

Groningen, november 2019

Waterstof

vraag en aanbod nu - 2030

Update november 2019

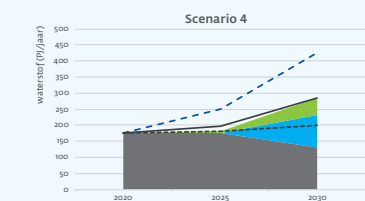
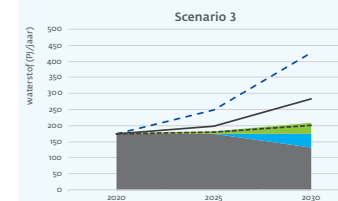
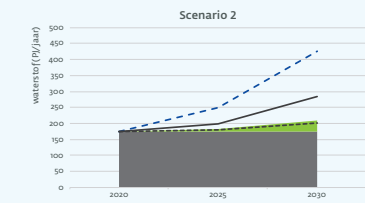
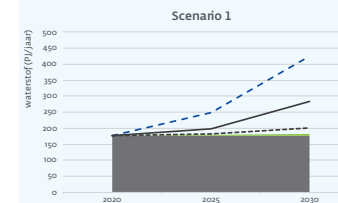
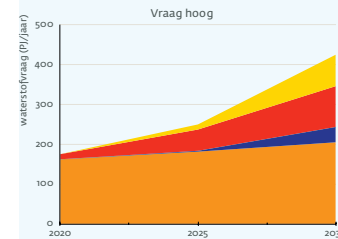
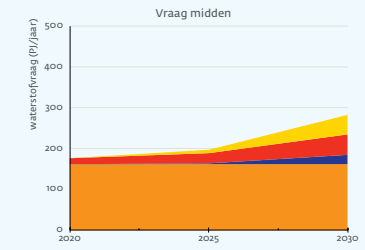
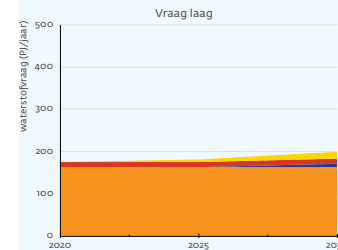
Inhoud

| | |
|--|-------|
| Samenvatting | 3 |
| Algemene werkwijze vraag- en aanbodscenario's en behoefte aan infrastructuur | 4 |
| Huidige waterstofmarkt in Nederland | 5 |
| Waterstofvraag | 6 |
| Waterstofvraag in verschillende sectoren | 7 |
| Waterstof als grondstof voor industrie | 8 |
| Waterstof voor verhittingsprocessen industrie | 9 |
| Waterstof in mobiliteit | 10 |
| Waterstof in gebouwde omgeving | 11 |
| Waterstof voor CO ₂ -vrije elektriciteitsproductie | 12 |
| Potentie mengsel waterstof en aardgas | 13 |
| Waterstofaanbod | 14 |
| Aanbodscenario's | 15-18 |
| Import & export | 19 |
| Literatuurlijst | 20 |
| Bijlage | 21 |

Samenvatting

Bij de opstelling van het klimaatakkoord in november 2018, is door de cross-sectorale werkgroep waterstof, een inschatting gemaakt van de potentiële vraag en het potentiële aanbod van waterstof in 2030 in Nederland. Daarvoor zijn destijds vraagscenario's gemaakt voor de verschillende sectoren met een laag, midden en hoog variant. Daarnaast zijn verschillende aanbodscenario's geschetst. In deze update worden de scenario's gefinetuned naar de laatste inzichten:

- De huidige vraag naar waterstof blijkt, met name in de chemische industrie, significant hoger te zijn: 175 PJ (48,8TWh of 1.5Mton) in plaats van 110 PJ.
- In 2030 is de vraag naar en het aanbod van duurzame waterstof net op gang gekomen, richting 2050 wordt een forse toename verwacht door het gebruik in meerdere sectoren zoals gebouwde omgeving en lucht- en scheepsvaart. Dit wordt momenteel verder uitgewerkt in de H3050 studie.
- De gepresenteerde vraag- en aanbodscenario's zijn niet per definitie met elkaar in balans. Het wegvallen van grote projecten zowel aan vraag- als aan aanbodkant kan de balans sterk verstoren.
- Een vraag hoger dan het midden scenario zou mogelijk kunnen leiden tot een importvraag van buitenlandse waterstof. Het is nog onduidelijk of deze in de periode tot 2030 gerealiseerd kan worden.
- Consequenties van deze scenario's voor de infrastructuur zullen apart geagendeerd worden door Gasunie.



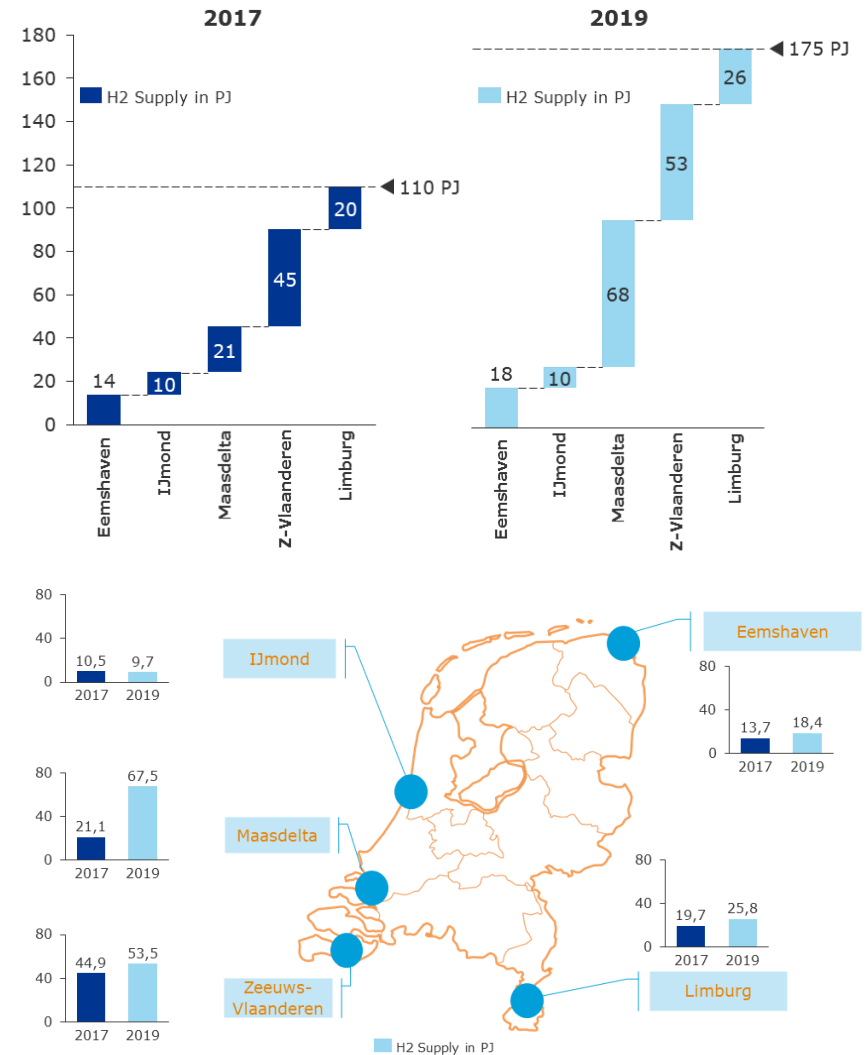
Algemene werkwijze vraag- en aanbod-scenario's en behoefte aan infrastructuur

