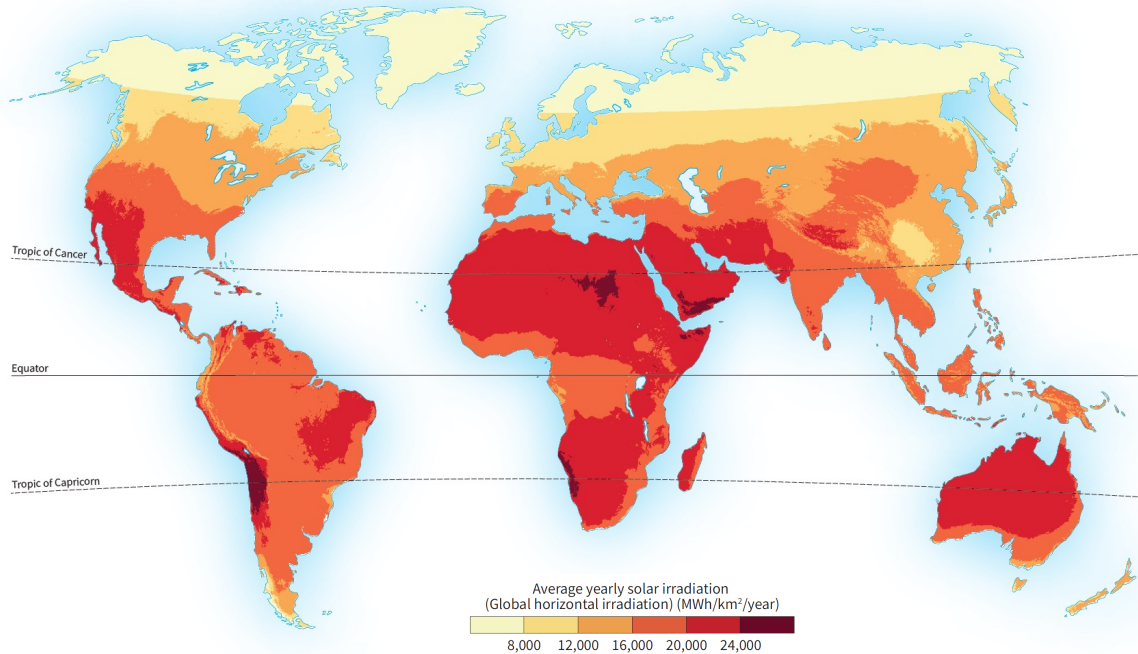
16-4-2024

Em. Prof. Dr. Ad van Wijk

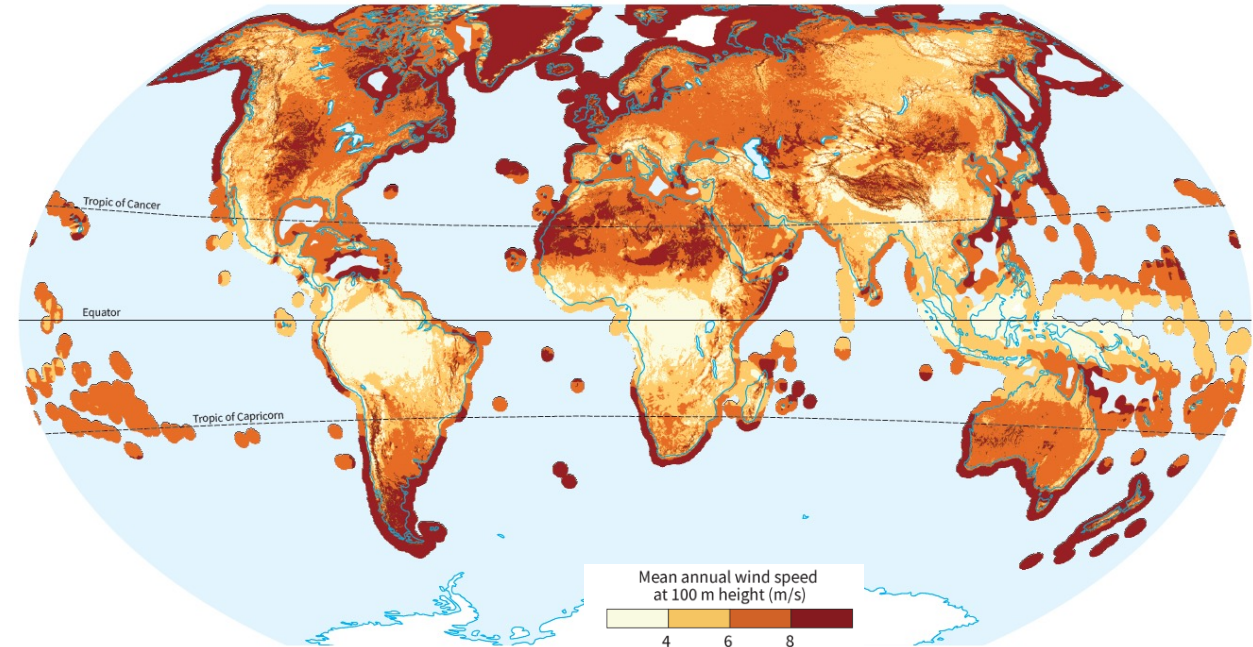
KWR

 **TU Delft**

Goedkope zon en wind elektriciteit alleen op locaties met hoge zonne-instraling of windsnelheden EN veel goedkope grond



Zonne instraling Kaart



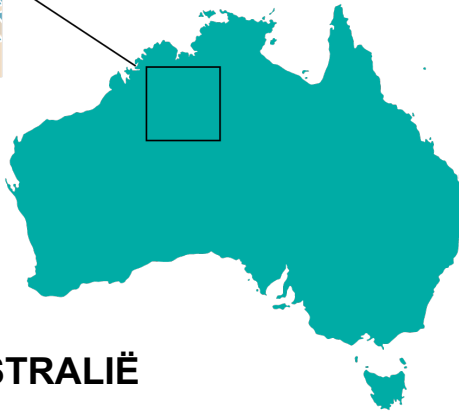
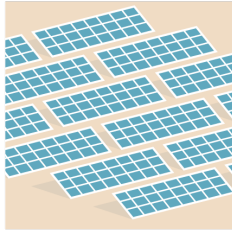
Wind Snelheid op 100-meter hoogte Kaart

KWR

TU Delft

Benodigd oppervlak om alle energie voor de hele wereld te produceren

Wereld energie gebruik 2019: 606 EJ = 168.000 TWh



11% ZON AUSTRALIË



1,5% WIND PACIFIC OCEAAN



Mohammed Bin Rashid Al Maktoum Solar Farm Dubai;
3.000 MW ready, expansion to 5.000 MW

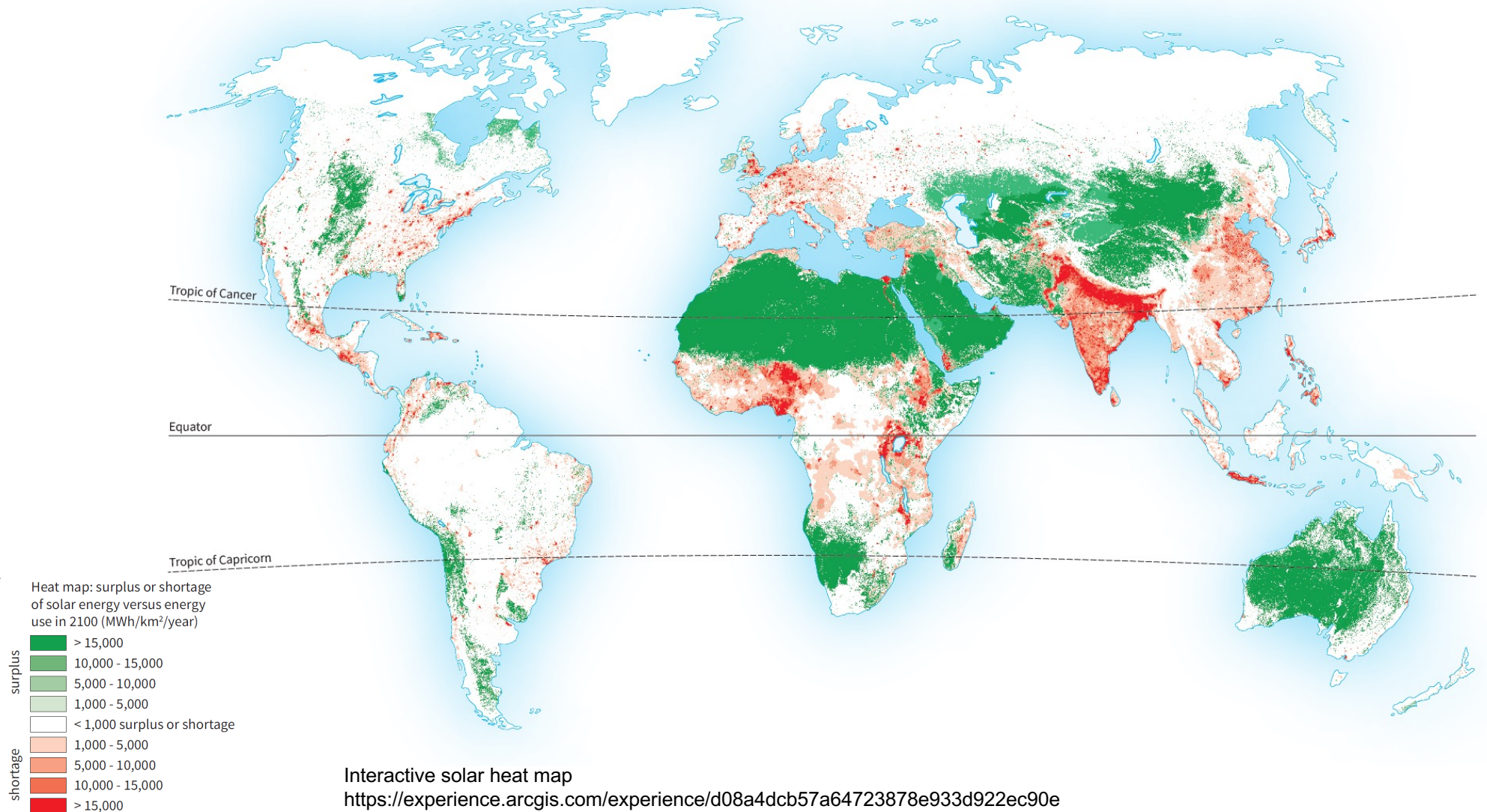


SiemensGamesa 14-15 MW offshore wind turbine
Rotor diameter 222 meter

KWR

TU Delft

Heat map Zonne Energie 2100; Overschot (groen) of Tekort (rood) zonne energie – energie gebruik per km²



