

Waterstof

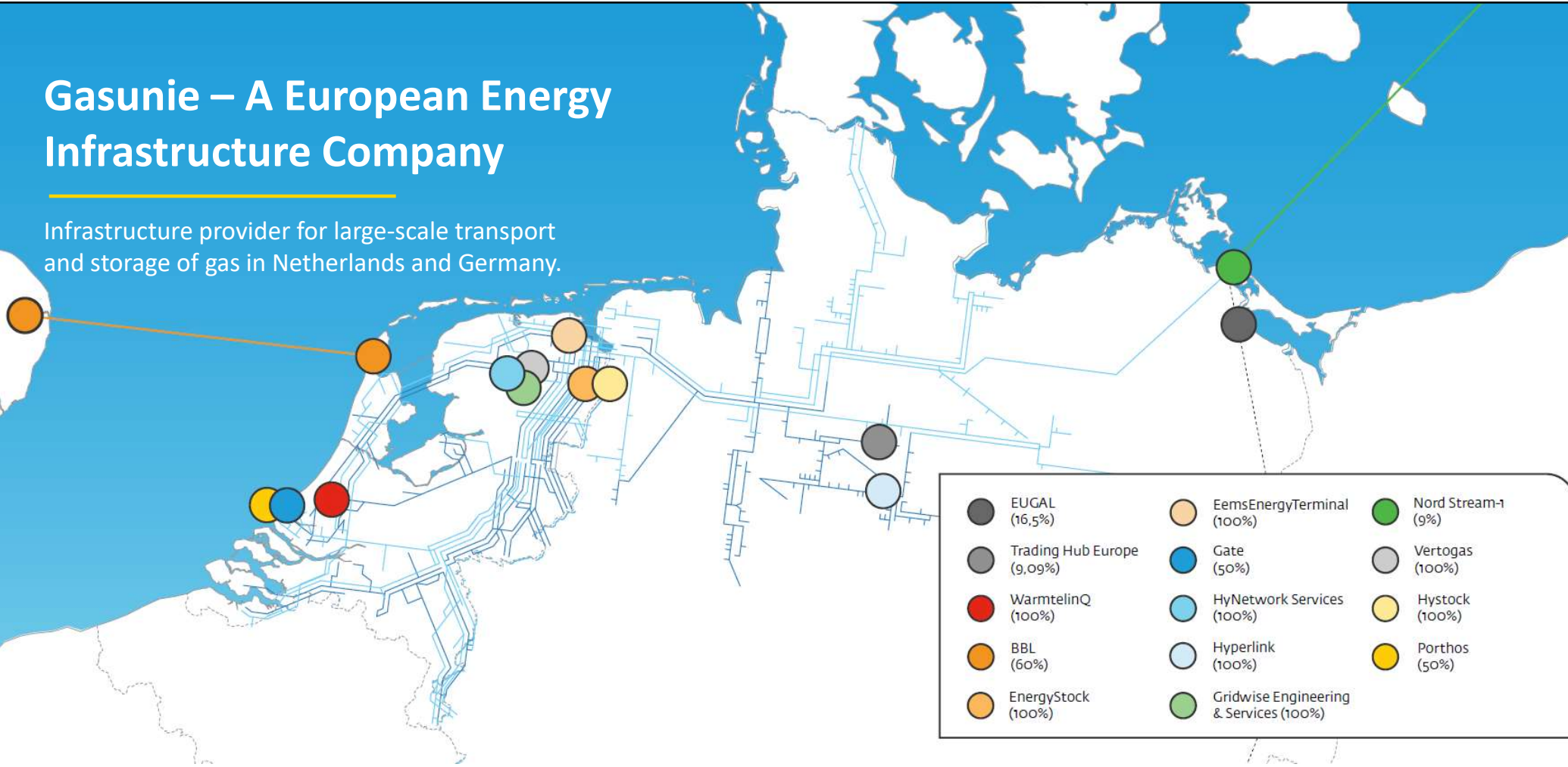
Presentatie voor het KIVI

Adriaan de Bakker



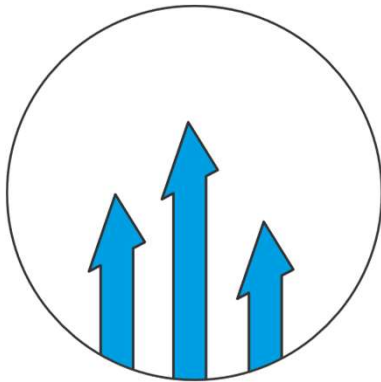
Gasunie – A European Energy Infrastructure Company

Infrastructure provider for large-scale transport and storage of gas in Netherlands and Germany.



Gasunie - strategie

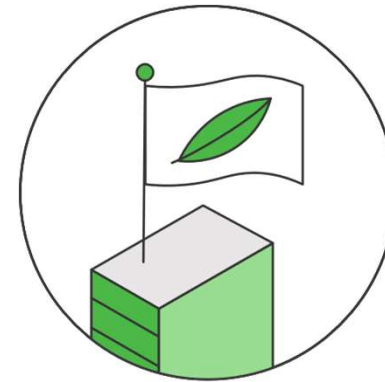
Optimising the value
of our existing assets



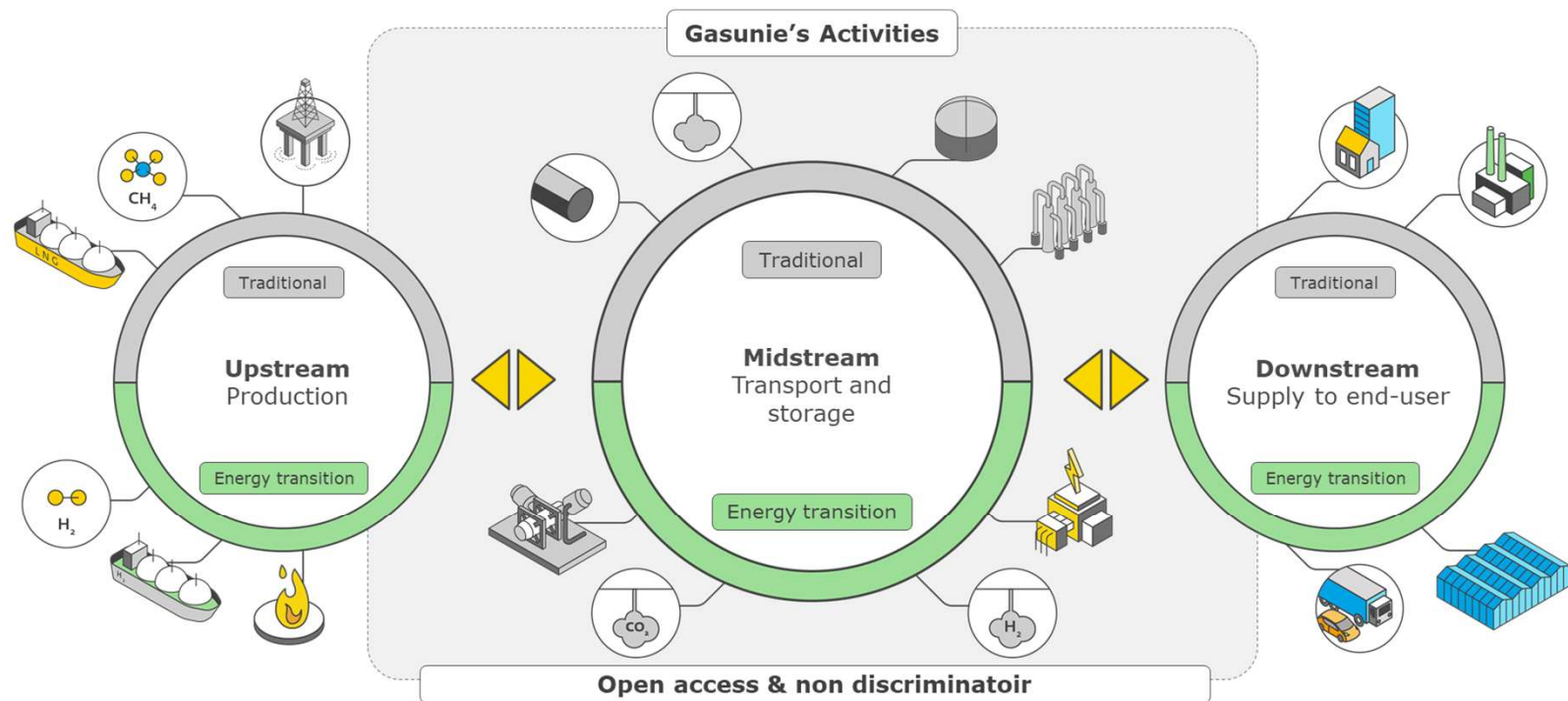
Strengthening
our leading position
as cross-border gas
infrastructure company in
Europe



Making the transition towards
more sustainable energy use
possible



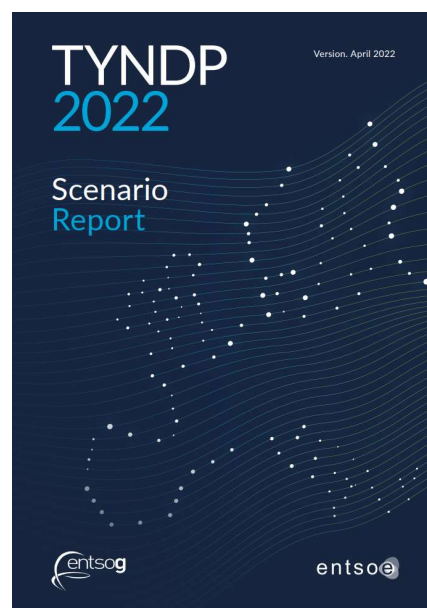
Gasunie – een verbindend element voor energie



Hydrogen is part of a broader focus on the energy transition.



Omgaan met onzekerheden - scenario's en systeemanalyses



En nog talloze andere rapporten van organisaties: Eurelectric, Hydrogen Europe, Gas-for-Climatic, Fraunhofer Institut, Europese Commissie (JRC), PBL, etc. etc.