- De hoofdaandacht ligt op 2030. Voor de waterstofvraag zijn per marktsegment 3 vraagscenario's ontwikkeld (laag, midden, hoog), terwijl voor het waterstofaanbod 4 aanbod-scenario's zijn ontwikkeld. Vraag- en aanbodsscenario's zijn niet "strikt passend" op elkaar gemaakt.
- In november 2018 is er een inventarisatie gedaan van alle beschikbare studies voor de vraag naar waterstof in Nederland voor de verschillende marktsegmenten voor de periode 2015-2050. Studies voor Europa en de wereld zijn terugvertaald naar Nederlands equivalent. Deze inventarisatie is gebruikt bij het opstellen van het Klimaatakkoord.
- Voor de periode 2020-2030 is een bottom-up benadering van de vraagscenario's gemaakt op basis van beschikbare informatie over projecten, studies en andere klimaattafels. Voor alle scenario's is zichtbaar hoe ze vergelijken met de studie-uitkomsten.
- Voor het aanbod in 2030 zijn 4 scenario's ontwikkeld, gebaseerd op de verschillende plannen en mogelijkheden in de markt.
- In deze update zijn de vorig jaar gebruikte aannames getoetst aan de nieuwste inzichten voor vraag en aanbod van waterstof richting 2030.
- In de rapportage wordt de hoeveelheid waterstof uitgedrukt in petajoule (PJ). 100 PJ komt overeen met 827 kton en 9,2 bcm en 28 TWh. Hierbij wordt overal gerekend met de onderste verbrandingswaarde van waterstof.

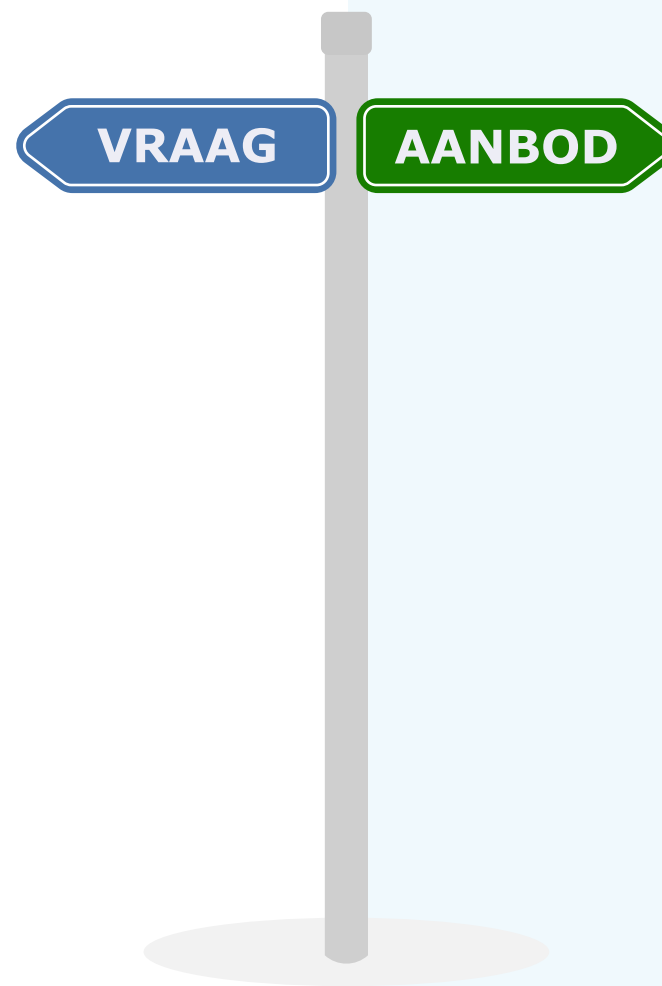
Huidige waterstofmarkt in Nederland

Recent heeft DNV GL een inventarisatie gemaakt over de huidige waterstofmarkt in Nederland. In de analyse uit 2017 werd uitgegaan van de gegevens uit het Roads2Hy project (2007). De huidige vraag en het aanbod blijkt echter 175 PJ te zijn, fors hoger dan de eerder aangenomen 110 PJ. Met name de investeringen in extra waterstofproductie in de Maasdelta, vergroting van de capaciteit voor methanolproductie in Delfzijl en een update van de ammoniakproductie verklaren deze toename.

Op dit moment is de vraag en het aanbod van waterstof nagenoeg constant in Nederland. Slechts een kleine hoeveelheid wordt geïmporteerd via een waterstofnet met België. Met uitzondering van de clusters in Zeeuws-Vlaanderen en de Maasdelta, die via hetzelfde waterstofnetwerk zijn verbonden, wordt de vraag en het aanbod per industriecluster gematcht.