KWR

TU Delft

Waterstof en elektriciteit productie zonder CO₂ emissie



*Natural gas,
biogas*

Methane Pyrolysis Plant
Monolith Nebraska US



Sun light

Photolysis Module
Solhyd startup Belgium



Wind

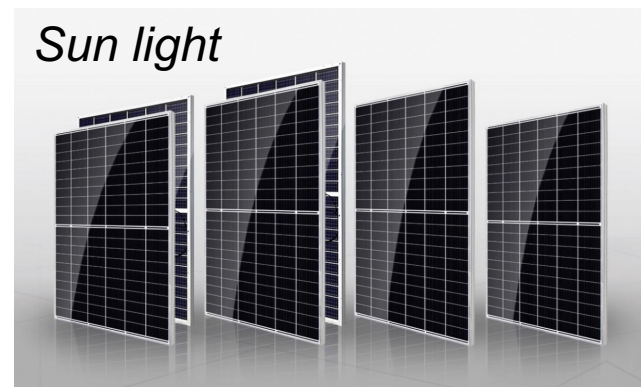
Hydrogen

Kite H2 ship
Oceanenergy startup SouthAfrica



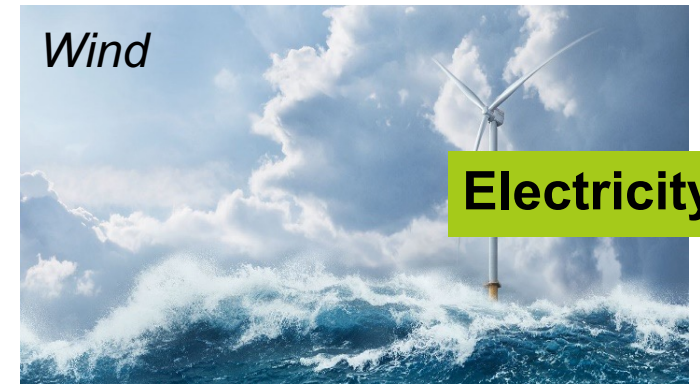
Uranium

Nuclear Power Plant
Borssele Netherlands



Sun light

Photovoltaic Modules
Canadian Solar



Wind

Electricity

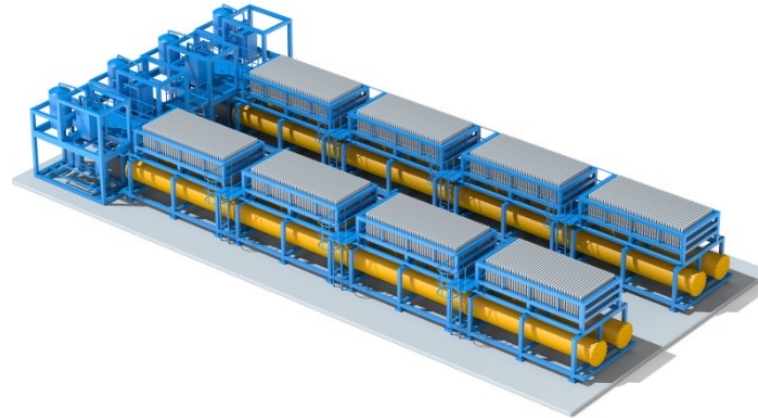
Offshore wind turbine
Siemens Gamesa

KWR

TU Delft

Waterstof en elektriciteit zijn koolstofloze energie dragers, geen energiebronnen

