

Waterstof in mobiliteit 2030



Strategische verkenning



Waterstof in mobiliteit 2030

Strategische verkenning

December 2021

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Getoetst door het Planbureau voor de Leefomgeving

Opgesteld door Ekinetix
Jaco Reijerkerk, MSc.
Martijn van der Star, MSc.



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

✉ info@ekinetix.nl

☎ +31 (0)78 610 34 11

🌐 Houtkopersstraat 17
3334 KD Zwijndrecht

@ www.ekinetix.nl

*Foto voorpagina: Waterstoftruck van Hyzon Motors die rijdt voor FrieslandCampina, gebouwd in Nederland.
Credits: FrieslandCampina / Hyzon Motors Europe.*

Inhoudsopgave

1	Doel van deze strategische verkenning	3
2	De context	4
3	De analytische basis	8
4	Van model naar strategie	12
5	Berekeningsmethodiek emissies en reflectie door PBL	16
6	Ontwikkeling basisnetwerk tankinfrastructuur	17
7	Koppelkansen met andere beleidsterreinen IenW	19
8	Ontwikkeling van beleid	20
9	Conclusie	21

Figuren

Figuur 1 - Waterstofvraag en emissiereductie over de verschillende mobiliteitscategorieën.	9
Figuur 2 - Afwegingsmatrix van de verschillende vervoersmodaliteiten	10
Figuur 3 - Waterstofvraag en emissiereductie in 2030 voor de verschillende mobiliteitscategorieën.....	12

Tabellen

Tabel 1 - Waterstofvraag, emissiereductie en fractie van de doelstelling in 2030.....	9
Tabel 2 - Waterstofvraag, emissiereductie en fractie van de doelstelling in 2030 in het Basispad.....	12
Tabel 3 - Voer- en vaartuigaantallen in het Basispad 2030 per vervoersmodaliteit.....	13

Boxes

Box 1 - Aantallen voer- en vaartuigen in het Basispad 2030	13
Box 2 - Overzicht raakvlakken waterstof en andere beleidsthema's lenW.....	19

Afkortingen

BEV	Batterij Elektrisch Voertuig
CCUS	Carbon Capture, Utilisation and Storage
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
FCEV	Waterstof-elektrisch voertuig - Fuel Cell Electric Vehicle
ICE	Voertuig met interne verbrandingsmotor - Internal Combustion Engine
IEA	Internationaal Energie Agentschap
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
KEV	Klimaat- en Energieverkenning
LH2	Vloeibare Waterstof - Liquid Hydrogen
LNV	Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
OEM	Original Equipment Manufacturer
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
(P)HEV	(Plug-in) Hybride Elektrisch Voertuig
RES	Regionale Energie Strategie
SAF	Duurzame Luchtvaartbrandstof - Sustainable Aviation Fuel
TCO	Total Cost of Ownership
TRL	Technology Readiness Level
TTW	Tank-to-wheel
WTW	Well-to-wheel
ZE	Zero-emissie

1 Doel van deze strategische verkenning

Alle vormen van mobiliteit en transport, over de weg, over het water, per spoor en door de lucht, zullen veranderingen ondergaan in de omslag naar een duurzaam mobiliteitssysteem. In Nederland is de sector mobiliteit verantwoordelijk voor 18,5% van de totale broeikasgasemissies¹. Daarnaast heeft mobiliteit een grote impact op de lokale luchtkwaliteit. Om deze schadelijke effecten te verminderen is een breed palet aan oplossingen in ontwikkeling of reeds beschikbaar. Aandrijflijnen met waterstof als energiedrager kunnen in veel verschillende mobiliteitsvormen worden ingezet, als complementaire optie naast andere technieken. Hoewel het een technisch bewezen oplossing is, bevinden veel toepassingen van waterstof in mobiliteit bevinden zich nog in een premature marktphase. De stap van innovatie naar adoptie van zulke nieuwe technieken in de samenleving vraagt, passend bij de marktphase, nadrukkelijk om consistent stimuleringsbeleid vanuit de overheid.