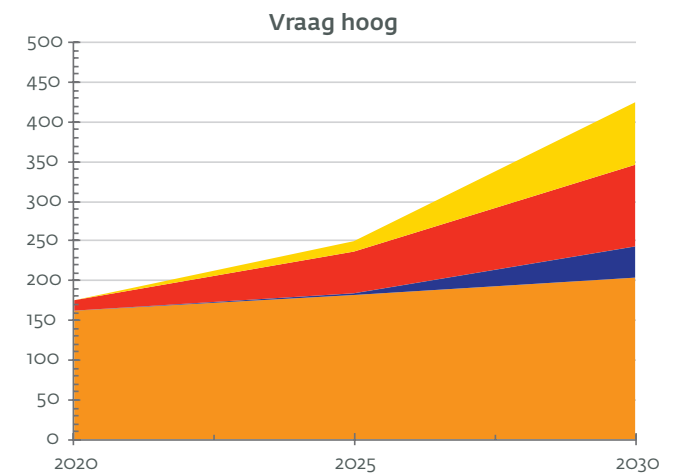
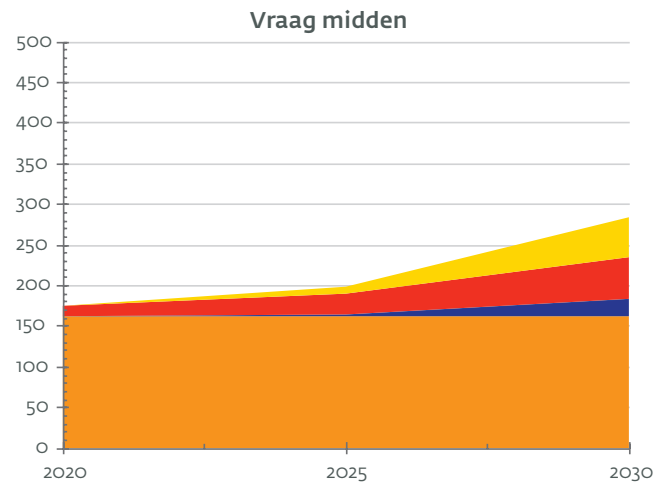
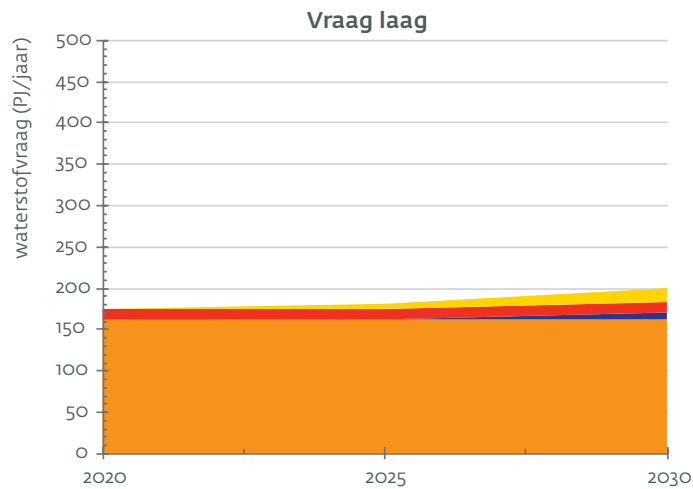
Waterstofvraag



Waterstof in verschillende sectoren

Drie scenario's voor 2030

- Industrie - feedstock
- Mobiliteit
- Gebouwde omgeving
- Elektriciteit
- Industrie - energie



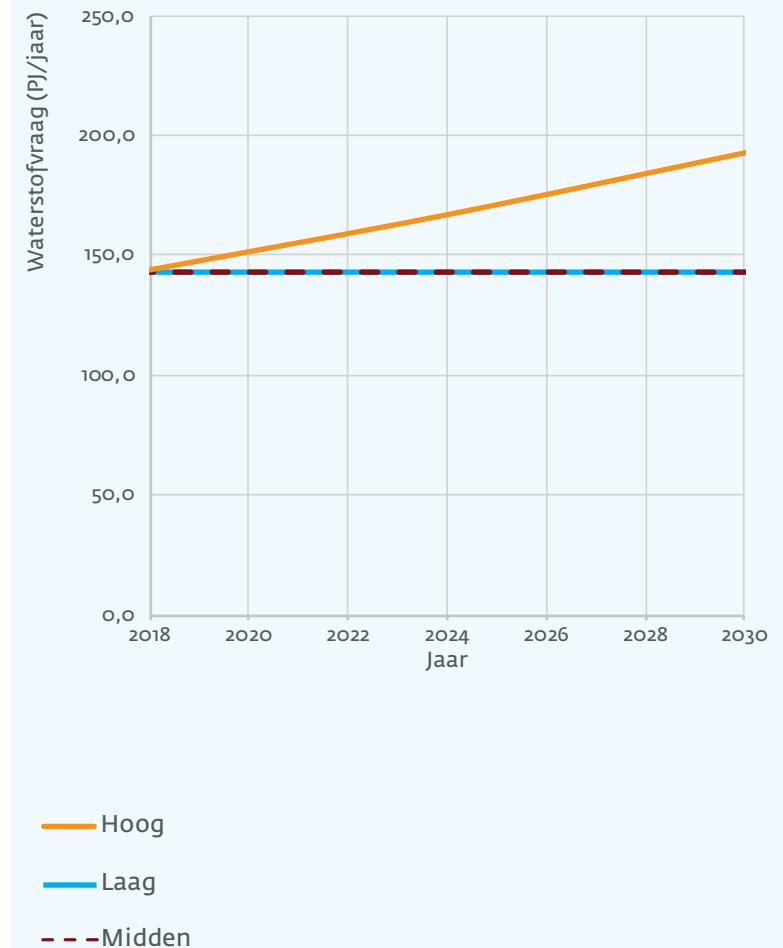
Waterstof als grondstof voor industrie

De huidige vraag naar waterstof als grondstof is 163 PJ

- Ammonia (65 PJ): waarbij waterstof met stikstof (N_2) wordt omgezet in ammoniak (NH_3), veelal voor de productie van kunstmest.
- Raffinage (59 PJ): waarbij waterstof wordt gebruikt voor het ontzwavelen van aardolieproducten (hydrotreating) en het kraken van lange aardoliefracties in kortere ketens.
- Methanol (18 PJ): waarbij waterstof en CO_2 worden omgezet in methanol (CH_3OH). Methanol kan als brandstof gebruikt worden, of als bouwsteen in verdere chemische processen.
- Diversen andere chemische processen (21 PJ) zoals bijvoorbeeld hydrogenering (harden, waarbij dubbele bindingen worden omgezet in enkele), productie van waterstofperoxide en staalbehandeling.

Aannames voor de drie scenario's:

- Het lage scenario veronderstelt een gelijke vraag tot 2030 en daarna een afname van 5% per 5 jaar vanwege een teruglopende vraag naar onder andere olieproducten.
- Het midden scenario gaat uit van een constante vraag tot 2030, daarbij wordt de verwachte afname aan olieproducten opgevangen door een aantrekkende vraag naar waterstof in nieuwe chemische processen.
- Het hoog scenario ziet een toename van 12% per 5 jaar door een toenemende vraag naar raffinage, ammoniak en brandstoffen of chemicaliën. Te denken valt aan methanolproductie, synthetische brandstoffen, staalchem en wastechem.