Electriciteit



Waterstof



Alkaline electrolyser Thyssen Krupp Germany

Waterstof



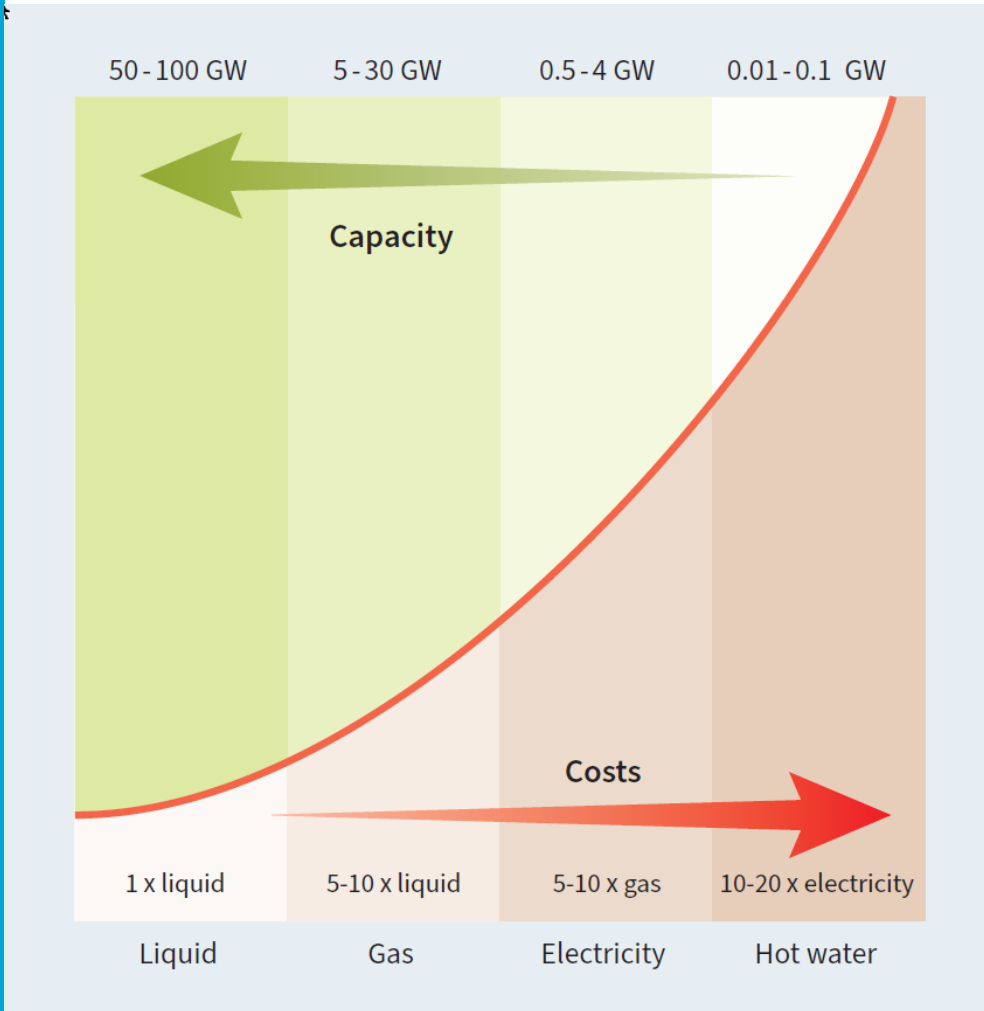
Electriciteit



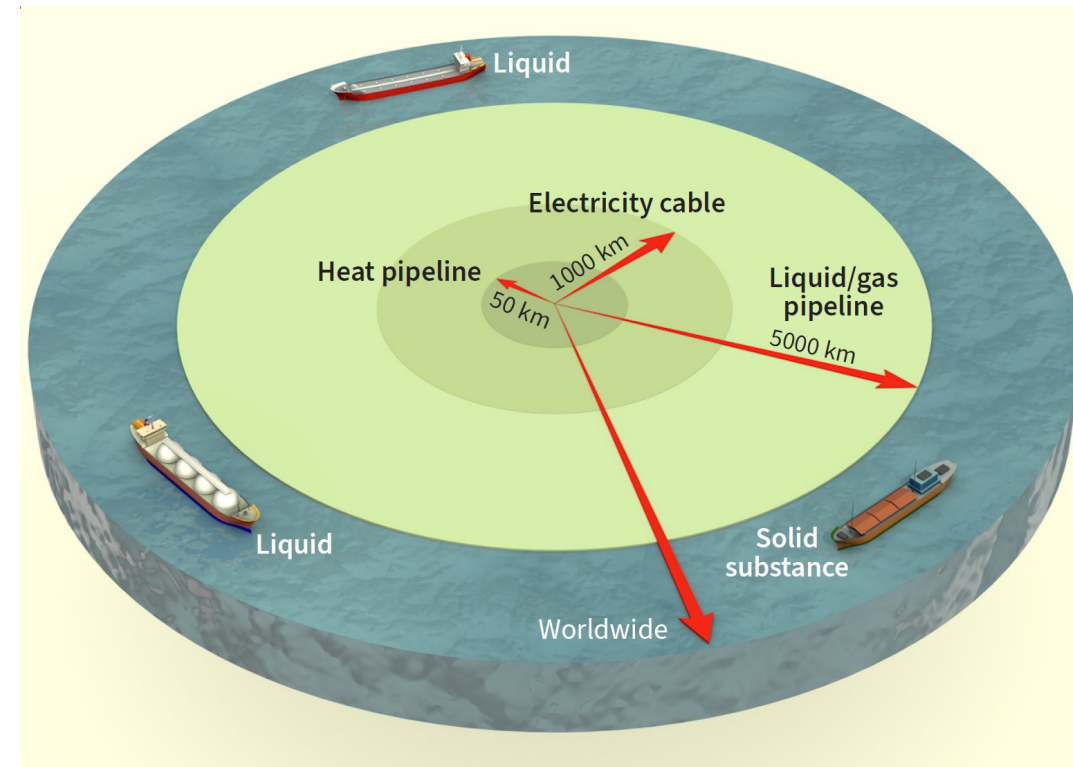
PEM fuel cell, Toyota Japan

Energie Transport systeem

Waterstof transport is 5-10 keer goedkoper dan electriciteit transport

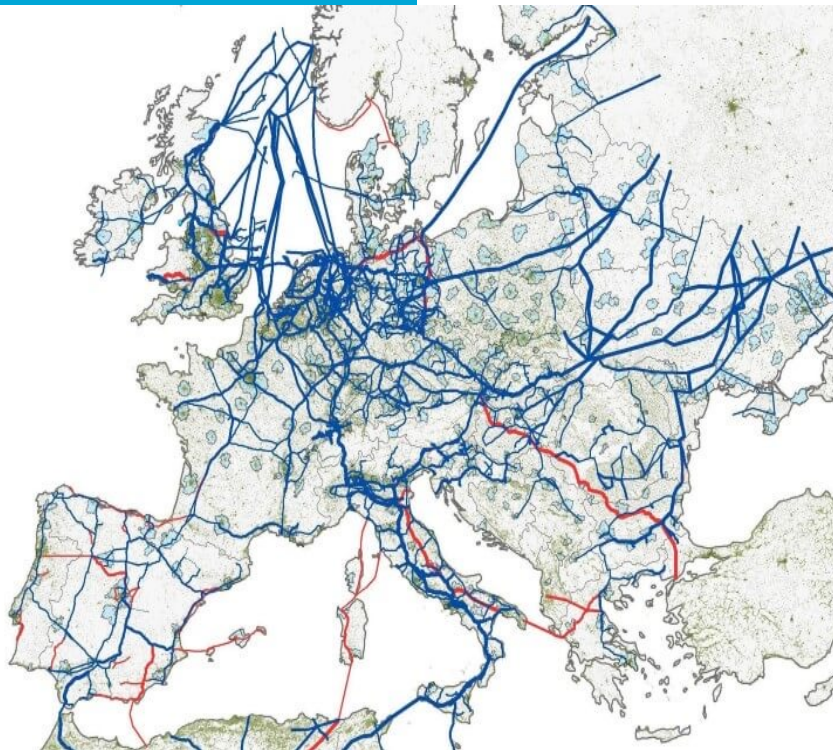


Energie pijplijn transport kosten en capaciteit



Wereldwijd energie transport systeem 7

Gas Infrastructuur in Europe kan worden hergebruikt voor waterstof



Gas Pipelines Europe

Transporting gas from gas fields at North Sea, Norway, Russia, Algeria, Libya to Europe



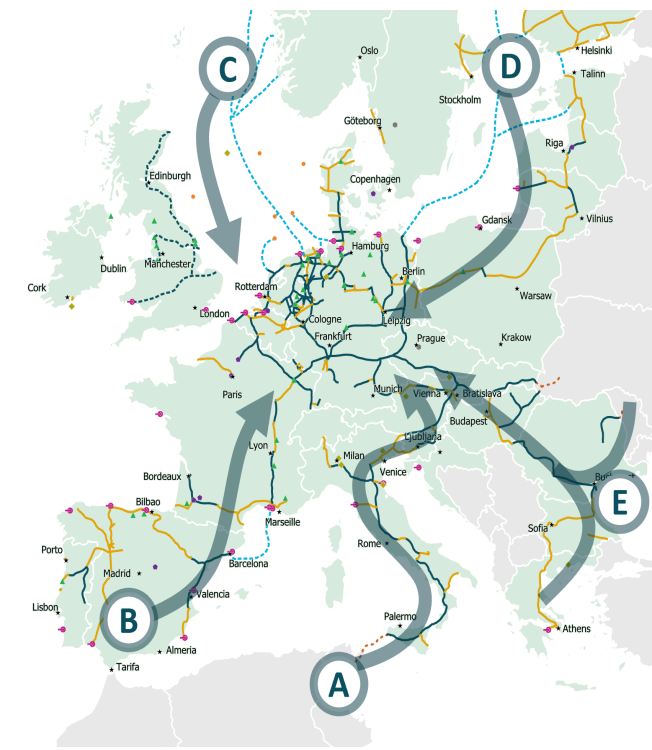
Gas from North-Sea

2017 production
190 bcm = 1.900 TWh



Gas from North-Africa

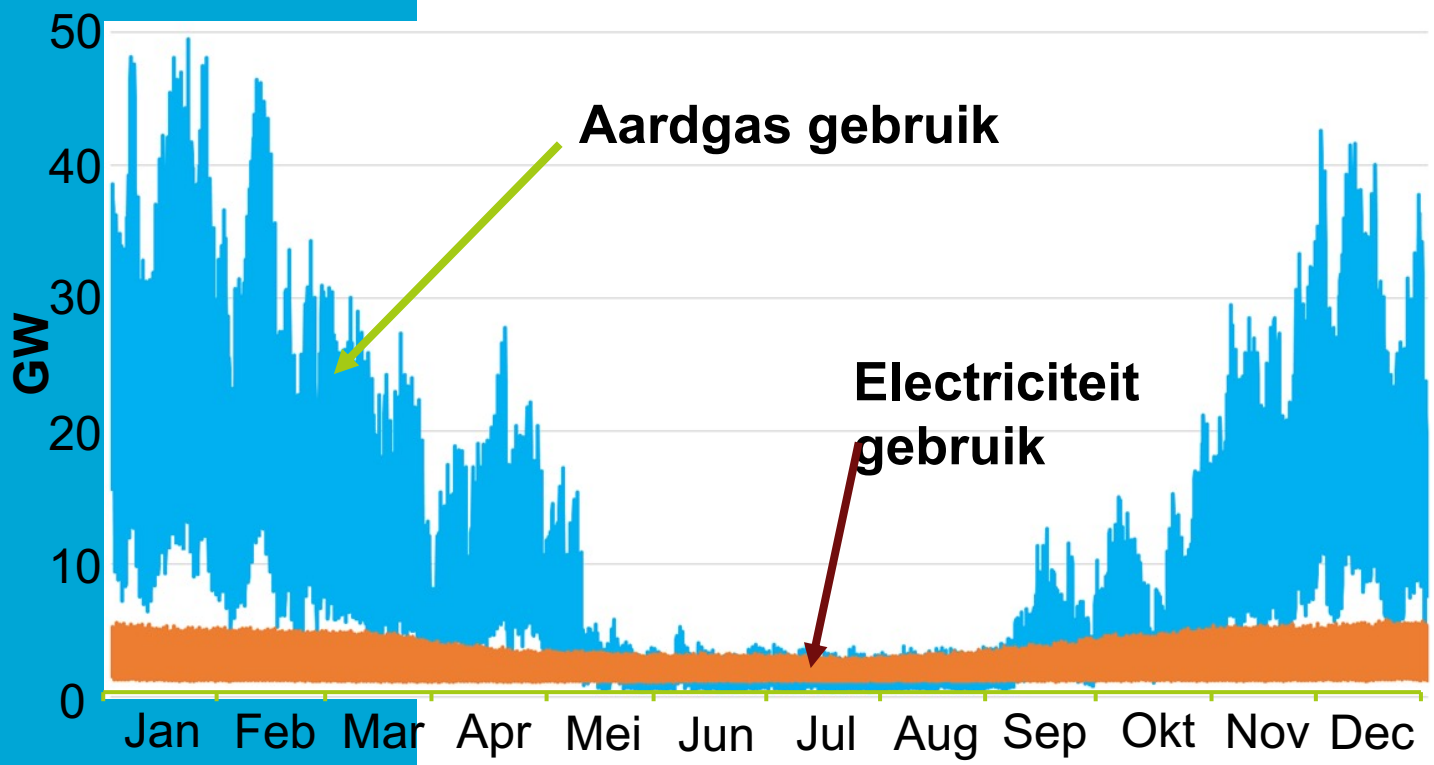
60 GW Natural Gas Pipeline
2x0.7 GW Electricity Cable



European Hydrogen Backbone 2030

Overall length : 32.616 km
Repurposed gas : 16.864 km

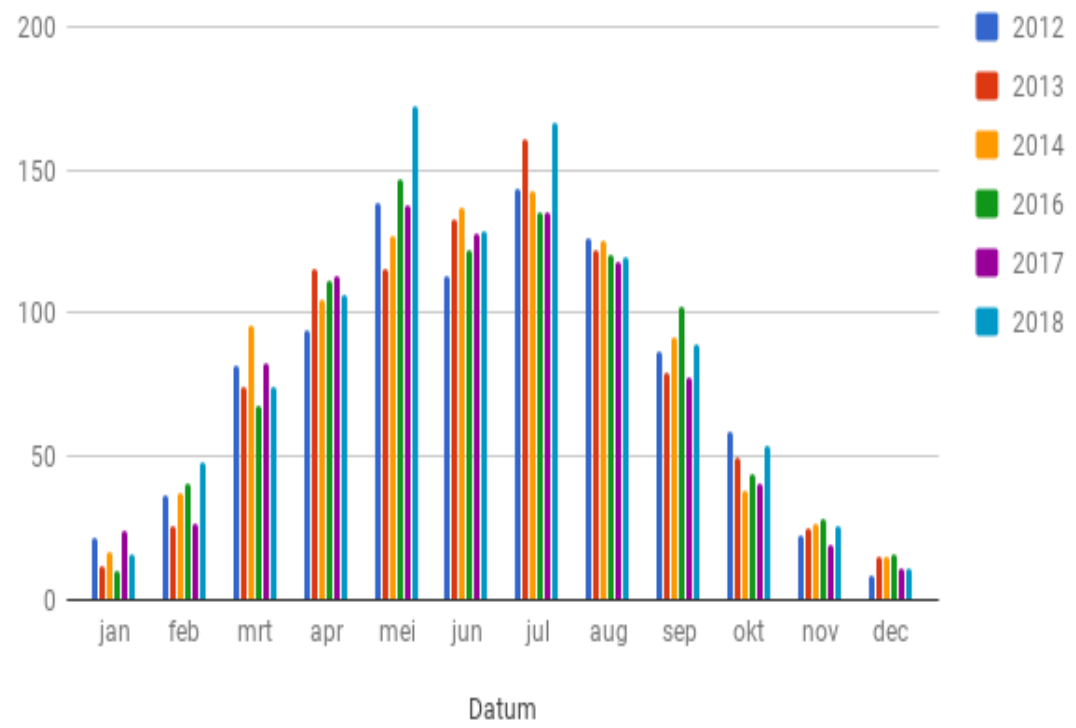
Energie opslag is nodig om te kunnen omgaan met fluctuaties in het aanbod van zon en wind energie EN met fluctuaties in de vraag naar energie



7,8 miljoen Nederlandse huizen (2017)

Source: Kellner, 2018

Zon per maand (Zuid)

