

waterstof economie

Hydrogen scaling up

hydrogen council launched in januari 2017 bij de world economic forum. Members: companies in H2 value chain.

visie: Waterstof economie in 2050 H2 "centrale pilaar voor energietransformatie om 2 graden scenario mogelijk te maken". 7 belangrijke rollen:

- 1) mogelijk maken om duurzame energie te integreren.
- 2) energie distribueren over regio's en sectoren. ↳ dikkof 500 TWh curtailen.
- 3) buffer => system resilience.
- 4) decarboniseren transport => 400 mln auto's, 15-20 mln trucks + 5 mln bussen.
- 5) " " industrie energiegebruik ↳ 20/25%.
- 6) " " heat & power ↳ ook 1/4 passagierschip
- 7) industrie feedstock. ↳ 10% heat demand. ↳ 1/5 locomotives.

visie 2050: 18% totaal energiegebruik
6 GT annual CO2 abatement
30 mln banen

• **manufact.**

Roadmap 2 belangrijke prioriteiten -> scale up manufacturing capacities & deploy hydrogen infrastructure.

• **infrastructure.**

transport: FCEV naast BEV. Long range, zwaarder, meer flex. Hoog gebruik van energie binnen transportsector. verlagen total cost of ownership. 10% van alle transport segmenten per 2030.

Laadhijd korter: 3 à 5 minuten 10 €/kg -> 50 à 60 euro volle tank.

keurende 5 jaar => veel nieuwe modellen. 2030 -> 1 op 12 auto verkocht in US, Japan, Duitsland, Zuid-Korea. EU ->

- ijzer/staal industrie: 2030 demonstratie en 2035 momentum.

warmte: 2030 5 mln huishoudens op een net met "blended" hydrogen of pure. 200 staal, chemicaliën & automotieve plants maken gebruik van H2 voor warmte.

Bizaele Rekenom

- combinatie met renewable energy: 300 TWh surplus renewable electricity \Rightarrow 180 TWh waterstof. 4,000 vwe 75 Gw elektrolyse ("surplus").

200 TWh \rightarrow waterstof in large power plants.
 \hookrightarrow 400 TWh aan groene waterstof nodig \rightarrow 666 TWh \rightarrow 1
 - investering: 20 à 25 mld euro per jaar, 280 m totaal in 2030. 40% productie; 30% opslag transport distribute, 25% manufacturing + ontwikkelen nieuwe business modellen.

Hoe de groei te realiseren:

- oecopak UK voor waarde "city by city". Programma's #21
- large scale pilots
- long term regulatory framework.

groei vraag!

Annual demand for hydrogen could increase tenfold by 2050 from 8 EJ in 2015 to almost 80 EJ in 2050.
 1 EJ: one day of the world NET demand. \hookrightarrow 18% final energy demand
 : heat used in Germany's steel industry in one year.
 Blij 20 veeeral transport. van de 6 GT per jaar \rightarrow 3,2 transport (1,7 auto's, 0,8 trucks).

Roadmap "for most applications, commercialisa^o could start before 2020".

2017: in the next 5 years: medium sized and large cars, buses, trucks, vans, trains, ferilifts.

TRANSPORT

transport .. 1 van de 12 autos in D It/ Japan / South Korea / California

2020 [op #1
 • 10 à 15 mln cars + 500000 trucks.

2050 [
 • 400 mln auto's (25%)
 • 5 mln trucks (30%)
 • 15 mln bussen (25%)
 • 8% diesel trains vervangen door H2.

600 km rijdt meer dan voorheen.
- vergelijking met trucks: 500 km range. ~~om de 500 km Fastchargers~~
+ chauffeur om de 4,5 uur pauze. Roemenië okay.
→ 360 km per keer.

uitleg over verschil prijzen BEV en FCEV. Keer punten.
- 100 kWh → veel duurder. Gangbare model 60-70 kWh.
- kijken alleen naar investering → TCO → onderhoud. BEV: onderhoudskosten verwaarloosbaar.

600 km
- infrastructuur: 2,000 \$ / auto's. thuisladen: geen subsidie
2,000 (gewoon gemak), FCEV → geen een zonder subsidie.
snelladers → geen subsidie. Toch zelfs snell investeert.

- vergelijking ICE (per 2035 verboden) TCO afhankelijk van utilisa^o.

- veranderde gedachte: 2015 TU Dresden. 75% mensen in NL zouden een BEV overwegen maar 35% alleen als de range > 600 is. Sindsdien: publieke infrastructuur. Laden bij supermarkten + snelladers.

VERANDERD!

"flexibility of accepting customers for long distance rides implies higher revenue for taxi's"

→ autonomous driving + car sharing → juist leiden tot continuous gear^o. Ta laden zal sneller gaan maar batterij zal degraderen.