Waterstof voor verhittingsprocessen industrie

Waterstof kan ook worden toegepast in verschillende verhittingsprocessen in de industrie. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in een 9-tal deelsectoren:

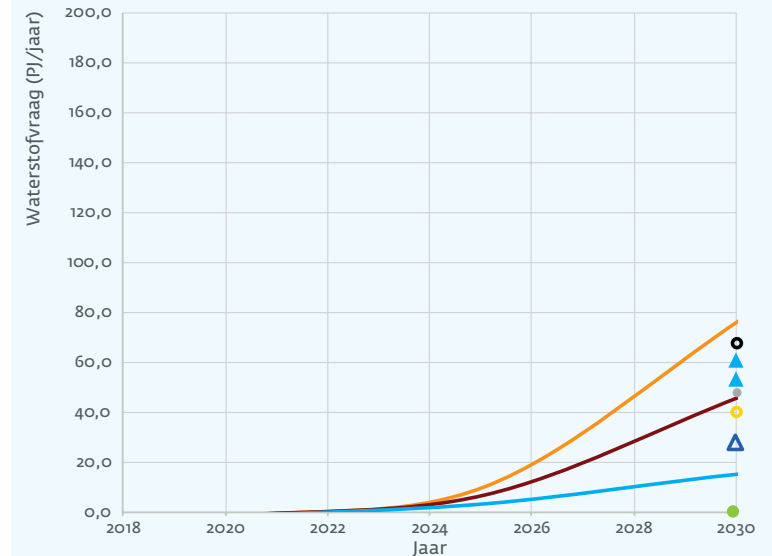
- Glas
- Keramisch
- Drogen
- Chemische omzetting/destillatie
- Gieterijen
- Non-ferro
- Smelten/gloeien staal
- Overige hoge temperatuurprocessen
- Lage temperaturen

Voor elke deelsector is een inschatting gemaakt op basis van het technisch potentieel (DNV GL studie¹) voor pilot (5%), marktintroductie (50%) en implementatie (100%) voor de verschillende industriële processen.

Aannames voor de drie scenario's:

- Het lage scenario gaat vooral uit van elektrificatie van verhittingsprocessen. De resterende rol voor waterstof varieert per deelsector.
- Het hoge scenario ziet deels een elektrificatie van de verhittingsprocessen en deels een vervanging van aardgas door waterstof (70% van de huidige aardgasvraag).
- Het midden scenario is het gemiddelde van het hoog en laag scenario.

1- DNV GL - Verkenning naar mogelijkheden om aardgas te vervangen in industriële verhittingsprocessen, 2018



- Hoog
- Laag
- Midden
- Shell Sky
- Gasunie Verkenning
- Ad van Wijk (2018) - hoog
- Ad van Wijk (2018) - laag
- ▲ ISPT : Hychain - low
- ▲ ISPT: Hychain - High
- Asset (2018)

Waterstof in mobiliteit

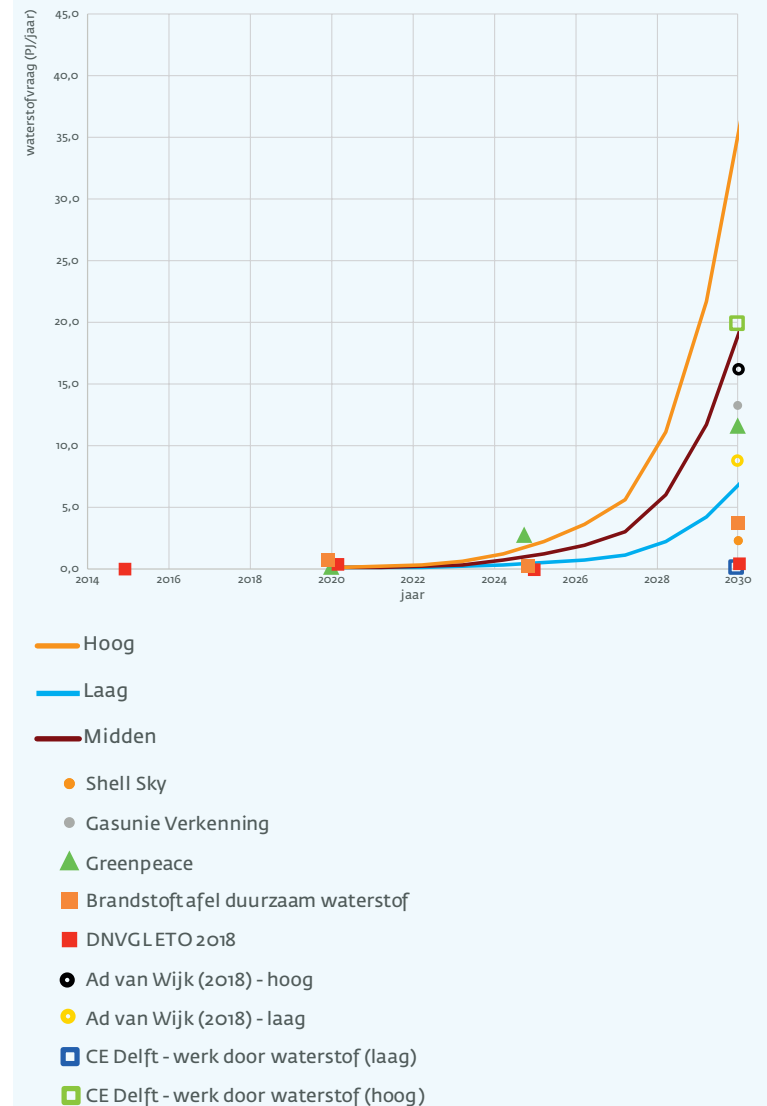
- Het aantal waterstofauto's neemt toe in Nederland: in 2018 waren er rond de 50 brandstofcelauto's en in november 2019 zijn het er 176². Naast 176 auto's zijn er momenteel 7 bussen, 7 vrachtwagens en 5 bestelbussen die op waterstof rijden.
- In het klimaatakkoord wordt uitgegaan van 15.000 auto's en 3000 brandstofcelvoertuigen voor zwaar vervoer in 2025. Het aantal auto's zal mogelijk doorgroeien naar 300.000 in 2030, terwijl er dan ook 5000 zero-emissie bussen rondrijden³.

Aannames in de drie scenario's:

- Het midden scenario gaat uit van 375.000 waterstof aangedreven voertuigen in 2030. Deze zijn onderverdeeld in 300.000 auto's, 65.000 bestelbussen, 7700 vrachtwagens en 1700 bussen.
- Het lage scenario gaat uit van een totaal van 132.000 waterstofvoertuigen, waarbij de zelfde verdeling wordt gehanteerd als het midden scenario.
- Het hoge scenario gaat uit van 696.000 voertuigen, waarbij dezelfde verdeling wordt gehanteerd als het midden scenario.
- In elk van de drie scenario's wordt uitgegaan van een jaarlijks waterstofverbruik van 56 GJ/jaar (auto's) en 41 GJ/jaar (zwaar vervoer).
- Het grote potentieel van het gebruik van waterstof in de lucht- en scheepvaartsectoren wordt voornamelijk voorzien in de periode na 2030 en wordt hier niet meegenomen.

