

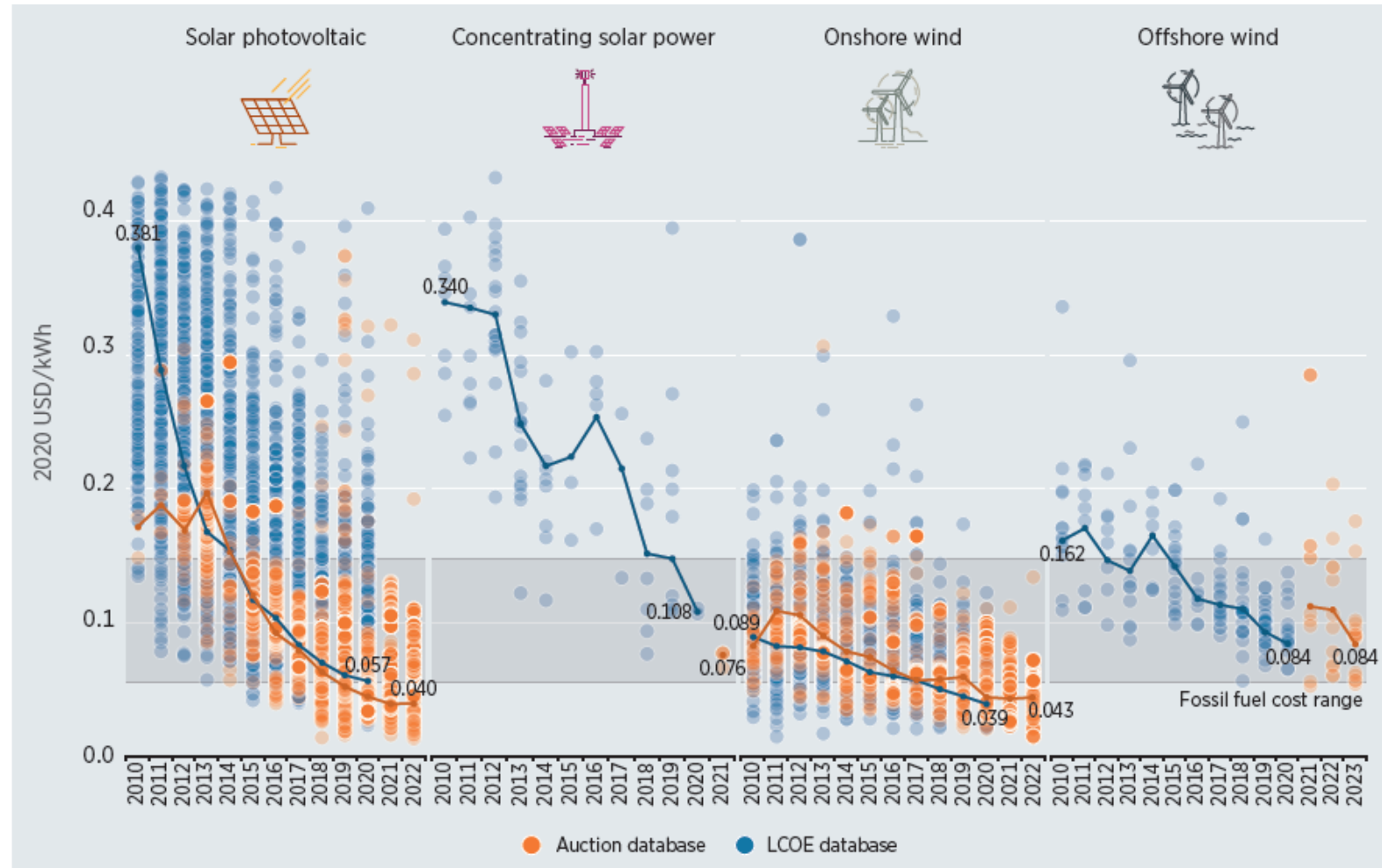


Waterstof als schakel in de energietransitie

25-1-2022

Prof. Dr. Ad van Wijk

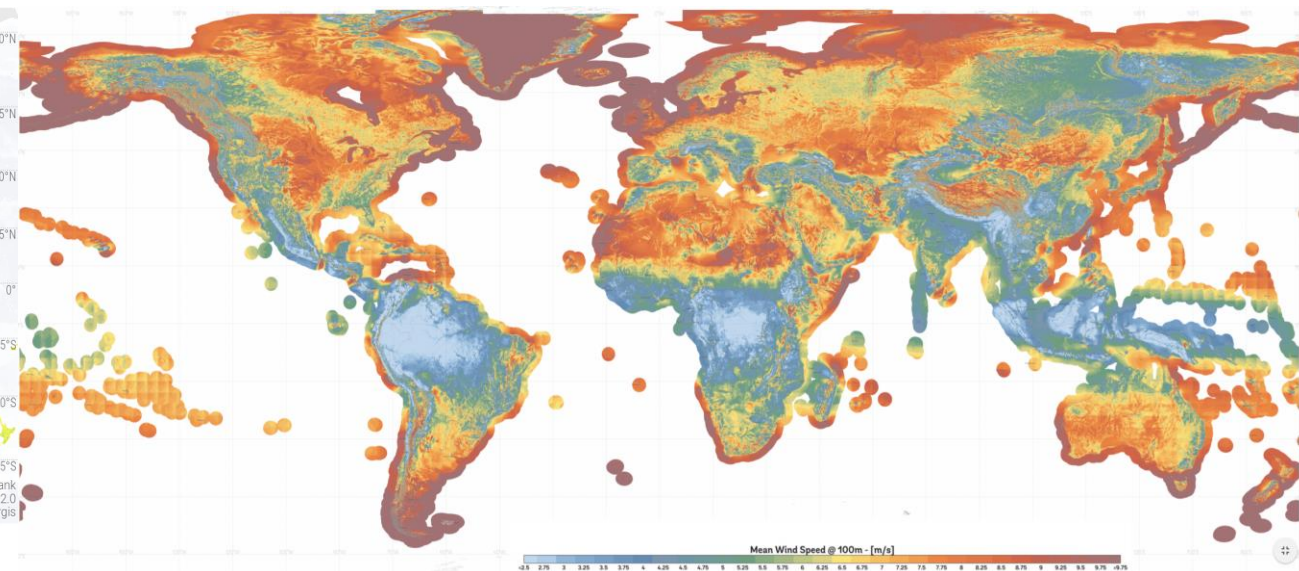
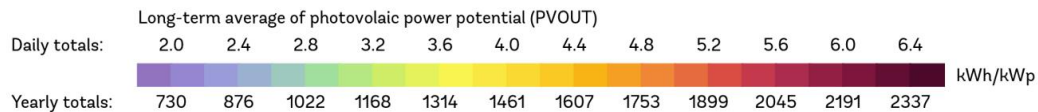
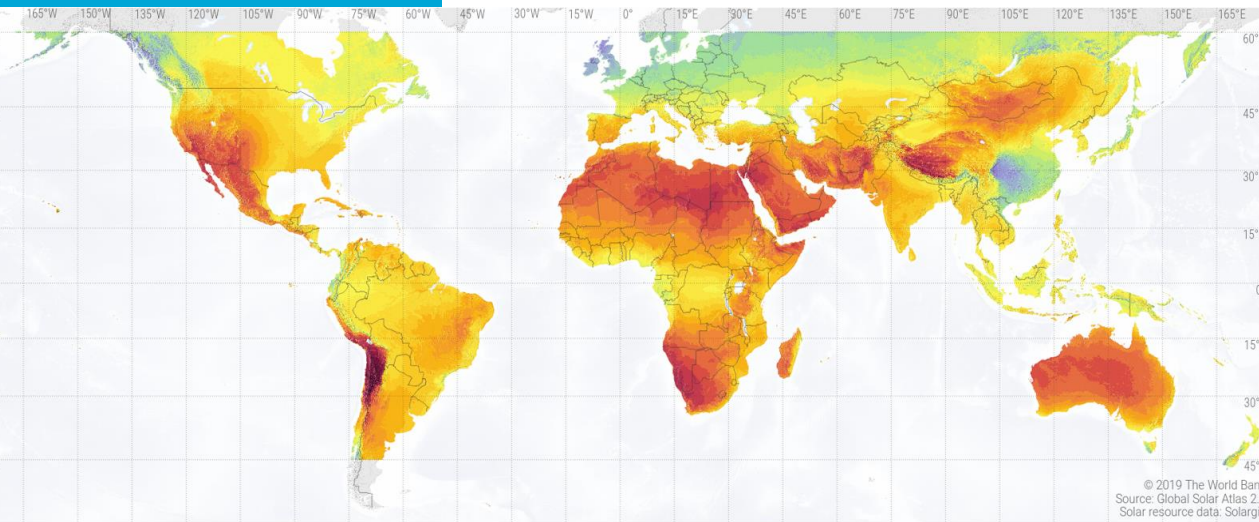
Electrificatie van energie systeem is de trend, zowel in productie als gebruik. De 'Key driver' is de lage kosten van elektriciteitsproductie door zon en wind