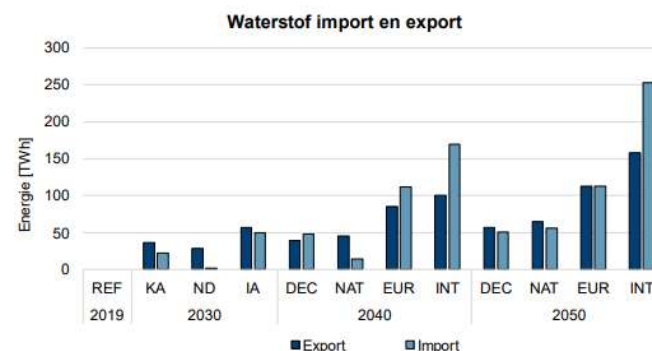
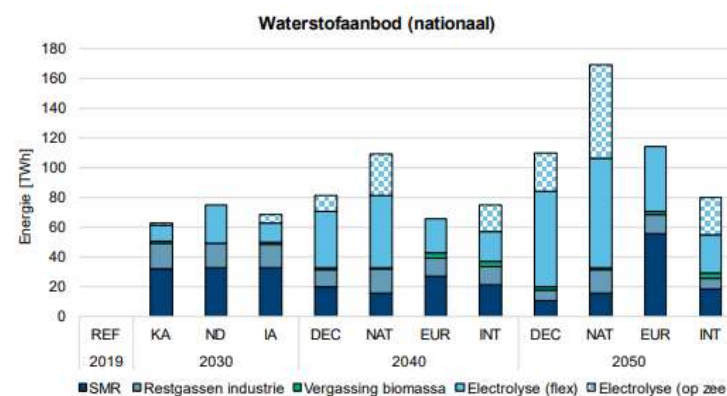
Waterstof is één van de essentiële bouwstenen voor een CO2-neutrale toekomst

- Percentage waterstof en elektriciteit Nederland in 2050 (II3050):

Scenario's	REG	NAT	EUR	INT	NAT*	EUR*
Elektriciteit	58%	58%	52%	49%	58%	52%
Waterstof	10%	20%	26%	28%	20%	26%

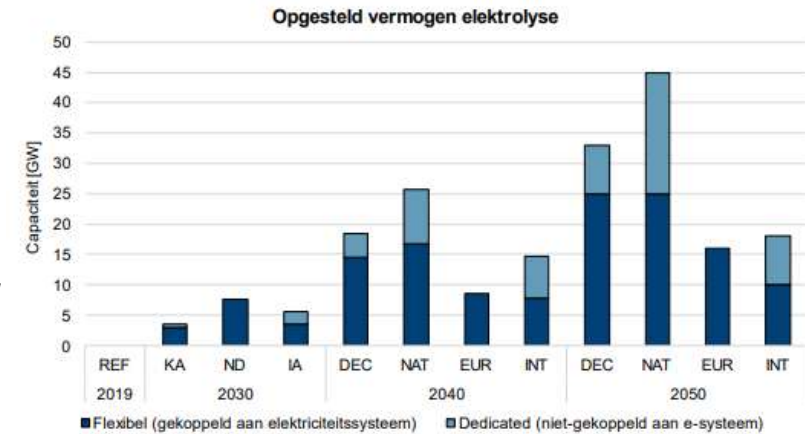
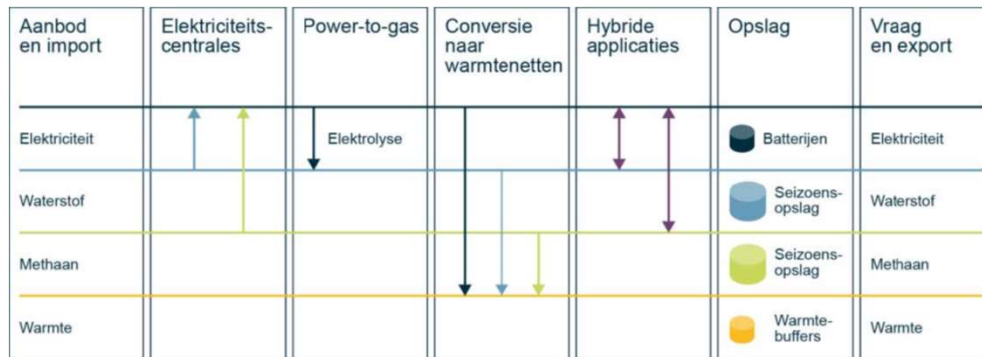
- Percentages energiedragers Europa (ENTSO-G/E):

	Reference	Distributed Energy			Global Ambition		
		2030	2040	2050	2030	2040	2050
Electricity	20%	27%	36%	46%	26%	32%	38%
Hydrogen	0%	2%	10%	17%	3%	12%	21%
Methane	21%	19%	15%	11%	21%	17%	14%
Liquids	40%	33%	21%	8%	34%	21%	11%
Solids	5%	3%	2%	0%	3%	2%	0%
Biomass	7%	7%	8%	8%	7%	8%	9%
Others	7%	9%	9%	9%	7%	7%	6%



Elektrolyzers

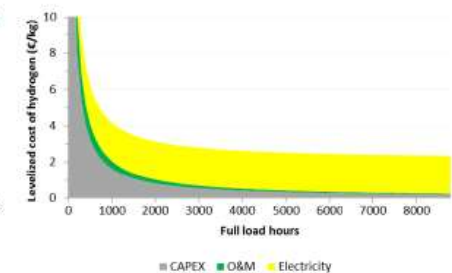
- Electrolyzers converteren elektriciteit in waterstof. Daarnaast veel P2X varianten.
- Wereldwijd nu 700 MW operationeel, en in 2030 zou er 175-420 GW kunnen staan (12 GW nu met FID)
- Wereldwijde productiecapaciteit van elektrolyser fabrikanten in 2022 was 14 GW/jaar, zou 155 GW/jaar in 2030 kunnen zijn
- Efficiënties typisch 65%(OW) tot 76%(OW) (51-44 kWh/kgH₂), verschillende laboratoria halen 80%(OW) (=95%(BW)=42 kWh/kg)



H₂-productiekosten (4/5): PEM elektrolyse - laag

Aannamen/sluitpunten:

- CAPEX: 460 €/kW
- Levensduur 20 jaar
- Geen stack vervanging
- Afschrijving 10 jaar
- WACC: 8%
- O&M: 2%/j (van CAPEX)
- Verbruik: 47 kWh₂/kg H₂
- E-prijs: 45 €/MWh (incl. leveringskosten)

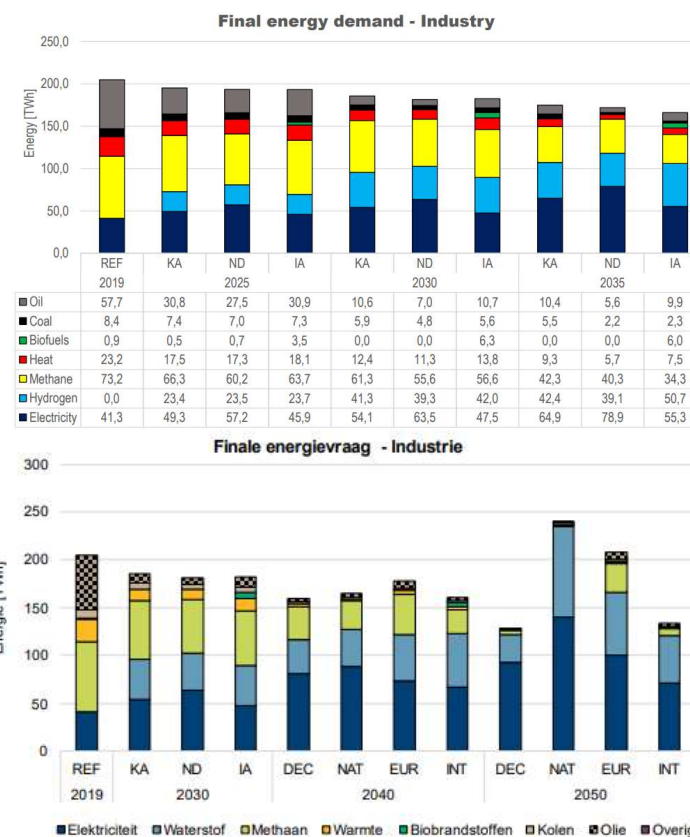


ecn.nl

Electricity input ⁽¹⁾		Today	2015	2020	2025	2030	
kWh _{el} /kg _{H₂}	Alkaline	Central	54	53	52	51	50
		Range ⁽²⁾	50 - 78	50 - 73	49 - 67	48 - 65	48 - 63
	PEM	Central	57	52	48	48	47
		Range ⁽²⁾	50 - 83	47 - 73	44 - 61	44 - 57	44 - 53

Waterstof in de industrie

- Momenteel gebruikt de industrie 175 TWh grijze waterstof, hoofdzakelijk voor kunstmest productie en raffinage.
- Deze sectoren zullen vergroenen (ook met ammoniak). Daarnaast zal staalindustrie waterstof gaan gebruiken, en ook deels de hoge temperaturen industrie. Regulering (ETS, REDII) speelt hierbij een belangrijke rol.
- (Onzekere) inzet van waterstof voor synthetische brandstoffen, en chemicaliën (plastics) (alleen NAT en EUR scenario).



N.B.: alleen energie getoond, niet de feedstock

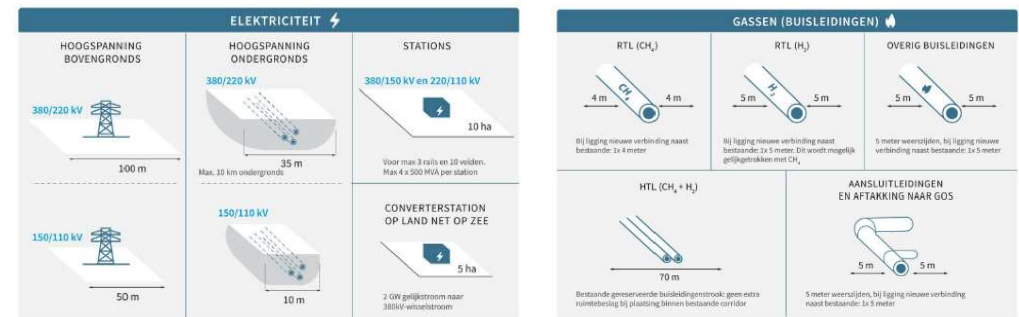
Elke energiedrager heeft zijn eigen voor- en nadelen. Een goed energiesysteem combineert deze optimaal.

Drager	Voordelen	Nadelen
Elektriciteit	<ul style="list-style-type: none"> • 100% exergie en hoge efficiëntie (conversies en toepassingen) • Meeste schone/CO2-vrije energie productie zon, wind, hydro, kern) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lage energiedichtheid • Niet-stuurbare fluctuerende productie • Gebruik van relatief veel grondstoffen
Methaan	<ul style="list-style-type: none"> • Nu volop fossiel gewonnen • Koolstof is een efficiënte waterstofdrager • CCS kosten zijn soms beperkt 	<ul style="list-style-type: none"> • Fossiele CO2 emissies • Niet duurzaam • Brandbaar/explosief
Waterstof	<ul style="list-style-type: none"> • Redelijke energiedichtheid, dus lage kosten van transport en opslag (tov elektriciteit) • Hergebruik van aardgas infra mogelijk 	<ul style="list-style-type: none"> • Extra conversiekosten • Markt en infrastructuur maar beperkt aanwezig • Brandbaar/explosief

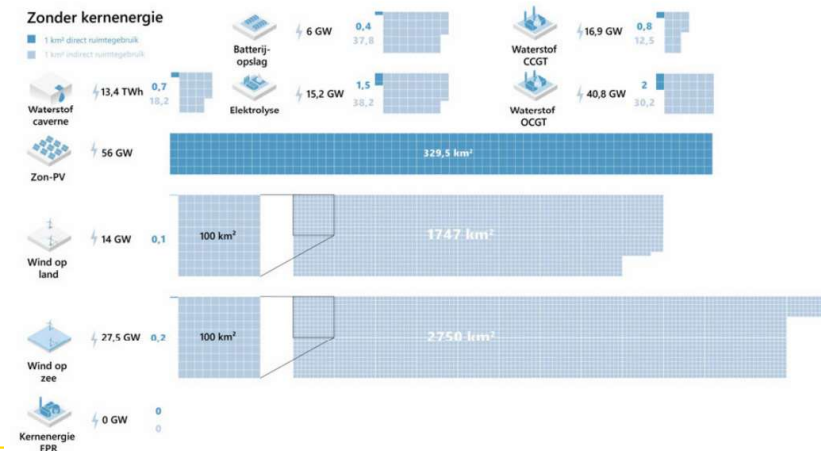
- Bovenstaande tabel zou veel groter kunnen: andere dragers (ammoniak, methanol, olie, biomassa, DME, ijzerpoeder, warmte, etc.), meer aspecten (ruimtebeslag, kosten, efficiëntie, TRL, versnellingspotentieel, leveringszekerheid/geopolitiek, gebruik grondstoffen, etc.)