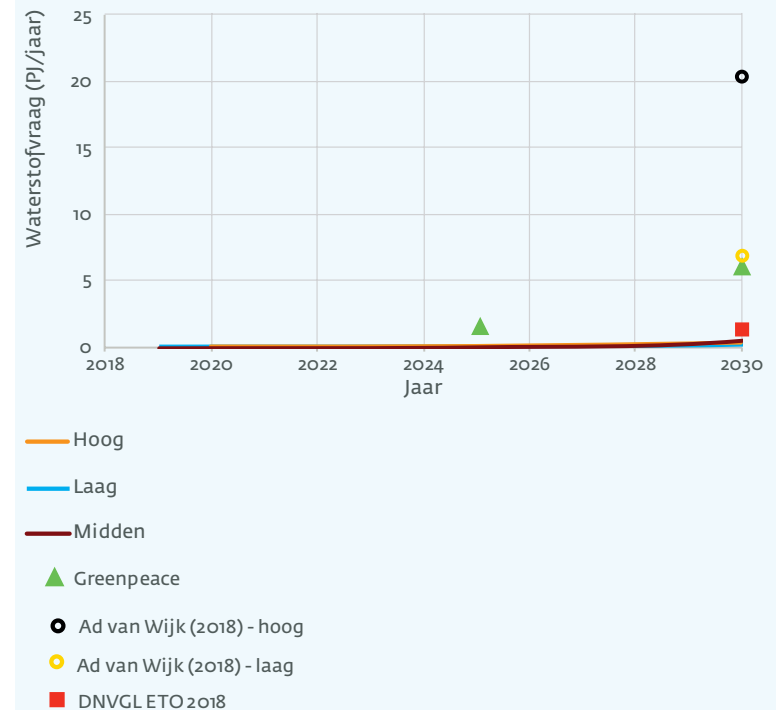
2 - Bronnen: Open data RDW (opendata.rdw.nl), <https://zerauto.nl/tienduizend-waterstofautos/> en [https://www.leaseblog.nl/jaarwaterstofvraag-\(PJ/jaar\)03028202620242022202028102610241020,540,040,530,030,520,020,510,010,50,0 algemeen/aantal-waterstofautos-neemt-toe-in-2019/](https://www.leaseblog.nl/jaarwaterstofvraag-(PJ/jaar)03028202620242022202028102610241020,540,040,530,030,520,020,510,010,50,0%20algemeen/aantal-waterstofautos-neemt-toe-in-2019/)

3 - Dat is inclusief andere zero-emissie opties naast waterstof, voor waterstof wordt uitgegaan van 1700 bussen in het midden scenario



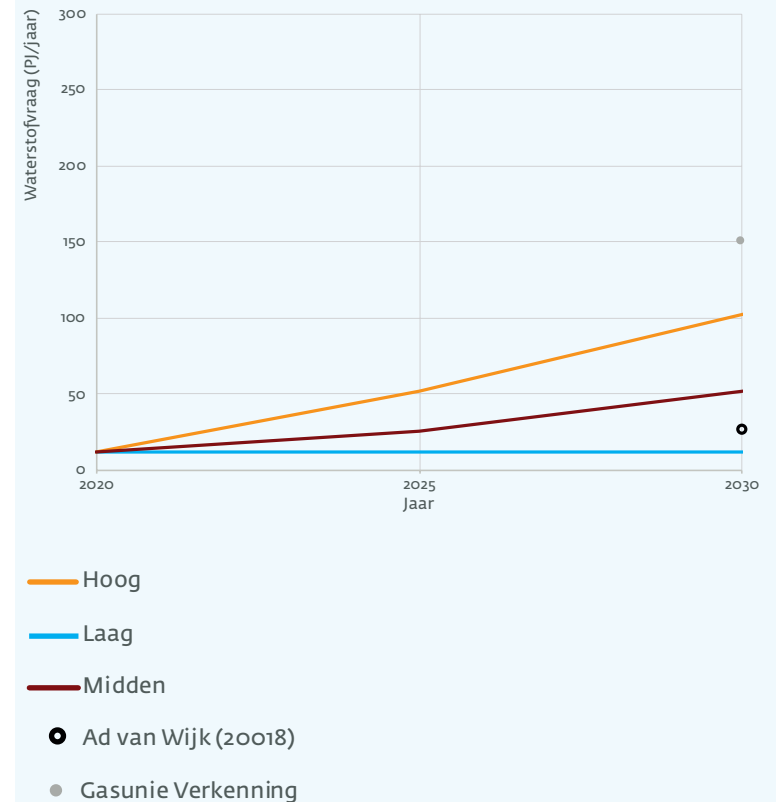
Waterstof in gebouwde omgeving

- Voor het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving wordt uitgegaan van een totaal woningbestand in 2050 van 8 miljoen huishoudens. In het lage scenario wordt uitgegaan van 10% waterstof voor verwarming, in het hoge scenario is dat 30%.
- Aannames voor de 2 scenario's:
 - In 2020 zijn in het lage scenario 45 huishoudens omgezet op waterstof en verveelvoudigt dit aantal elke 5 jaar. Dit resulteert in 2800 huizen in 2030.
 - Het hoge scenario start met 135 huizen in 2020 en verveelvoudigt dit aantal elke 5 jaar. Dit resulteert in 11.000 huishoudens in 2030.
 - Het waterstofverbruik per huishouden per jaar is equivalent aan 1500m³ aardgas.
- De waterstofvraag in beide scenario's blijft daarmee onder de 1 PJ in 2030 en is daarmee in verhouding tot andere sectoren zeer beperkt.