Source: IRENA Renewable Cost and Auction and PPA Databases

IRENA, "Renewable power generation costs in 2020," <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>

Maar lage kosten zon en wind heb je alleen op die plekken met goede zon-instraling of hoge windsnelheden en waar veel ruimte is. Die vind je vaak ver van waar de energievraag is.

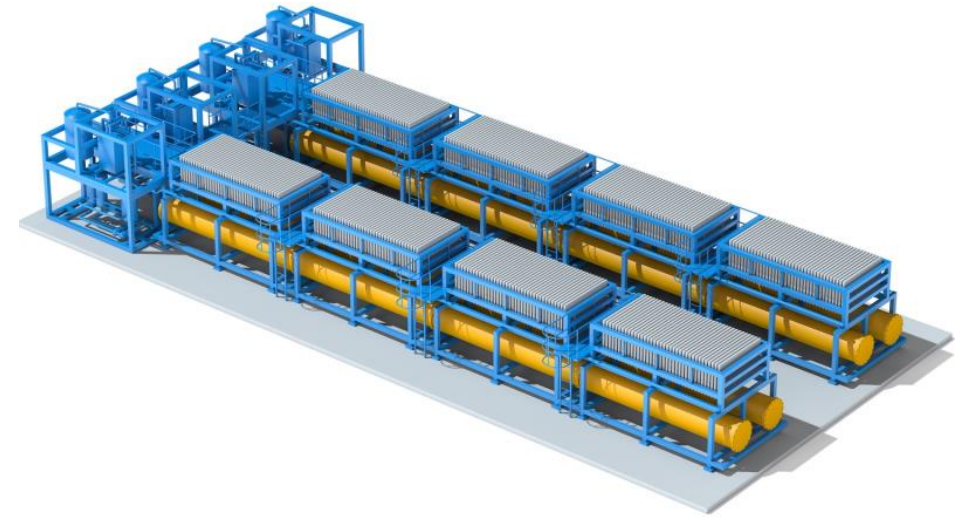


Solar Resources Map

Wind Speed at 100 meter height Map

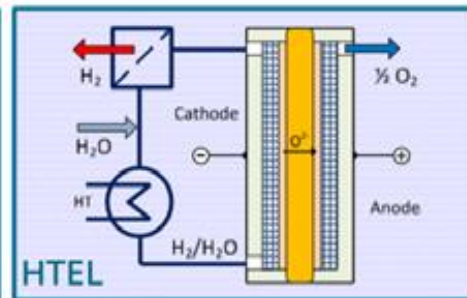
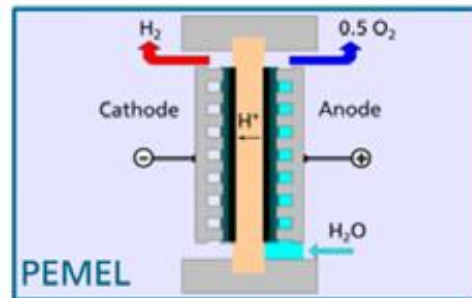
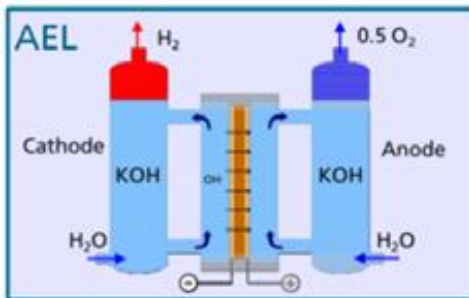
Met minder dan 10% van de Sahara woestijn vol met zonnepanelen heb je alle energie voor de hele wereld geproduceerd.

Water Electrolysis



20 MW alkaline electrolyser ThyssenKrupp

Technology	Temp. Range	Cathodic Reaction (HER)	Charge Carrier	Anodic Reaction (OER)
Alkaline electrolysis	40 - 90 °C	$2H_2O + 2e^- \Rightarrow H_2 + 2OH^-$	OH^-	$2OH^- \Rightarrow \frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^-$
Membrane electrolysis	20 - 100 °C	$2H^+ + 2e^- \Rightarrow H_2$	H^+	$H_2O \Rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$
High temp. electrolysis	700 - 1000 °C	$H_2O + 2e^- \Rightarrow H_2 + O^{2-}$	O^{2-}	$O^{2-} \Rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$

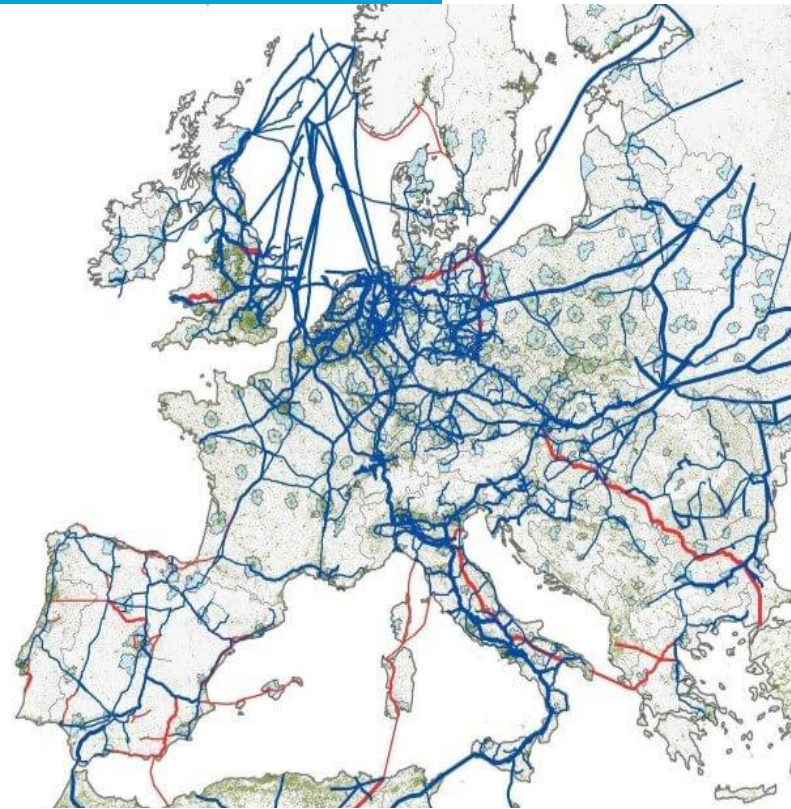


	5 MW module	20 MW module
Design capacity H ₂	1000 Nm ³ /h	4000 Nm ³ /h
Efficiency electrolyzer (DC)	> 82% _{HHV} *	> 82% _{HHV} *
Power consumption (DC)	max. 4.3 kWh/Nm ³ H ₂	max. 4.3 kWh/Nm ³ H ₂
Water consumption	<1l/Nm ³ H ₂	<1l/Nm ³ H ₂
Standard operation window	10% - 100%	10% - 100%
H ₂ product quality at electrolyzer outlet	> 99.95% purity (dry basis)	> 99.95% purity (dry basis)
H ₂ product quality after treatment (optional)	as required by customer, up to 99.9998 %	as required by customer, up to 99.9998 %
H ₂ product pressure at module outlet	~300 mbar	~300 mbar
Operating temperature	up to 90 °C	up to 90 °C

* HHV = calculated with reference to higher heating value of hydrogen.
All values may vary depending on operating conditions.