Ruimtebenutting wordt steeds meer een overweging bij de energietransitie

	Decentraal	Nationaal	Europees	Internationaal
	Wind: 1.875 km ² Zon: 580 km ² Wind zee: 4.500 km ²	Wind: 2.500 km ² Zon: 580 km ² Wind zee: 7.200 km ²	Wind: 1.250 km ² Zon: 350 km ² Wind zee: 3.800 km ²	Wind: 1.250 km ² Zon: 350 km ² Wind zee: 4.600 km ²
EHS/HS	pm	pm	pm	pm
DC-conv.	■	■	■	■
OS	■	■	■	■
MS/MS	■	■	■	■
MS/LS	■	1000 voetbalvelden	1000 voetbalvelden	1000 voetbalvelden
Batterijen	■	■	■	■
Power-to-gas	■	■	■	■
Gascentrale	■	■	■	■

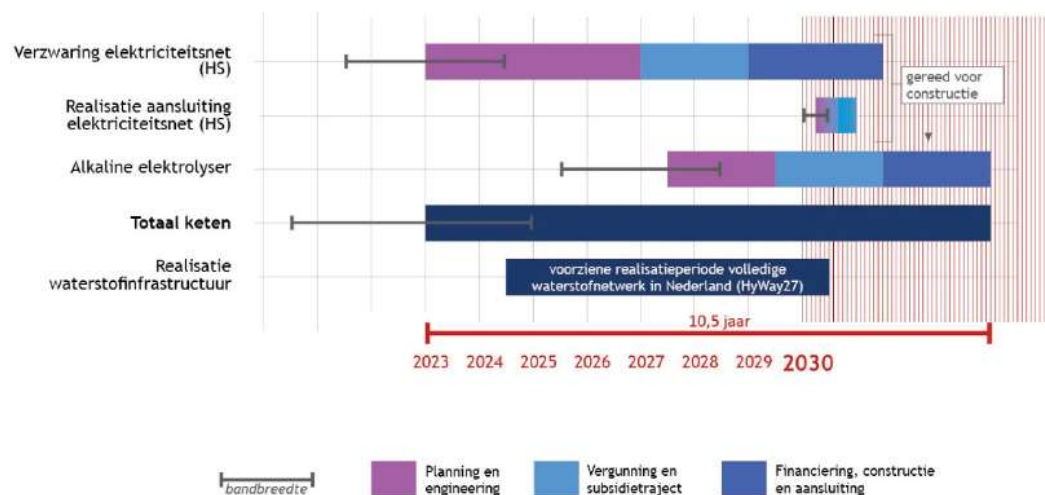


Afbeelding 6.1 Ruimtegebruik voor Nederland in 2050 zonder kernenergie

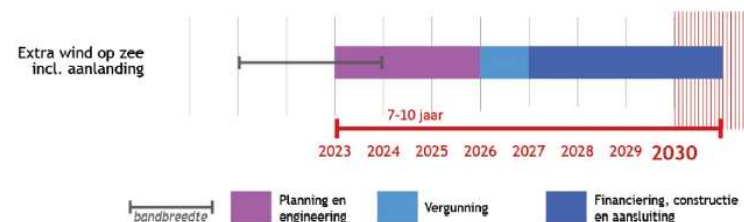


Doorlooptijden en versnelling worden steeds meer overwegingen bij de energietransitie

Tijdelijne keten realisatie grootschalige waterstofproductie

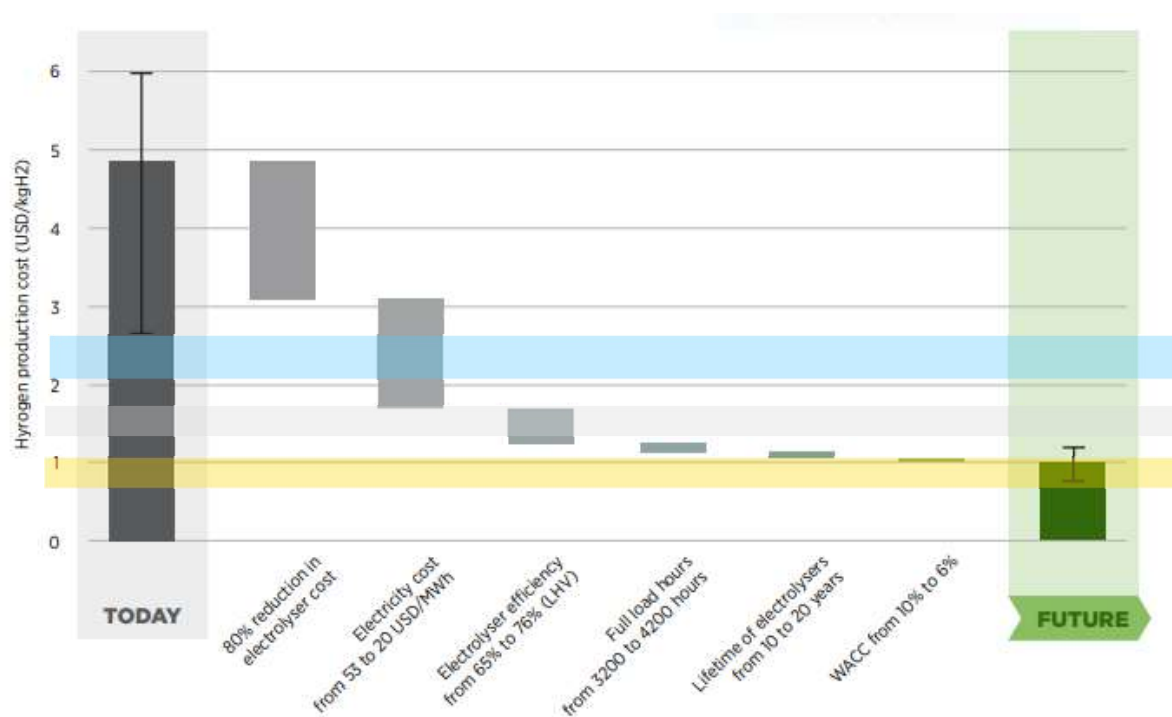


Tijdelijne realisatie extra wind op zee



Technologie	Realisatie in 2021 en/of 2022 (GW/jr)	Gevraagd (NAT) - lineair profiel (GW/jr)	Benodigde versnellingsfactor
Zon PV	3,8	6,2	x 1,6
Wind-op-land	0,8	0,6	x 0,7
Wind-op-zee	0,5	2,8	x 5,6
Systeem-batterijen	nihil	1,4	x >100
Elektrische vervoer (aantallen)	85.000	340.000	x ca. 4
Elektrolyzers	nihil	1,8	x >1.000

Waterstof kosten



Bron: International Renewable Energy Agency

Voor iedere 100 €/tCO₂,
komt er voor aardgas nog
0,6 €/kgH₂ aan kosten bij

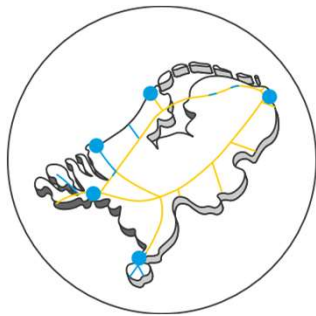
Subsidies &
CO₂ tax

Blaauwe H₂ prijs

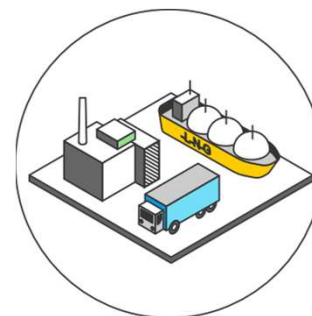
Grijze H₂ prijs

Aardgas prijs

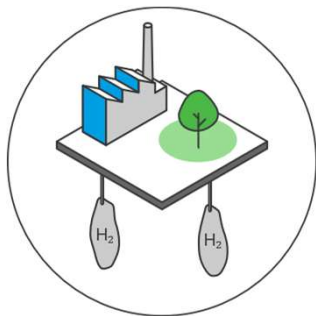
Met een TTF prijs van 80
€/MWh, in plaats van een
normale 20 €/MWh, komt
dit neer op 2,7 €/kgH₂!



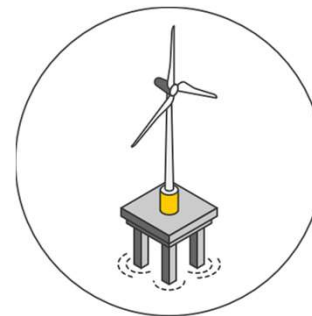
Transport



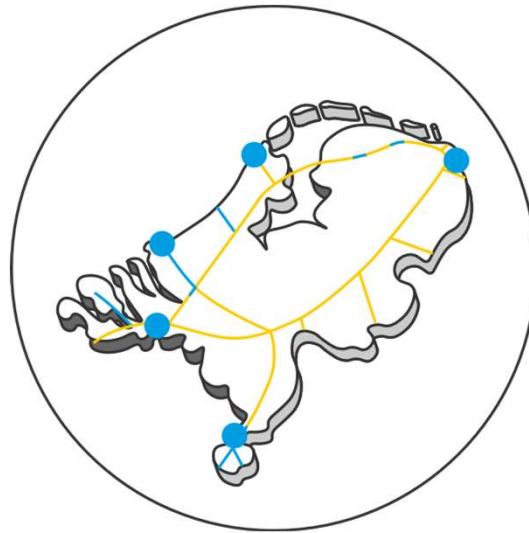
Import



Storage



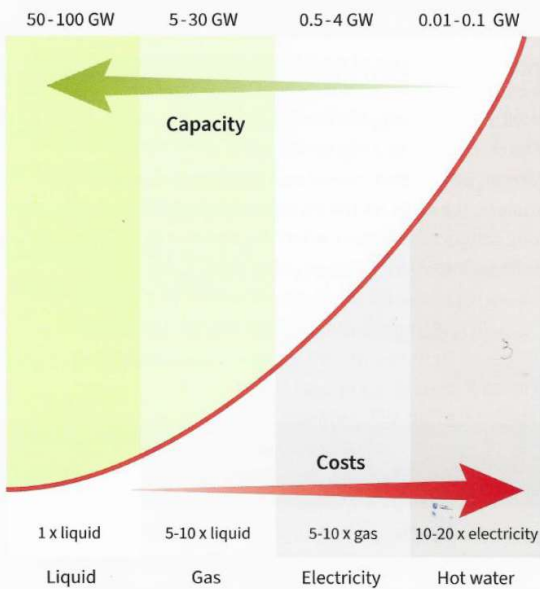
Offshore



Transport

Transportkosten van energiedragers bepalen (via hun energiedichtheid) mede de systeemkeuzes

Transportation cost and capacity for energy carriers *)



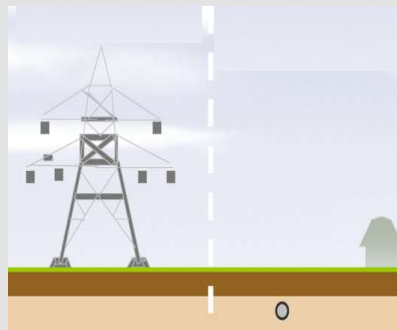
Aloude energie adagium:

- Aardolie (vloeistof) is een wereldmarkt
- Aardgas (gas) is een continentale markt
- Elektriciteit is een nationale markt
- Warmte is een lokale markt