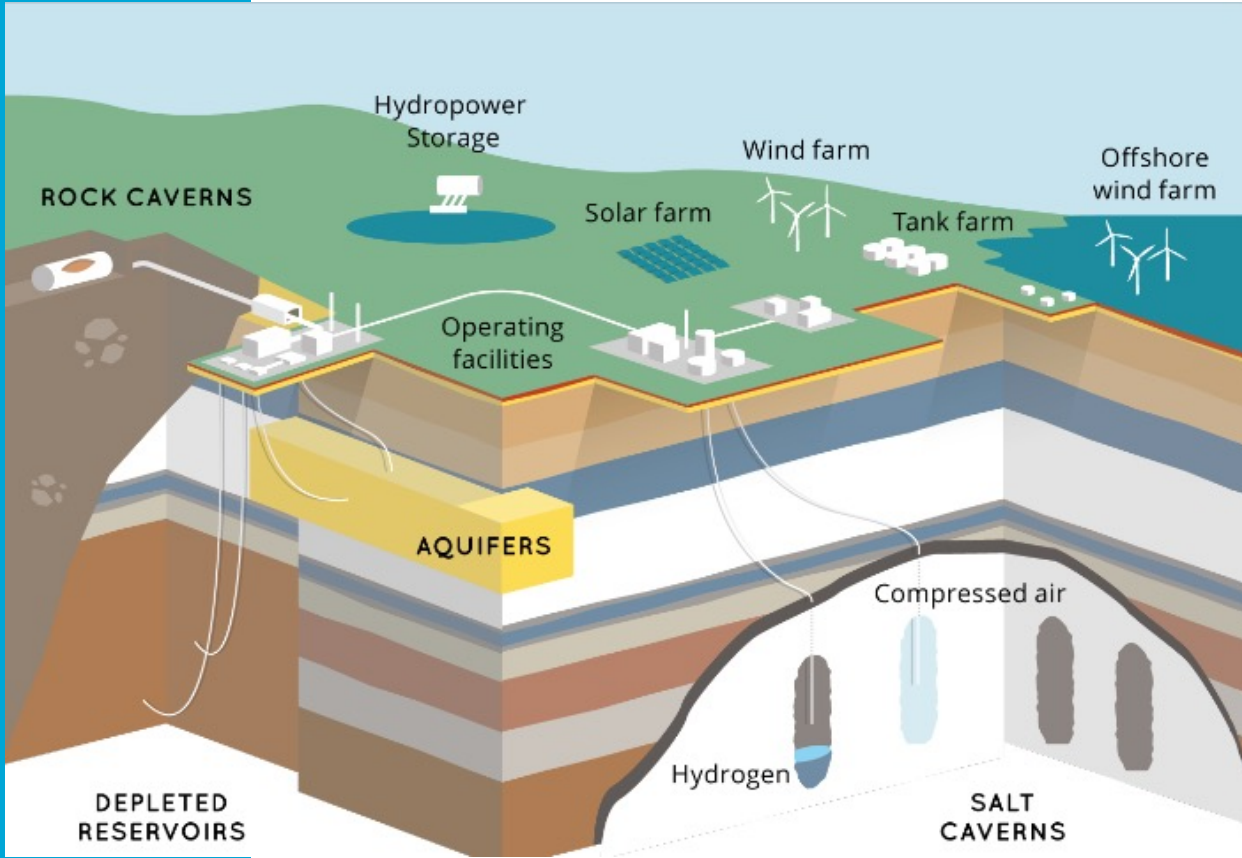


<https://thuiszonnepanelen.nl/opbrengst-van-onze-zonnepanelen/>

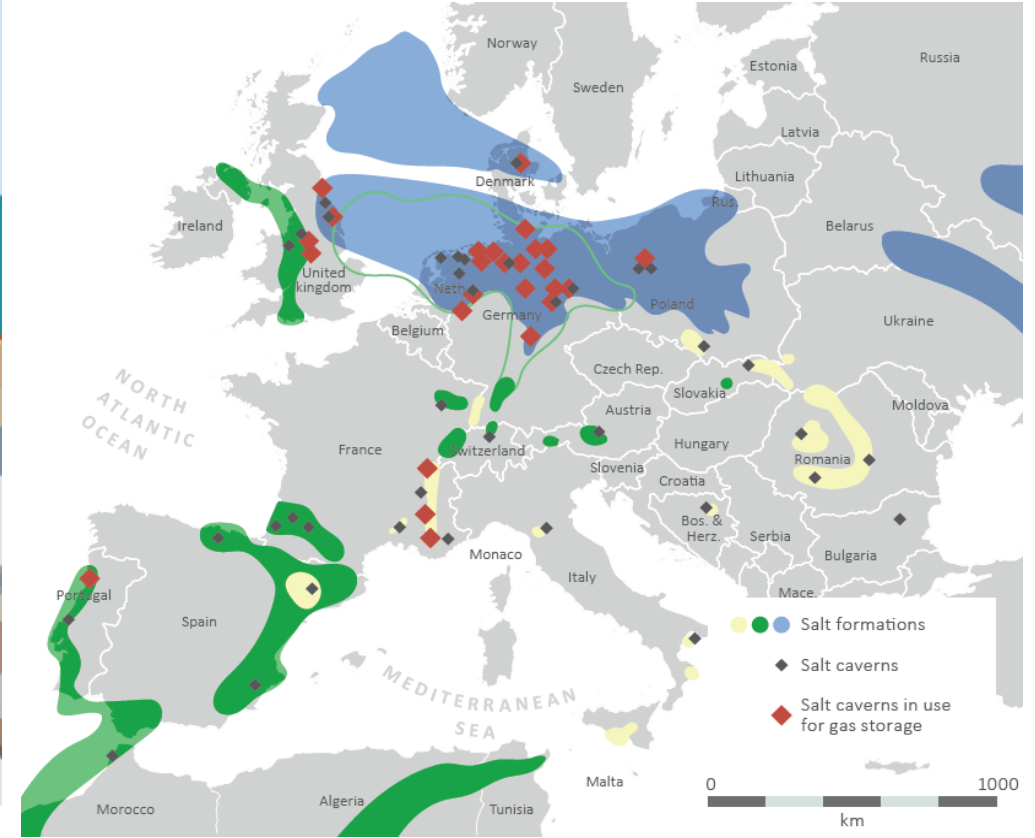
Gas seizoens opslag capaciteit in Nederland is 100 TWh (miljard kWh) = opslag capaciteit van 1 miljard batterij elektrische auto's met 100 kWh batterij.



Waterstof opslag in zoutkoepels



Zout formaties en zoutkoepels in Europa



KWR

1 salt cavern can contain up to 6,000 ton (= 236.4 GWh HHV) hydrogen,
Salt Cavern CAPEX = 0.5 Euro per kWh, Total Salt cavern CAPEX is 100 million Euro

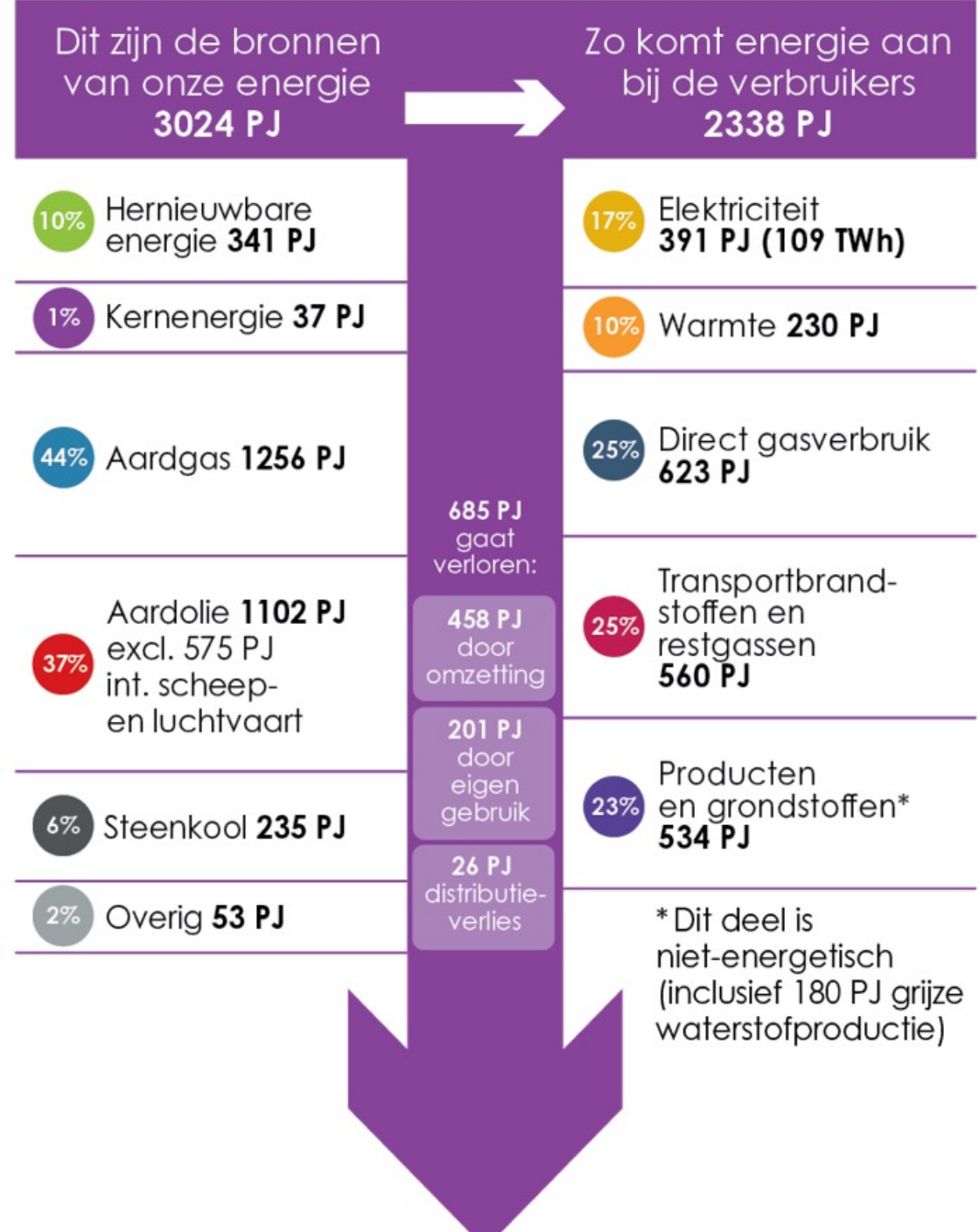
For comparison, with battery CAPEX 100 Euro per kWh, Total battery CAPEX would be 23.6 billion Euro