Gas Infrastructure in Europe can be reused for hydrogen

Gas Pipeline Capacity 5-20 GW, Electricity cable capacity 0.5-2 GW
 Gas transport cost roughly a factor 10 cheaper than electricity transport



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

75% re-used gas pipelines
 25% new hydrogen pipelines
 40.000 km pipelines

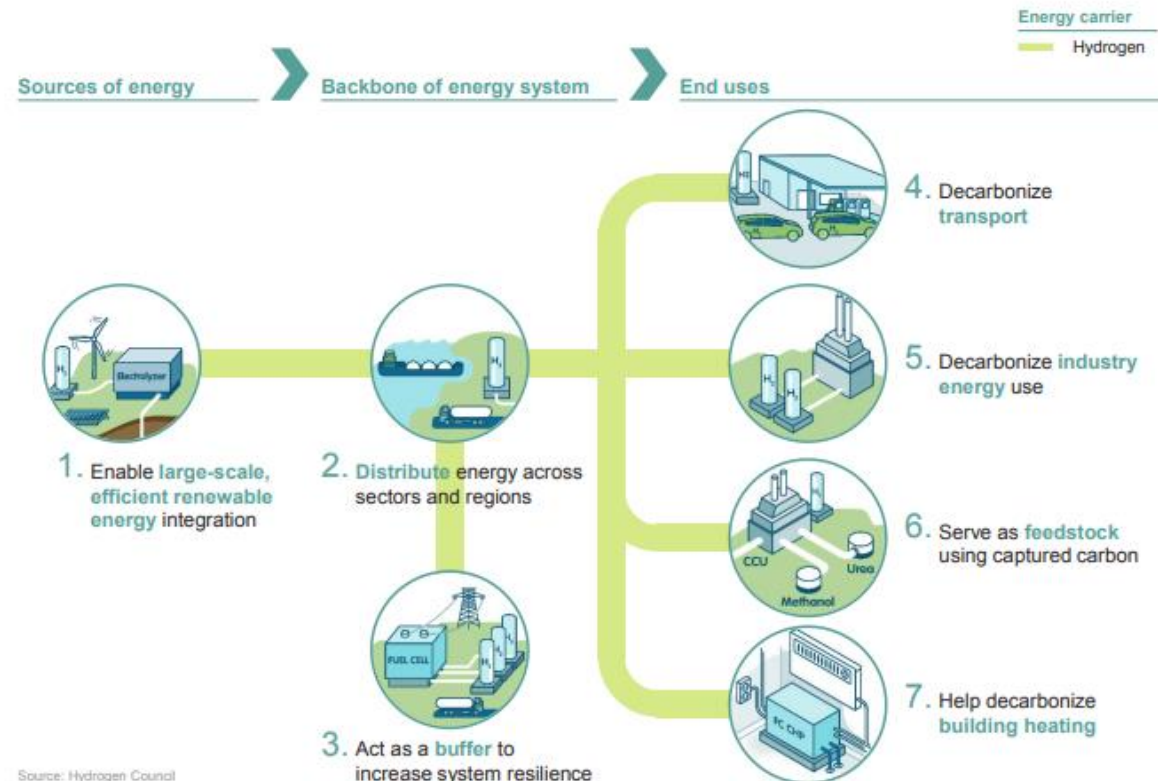
Waterstof is een energiedrager, net zoals elektriciteit

Source	Process/Technology	Maturity	Main output	Colour of Hydrogen
Natural gas	Steam methane reforming (SMR)	Mature	$H_2 + CO_2$	Grey
	Auto-thermal reforming (ATR, MA-ATR)	Mature	$H_2 + CO_2$	Blue , ATR 90%-100% CO_2 emission capture and storage is possible Turquoise , no CO_2 emissions
	Methane Pyrolysis	Small plants operational	$H_2 + C$	
Coal	Partial Oxidation/Gasification	Mature	$H_2 + CO_2 + C$	Brown/Blue ,
	Underground coal gasification	Projects exist	$H_2 + CO_2$	50-90% CO_2 can be captured and stored.
Solid Biomass, Biogenic waste	Gasification	Near Maturity	$H_2 + CO_2 + C$	Green
	Plasma gasification	First Plant 2023	$H_2 + CO_2$	Negative CO_2 emissions possible
Wet Biomass, Biogenic waste	Super critical water gasification	First Plant 2023	$H_2 + CH_4 + CO_2$	Green
	Microbial Electrolysis Cell	Laboratory	$H_2 + CH_4$	Negative CO_2 emissions possible
Electricity + Water	Electrolysis			Grey to green and pink depending on the source for electricity production.
	Alkaline	Mature	$H_2 + O_2$	
	PEM	Near Maturity	$H_2 + O_2$	
	SOEC	Pilot Plants	$H_2 + O_2$	
Sunlight + Water	Photoelectrochemical	Laboratory	$H_2 + O_2$	Green

Rol van waterstof in een duurzaam energiesysteem is:

1. Om goedkope zon en wind stroom kosten-efficiënt bij de energievraag te brengen op de juiste tijd.
2. Om de moeilijk te verduurzamen energievraag te verduurzamen (in industrie, mobiliteit, verwarming, elektriciteit)
3. Maar uiteindelijk pas je daar waterstof toe waar dat het goedkoopst of gemakkelijkst is.

Het gaat in een duurzaam energiesysteem ook om de (systeem)kosten, de betrouwbaarheid en het gemak!



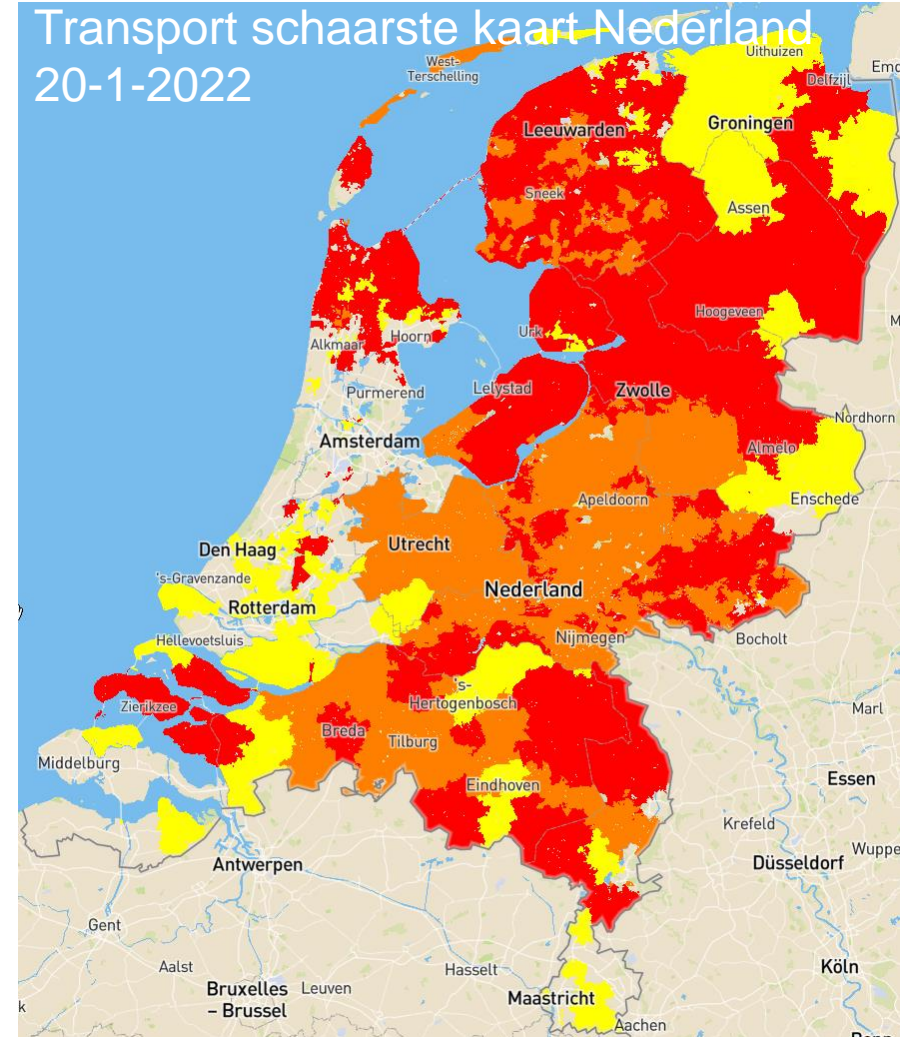
Energie infrastructuur is een groot knelpunt