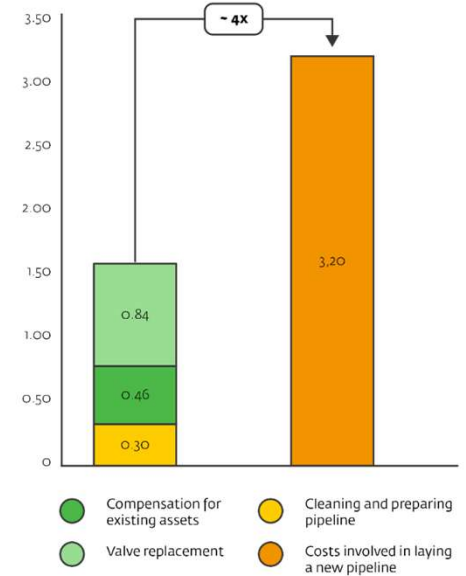
1 waterstofleiding kan evenveel energie vervoeren als 8 hoogspanningslijnen

Transport per waterstofleiding is tot 20 keer goedkoper als elektriciteit

**Huidige gascapaciteit is groot:
NL gasnet: 350 GW
NL E-net: 20 GW**



Comparison of per-km investment required for reuse and new-build (millions of € per km, based on 36-inch pipeline)

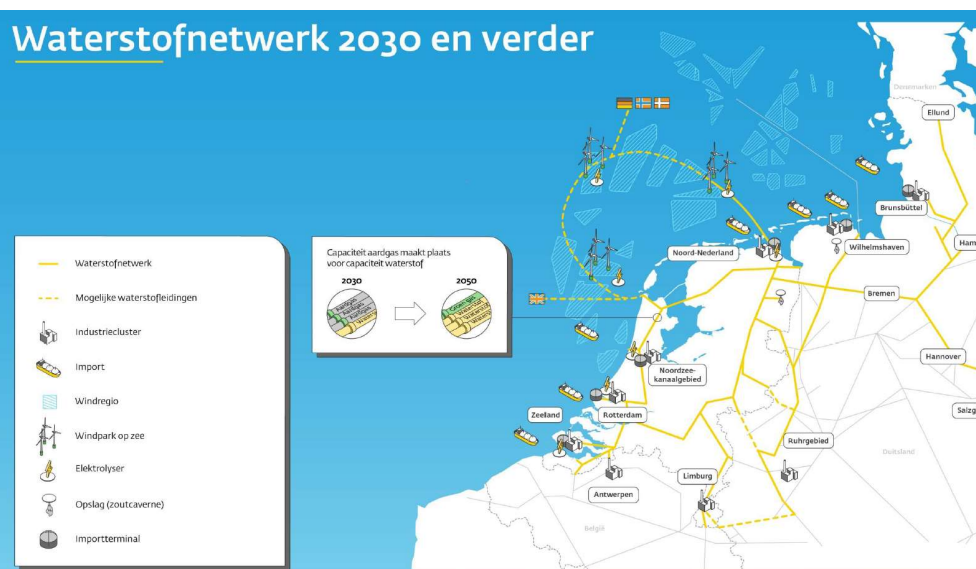


In Nederland en Europa wordt hard aan een grootschalige waterstof infrastructuur gewerkt

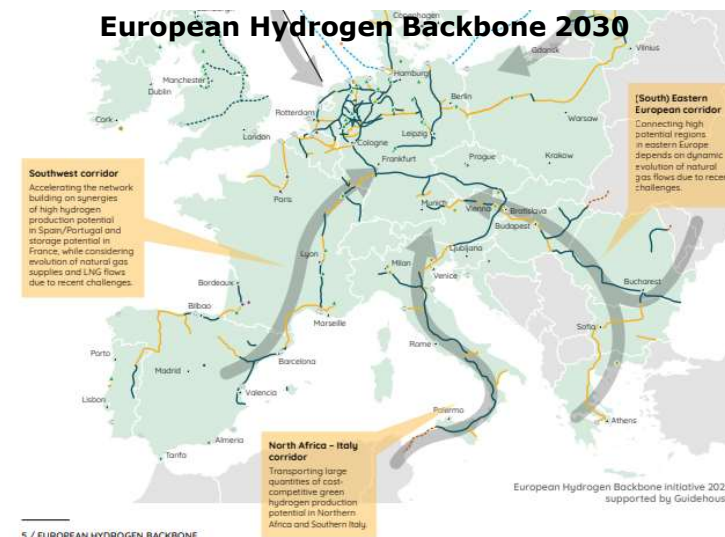
Bestaande kleinschalige leidingen (Air Liquide, Air Products)



Waterstofnetwerk 2030 en verder



European Hydrogen Backbone 2030



Gasunie is bezig het waterstof netwerk te ontwikkelen



Eerste €100 miljoen voor start waterstofnet: 'Nederland wordt toegangspoort Europa'

De Telegraaf.nl | Theo Besteman | 27 jun 2023 11:30
Gasunie investeert ruim €100 miljoen in het eerste deel van een nieuw Nederlands netwerk voor transport van waterstof naar de grote industriële bedrijven. De eerste dertig kilometer pijpleiding...

Gasunie start met aanleg Nederlands waterstofnetwerk

BNR Nieuwsradio | 27 jun 2023 17:03
Na de zomer start in Rotterdam de aanleg van een landelijk waterstofnetwerk. Dat moet op termijn vijf industriële clusters in Nederland met elkaar verbinden. 'Er is lang en veel gepraat over...










Nieuwe poort voor groene stroom; Gasunie steekt (EURO)100 miljoen in spinnenweb transport schone energie vanaf zee

De Telegraaf | Theo Besteman | 28 jun 2023 03:16
Gasunie steekt €100 miljoen in spinnenweb transport schone energie vanaf zee Gasunie investeert ruim €100 miljoen in de aanleg van het eerste deel van een nieuw Nederlands netwerk voor transport...

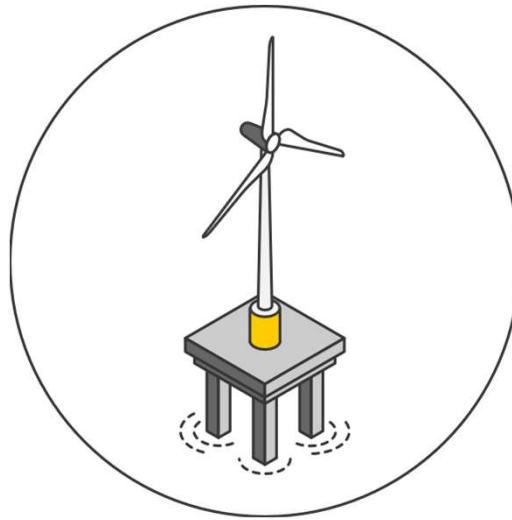


IPCEI Project HyPerLink

- a 660 km in total: integrated hydrogen pipeline grid.
490 km: conversion of existing natural gas pipelines.
170 km: construction of new pipelines.
- b Transport capacity up to 7.2 GW hydrogen.
- c Construction in three phases: start of operation in 2025, 2026-2028 and 2030.

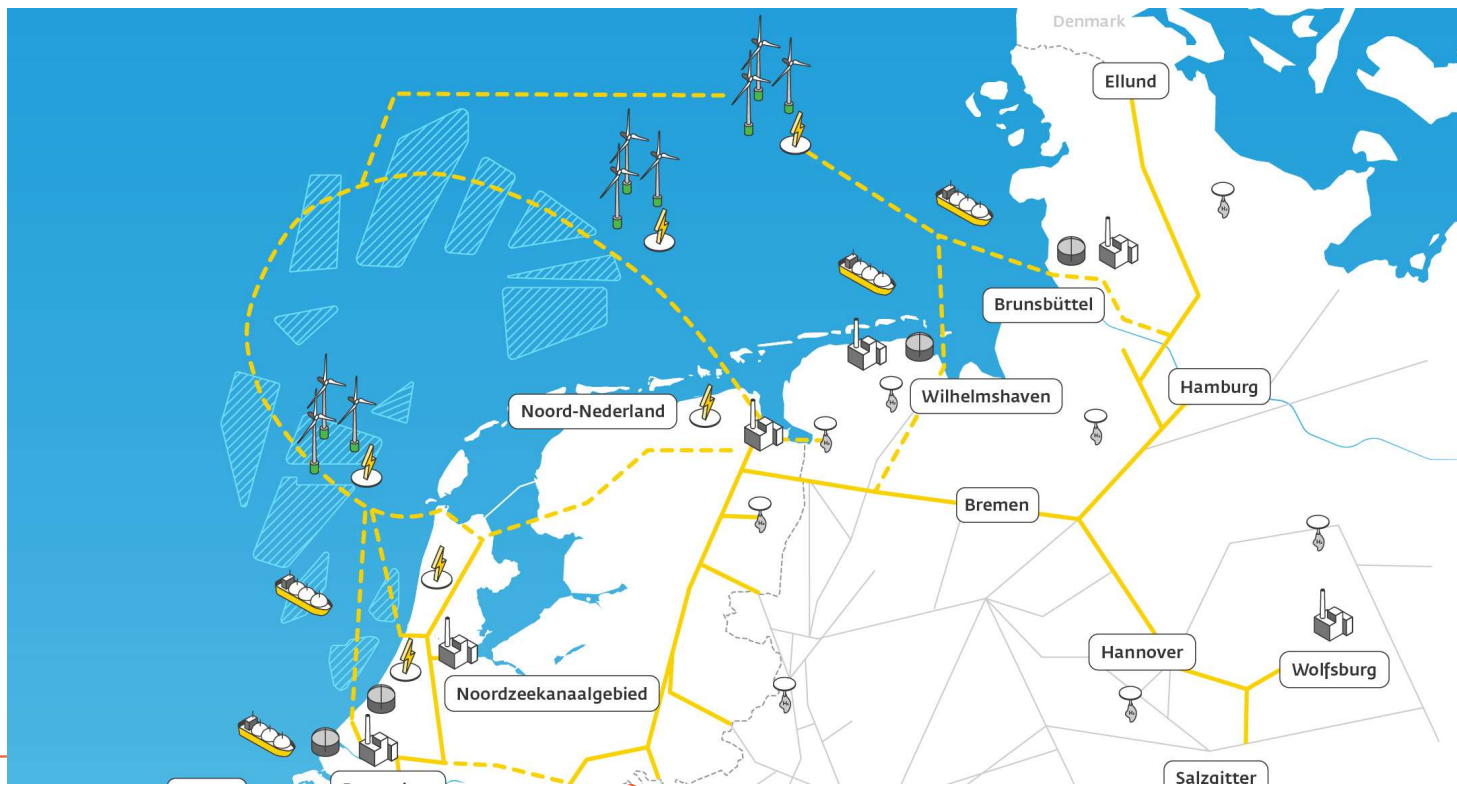
 Industry	 Gas storage
 Steel industry	 Start of operation
 Harbour	 Local and regional mobility
 HyPerLink pipelines	 Other pipelines
 Electrolysis	





Offshore

Offshore waterstof infrastructuur is nodig om een deel van de offshore wind energie efficiënt naar Nederland te brengen



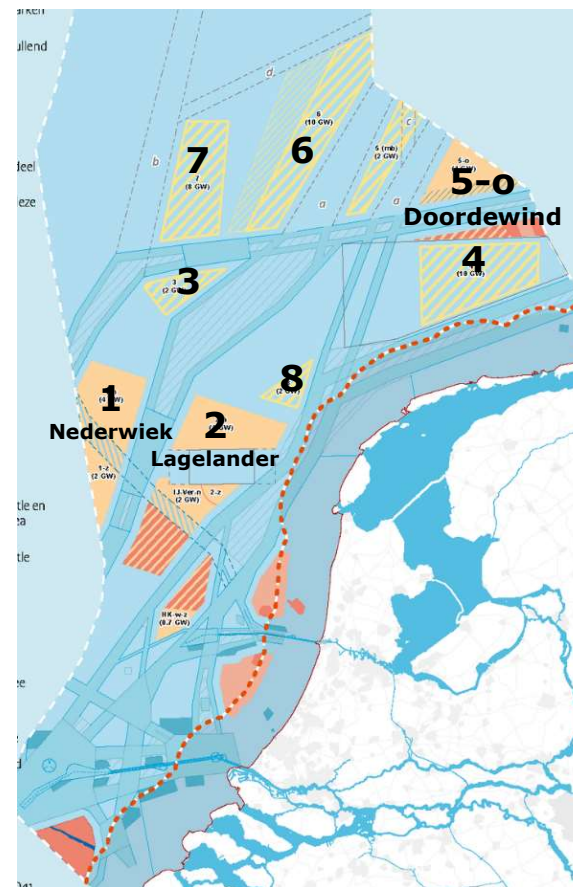
De energiehub

Fundamentele veranderingen in het energiesysteem vergen een nieuwe aanpak voor wind op zee. Lange termijn robuuste aanpak voor de uitrol van wind op zee.