TU Delft

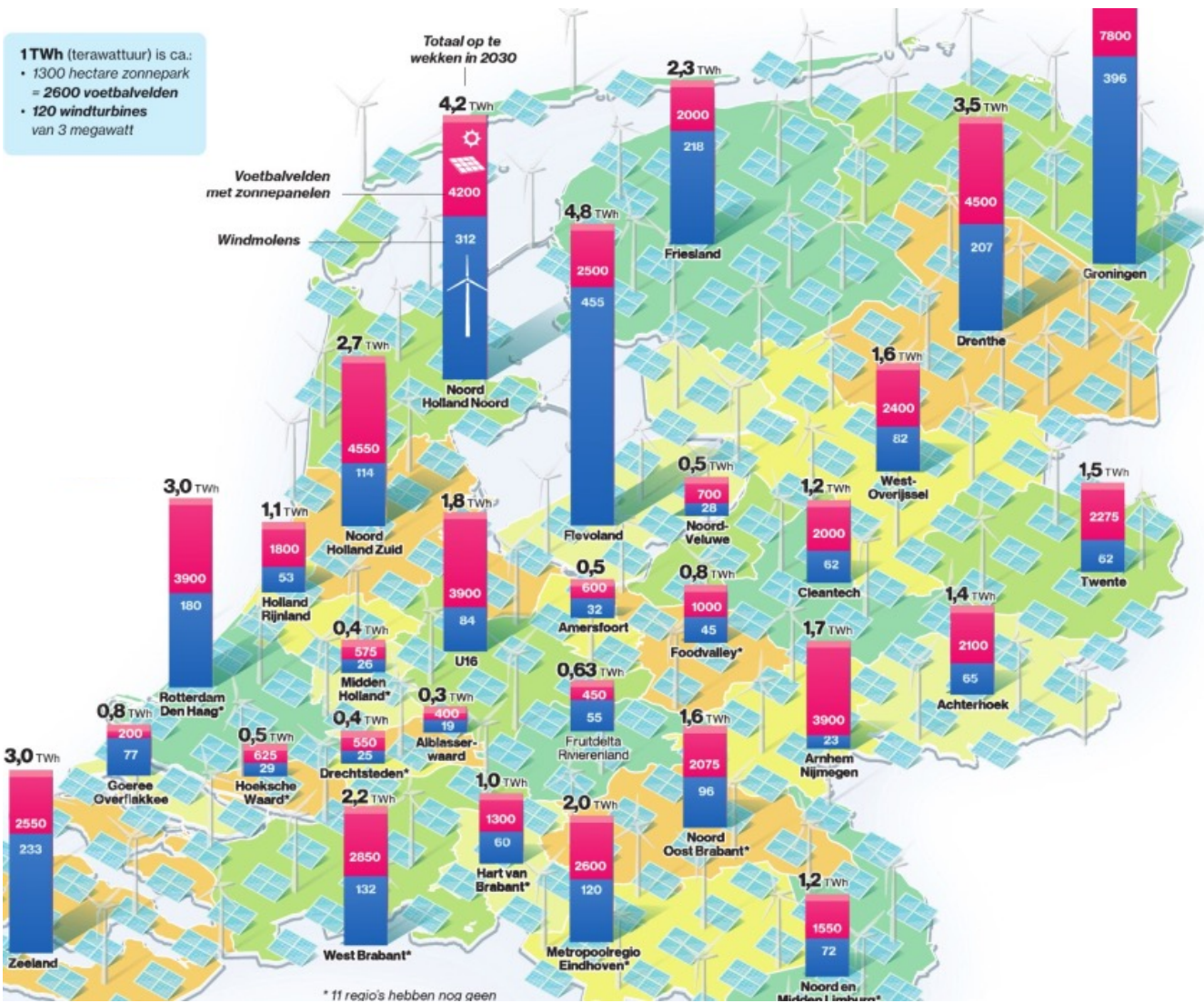
Energie Nederland 2022

KWR

TU Delft



In Nederland willen we in 2030 minimaal 35 miljard kWh elektriciteit met zon en wind op land opwekken

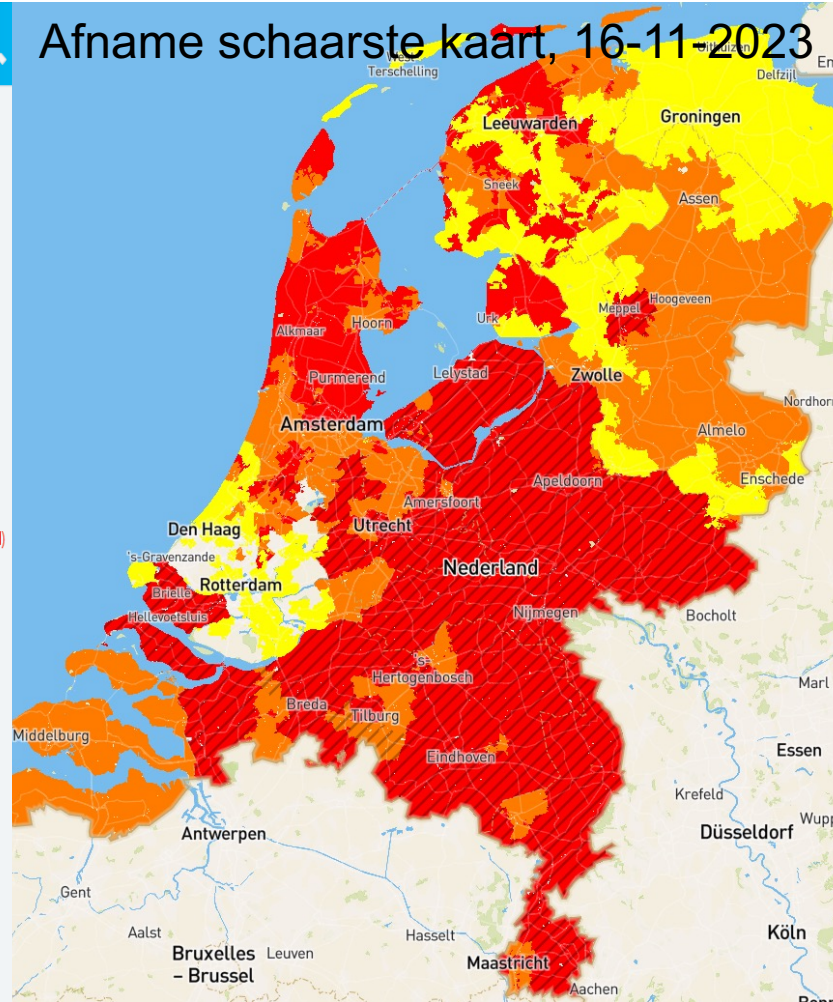


Het elektriciteitsnet is vol!