Deze Strategische Verkenning Waterstof in Mobiliteit 2030 biedt het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) een handelingskader voor de uitvoering van de afspraken die in het Klimaatakkoord over waterstof in mobiliteit zijn vastgelegd. Het verheldert de te verwachten bijdrage van waterstof in mobiliteit aan het realiseren van de klimaatdoelstellingen en benoemt koppelkansen met flankerende beleidsthema's, zoals de stikstofproblematiek, het Schone Lucht Akkoord en de ambities voor een Circulaire Economie. Het schetst hiermee ook een kader voor het op te stellen 'Actieprogramma Waterstof in Mobiliteit 2022 - 2025', als concrete uitwerking van de afspraken en doelstellingen in het Klimaatakkoord. Tenslotte biedt deze verkenning ook de onderbouwing aan IenW voor haar inbreng in het Nationaal Waterstof Programma. Dit is een uitwerking van de Kabinetsvisie Waterstof en wordt onder coördinatie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) opgesteld.

Deze strategische verkenning is een verdere verdieping en actualisatie van de vastgestelde Visie Duurzame Brandstoffen in Mobiliteit (september 2020) en de Routeradar op het thema 'waterstof in mobiliteit'. De strategische verkenning bevat scenarioberekeningen van de waterstofvraag en emissiereductie per vervoersmodaliteit in 2030.

Hieruit wordt een 'Basispad Waterstof in Mobiliteit 2030' opgesteld, waarmee invulling kan worden gegeven aan de ambities in het Klimaatakkoord. De realisatie van het Basispad 2030 dient ook een duidelijk doel op de langere termijn: het mede mogelijk maken van zero-emissie mobiliteit in de volle breedte. Zo bezien is 2030 een tussenstation, van waaruit het uiteindelijke potentieel richting 2050 kan worden gerealiseerd.

Realisatie hiervan vergt een gezamenlijke inspanning van private en publieke partijen. Het Basispad 2030 is ook vertaald in een visie op het bijbehorende basisnetwerk voor waterstof-tankinfrastructuur. Ten slotte worden kansen voor versnelling benoemd, met het oog op de te verwachten (en reeds door Nederland onderschreven) aanscherping van het Europese klimaatbeleid.

¹ Totale broeikasgasemissies exclusief landgebruik, PBL (2021): Klimaat- en Energieverkenning

2 De context

Klimaatakkoord en de doelstellingen voor mobiliteit

Het Kabinet heeft met het Klimaatakkoord en de Klimaatwet de doelstellingen voor de energietransitie in Nederland vastgesteld. Het Klimaatakkoord stelt als doel om de landelijke uitstoot van broeikasgassen in 2030 met 49% te reduceren ten opzichte van 1990. De sector mobiliteit veroorzaakt nu 18,5% van de landelijke uitstoot. In het kader van het Klimaatakkoord is voor mobiliteit een reductieopgave becijferd van 7,3 Mton CO₂ in 2030. Ook de afspraken uit het Schone Luchtakkoord en de stikstofproblematiek onderstrepen de urgentie om de sector mobiliteit te verduurzamen. Bovendien versterkt de aankondiging van de Europese Commissie om de klimaatdoelstellingen voor 2030 aan te scherpen naar 55% CO₂-reductie de behoefte aan actieve interventies.

Om richting 2050 een volledig duurzaam mobiliteitssysteem te realiseren is nu al een zero-emissie koers nodig. Daarvoor is een grote omslag van de huidige techniek van de verbrandingsmotor naar elektrisch aangedreven voer-, vaar- en vliegtuigen onontbeerlijk. Batterij-elektrische en waterstof-elektrische aandrijflijnen zijn de enige beschikbare technieken die per definitie *tank-to-wheel (TTW)* zero-emissie zijn en perspectief hebben op *well-to-wheel (WTW)* zero-emissie, mits groene of schone elektriciteit wordt ingezet. De opgaven in het domein van lenW zijn overigens *tank-to-wheel*. In de voorliggende verkenning is dit ook de focus.