Voor het aansluiten van zon en windvermogen op het elektriciteitsnet

Gas transportnet 15 keer zo groot dan elektriciteitstransport net

Voor het aansluiten van warmtepompen, Zon op dak en elektrische auto's op elektriciteitsnet

Gasaansluiting huis 10 keer zo groot (30 kW) dan elektriciteitsaansluiting (3 kW)



Betekenis van de kleurcodes

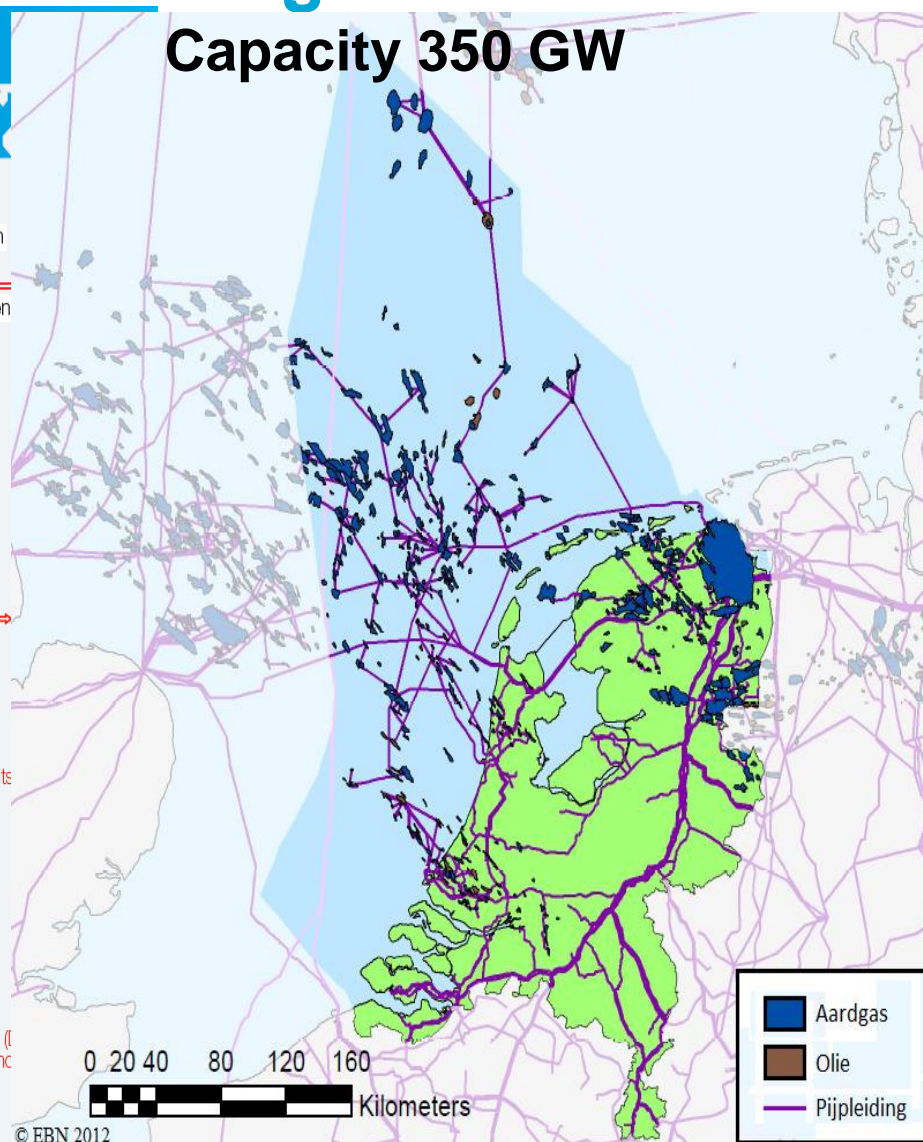
- Transparant: (nog) geen transportschaarste
- Geel: transportschaarste dreigt, er geldt een aangepast offerteregime
- Oranje: vooraankondiging structurele congestie bij ACM
- Rood: structureel congestie, nieuwe aanvragen voor transport worden niet gehonoreerd

Daarvoor moet je natuurlijk het elektriciteitsnet uitbreiden, maar ook het aardgasnet omvormen naar waterstof.