Een energiehub moet minimaal 2 van de 3 functies hebben:

- **Convert**
- **Collect**
- **Connect**

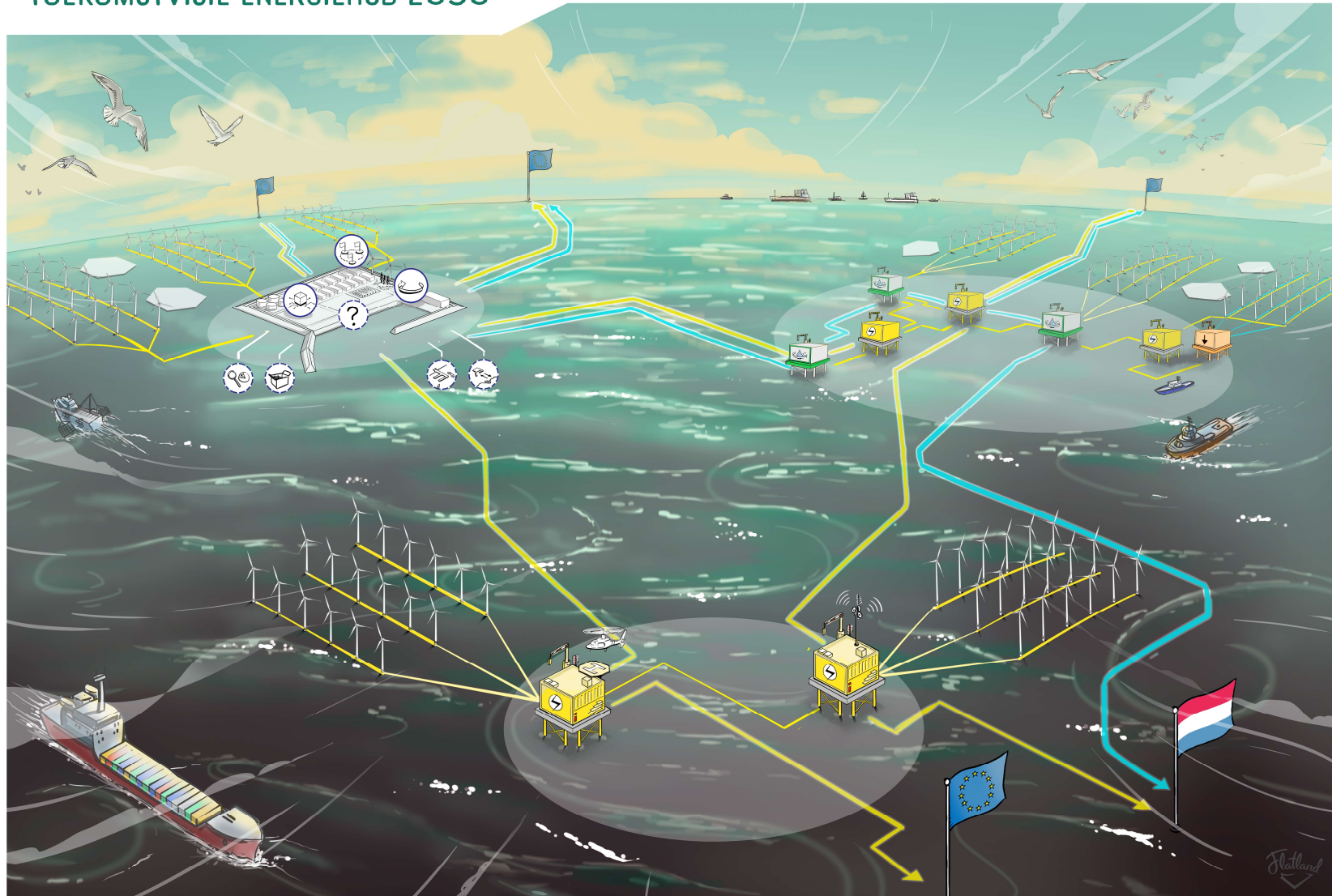
Het kan een platform zijn of een kunstmatig eiland: de vorm is flexibel



TOEKOMSTVISIE ENERGIEHUB 2050

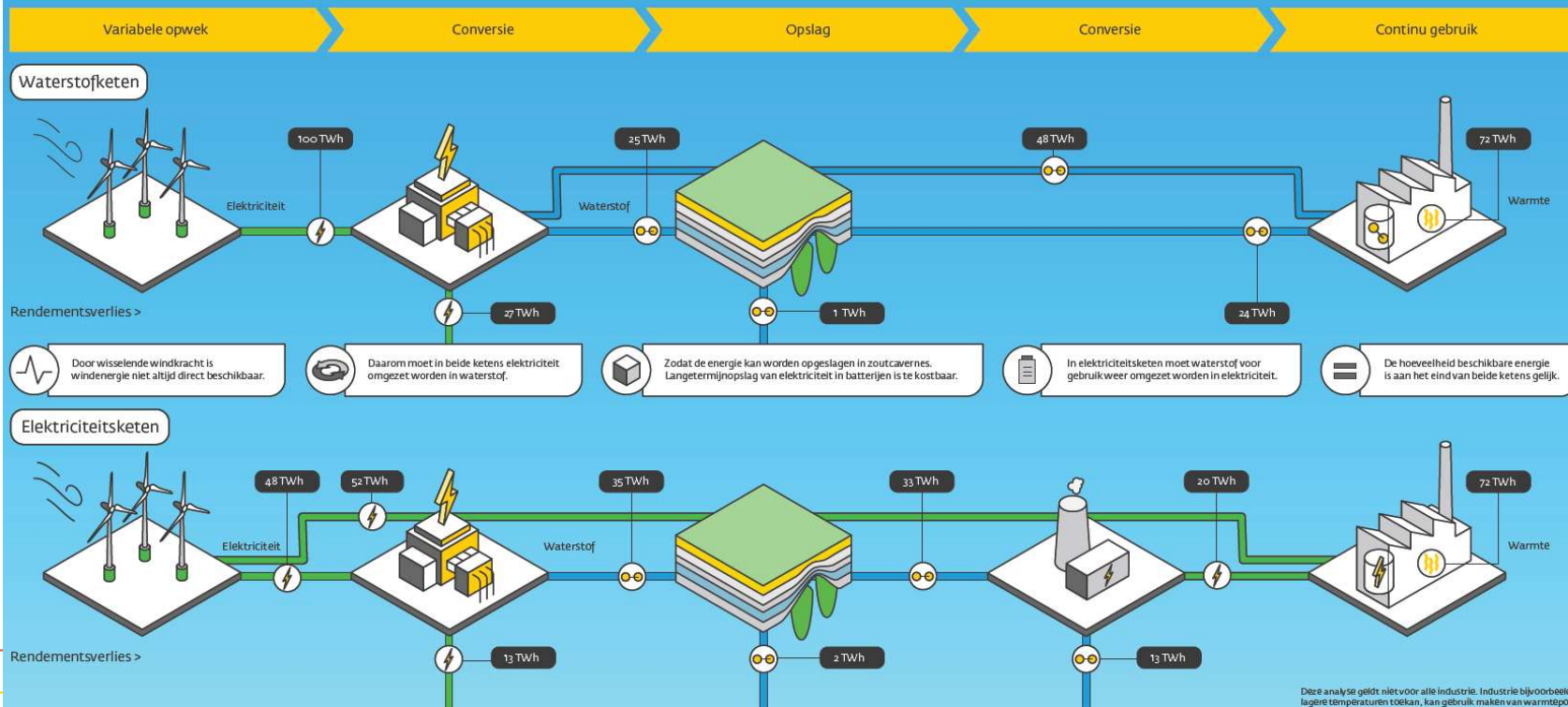
gasunie

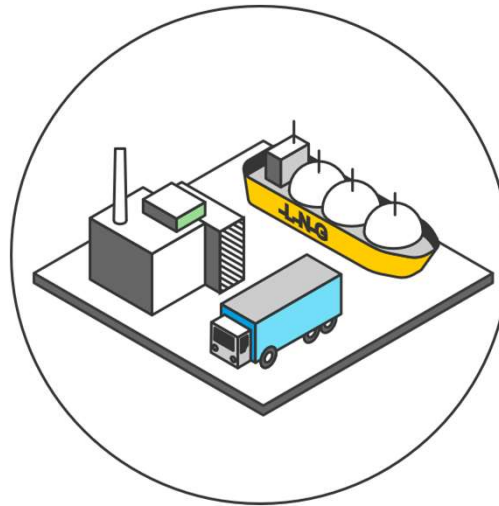
Tennet



De efficiëntie van een waterstof keten is gelijk aan een elektriciteit keten (als je de wind fluctuaties moet oplossen)

Het rendement van waterstof is gelijk aan dat van elektriciteit voor het voorzien in warmte aan de industrie (beide 72%). Er gaat dus niet onnodig veel energie verloren bij waterstof, zoals vaak gedacht. Ook de kosten zijn voor beide ketens vergelijkbaar.