- vergelijken CO₂: whole lifecycle nodig. elektriciteit bepaalt uitstoot maar bij BEV → battery manufacturing.

ook al zou je alle Hz met SMR's op aardgas doen dan zou het 20-30% < fossiele engine (Internal Combustion Engine). oude argument: BEV haaft af van fuel mix elect. Fuel cell buses.

- vrachtwagen max geladen qua gewicht liever Hz dan batterij → maar stenen nemen. 99% vrachtwagens gaan niet om gewicht maar om volume. stenen ga je niet over 500 km vervoeren.

Juli 2021 "China is the world's largest growing markets for FCEV with 1,857 units sold tussen januari en mei in 2023" → 205% groei per jaar. 2022 → 5,4 mln elektrische auto's verkocht in China (+83,95%).

er is ook vooruitgang!

- sommige dingen zijn wel doorgegaan: 17,000 FC Fuelifts in gebruik bij Amazon die in 2013 → eigen elektrolyser op 1 site (Aurora, Colorado) → 225 fuelifts. (28/dec/2023). Walmart ook.

laar early elements → meer naar BEV. Geen betekening. Naar Hz → meer wind molens nodig!

trein debat

Teams Alstom begon. 6 Coradia iLint Hz geleerd in Duitsland maar bleken allemaal problemen te hebben. juni 2023 "hydrogen insight" → the misery line bestelling van 27. vervangen door bus die betaald wordt door Alstom. Sommige zaken hebben er niet veel mee te maken (testellen doen het niet, niet genoeg conducteurs om naar de opleiding te gaan). waarom besteld dan → tunnel tussen stations → geen plek voor overhead power lines.

Studie van Baden württemberg: Hz treinen 80% duurzamer dan elektrisch over 30 jaar.

↳ 2019 → "Fehlende Wasserstoffzüge".



Ampere iets over schepen en over aviatie → niet eerder dan 2050. bladzijde 39.

VANDAAG TANKSTATION

- Fueling stations Germany: 400 bij de 23. volgens Hz mobility 90 in Duitsland + oosteuropa.

(in Nederland rond 14).

China → mid 2022 250. 2030 → 1000 of meer. Kan nog wel.

Industrie 2030: 1 van 10 staal fabriek in Europa, NA, Japan ^{chemical plant} gebruikt Hz.

2050: 16t CO₂ - per jaar.

- "improving efficiency bij deploying BAT would achieve 50% van de uitstoot". staal uit Brazilië 1.3 ton CO₂/t
India 3.8.

- It is not possible to substitute blast furnace with an electric furnace.

Building heat & power

2030: 6,5 mln huishouden bleeded (tot 20%) en pure.

10% users connected to hydrogen - natural gas grid gebruiken micro wkk.

2050: 8% of global building energy use for heat & power from hydrogen.

voordeel: als er al een gasleiding ligt dan kan het worden hergebruikt. Upgrade infra + convert appliance. Rest van afgifte systeem blijft hetzelfde.

=> Nederland, Rusland, UK, België, Canada, VS, Zuid Korea

• je kan het opslaan: heel rare betekening over hoeveel meer duurzame cap. je nodig hebt om elektrisch te verwarmen. Blz 47.

• minder ruimtebeslag (+ geluid van warmtepompen).

• Leeds citygate: plan was om alle 750,000 bewoners tussen 2026 en 2029 te converteren. Blauwe H2 met CCS.

Industrial feedstock

2030: steel plants pioneering.

to a 15 ml methanol derivatives.

2050: 10% of crude steel product°

30% methanol / ethanol.

"we expect a range of efforts to demonstrate and commercialize the use of clean or green H2 in the industry to be "well underway" by 2030.

- 2017: shell + ITP power -> 10 MW PEM electrolyser in Duitsland. eind 2022 -> underway.

energysystem

2030: 250 to 300 TWh excess solar & wind converted.

20 power plants -> 100 a 200 TWh store.

200 TWh -> storage in salt cavern.

- een opslag sinds 1980 in Texas. Oostelijk eeuje in een lege gas veld (2017) · wikipedia.

2050: 500 TWh converted.
1500 TWh stored.
3,000 TWh stored.

NL → Statoil (Equinor) valteerfall, Gasunie → convert
Magnum in waterstof (1320 Mw).

wat moet er gebeuren?

"Industry has to bring down costs of hydrogen and applications through scale".

- 60% → large fueling stations

- 60% → FCEV (fuel cell minder dure dan onder platinum nodig).

- if produced at high volumes, it is estimated that hydrogen would already be cost competitive with gasoline using today's technology → \$ 4 per kg at the pump.
Low volume → 10 à 15.

hoe dit te bereiken: demand pull.

- solve chicken & egg problem → deploy infra with PPP.
- public procurement.
- tax incentive.

- Leeds project: extra rate on gas bills shared by all gas customers.