Capacity 20 GW HV



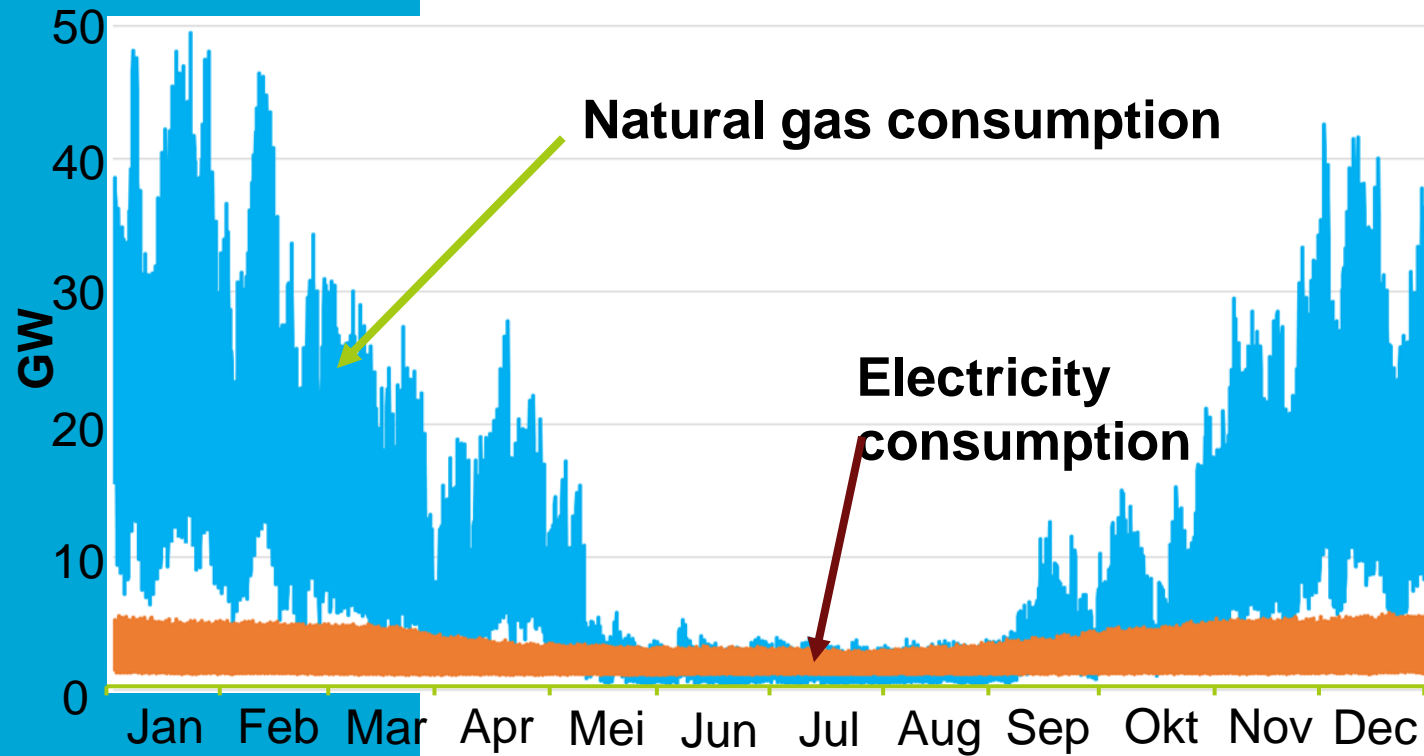
Capacity 350 GW



Capacity 5-15 GW



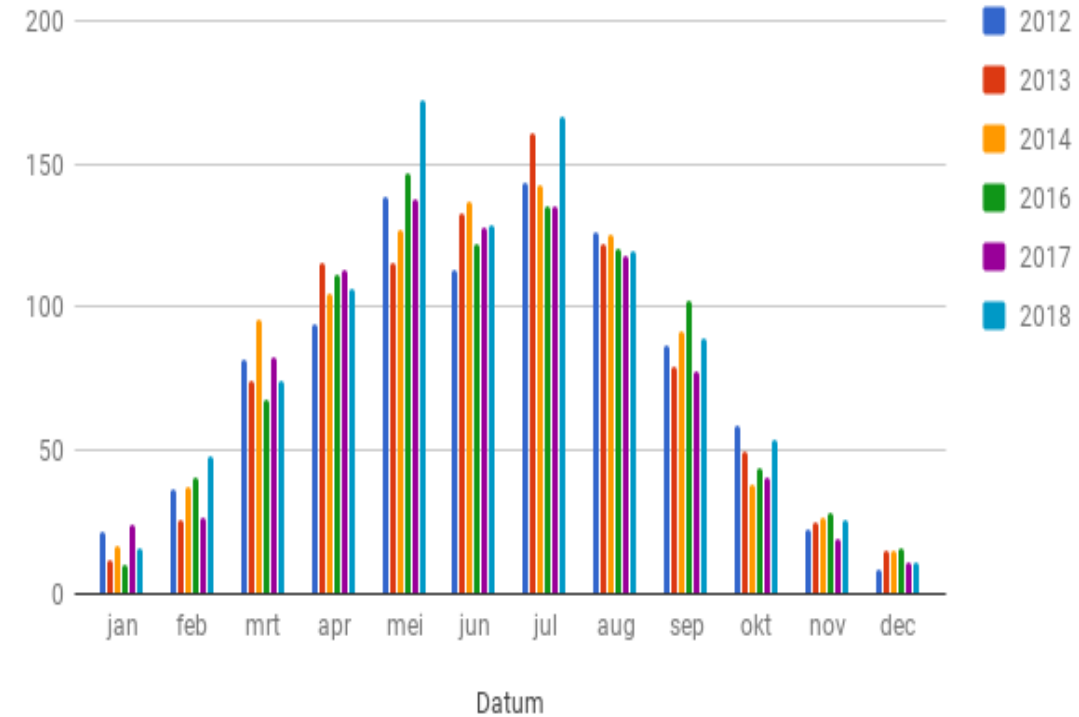
Opslag wordt een nog grotere uitdaging dan nu. Dag/nacht en seizoensopslag is nodig



7,8 million Dutch houses (2017)

Source: Kellner, 2018

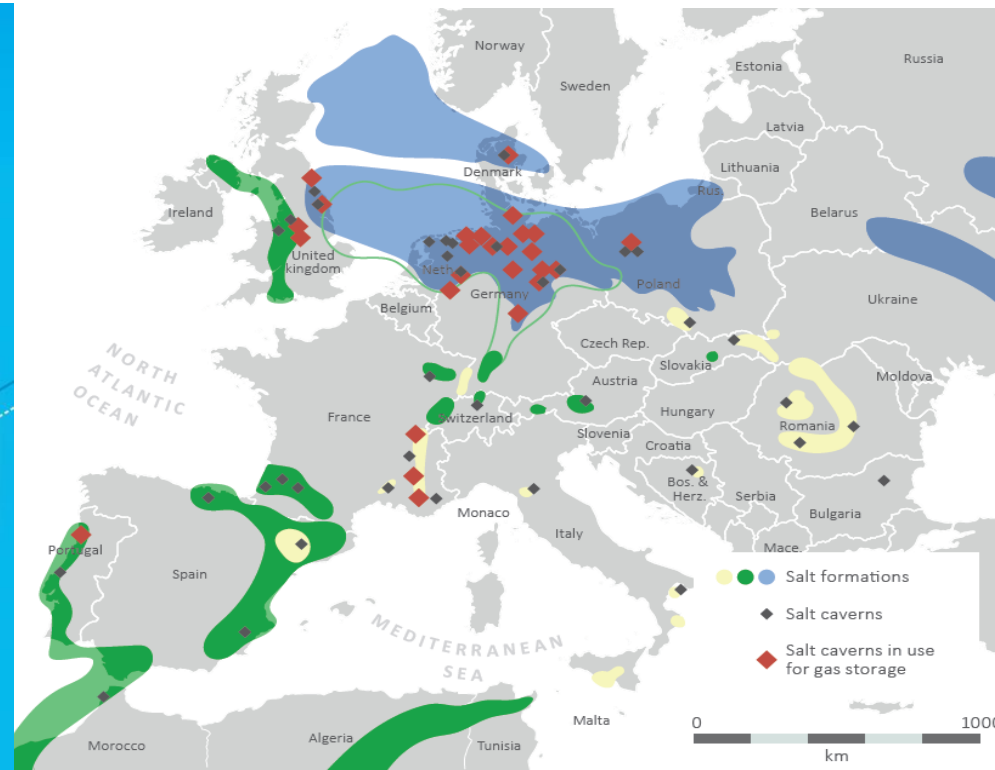
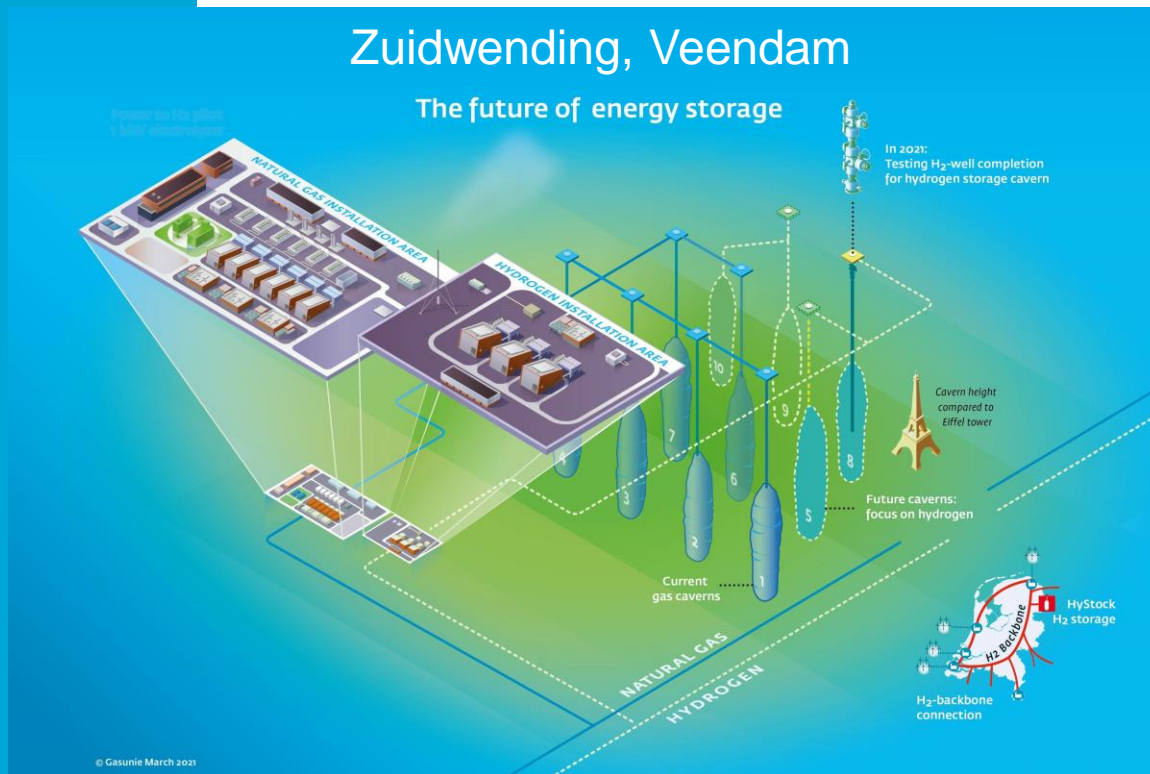
Zon per maand (Zuid)



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

Nu is er voor seizoensopslag zo'n 100 miljard kWh gasopslag = vergelijkbaar met opslag capaciteit van 1 miljard Batterij elektrische auto's met 100 kWh batterij.