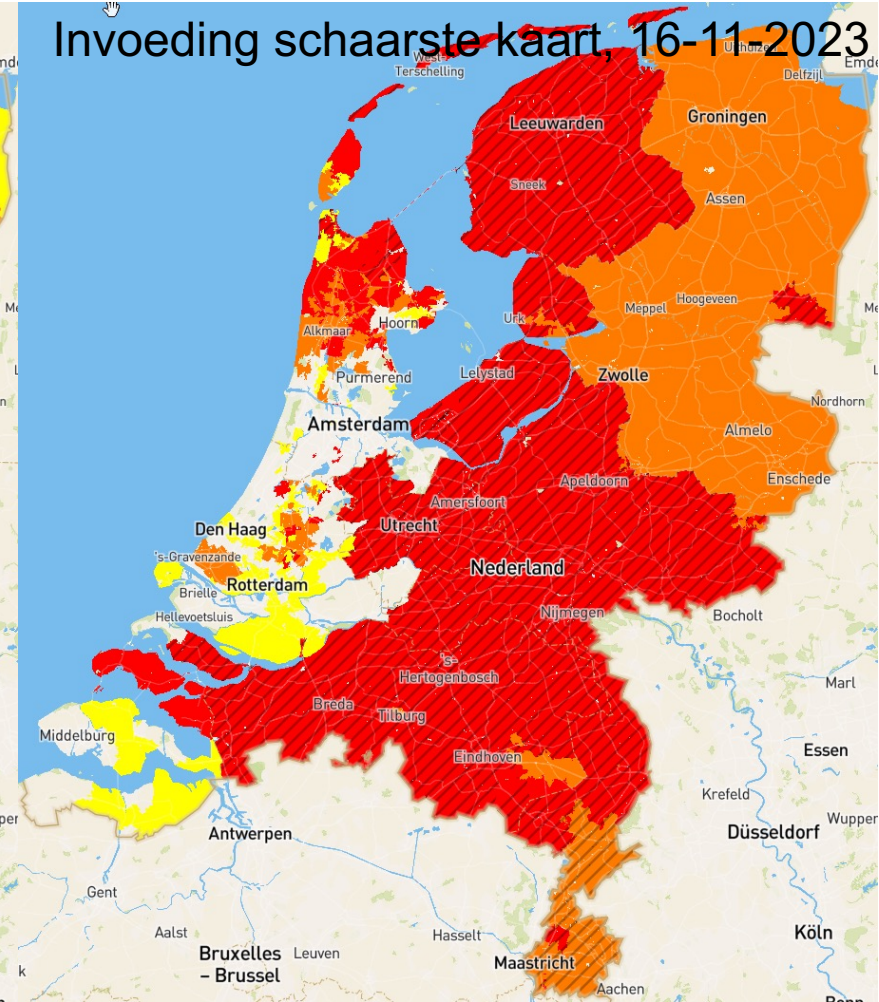
Capaciteit 20 GW HV



Afname schaarste kaart, 16-11-2023



Invoeding schaarste kaart, 16-11-2023

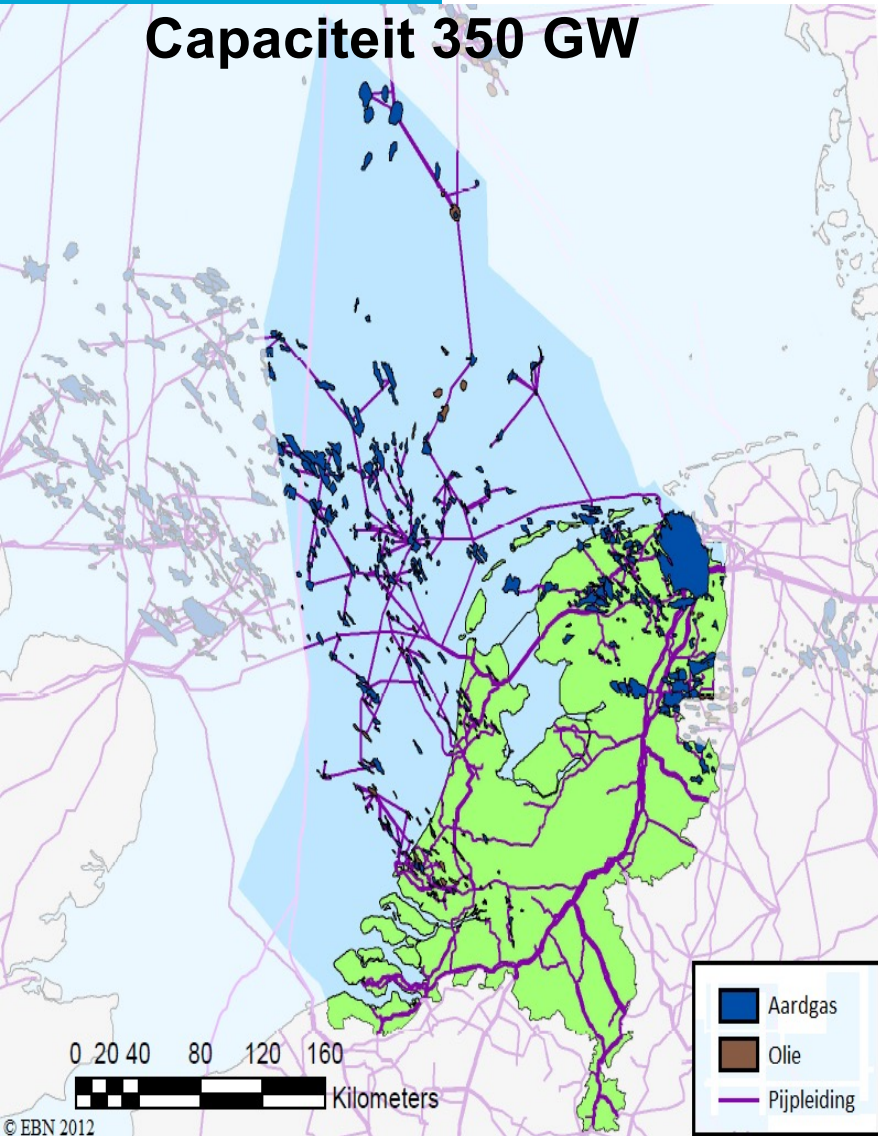


Betekenis van de kleurcodes

- Transparant: (nog) geen transportschaarste
- Geel: transportschaarste dreigt, er geldt een aangepast offerteregime
- Oranje: vooraankondiging structurele congestie bij ACM
- Rood: structureel congestie, nieuwe aanvragen voor transport worden niet gehonoreerd

Het gasnet is ruim 10 keer groter dan het elektriciteitsnet

Capaciteit 350 GW



Aansluiten van zon en wind

**Gas transportnet
15 keer groter dan
elektriciteitstransportnet**

Aansluiten van warmtepompen,
zon op dak en elektrische auto's

**Gasaansluiting huis
10 keer groter (30 kW) dan
elektriciteitsaansluiting (3 kW)**

Capaciteit 10 GW

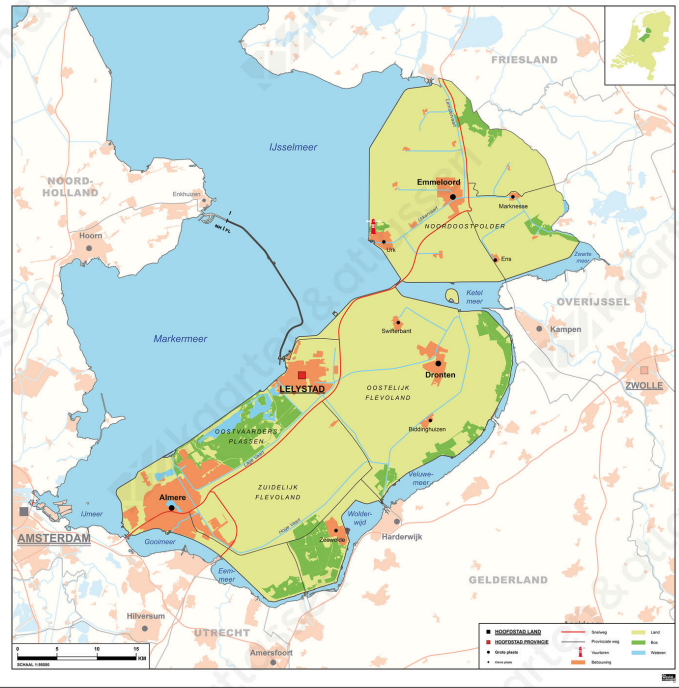


Waterstof Backbone:

één pijpleiding heeft de helft van de
capaciteit van het totale elektriciteitsnetwerk