In het Klimaatakkoord wordt voor 2030 de ambitie genoemd om vanuit de sector mobiliteit een totale jaarlijkse afzet van waterstof van 141 miljoen kg te realiseren. Dat is het equivalent van het verbruik van 300.000 waterstof-personenauto's. Daarnaast is een tussendoel geformuleerd om tenminste 50 waterstof-tankstations te realiseren in 2025, met 15.000 personenauto's en 3.000 zwaardere voertuigen als gebruikers van deze tankinfrastructuur. Dit kan worden omgerekend in een afzet van 18 miljoen kg waterstof en een TTW-emissiereductie van ca. 0,2 Mton CO₂². Het Klimaatakkoord noemt het opstellen van een ambitieus Convenant Stimulering Waterstof-mobiliteit als concrete inspanningsverplichting.

Op weg naar zero-emissie mobiliteit in de breedte

De stip op de horizon voor 2050 is: een volledig duurzaam mobiliteitssysteem, waarbij de zero-emissie (ZE) alternatieven de huidige fossiele brandstoffen volledig hebben vervangen. Het jaar 2030 kan worden gezien als een tussenstation met afrekenbare doelen, op weg naar verregaande systeemveranderingen.

De route naar 2050 bestaat in hoofdzaak uit elektrificatie van voer-, vaar- en vliegtuigen. Elektrificatie kent verschillende verschijningsvormen. (Plug-in) hybride elektrische voertuigen (P)HEV kunnen op de kortere termijn een bijdrage leveren. Werkelijk zero-emissie mobiliteit is te bereiken met batterij-elektrische voertuigen (BEV) en waterstof-elektrische voertuigen (ook aangeduid als: brandstofcel-elektrische voertuigen, Engels: *Fuel Cell Electric Vehicle*, FCEV). Dit zijn twee zijden van dezelfde medaille. Beide technieken kennen de elektrische aandrijving, alleen de vorm waarin de energie "aan boord" wordt opgeslagen verschilt: in de vorm van in elektronen (in een accu) dan wel in moleculen (in een waterstoftank).

Inmiddels is de batterij-elektrische aandrijving een goed ontwikkelde zero-emissie techniek, met een steeds groter marktaandeel voor met name tweewielers en personenauto's. Echter, bij een inzetprofiel met hogere vermogensvragen en langere afstanden loopt deze techniek tegen grenzen aan. De energiedichtheid van batterijen is lager dan die van vloeibare en gasvormige brandstoffen. Daardoor verhogen de accupakketten het gewicht van het transportmiddel en beperken ze het laadvolume. Bij verdere opschaling van batterij-elektrische mobiliteit ontstaan tevens vraagstukken rondom de grondstofbehoefte van batterijen en beperkingen van de laadinfrastructuur en het elektriciteitsnet.

Waterstof-elektrische mobiliteit is duidelijk complementair aan batterij-elektrische mobiliteit en zal vooral in het traditioneel fossiele dieselsegment van mobiliteit een rol gaan spelen. Waterstof kent ten opzichte van batterijen en elektronen een hogere energiedichtheid en transportcapaciteit en een lagere materiaalbehoefte. Daarmee zijn brandstofcel-elektrische aandrijvingen een uitkomst voor de

² Becijferd door Ekinetix op basis van ontwikkeld rekenmodel.

begrenzungen die de batterij-elektrische techniek kent. Met een combinatie van technieken kan een volledige duurzame dekking van zowel de lichte, als de zware en intensieve mobiliteit bereikt worden. Tevens blijft de totale belasting van het elektriciteitsnetwerk in deze combinatie beperkt.