Waterstof kan eenvoudig in zoutkoepels worden opgeslagen, die er al zijn in Groningen



In 1 zoutkoepel kan 6.000 ton (236 miljoen kWh_{HHV}) waterstof = vergelijkbaar met opslag capaciteit van 2,36 miljoen batterij elektrische auto's met 100 kWh batterij

Salt Cavern Capex cost less than 0.5 Euro/kWh_(HHV) H₂

Battery Capex cost in future 50 Euro/kWh?

Rioolwaterzuivering geïntegreerde groene-energie keten



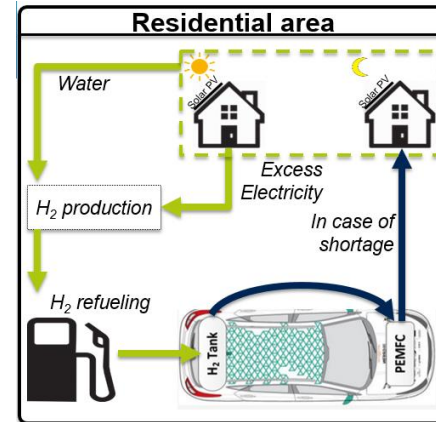
- Meer inpassing zon en wind in energiesysteem mogelijk
- Extra energiebesparing door gebruik zuurstof en warmte
- Emissie reductie van lachgas, een 265 keer zo sterk broeikasgas dan CO₂
- Groene CO₂ vermindert fossiele CO₂ gebruik en uitstoot
- Groene H₂ voor eigen zwaar transport en levering aan publieke waterstofnet

Waterstof markten

Industrie; grondstof, HTwarmte



Electriciteit Balancing



Transport



Verwarming

Stadsgas Utrecht 1862-1959



> 50% waterstof in stadsgas



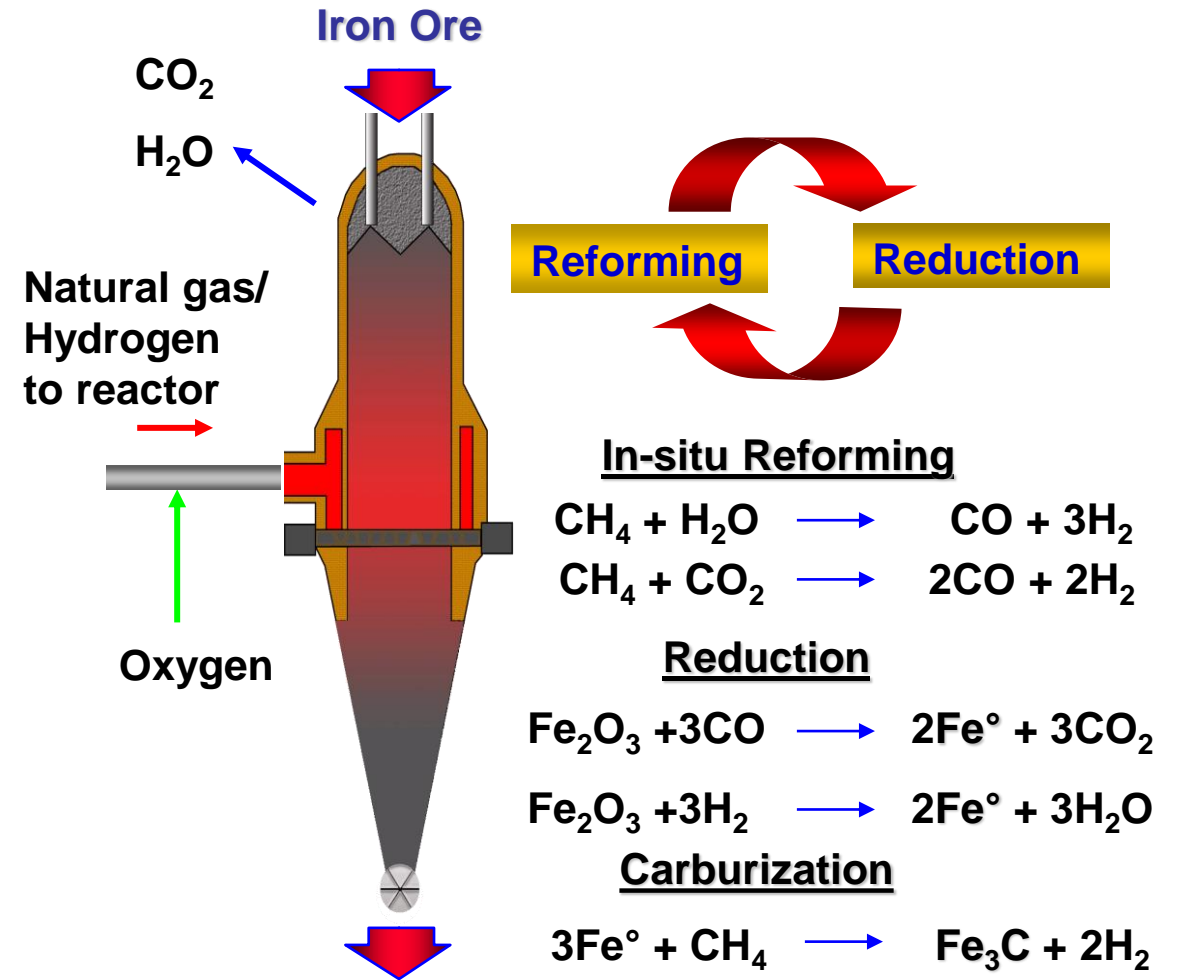
The Future for Steel Plant and site IJmuiden



Tata Steel IJmuiden
7 million ton steel per year
12,5 Million ton CO₂ emissions/year
7% of Dutch CO₂ emissions