Waterstof voor CO₂-vrije elektriciteitsproductie

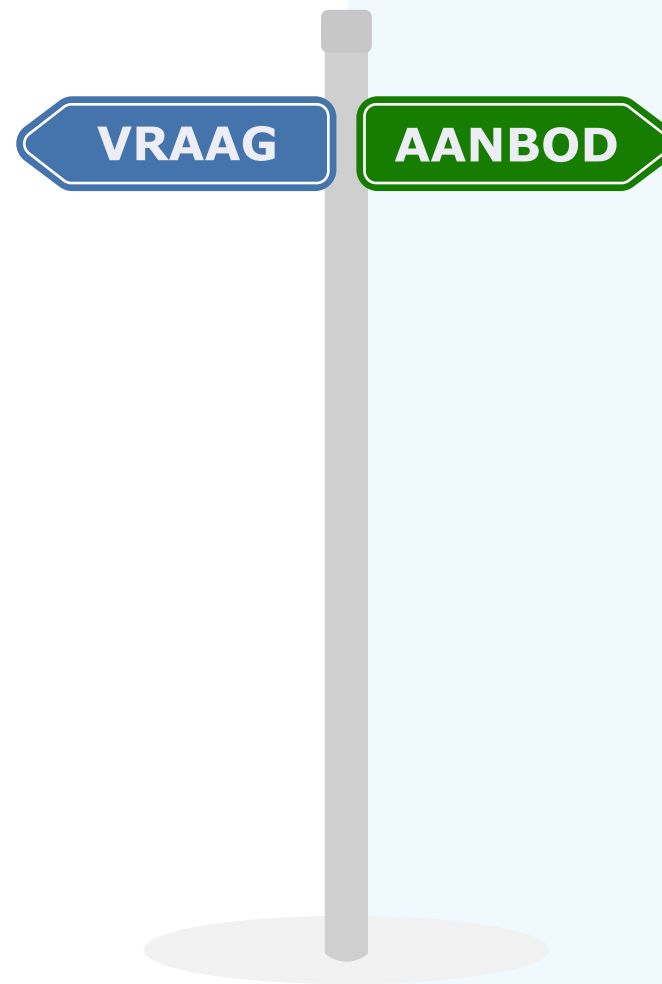
- Het huidige gebruik van waterstof in elektriciteitsproductie is 12.6 PJ. Het betreft dan vooral waterstof die vrijkomt als bijproduct uit de productie van ijzer, chloor of andere chemicaliën en lokaal voor elektriciteitsproductie wordt ingezet.
- Aannames in de drie scenario's:
 - We gaan ervan uit dat een omgebouwde gasturbine van 450 MW waterstofvraag van 13 PJ per jaar (uitgaande van 4000 draaiuren) kent.
 - Gaat uit van ombouw van gascentrales naar waterstofcentrales om CO₂ -plafond elektriciteitssector te halen (12,4 Mton) en tegelijkertijd te voldoen aan de vraag naar elektriciteit (CO₂-vrij regelbaar vermogen).
 - In het klimaatakkoord is geschat dat er ongeveer 27TWh CO₂ vrij regelvermogen nodig is, waarbij niet aangegeven is dat dit alleen waterstofcentrales zijn.
 - PBL gaat uit van 4.6 TWh elektriciteitsproductie uit biomassa en afval in 2030, waarbij onduidelijk is of dit vrij regelbaar vermogen is.
- Scenarios:
 - Het lage scenario gaat ervan uit dat er geen aardgascentrales naar waterstof worden omgebouwd.
 - Het midden scenario gaat ervan uit dat er in 2025 één unit is omgebouwd en in 2030 drie units (12TWh). Het eerste gas-to-power project voorzien voor 2025 (Magnumcentrale).
 - Het hoge scenario gaat uit van een groter aantal waterstofcentrales. (Bijvoorbeeld in Zuid-Holland, Limburg of Flevoland): 25 TWh (90 PJ); 7 x 450 MW eenheid). Dit scenario gaat ervan uit dat er geen biomassacentrales meer zijn in 2030.



Potentie mengsel waterstof en aardgas

- Door waterstof en aardgas te mengen kunnen tot op zekere hoogte bestaande eindgebruikertoepassingen gebruikt blijven worden zonder veel aanpassingen. Dit is met name van belang voor hoge temperatuurverwarming en elektriciteitsproductie in gascentrales. Tot op zekere hoogte zou ook mogelijkheid voor de gebouwde omgeving verwacht kunnen worden.
- Een orde van grootte van de hoeveelheid waterstof die daarbij gebruikt kan worden wordt gegeven voor een aantal situaties:
 - Gasturbines op centrales kunnen vaak al hogere percentages aan. Uitgaande van 30% H₂ bij 3150 MW (7x450MW), 4000 uur per jaar en een rendement van 60% levert dit een vraag van 8,7 PJ per jaar.
 - Op circa 80 locaties in Nederland zijn er groepjes gebruikers wiens eindapparatuur nu al 5%-30% mengsel aankunnen. Met een bijmengpercentage van 20% in 10% van het RTL-netwerk resulteert dit in een vraag van 4,5 PJ.
 - Een deel van het distributiesysteem kan wellicht al hogere percentages aan. Stel 5% kan al een percentage van 30% aan, dan is de waterstofvraag 3,4 PJ
 - Bij een bijmengpercentage van 20% in het hele distributienetwerk zou de waterstofvraag 45 PJ zijn.
- In de vraagscenario's wordt vooralsnog geen rekening gehouden met de mogelijkheid tot mengen.

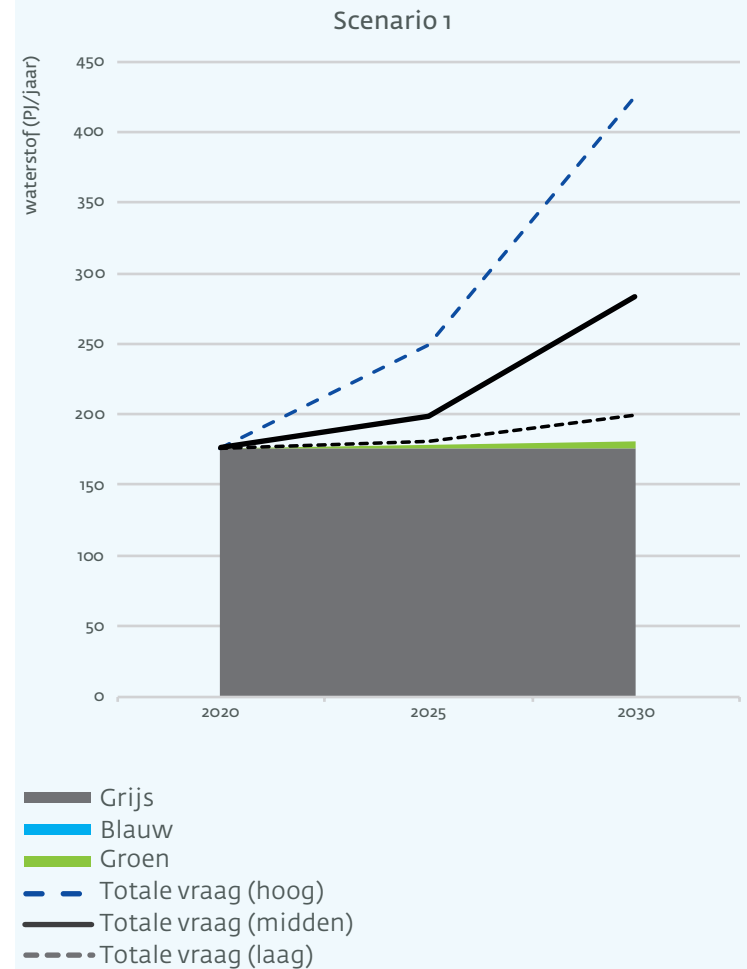
Waterstofaanbod



Aanbodscenario 1:

Geen programmatische aanpak elektrolyse

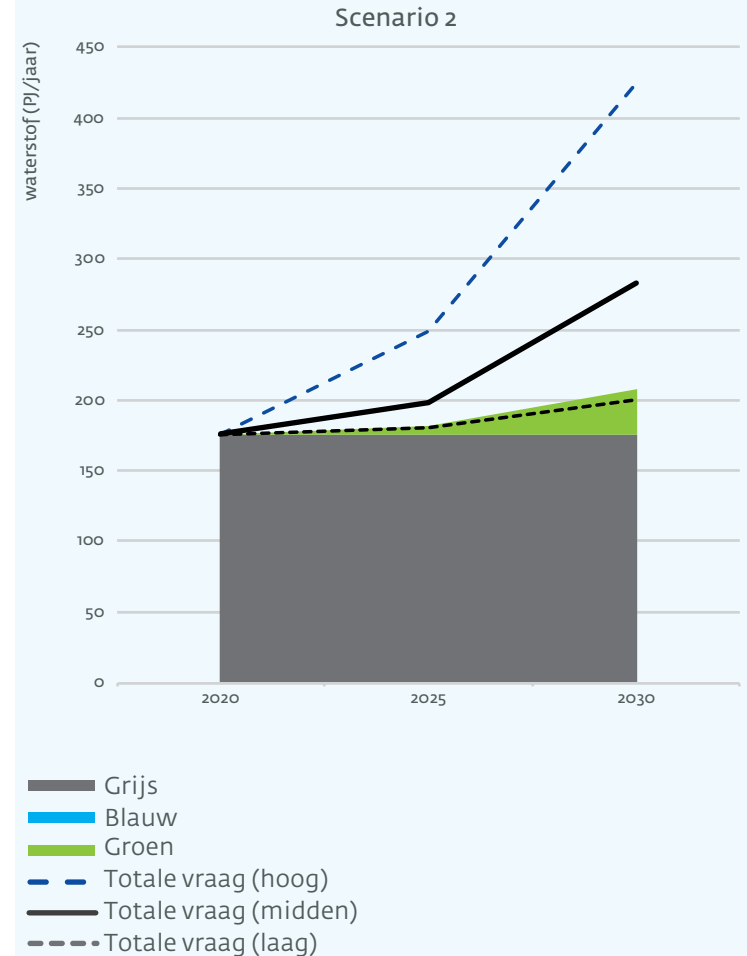
- Scenario 1 voor de aanpak gaat uit van enkele bestaande initiatieven voor de realisatie van groene waterstof aangevuld met steun voor enkele pilots en demonstratieprojecten. Er is in dit scenario geen nationale programmatische aanpak voor de uitrol grootschalige elektrolyse.
- Offshore wind elektriciteitsproductie wordt beperkt tot de door EZK uitgezette routekaart (10,5 GW). Dit is ongeveer het volume aan offshore wind dat nog goed elektrisch kan worden aangesloten op het onshore elektriciteitsnetwerk in 2030.
- 10 PJ in 2030 ~721 MW elektrolysecapaciteit:
 - 1 MW Pilot in Zuidwending.
 - 20 MW (Noord-Nederland).
 - 2x 100 MW (Noord-Nederland en Zeeland).
 - 1x 500 MW (onshore gevoed vanuit IJmuiden Ver).



Aanbodscenario 2:

Programmatische aanpak elektrolyse

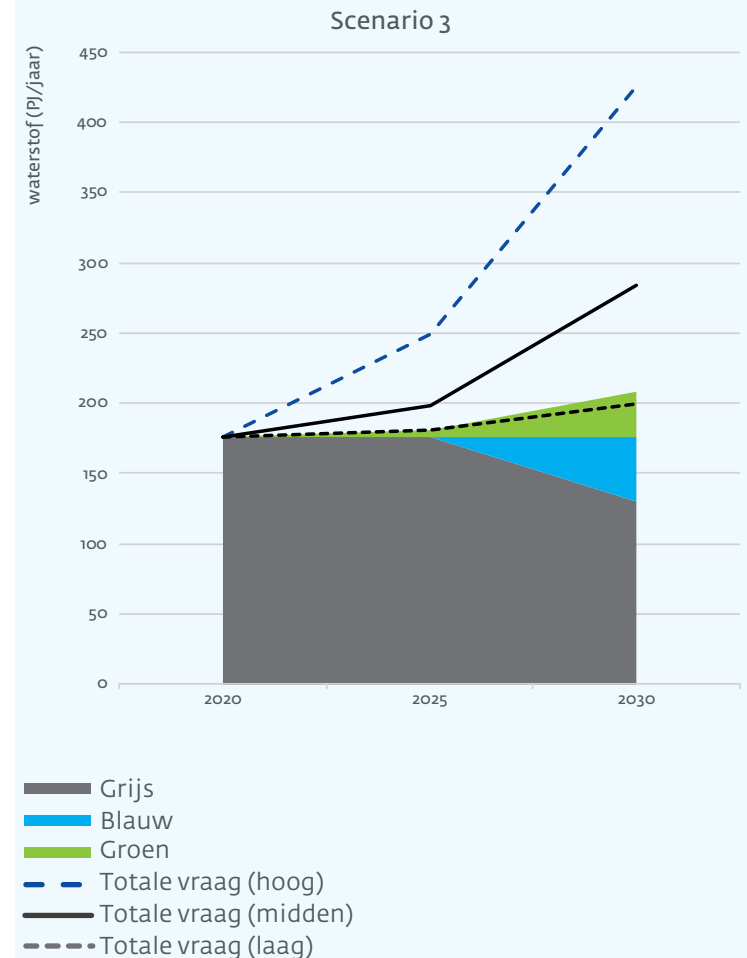
- Scenario 2 gaat uit van een programmatische aanpak voor groene H₂ conform de voorstellen van de waterstofcoalitie. Deze aanpak is overgenomen in het Klimaatakkoord.
- Voor groene waterstof betekent dit:
 - 500 MW elektrolysecapaciteit en 15 kton (=1,8 PJ) uit biogene brandstoffen in 2025.
 - 4000 MW elektrolysecapaciteit in 2030.
 - Voor de productie van waterstof wordt gerekend met een efficiency van 75% en 3000 vollasturen. De elektrolyzers draaien daarmee mee in de merit order en zijn niet dedicated aangesloten op windparken.
- In het scenario wordt geen rekening gehouden met blauwe waterstof. Er wordt hierbij uitgegaan dat er geen CCS in Nederland gaat plaatsvinden.