- subsidies for micro wkk.

- uptake in industry and power production requires hydrogen to be cost competitive with current processes and fuel.

→ Contract for difference, curtailment management, seasonal balancing, carbon pricing, remuneration.

Wat moeten overheden doen.

2020 → 2021
Tokyo

National action plan: Tokyo olympics should leave a hydrogen society as a legacy.

olympics werden met bijna een jaar vertraagd. aansprakelijk plan: power olympic village, 100 FC bussen, 500 Hz cars + tractors.

⇒ Cauldrons (2x wiel op waterstof) + 500 auto's van sponsor. maar 1 gebouw van de village.

Rapport University of Lausanne "the games were the 3rd least sustainable olympics sinds 1992" (16 zijn geanalyseerd).

Hydrogen insights 2023 Hydrogen Council & McKinsey en company.

"the state of the global hydrogen economy with a deep dive into renewable hydrogen cost evolution".

(145 members). "It is the hydrogen Council's perspective on the hydrogen industry's revolution".

Samenvatting

① hydrogen will play a crucial role in decarbonizing hard to abate sectors

inflection point

"its deployment is at an inflection point" ⇒ omslagpunt maar kan beide kanten op.

• **tailwind**: groeiende project pipeline + "supportive decarbonisation regulation".

• **headwinds**: cost increases, project delays, regulatory uncertainty & higher financing costs.

② project pipeline groeit.

1400 projecten aangekondigd. 7% has progressed past FiD.

electrolyse deployment → 16GW (2021 0.7GW) → 12GW has passed FiD.

③ regulatory landscape is evolving: RED III (mandate voor renewable hydrogen), cf Japan, tax credits by product" (vs). Maar nog veel onzeker (definities, implementatie).

Kosten!
(Gro Ai)

- ④ the clean hydrogen industry is facing headwinds. Costs & cost expectations are rising.
- LCOH \Rightarrow 4.5 to 6.5 USD/kg "if built today" (30 tot 65% meer dan gedacht) \Rightarrow higher labor, higher costs for building the balance of electrolyser plants, higher cost of Rnw power (+30%), 3 tot 5% higher costs of capital \Rightarrow verwachting 2.5 tot 4 USD/kg per 2030.

Announcements: 1418 projecten. 540 Europa.

193 miljard \$ per 2030. 248 America (maar andere schaal).

Alle landen groeien: 40 projecten India.

80% groei midden oosten, 50% groei China.

Announced

Committed

Jan 2023	200
oktober 2023	259

31

39

aan tal projecten + schaal

impact
export
+ minder announcements

verdeling: 75% supply, 10% infra, 15% end use.

Japan, Zuid Korea \Rightarrow vooral impact dus slechts 3% supply-focused investuit

lowest project pipeline maturity ($< 1\%$ FID) \Rightarrow Oceania, Latin America. Juist de landen die export als focus hebben.

end use \Rightarrow vooral China & Europa (past FID).

ammonia + industrie

end uses!

\rightarrow refining, mobility.

FID \Rightarrow met huidige prijzen \rightarrow \$1kW maximum. (4,000 €/kW).
mediaan 20 mln USD (dus echt pilot).

Ht/pt: 45 Mt/pt vanaf 2030. 75% renewable hydrogen. rest is "low carbon".

Announcements 2021 6 GW \Rightarrow electrolysis operational

by the end of 2022. operational deployment

okt 2023 \Rightarrow 1.1 GW (20%) operational.

geen 6 GW per eind 22

Middle east!

- Greatest reduction in announced capacity by 2025 is seen in the middle east and in Europe \rightarrow 30% ↓. delayed funding of challenges in securing offtake agreements.
- Global growth Renewable hydrogen announcements by 2030 ($> 6,5$ Mt p.a.) substantially outpaced low carbon hydrogen announcements (0,4).

meer aankondigingen

Meer aankondigingen voor elektrolyzers.

- * 305 Gw voor 2030 ipv 232 Gw die eerder bekend waren. \rightarrow past FiD flow 9 \rightarrow 12 Gw (55% in china, 15% middle east, 15% Europa). Hiervoor was china 40%.
- * 40 Gw \Rightarrow has entered the planning stage. \rightarrow 610 Mw demo.
- * installed capacity 1,1 Gw dus 7 jaar om x 250 te doen.
- * OEFers moeten echt hard aan de slag met opschalen supply-chain \Rightarrow 11 Gw capacity according to OEF "announcements".

Van de 1.1 zit 610 Mw in china.

- largest investu^T gap \Rightarrow infrastructuur. alleen 20% of required investu^T have been announced. Meer investering in supply + vraag (75% van alle total announcements).

te weinig info.