Toepassingsvormen van waterstof in mobiliteit

Waterstof is als energiedrager in mobiliteit toepasbaar in verschillende aandrijftechnieken en verschijningsvormen:

De brandstofcel-elektrische aandrijftechniek (*Fuel Cell Electric Vehicles*, FCEV) met als energiedrager:

- Waterstof in pure vorm als gas
- Waterstof in pure vorm als vloeistof (LH2)
- Waterstof gebonden in regeneratieve verbindingen zoals natriumboorhydride en LOHC's (Liquid Organic Hydrogen Carriers)

Ook wordt er nationaal en internationaal veel aandacht besteed aan verbrandingstechniek (*Internal Combustion Engine*, ICE). De verbrandingsmotor kan worden gevoed met:

- Waterstof in pure vorm (gasvormig of vloeibaar op te slaan)
- Dual fuel: bijmenging van waterstof met diesel
- E-fuels: synthetische brandstoffen die lijken op fossiele brandstoffen maar gemaakt zijn uit basale bouwblokken m.b.v. (groene) elektriciteit.
- Ammonia
- Methanol

In deze verkenning wordt een sterke focus gelegd op de brandstofcel (*fuel cell*) techniek, aangezien dit de enige toepassing is met werkelijk (TTW) zero-emissie als resultaat en door een hoger rendement, per ingezette kilogram waterstof meer klimaatteffect oplevert.

Marktrijpheid van brandstofcel-elektrische mobiliteit

De marktrijpheid van de verschillende brandstofcel-elektrische toepassingen varieert. Bussen en personenauto's worden in vroeg commercieel stadium met de eerste producten op de markt. Binnenvaartschepen en mobiele werktuigen bevinden zich nog in de pilot- en demonstratiefase. Hierdoor zijn deze toepassingen in 2030 nog niet opgeschaald tot de uiteindelijke marktpotentieel. De periode tot aan 2030 vormt de basis om richting 2050 significante aandelen van de markt te kunnen bedienen, grotendeels ter vervanging van het huidige dieselsegment.

Beschikbaarheid van groene en schone waterstof

Waterstof bestaat in verschillende categorieën: fossiel, emissiearm en hernieuwbaar, die worden aangeduid met verschillende 'kleuren', afhankelijk van de productiemethode en CO₂ emissies: grijs, blauw en groen. 'Grijze' waterstof is geproduceerd uit fossiele bronnen (hoofdzakelijk aardgas) en met CO₂-emissies naar de atmosfeer. Het heeft een beperkt positief klimaatteffect en is daarmee acceptabel voor een opstartfase met bestaande industriële infrastructuur, maar is geen lange-termijnoptie voor verduurzaming van mobiliteit. 'Blauwe' waterstof is ook geproduceerd uit fossiele bronnen maar met toepassing van afvang en gebruik of opslag van CO₂ (CCUS). Het is daarmee dus een tijdelijke oplossing voor de overbrugging richting een energiesysteem met grote aandelen hernieuwbare energie. 'Groene' waterstof wordt met elektrolyse gemaakt uit hernieuwbare elektriciteit en is een duurzame lange-termijn oplossing mits voldoende hernieuwbare elektriciteit beschikbaar is, al dan niet via certificaten. Import van groene waterstof uit regio's met een potentieel overschot aan hernieuwbare energie, zoals Zuid-Europa, Noord-Afrika en het Midden-Oosten, is tevens een optie.

Om de klimaatdoelen te behalen is de minimumeis dat waterstof klimaatneutraal is. In deze verkenning wordt geadviseerd om na een relatief korte overgangperiode (bijvoorbeeld: tot uiterlijk 2025) in de sector mobiliteit nog slechts het gebruik van volledig groene waterstof te stimuleren. Dat levert de grootste klimaatimpact, is een no-regret eindoplossing en is ook te verkiezen om een maximaal maatschappelijk draagvlak te creëren. De uitdaging is om de *price gap* tussen enerzijds fossiele energie en anderzijds groene waterstof als brandstof te dichten.