Import

Om aan de Europese vraag naar groene waterstof te voldoen is import van een reeks landen noodzakelijk

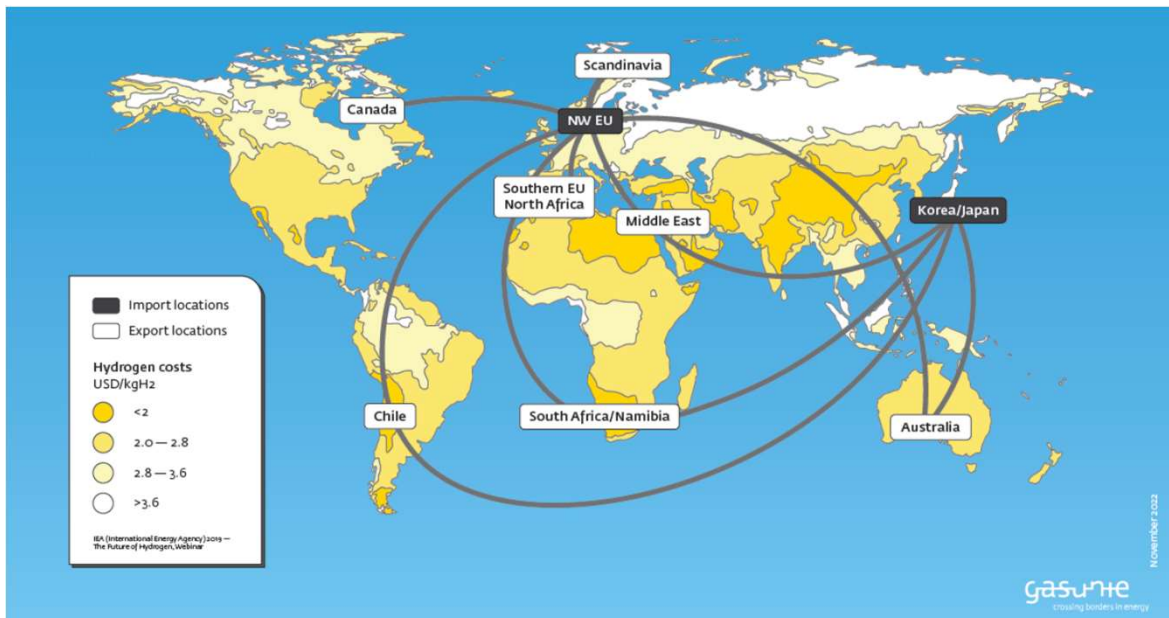
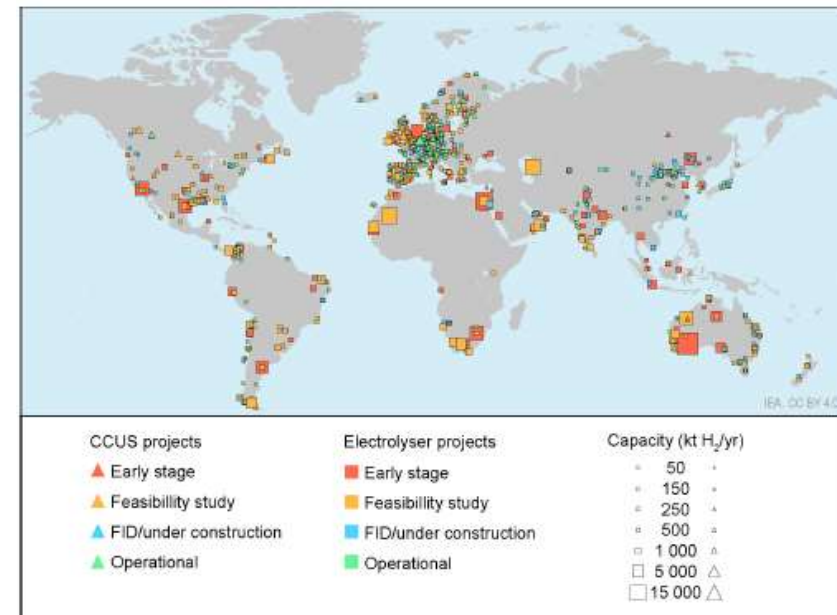
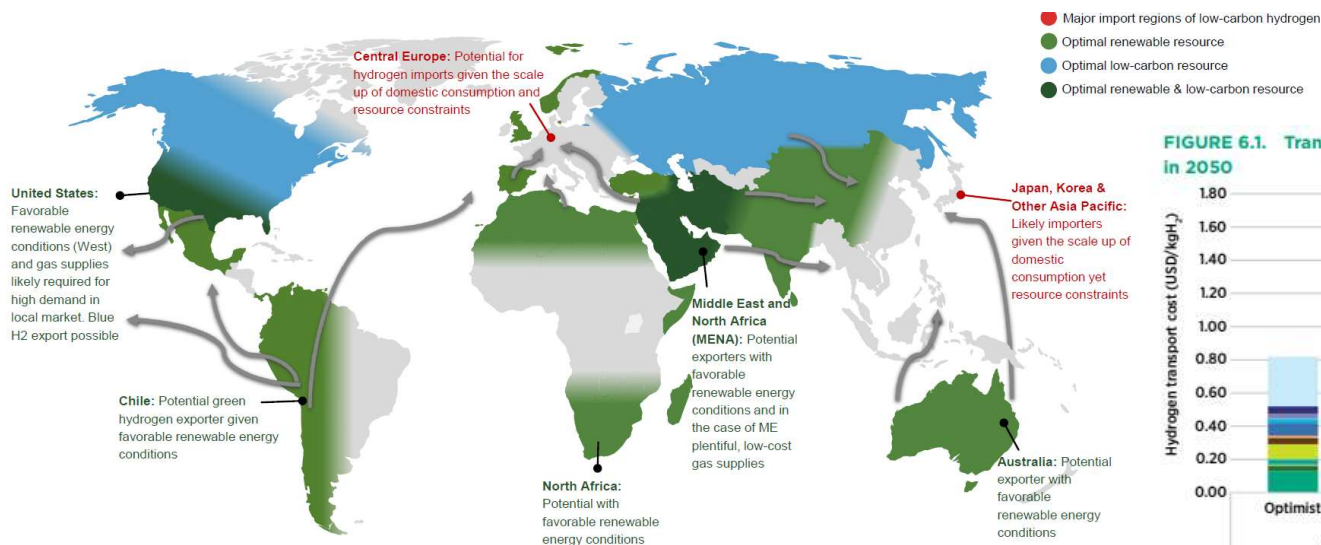


Figure ES.1 Map of announced low-emission hydrogen production projects

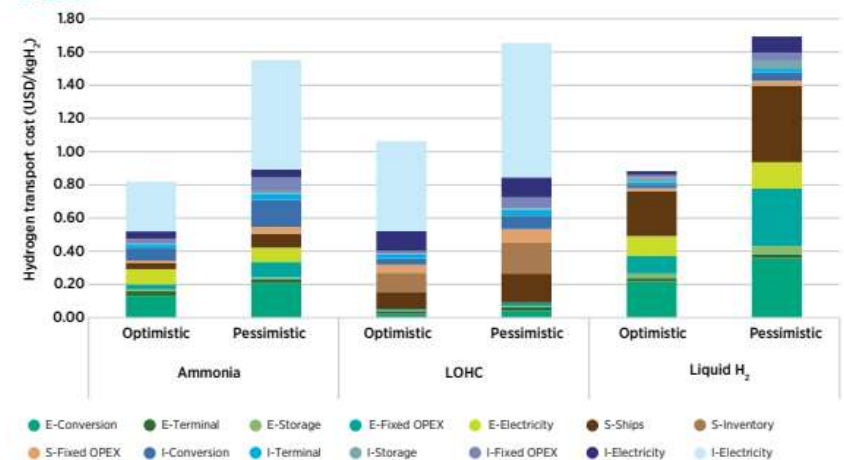


Productiekosten, transportkosten, subsidies en regulering (IRA, ETS, CBAM, REDIII, etc.) en kostenontwikkelingen zullen bepalen welke transportstromen gaan ontstaan, met welke energiedragers



Source: Goldman Sachs Global Investment Research,

FIGURE 6.1. Transport cost breakdown by hydrogen carrier, scenario and cost component in 2050



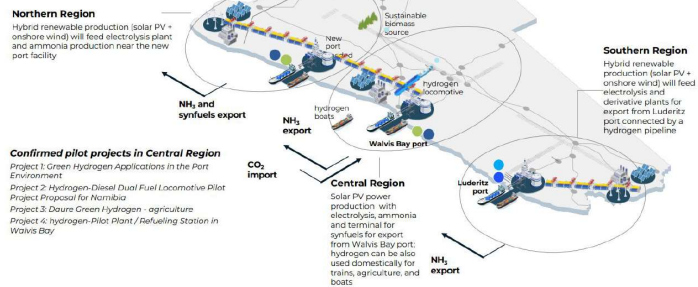
Notes: Costs are for a 1 MtH₂/yr export flow and a distance between ports of 10 000 km. Cost components are divided by part of the value chain: E = exporting country; S = ships; I = importing country. Refer to Figure 1.3 for the scope of these costs.

Namibië en Saoedi Arabië (NEOM) zijn bijvoorbeeld landen met potentieel goedkope waterstof productie en interesse voor export

Namibia's Green Hydrogen Ambitions

Vision for Namibia's three green valleys

illustrative

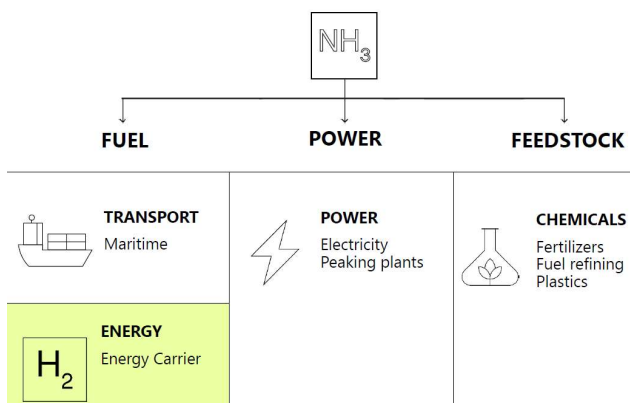


NEOM GREEN HYDROGEN PLANT

BUILDING THE WORLD'S LARGEST GREEN HYDROGEN PLANT

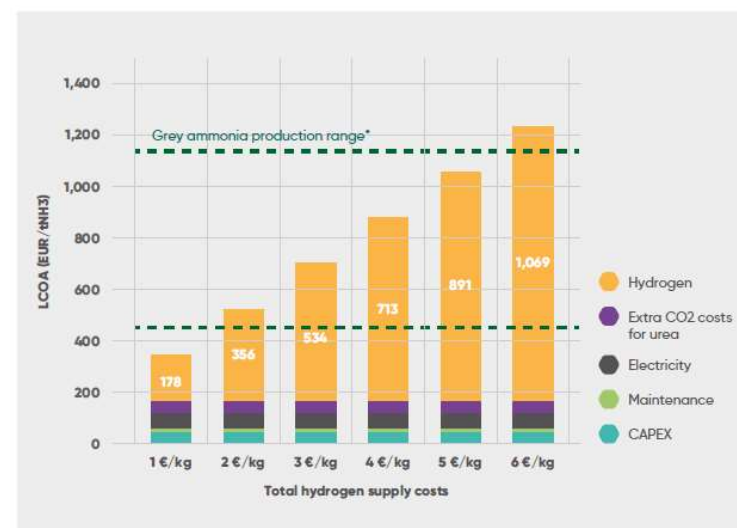


Groene of blauwe ammoniak word gezien als grote en uiteindelijk goedkope bron van geïmporteerde energie. Gebruik zal vooral in feedstock en zeescheepvaart zijn, naast conversie naar waterstof en direct gebruik



- + Today, the cost of renewable ammonia is currently an estimated **USD 650-800 per ton** at locations with the best solar and wind resources
- + By 2030, expected to decrease to **USD 450-500 per ton** and, by 2050, to USD 310 per ton
- + NG-based ammonia USD 110-340 per ton. CCS would add USD 100-150 per ton, resulting in costs up to **USD 210-490 per ton**
- + In optimal locations, renewable ammonia could be cost-competitive with fossil-based ammonia with CCS from 2030

Figure 1: LCOA FOR GREEN AMMONIA DEPENDING ON RENEWABLE HYDROGEN SUPPLY COSTS.
Source: HYDROGEN EUROPE.