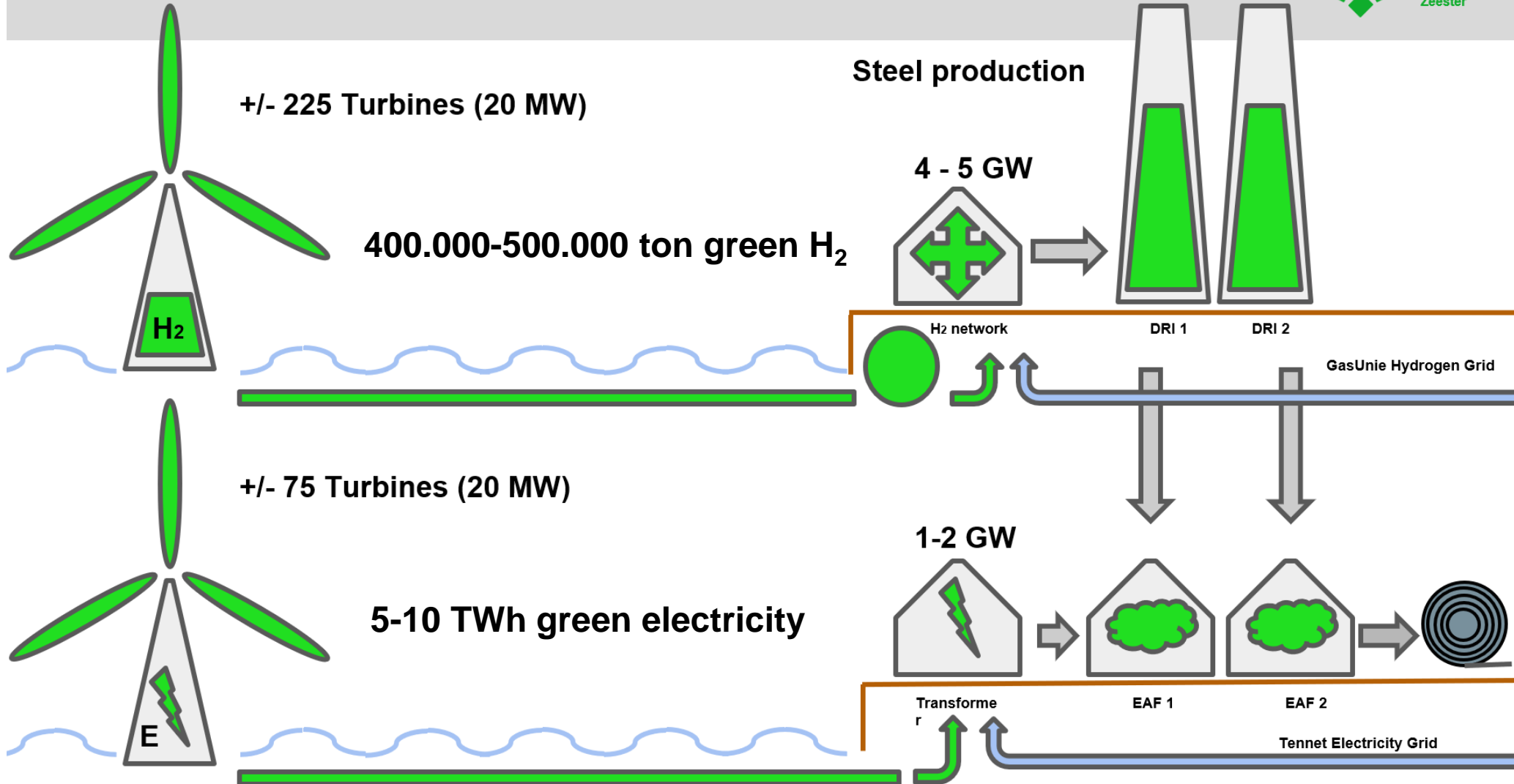
DRI (Directed Reduced Iron) Proces on Natural Gas

2.5 Million ton iron per year DRI Reactor

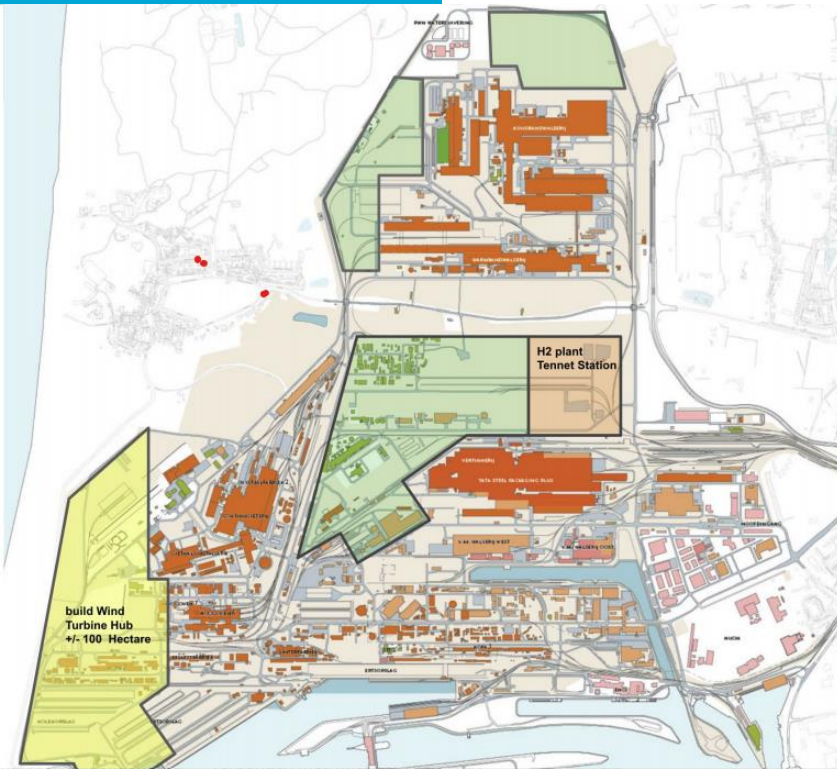


Tata Steel on green hydrogen and electricity

Energy balance 2040



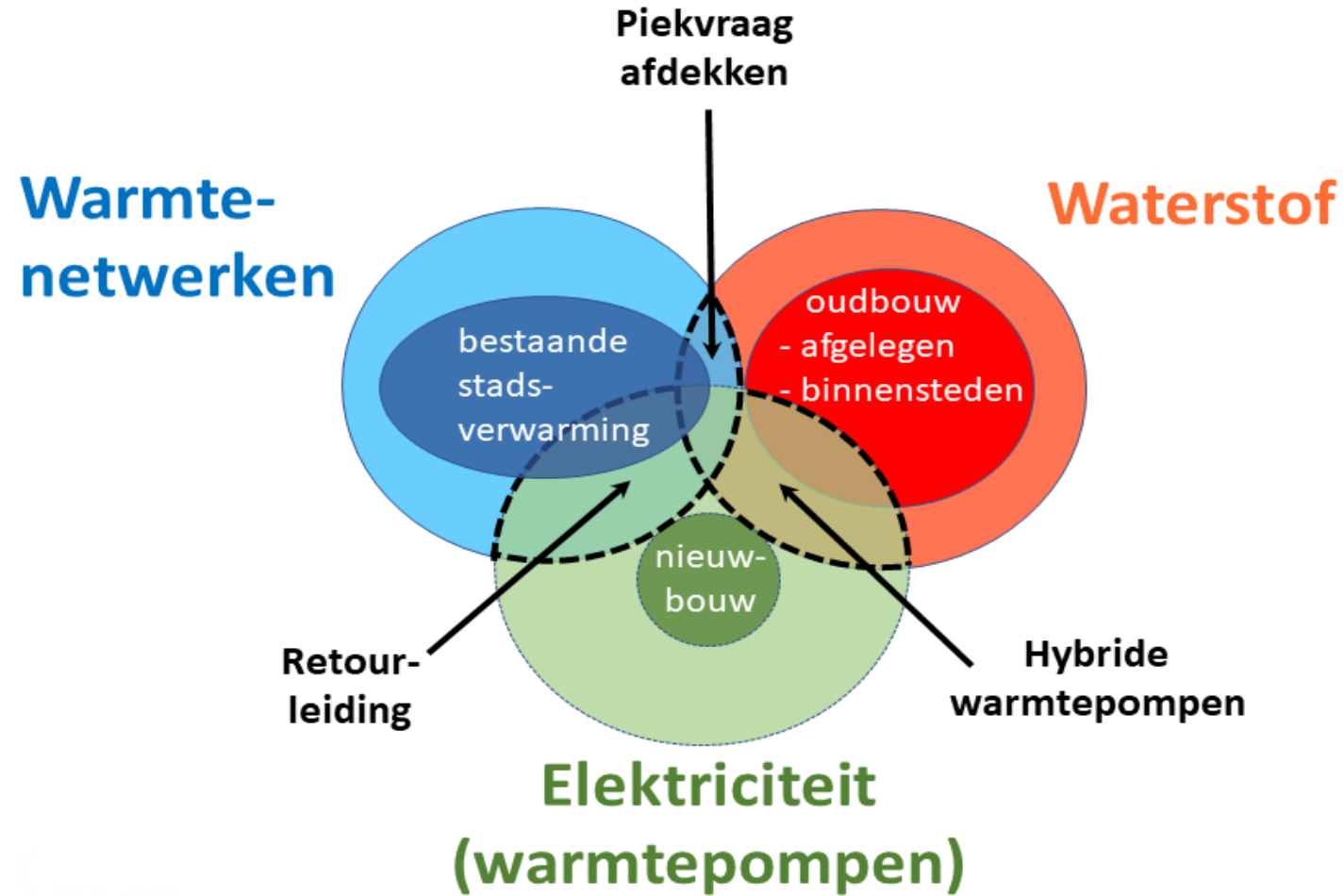
Manufacturing Offshore Wind Turbine components only possible at the coast, because of Size and Weight