De integrale ontwikkeling van de waterstof-waardeketen

In Nederland heeft de ontwikkeling van waterstof als significante schakel in het energiesysteem prioriteit gekregen, getuige de Kabinetsvisie Waterstof uit maart 2020. Het Kabinet zet in deze visie uiteen dat een verdergaande elektrificatie in het energiesysteem weliswaar gewenst is, maar dat in het eindbeeld in 2050 nog altijd circa 55% van de totale energiemarkt via moleculen wordt bediend.

Het Kabinet ziet (klimaatvriendelijke) waterstof als een onmisbaar 'systeemmolecuul'. Waterstof heeft in het energiesysteem van de toekomst bovendien de functie van grootschalige opslag en transport van (hernieuwbare) energie. Via de conversie van elektronen naar waterstof kunnen de sterke

seizoensfluctuaties in hernieuwbare elektriciteitsopwekking worden beheerst. Naast de sectoren Industrie en Gebouwde Omgeving is de sector Mobiliteit een belangrijke toepassing voor waterstof: "Het kabinet ziet in de toekomst een belangrijke rol weggelegd voor waterstof als energiedrager in mobiliteit, vooral voor zwaar transport, bijvoorbeeld vrachtwagens, OV-bussen en mogelijk ter vervanging van dieseltreinen."³

De marktontwikkeling in mobiliteit is relevant voor de inzet van het Kabinet om de gehele waardeketen tot ontwikkeling te brengen. Juist in de sector mobiliteit ontstaat als eerste deelmarkt zicht op die opschaling, aangezien in deze markt hogere prijzen voor energie kunnen worden geabsorbeerd dan in bijvoorbeeld de industrie of de gebouwde omgeving. De waardeketen van waterstof en de toepassing in mobiliteit bevinden zich na een lange periode van innovatie nu in de fase van eerste opschaling en commercialisatie. In deze context kan het komende decennium waterstof in mobiliteit sterk bijdragen aan het adagium 'van proeftuin naar duurzaam ecosysteem'.

De internationale context

Er is op alle bestuurlijke niveaus aandacht voor waterstof in mobiliteit. De Europese Commissie heeft met de European Green Deal het belang van de transitie naar duurzame energie onderstreept. De European Hydrogen Strategy biedt een Europees kader voor de Nederlandse Kabinetsvisie Waterstof. In de voorstellen voor de 'Fit for 55' pakketten vanuit de Europese Commissie speelt waterstof een belangrijke rol. Ook heeft een groeiend aantal landen (waaronder Duitsland, Frankrijk, Verenigd Koninkrijk, Japan, Californië, Italië, Portugal, Spanje, België, Japan, Zuid-Korea, Canada, China, Australië, Nieuw-Zeeland) inmiddels grootschalige plannen en investeringen voor de ontwikkeling en uitrol van waterstof-infrastructuur aangekondigd. Het Internationaal Energieagentschap (IEA) stelt: "Waterstof zal een sleutelrol gaan vervullen in een schone, veilige en betaalbare energietoekomst"⁴ en "het is noodzakelijk in een energiesysteem met netto nul uitstoot"⁵. Juist in die internationale dynamiek streeft Nederland naar een sterke internationale handelspositie, waarbij ook de economische kansen voor waterstof ten volle worden benut. Mede om die reden ambieert

Nederland een koploperspositie bij het ontwikkelen van de waardeketen van waterstof.^{6,7}

De internationale context is ook relevant voor het 'uitrollen' van waterstof in mobiliteit in Nederland. Dankzij die internationale dynamiek is er binnen en buiten Nederland steeds meer tractie in innovatie, met name bij het tot ontwikkeling brengen van voer- en vaartuigen met waterstof aandrijving. Tegelijkertijd wordt er een significante kostenreductie teweeggebracht door Europese schaalcreatie. Verschillende fabrikanten, (Engels: *original equipment manufacturers*, OEM's) versnellen op dit moment hun ontwikkelprogramma's, mede gedragen door de snelle ontwikkelingen in hybride en volledig elektrische aandrijftechniek in het algemeen. Verder is Europese samenwerking bij de uitrol van tankinfrastructuur (bijvoorbeeld op de Europese transportcorridors) binnen handbereik. Door de grote ambities ten aanzien van opschaling van de productie van groene waterstof is op middellange termijn ook een significante prijsdaling van waterstof te verwachten.