Waterstof als oplossing voor netcongestie door zon en wind aanbod

FLEVOLAND



KWR

TU Delft

Hydeer: 100 MWe1 waterstofproductie



KWR

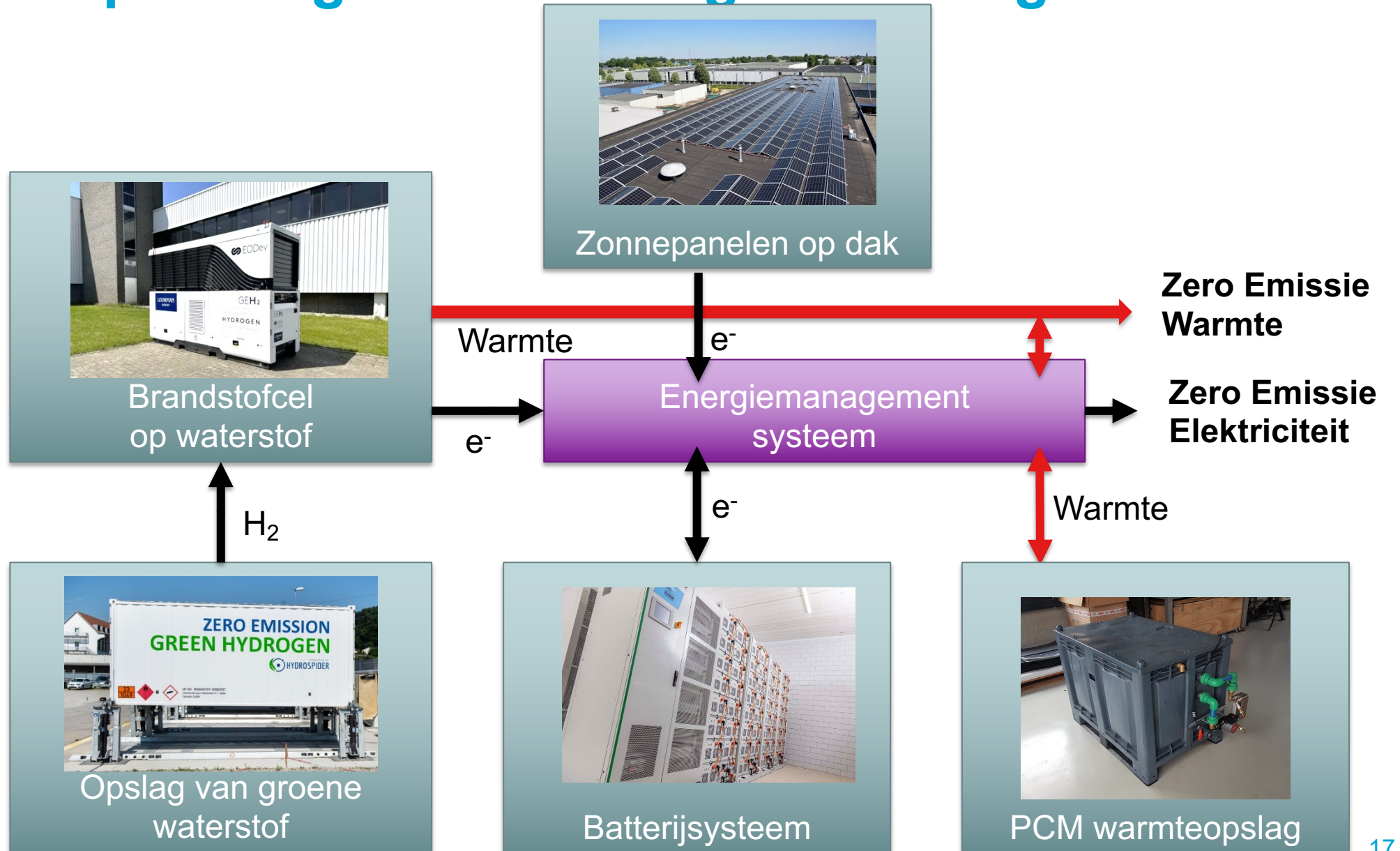
TU Delft



CIRCULO
ENERGY

Autonoom elektriciteit- en warmte-voorziening

Oplossing voor netcongestie vraag



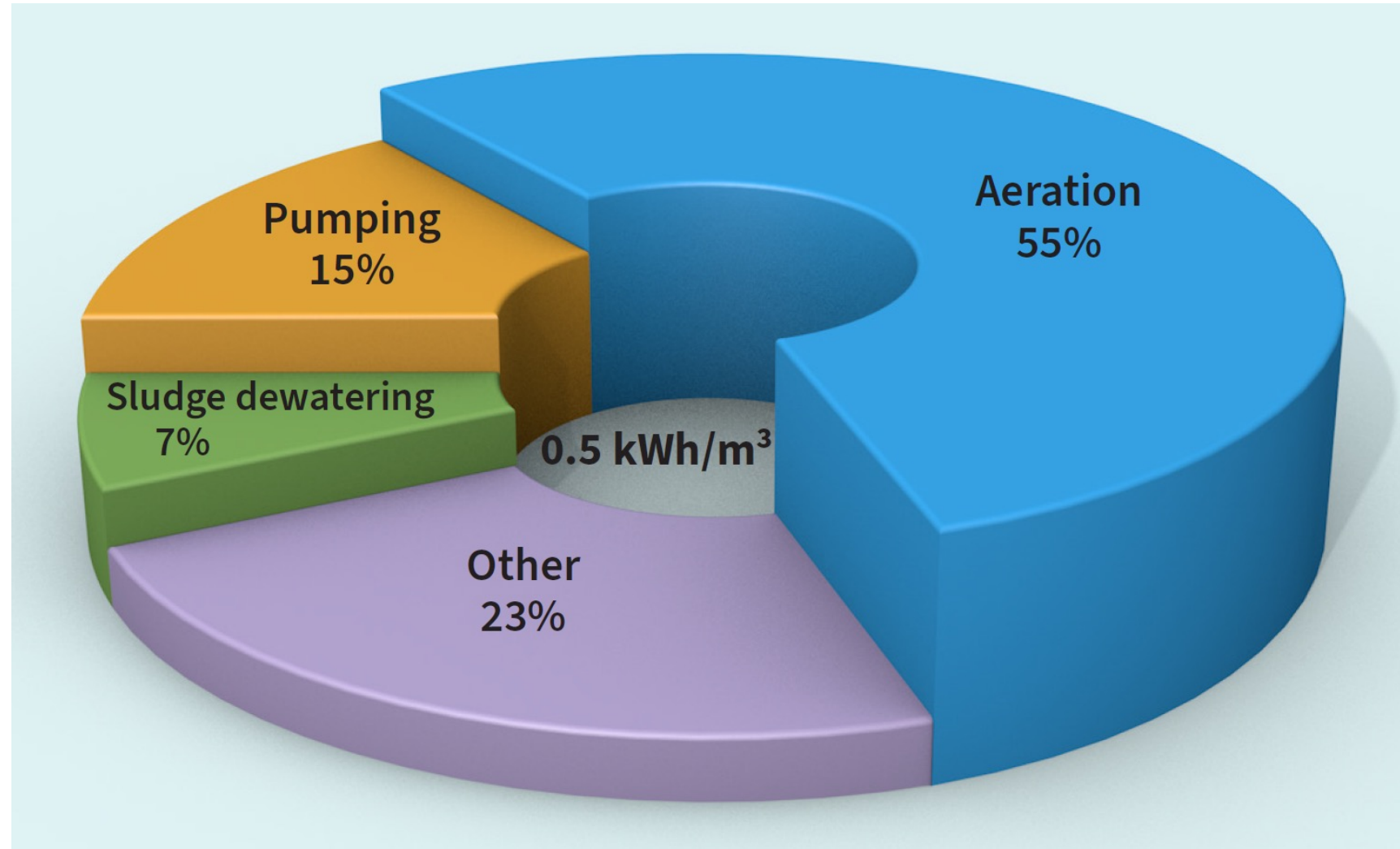
Rioolwaterzuivering Echten



KWR

TU Delft

Elektriciteit gebruik afvalwater zuivering



Biomassa vergister plus kleinschalige SMR (Stoom Methaan Omvormer) zet biogas om naar groene waterstof en groene CO₂



- | | | | |
|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Ventilation fan | 5. Hydrogen storage | 9. Reformate cooler | 13. Low temperature shift |
| 2. Desulphurisation vessel | 6. Water separator for vacuum pump | 10. Electronics cabinet | 14. Coolant expansion vessel |
| 3. PSA-vessels | 7. Vacuum pump | 11. Steam generator | 15. Burner air blower |
| 4. Off-gas storage | 8. Coolant heater | 12. Reformer unit | 16. Water purification system |

KWR

TU Delft

Afvalwaterzuivering geïntegreerde groene-energie keten



KWR

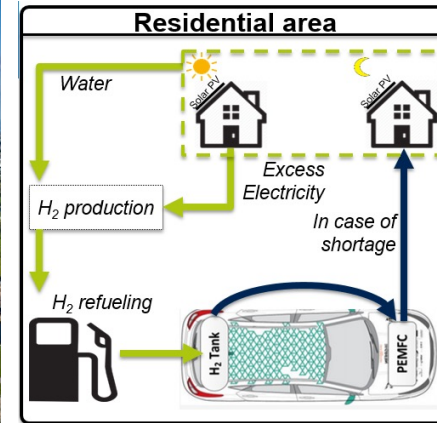
TU Delft

Waterstof Markten

Industrie Grondstof/HT Warmte



Elektriciteit Balancing



Transport



Verwarming



KWR

TU Delft

De toekomst voor mobiliteit is elektrisch



Tesla Model S

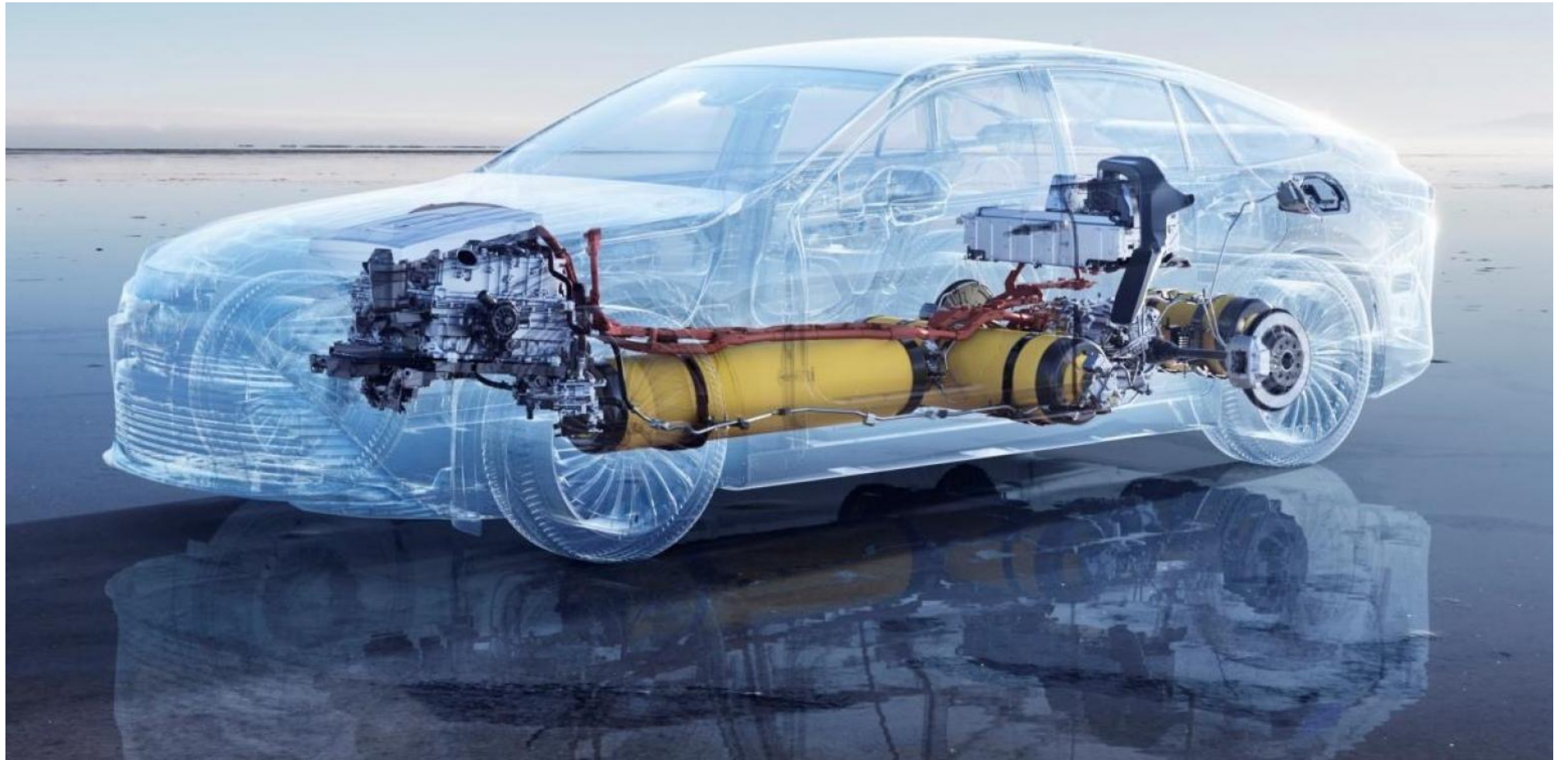


Toyota Mirai

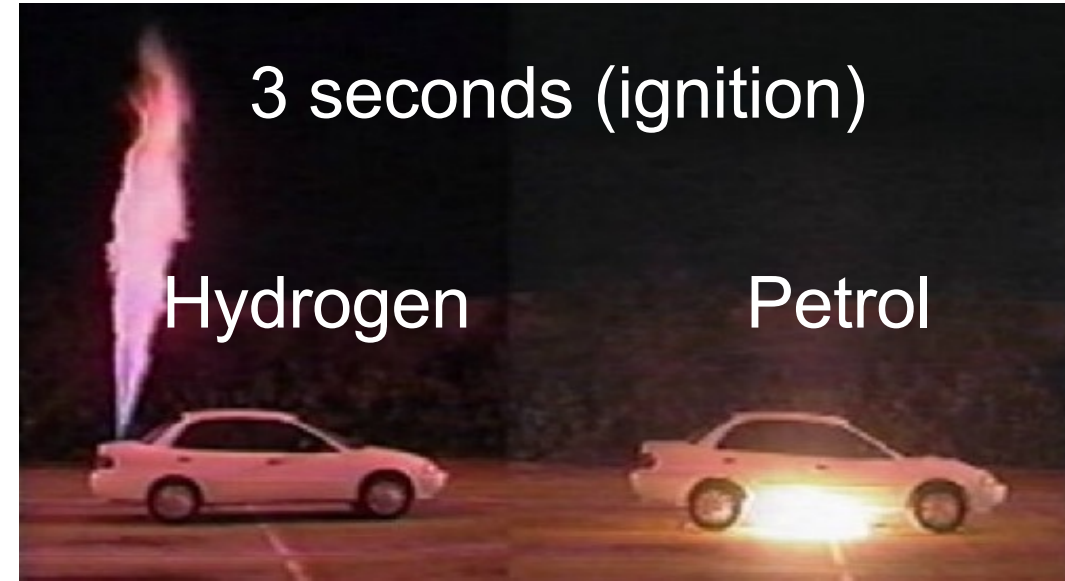
KWR

TU Delft

Toyota Mirai, tweede versie



Veiligheid: Waterstof versus benzine



Nieuwegein, 2,5 MW electrolyser voor waterstof en warmte



Solar Farms



Hydrogen Re-Fuelling Station, 2021



Electrolyser Realisation in progress

Hysolar Nieuwegein, waterstof productie en gebruik



Dual Fuel Trekker, 2021



Dual Fuel Holder, 2021



Brandstofcel Kraan, 2023



Stellantis brandstofcel bestelbussen, 2023



Hyundai brandstofcel auto's, 2021

Dual fuel Tractor, waterstof bijmengen in diesel motor (60%-80% van diesel wordt vervangen door waterstof)