- 2 grootste projecten van de wereld: 150 Mw en 260. Dan VS/Duitsland 60 Mw. Dan Spanje/Zweden/Japan \pm 25 Mw. van de 12 Gw FiD \rightarrow 40% stated technology \rightarrow 80% alkaline / 20% PEM.

- 1100 hydrogen refueling stations \Rightarrow +60% tov 2021. De meeste in Asie (800 china, Japan, Zuid Korea). Europa 250 stations.

clean hydrogen costs have increased

levelised cost of hydrogen +30-65% \Rightarrow 4.5-6.5 USD/kg.

wat kan reduce
brengen.

Took "while these costs drivers may increase (CO₂H in the near term" → it could still decline to 2.5-4 USD/kg by 2030. En 1-2 USD/kg per 2050.

↳ electrolyser costs could fall as much as 45% by 2030 en 70% by 2050 compared with today.

• Wat zou tot reduce kunnen leiden?

- ramping up manufacturing capacity.
- designs to cost, minimising precious metal content.
- streamlining system designs.
- increase in power density + efficiency.
- Simplifica^o + Standardisa^o.
- Successive projects for learning rate.

TANK KOSTEN

• Tankkosten berekenen

- je kan niet 1 op 1 vergelijken liter vs kg.
- toyota Mirai = 5,6 kg tankinhoud → 650 km.
- januari 2024 = 18,95 - 25 kg = 106,12 €
- 25/1/2024 → 2,10 = 91 € (ongerekend 43 liter voor zelfde aantal km).

• Engeland: CCC → 2020 bijdrachte rapporten. Samen genomeen. CCS moet deel van oplossing gaan worden. blauwe water-stof. Hoe de waardeketen op gang brengen. Programma: geld voor lokale infrastructuur + project bij industriële cluster. T.site ⇒ CO₂ opslag locatie + pipe + gas centrale postcombustion CCS. ↳ sluitende business case.

NPE → verdieping 8 12 € / kg.
TRinomics 7,06 / 3,7 BW.
CE Delft 8,3
TNO 10,5 € / kg.

iedereen koplouper willen zijn.
42-60%.
RED III → goedgekeurd.
Drama.

- wat is de toegevoegde waarde van H₂ in een energiesysteem.
- Achteraf kan de commissie uittrekken welke exempties.
80% → ammoniak.
- Yara (dec 2023).

Doelstellingen RED III

2030 42%

85 60%

H₂ Nederland → 100 MW

Shell FiD → 200 MW

Baseload → blauwe waterstof.

Situatie in NL

- nog geen ervaring opgedaan met elektrolyse op grote schaal.
- ooit de 1 GW blauw druk van ISPT.
- er wordt een caveau klaar gemaakt (2030 → 3 à 4).
- Ambitie sinds klimaatakkoord 500 MW 2025 → 3 à 4 GW 2030.
- nationaal waterstof programma. bijv routekaart opstellen.
- opschakelingsinstrument + SDE++ + groen vermogen NL.
- NL neemt deel met Duitsland aan de tenderregeling tegen
↳ 300 mln beschikbaar om te concurreren waterstof-
dragers op de internationale markt te kopen.
- Hou's voor nu port: Bijv: Spanje, Australië, Saudi Arabië
- hydrogen backbone. Eerste deel beschikbaar in 2025.
(vooral noord Nederland) + ontwikkeling van regional
netwerken bij industrieclusters. 2025 → connecting.
- 85% bestaat uit existing pipeline. 27 okt 2023 → officiële
start door Willem Alexander.
- 2030-40 → power plants "vooral koolstofarme waterstof".
- "huidige inschattingen gaan ervan uit dat de kostprijs van
waterstof in NL rond 2030 rond de 12 euro/kg zal liggen.
(bereenshot x TNO in 2023).
- 2019 "waterstof in het klimaatakkoord": doelstelling
zou moeten zijn voor H₂ uit offshore wind 15-30 €/kg.

- Jorg Giggler TK i nieuw gas: 1 MW in zuidwending, 1,4 MW in oostwending. Pechhydrogen test 1 MW op offshore platform
- komt 5 MW in Nieuw Bunnik in 2024.
- Shell Holland hydrogen 1 → 200 MW. November 23 design bekend gemaakt. 2024-2025 gereed?
- Djewels 20 MW Nabian nog geen FiD (eerste deel 2024). maatwerksubsidie eind november door EZK toegekend (80 mln €) ⇒ bio MCN voor de productie van groene Methanol

IEA (2019) The future of hydrogen.

vergelijking tussen kosten USD/kWh en rapport McKmeyer.

Kleur:

- blauw: SMR + CCS
- turquoise: ^{ATR}pyrolyse.
- grijs: aardgas (zonder CCS)
- paars: direct vanuit kernenergie (zonder elektriciteit)
- wit: natuurgas (diep) → maar ook bijproduct industrial processes.
- bruin: lignite/kolen.
- geel: grid-energy.