Aanbodscenario 3:

Programmatische aanpak elektrolyse en CCS op bestaande waterstofproductie

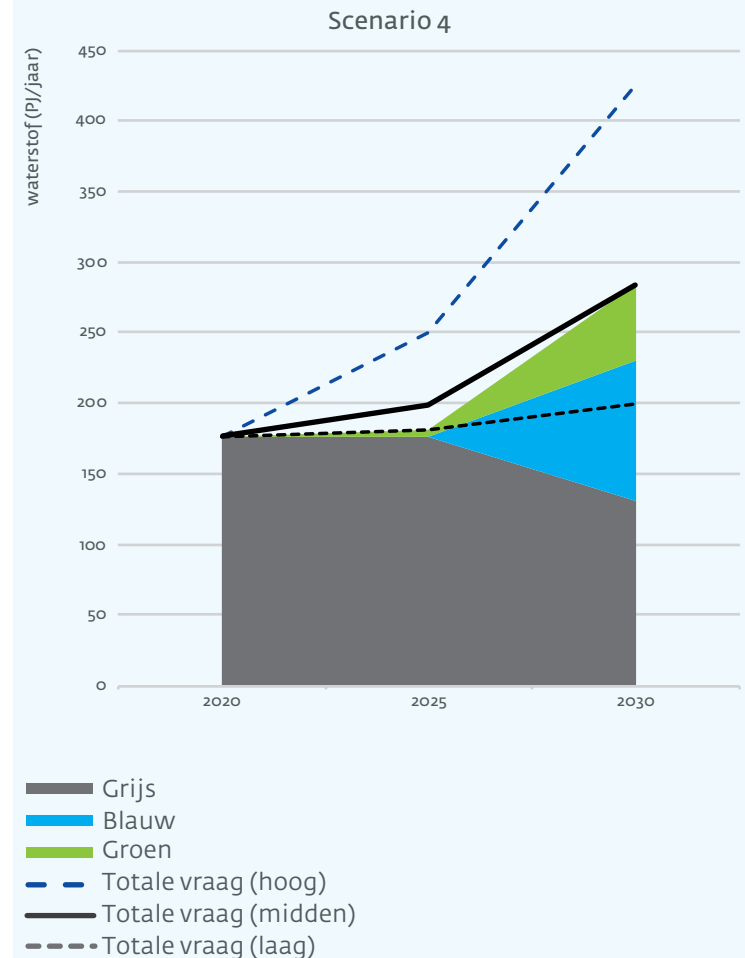
- Scenario 3 gaat uit van dezelfde programmatische aanpak voor groene waterstof als in scenario 2 en uitrol van CCS in bestaande waterstofproductie.
- Groene waterstof:
 - 500 MW elektrolyse in 2025.
 - 4000 MW elektrolysecapaciteit in 2030.
 - Voor de productie van waterstof wordt gerekend met een efficiency van 75% en 3000 vollasturen. De elektrolyzers draaien daarmee mee in de merit order en zijn niet dedicated aangesloten op windparken.
- Blauwe waterstof:
 - CCS met name in Rotterdam op bestaande waterstofproductie: blauw verdringt grijs (45 PJ).



Aanbodscenario 4:

Programmatische aanpak elektrolyse; en CCS op bestaande en additionele waterstofproductie

- Het vierde scenario vergroot de productie van waterstof door additionele blauwe waterstofproductie, met name ten behoeve van CO₂-vrije elektriciteit (Gas-to-Power). De programmatische aanpak voor uitrol van elektrolyzers en CCS op bestaande waterstofproductie wordt verondersteld:
- Groene waterstof:
 - 500 MW elektrolysecapaciteit in 2025.
 - 4000 MW elektrolysecapaciteit in 2030.
 - Voor de productie van waterstof wordt gerekend met een efficiency van 75% en 5000 vollasturen (dedicated windparken voor deze elektrolyzers).
- Blauwe waterstof:
 - CCS op bestaande waterstofproductie: blauw verdringt grijs (45 PJ).
 - Nieuwe waterstofproductie voor o.a. Gas-to-power en industrie; aanvullend blauw (55 PJ).



Import & export

In het aanbodscenario met de hoogste waterstofproductie wordt een jaarvolume aan waterstof geproduceerd dat ongeveer overeenkomt met de vraag in het midden vraagscenario.

Voor additioneel aanbod, nodig voor een hoger vraagscenario, kan worden gekeken naar import van waterstof uit het buitenland. Dit zou kunnen middels waterstofleidingen of via schepen in vloeibare vorm.

De verwachting is dat de Nederlandse infrastructuur tegen 2030 geschikt is voor export en import van buitenlands waterstof, het is echter onduidelijk of de vraag en het aanbod in de ons omringende landen op dat moment hier ook toereikend voor is.

Met betrekking tot import via scheepvaart is het op dit moment lastig in te schatten of dat voor de periode tot 2030 realistisch is.

Literatuurlijst

- M. Afman, F. Rooijers (2017), Net voor de Toekomst – Achtergrondrapport, Delft, CE Delft
- J. Ros, B. Daniels (2017), Verkenning van Klimaatdoelen, Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
- A. van Wijk (2018), Nederland Waterstofland - Een visie op de ontwikkeling van waterstof in Nederland tot 2030, concept rapport (versie 17-1-2018)
- Shell (2018) The numbers behind Sky (gegevens bestand): verkregen via <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky.html>
- R. Detz, M. Weeda, A. Wirtz, J. Berkenhout, B. Knoors, P. Katawar (2019), Report HyChain 1: Assessment of future trends in industrial hydrogen demand and infrastructure, Institute for Sustainable Process Technology (ISPT).
- N.V. Nederlands Gasunie (2018), Verkenning 2050 -discussiestuk, Groningen, Gasunie
- S. Teske, S. Sawyer, O. Schäfer, (2015), Energy (R)evolution - a sustainable world Energy outlook 2015, Greenpeace International, Global Wind Energy Council, SolarPower Europe.
- Brandstof Tafel Duurzame Waterstof (2014), Visie Duurzame Brandstoffenmix, 19-6-2014 eindversie
- C. Leguijt, D. Nelissen, S. van de Water (2018), Werk door groene waterstof, Delft, CE Delft
- DNV GL (2018), Energy Transition Outlook 2018 - a global and regional forecast to 2050, DNV GL
- A.de Vita e.a. (2018), Sectoral integration – long-term perspective in the EU Energy System, Advanced System Studies for Energy Transition (ASSET)

Bijlage: grafieken in TWh en kTon

- Industrie - feedstock
- Mobiliteit
- Gebouwde omgeving
- Elektriciteit
- Industrie - energie

- Grijs
- Blauw
- Groen
- Totale vraag (hoog)
- Totale vraag (midden)
- Totale vraag (laag)