Note: Grey ammonia production range estimated for CO2 cost of 75 EUR/t and natural gas cost range between 20 EUR/MWh and 110 EUR/MWh

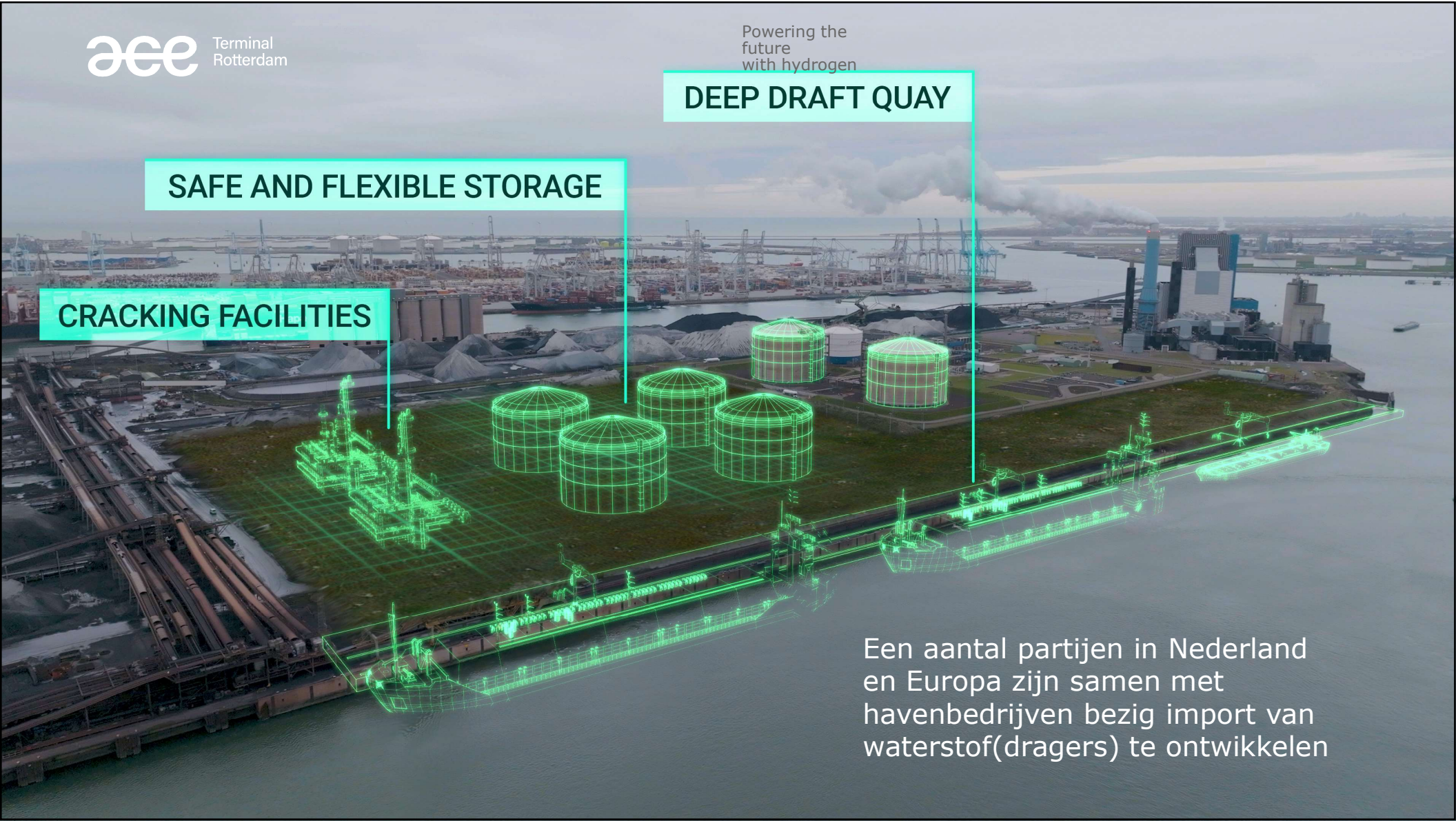
Grey ammonia price range: 400-1200 €/t

DEEP DRAFT QUAY

SAFE AND FLEXIBLE STORAGE

CRACKING FACILITIES

Een aantal partijen in Nederland en Europa zijn samen met havenbedrijven bezig import van waterstof(dragers) te ontwikkelen



Process steps



1. Docking ships



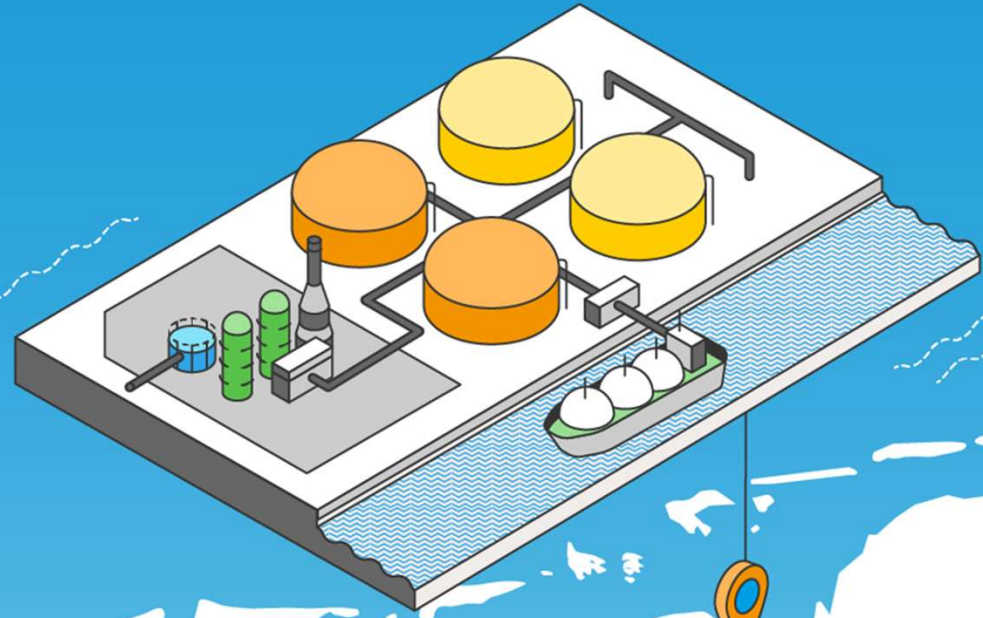
2. Storage tanks



3. Conversion to hydrogen

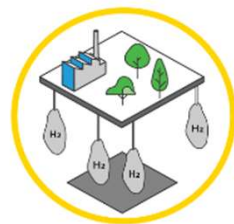


4. Feed into hydrogen network



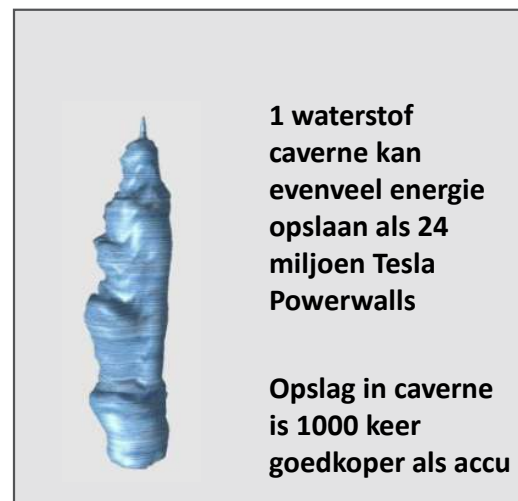
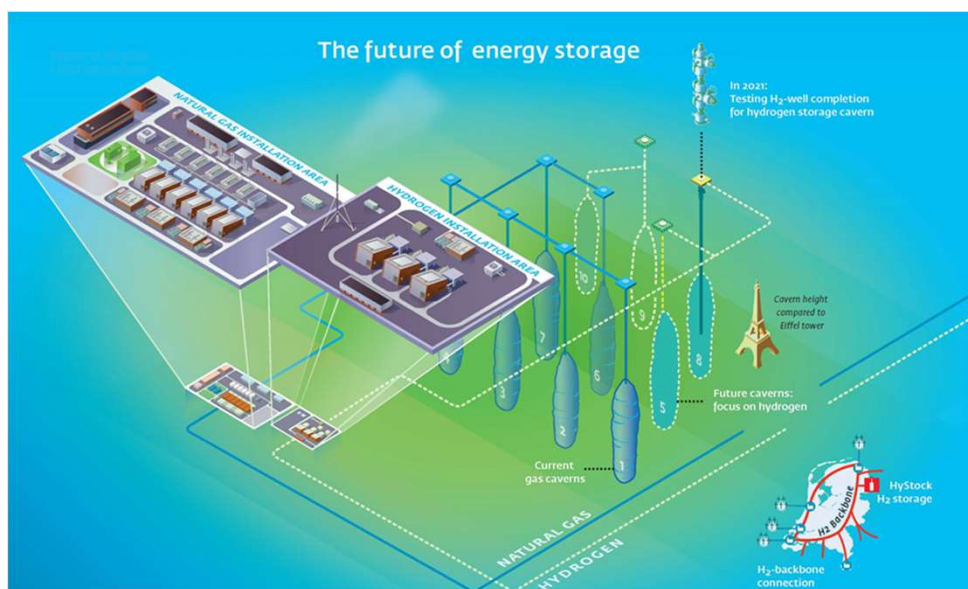
Eemshaven





Opslag

Waterstofopslag is een relatief goedkope manier om fluctuaties in de productie van groene waterstof en gebruik te kunnen oplossen



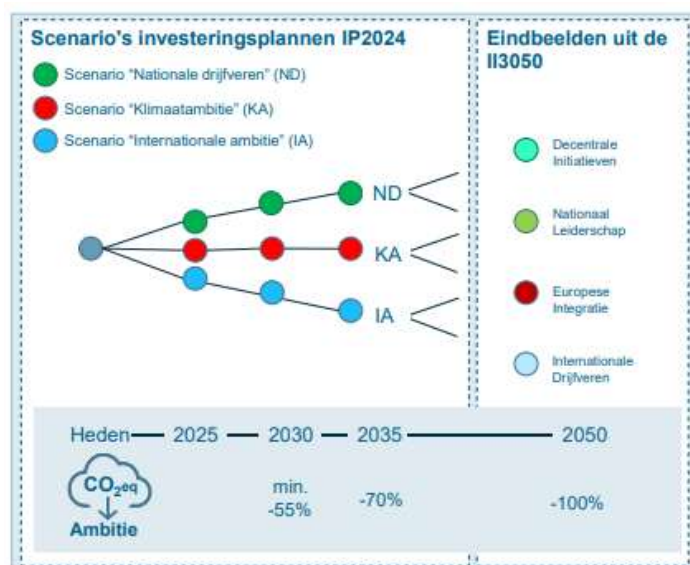
- **Goals**
The Netherlands: first salt cavern storage facility (≈ 200 GWh) fully **operational in 2028**. Further development of at least four salt caverns in Zuidwending (NL) for large-scale storage of hydrogen.
- **The role of Gasunie**
Gasunie has setup a separate entity for hydrogen storage activities in The Netherlands (HyStock) and (co-)develops hydrogen storage in Germany.

Toekomst en innovaties

- Wetenschappelijk onderzoek, innovaties en systeemstudies zullen steeds weer nieuwe inzichten geven, en verbeteringen in kosten en efficiënties
- Belangrijk is dat er nu ook daadwerkelijk de schop in de grond word gestoken:
 - Vaart maken om de CO₂-reductie doelstellingen te halen, zowel fysiek als commercieel
 - Financiële prikkels en regulering op orde hebben, zodat de markt aan de slag kan
 - Kip-ei problemen oplossen (infrastructuur op orde hebben)
 - Momentum creëren voor kostendalingen
- Maar altijd het motto van KIVI in gedachten houden:
 - Scheppend denken, schouwend doen

BACKUP SLIDES

Scenario's IP2024 en II3050v2



Figuur 2. Tijdslijn verschillende scenario's en steekjaren



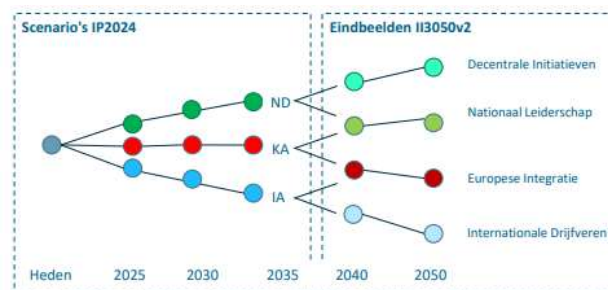
- Scenario **Klimaatambitie** (KA): Centraal scenario op basis van al het bestaande en het voorgenomen energie- en klimaatbeleid (Klimaat- en Energieverkenning 2022), aangevuld met de kabinetsambitie voor aanvullend geagendeerd beleid uit het Coalitieakkoord.