Vorbereidende werkzaamheden voor installatie van 2,5 MW electrolyser bij KWR



Boren van een waterstofpijplijn van KWR naar JosScholman

Grondwerk voor plaatsen electrolyser bij KWR

Waterstof Brandstofcel trekkers

Allis Chalmers (1959)



H2Trac waterstof-brandstofcel trekker
aan Stadsboerderij Almere (31-5-2021)



Caetano/Toyota Waterstof brandstofcel bus



Vuilniswagens waterstof brandstofcel elektrisch



KWR

TU Delft

Liebherr Waterstof kraan te huur

Operationeel Januari 2024



KWR

TU Delft

Future Proof Shipping, waterstof binnenvaart schip

Gelanceerd Mei 2023



KWR

TU Delft

Doosan, waterstof drones

serie productie sinds 2020



KWR

TU Delft

Parijs Olympische en Paralympische Spelen

1.500 waterstof taxis in Paris 2024



KWR

TU Delft

<https://medium.com/@eticketingco/olympic-2024-toyota-to-provide-sustainable-mobility-for-all-at-the-paris-2024-d526438e4624>

<https://www.media.stellantis.com/uk-en/corporate-communications/press/stellantis-and-hype-deploy-a-first-fleet-of-50-wheelchair-accessible-hydrogen-taxis-in-paris>

Stadsgas productie Utrecht Gemeentelijke gasfabriek 1862-1959 > 50% waterstof in stadsgas



TOEN EN NU OVERVECHT

Gasfitters in de wijk Overvecht

Heel Utrecht moet eind 1966 van het stadsgas af zijn. Te beginnen in Overvecht. Dus trekt op 6 juli 1965 een grote ploeg gasfitters de wijk in om huis-aan-huis alle kachels, geisers en fornuizen geschikt te maken voor aardgas. In één dag moet de klus geklaard zijn, want de stadsgasleiding is al afgesloten en vanavond moeten de huisvrouwen natuurlijk wel weer hun potje kunnen koken.

Aardgas, wat een wonder was dat. Kant-en-klaar zat het zomaar onder de grond in Groningen. Veel schoner dus dan het uit steenkool gewonnen fabrieksgas, waar Utrechters tot dan toe op kookten



▲ Vanavond kookt deze huisvrouw op aardgas. FOTO HET UTRECHTS ARCHIEF

en stookten. Een nadeel: alle gas-toestellen in alle huizen moesten ervoor worden omgebouwd. Maar dat valt in het niet bij de energietransitie waar we nu voor

staan. Heel Utrecht moet in 2050 van het gas af zijn. En weer is Overvecht de proeftuin. Bij de tienhoogflat van Marijke aan de Henriëttedreef zijn ze al zover. Het

AD 18-5-2022



▲ Marijke kookt elektrisch, veel schoner voor de pannen. FOTO PAULA SWIERINGA

dak, de gevel en zelfs alle balkonhekjes zijn bekleed met zonnepanelen. De bewoners stoken en koken alleen nog maar op de elektriciteit

die de flat zelf opwekt. Dus geen last van stijgende energieprijzen en kijk, de pannen blijven zo lekker schoon aan de onderkant. – Paula Swieringa

KWR

TU Delft

Verwarmen met waterstofketels

Remeha



Remeha HYDRA

	Hydrogen	Natural gas	
CO ₂	0	9	%
	0	190	g/kWh
	0	2500	kg/jaar*
CO	0	48	ppm
NOx	20	30	mg/kWh Hs
Efficiency**	115	108	% LCV
	97	97	% HCV
Output Heating	24	24	kW
Output DHW	28	28	kW

* At average gas consumption

** Tretour = 30°C, 30% load

Waterstofketel
(Maart 2019 gelanceerd)

Worcester Bosch



Gasketel die geschikt is voor waterstof
(15-11-2019 gelanceerd)

Slimme hybride oplossing, kosten efficient en weinig overlast:

- Isoleren wat eenvoudig en goedkoop kan
- Warmtepomp voor basislast; COP 5,2 ipv COP 3,4
- Aardgas/Waterstofketel voor pieklast in winter



KWR

 **TU Delft**

Panasonic: Huis Brandstofcel systemen Japan

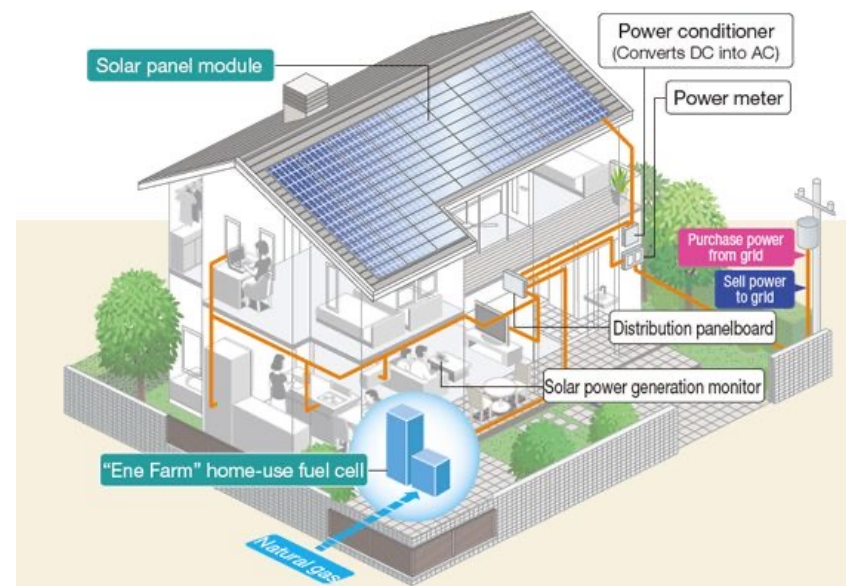
Japan 270.000 verkocht 2018
Doel 5.3 miljoen verkocht eind 2025

Reforming aardgas naar $H_2 + CO_2 +$ warmte
1 kW brandstofcel zet H_2 om in elektriciteit+warmte



Warm water vat

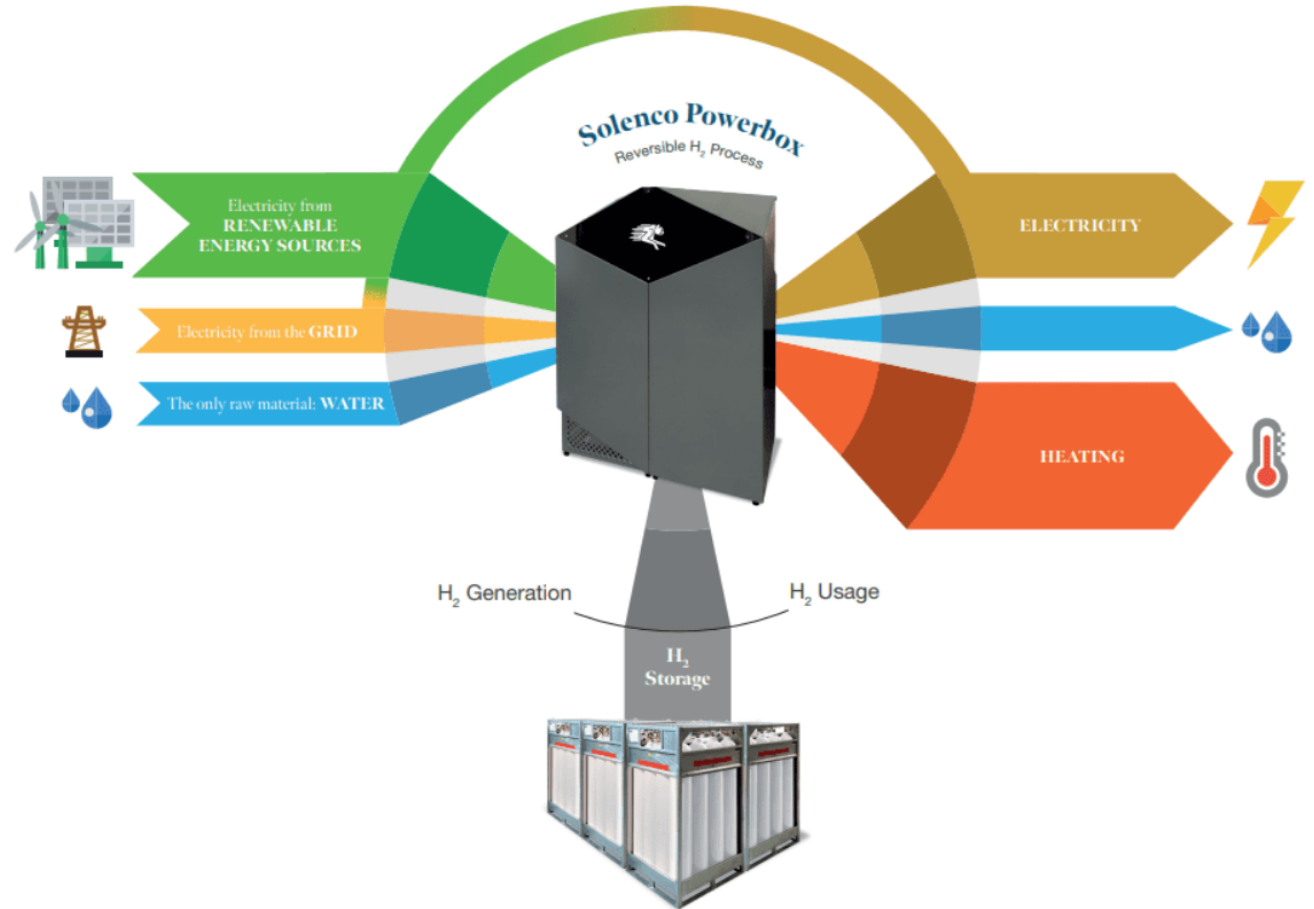
Brandstofcel



KWR

TU Delft

Omkeerbare brandstofcel, Solenco Power Turnhout



KWR

TU Delft

Solenco Power, Turnhout <https://www.solencopower.com/powerbox/>

Waterstofwijk in Hoogeveen



KWR

TU Delft

Waterstofwijk Hoogeveen



KWR

TU Delft

Te bestellen bij de boekhandel op Bol.com of op
www.profadvanwijk.com

Ad van Wijk, Els van der Roest, Jos Boere

GROENE ENERGIE VOOR IEDEREEN

Hoe waterstof en elektriciteit onze toekomst dragen



KWR

 **TU Delft**