Offshore wind turbine 100-200 ton steel per MW

For Foundations, Mast, Nacelle

Duurzame verwarmingsopties



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
- Waterstofketel voor pieklast in winter en tapwater

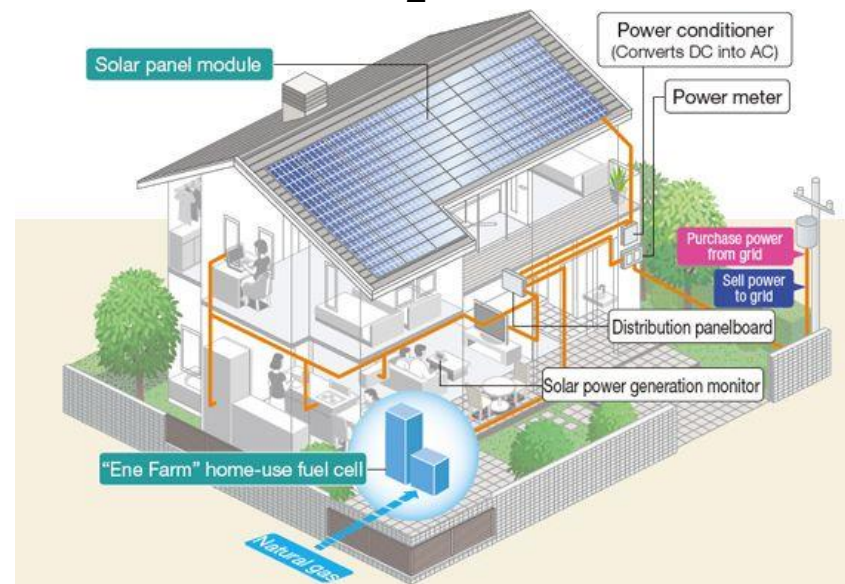


Panasonic: Huis Brandstofcel systemen Japan



Japan 270.000 verkocht eind 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



Kleinschalige, gebouw geïntegreerde brandstofcel systemen kunnen

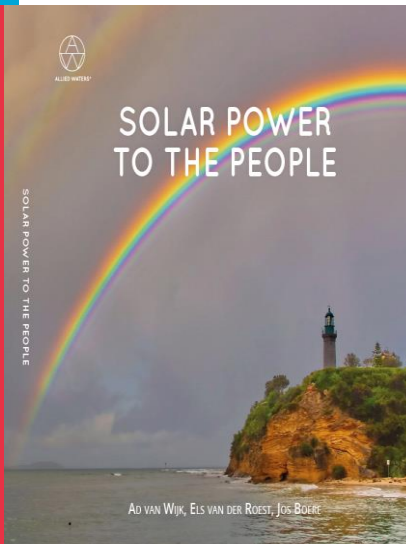
- elektriciteitsvraag en aanbod lokaal balanceren,
- voorzien in de warmtevraag en
- de noodzaak voor netverzwaring verminderen.

Verder Lezen

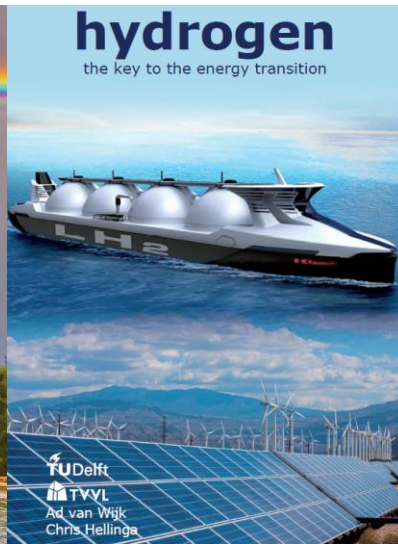
www.profadvanwijk.com



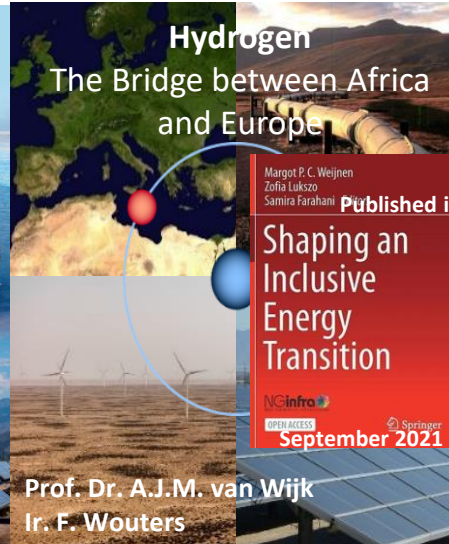
April 2017



November 2017



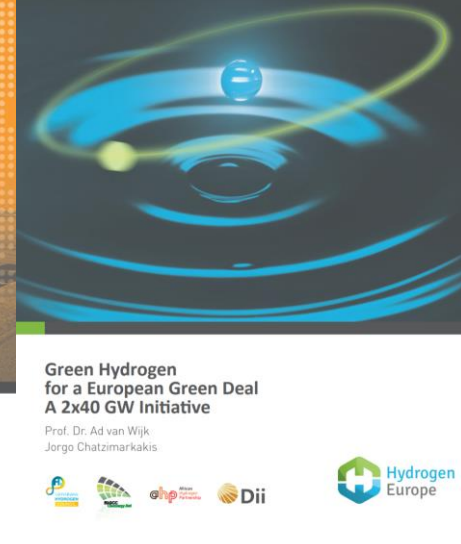
May 2018



September 2019



November 2019



April 2020



April 2021
Hydrogen Europe

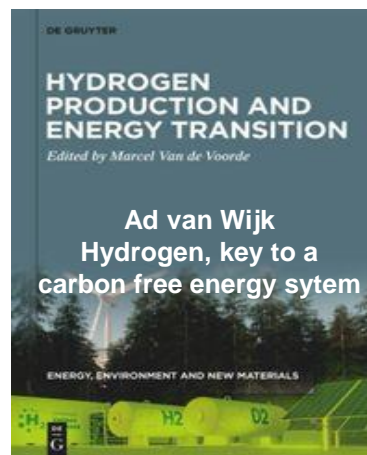
April 2021

Waterstof voor gebouwverwarming
Naar 500.000 woningen op waterstof in 2030



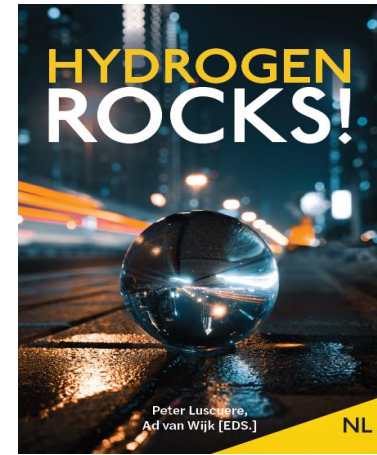
Chris Hellinga
Ad van Wijk

May 2021

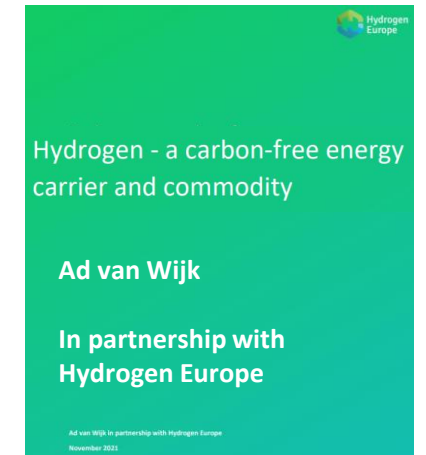


Ad van Wijk
Hydrogen, key to a
carbon free energy sytem

September 2021



October 2021



November 2021