- Scenario **Nationale drijfveren** (ND): Flankerend scenario dat ten opzichte van het Klimaatambitie scenario nóg sterker inzet op elektrificatie van de vraag en duurzame opwek op land.



- Scenario **Internationale ambitie** (IA): Flankerend scenario dat ten opzichte van het Klimaatambitie scenario sterker inzet op duurzame gassen (moleculen). Naast directe elektrificatie wordt er meer ingezet op groen gas en waterstof.



Figuur 4. Samenhang tussen de scenario's voor IP2024 en de eindbeelden voor II3050v2.

II3050v2 scenarios

Nationaal leiderschap

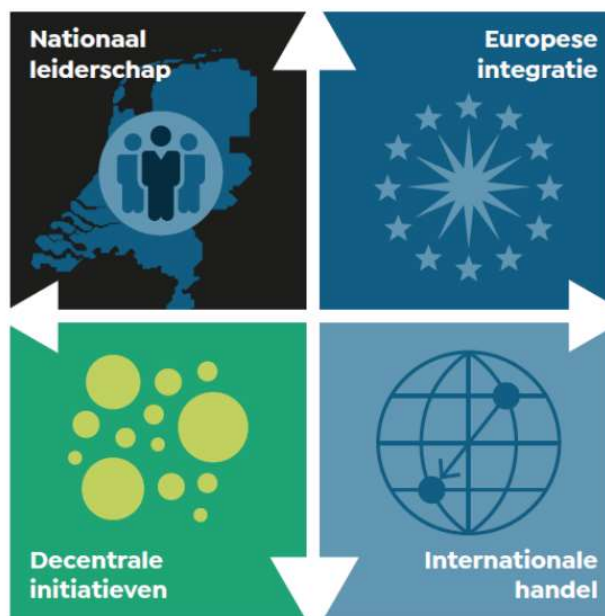
- Beperkte krimp industrie.
- Nieuwe industrie synthetische moleculen o.b.v. gerecyclede koolstof en DAC.
- Sterke elektrificatie.
- Zeer veel hernieuwbare opwek; beperkt kern.
- Meeste warmtenetten.

**Nationaal georiënteerd,
zoveel mogelijk zelfvoorzienend**

Decentrale initiatieven

- Sterke krimp energie-intensieve industrie.
- Vertrek van bepaalde industrie.
- Sterke elektrificatie, maar ook waterstof in de industrie.
- Zeer veel hernieuwbare opwek.
- "Energy-hubs".

**Collectieve techniekeuzes
en regie door de overheid**



**Marktgedreven individuele oplossingen,
overheid stelt kaders**

Europese integratie

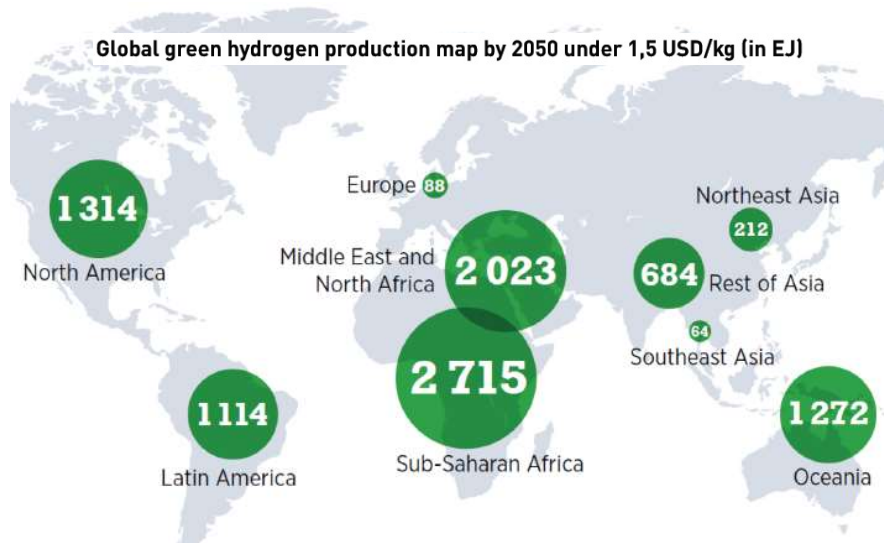
- Geen tot zeer geringe krimp industrie.
- Nieuwe industrie synthetische moleculen o.b.v. CCU en bio koolstof.
- Groen gas, ook uit import, naast elektrificatie en waterstof.
- CCS blijft en blauwe waterstof.
- Deels H₂ in de gebouwde omgeving.
- Base load kernenergie.

**Internationaal georiënteerd,
ruimte voor import**

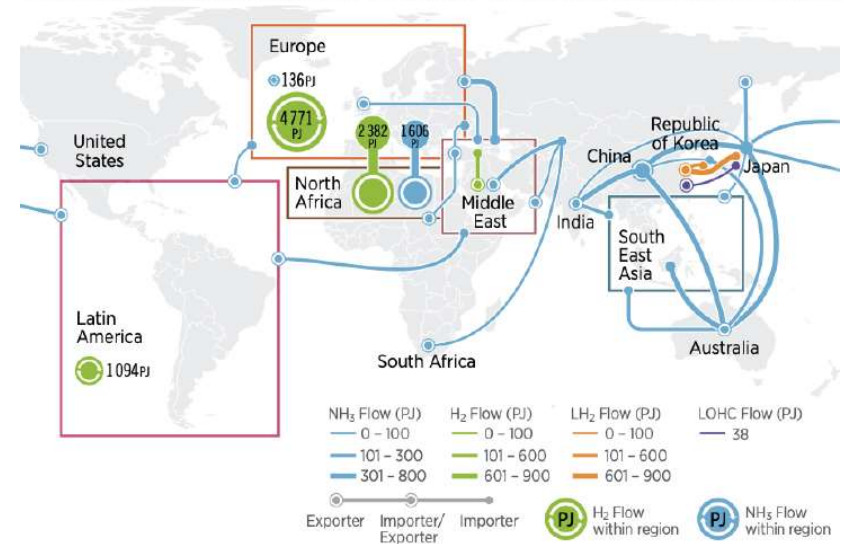
Internationale handel

- Sterke krimp energie-intensieve industrie.
- Verplaatsing van bepaalde industrie naar het buitenland.
- Veel waterstof naast bio, CCS, DAC en elektrificatie.
- Veel H₂-import.
- Volledig H₂ in de gebouwde omgeving.

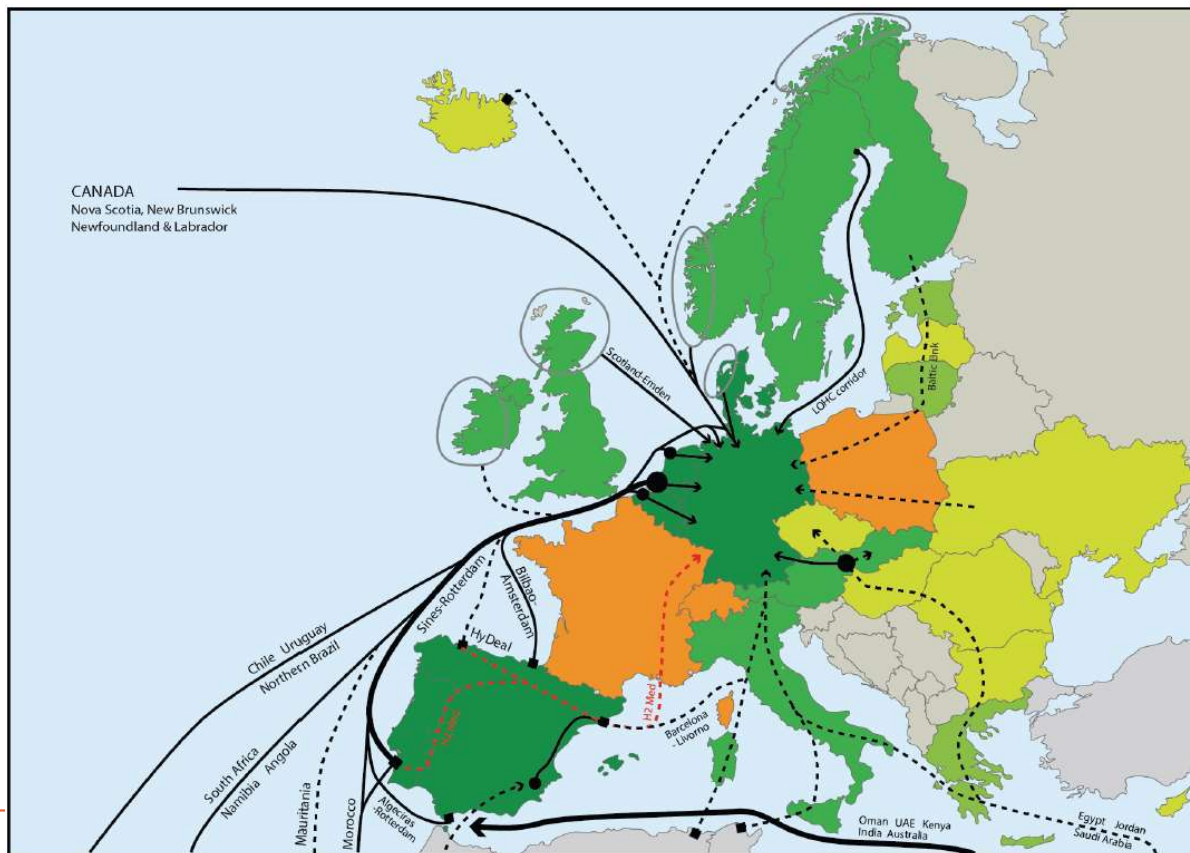
Global green hydrogen production map by 2050 under 1,5 USD/kg (in EJ)



Global hydrogen trade map in 2050 under optimistic technology assumptions



Detail beeld import naar Europa



Synthetische brandstoffen zoals SAF zullen ook een grote gebruiker van groene waterstof worden

GLOBAL SUSTAINABLE FUEL POLICY



Key: ■ Active Renewable Fuels Legislation Passed since 2013 ■ Other Active Renewable Fuels Legislation

Source:
• International Energy Agency Analysis: <https://www.iea.org/policies?type=Fuel+quality+standards>
• UOP Analysis

© 2023 by Honeywell International Inc. All rights reserved.

RENEWABLE FUEL POLICIES:

- 69 countries passed new renewable fuel policies in the past 10 years
- 107 countries with active renewable fuel policies
- 114 participating states in CORSIA

PUBLIC FUNDING:

- Funding available for research, development, and demonstration
- Project development funds available in US, EU, UK

SAF PRICING:

- Emissions Trading Schemes (45 countries)
- Green Hydrogen Credits
- Tax Credits
- Capex Credits
- Mandate Penalties

ACE Terminal

Open access terminal for large-scale safe storage and handling of hydrogen carried by ammonia for customers in Northwest Europe