³ Klimaatakkoord (2019) pagina 51

⁴ International Energy Agency (2019): The Future of Hydrogen

⁵ International Energy Agency (2021): Global Hydrogen Review 2021

⁶ FME, Ekinetix, Stratelligence (2019): Waterstof: Kansen voor de Nederlandse industrie

⁷ Minister van Economische Zaken en Klimaat Eric Wiebes tijdens Hydrogen Ministerial Meeting (14 okt 2020)

Regionale ontwikkelingen en hotspots

Ook regionale overheden treden inmiddels naar buiten met een groot aantal initiatieven. Door samenwerking in de keten (van productie en distributie, via tankinfrastructuur, tot het realiseren van voldoende gegarandeerde afname) ontstaan er waterstofecosystemen op regionaal of lokaal niveau. Zo is Noord-Nederland de eerste (door de EU erkende) Hydrogen Valley. De zeehavens van Rotterdam en Amsterdam en ook Den Helder, Delfzijl en Vlissingen werken aan energietransitieprogramma's met daarin een significante rol voor waterstof. In het kader van de Regionale Energie Strategieën (RES'en) is er toenemende belangstelling voor waterstof als opslagmedium voor energie.⁸

Veel regio's (provincies, gemeentelijke samenwerkingsverbanden) werken aan regionale programmering van "Waterstof in Mobiliteit". Provincies stellen waterstofstrategieën (zoals in Noord-Holland) en regionale convenanten (zoals in Utrecht) op voor stimulering van de realisatie van tankmogelijkheden en de aanschaf en inzet van waterstofvoertuigen samen met het bedrijfsleven, kennisinstellingen en andere overheden. Ook wordt actief gezocht naar internationale samenwerking, zoals in het programma RH2INE, met subsidie van de Europese Commissie. Er is dus regionaal sterke tractie op het thema waterstof in mobiliteit.

Veiligheid als harde voorwaarde

In alle omgang met en gebruik van waterstof is veiligheid een harde randvoorwaarde. (Wettelijke) taken en bevoegdheden die raken aan waterstofveiligheid zijn verspreid over verschillende ministeries en uitvoeringsorganisaties. Daarnaast wordt internationaal veel relevante kennis opgedaan. Daarom is coördinatie en afstemming nodig voor het monitoren, signaleren en agenderen van veiligheidsaspecten rondom waterstof in mobiliteit. Het uiteindelijke doel is tijdig en juist agenderen van veiligheidsaspecten zodat de ontwikkeling van normen en wet- en regelgeving hand-in-hand gaan met de marktontwikkeling.

⁸ Zie bijvoorbeeld:

- Noordelijke Innovation Board (2017): De Groene Waterstof-economie in Noord-Nederland
- Stratelligence, Ekinetix (2020): Kansen voor de Energietransitie voor Oost-Nederland
- TU Delft, Stratelligence, Ekinetix, Innovation Quarter (2019): Naar een groene waterstofeconomie in Zuid-Holland
- Provincie Zuid-Holland (2020): Waterstofvisie en Strategie
- Provincie Noord-Holland (2020): Waterstofstrategie
- Provincie Groningen (2021): Investeringsagenda Waterstof Noord-Nederland
- ECUB (2021): Convenant Waterstof in Mobiliteit Provincie Utrecht

3 De analytische basis

Opzet van de strategische verkenning

De bouwstenen waarmee deze verkenning is opgezet, zijn:

1. Een modelmatige bepaling van de waterstofvraag per deelmarkt in de mobiliteit, op basis van (inter-)nationale marktinformatie en prognoses met betrekking tot de innovatiecurve en markt bereik. Daarbij is zoveel mogelijk aangesloten op bestaande sectorrapporten, de Routeradar en de Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit.⁹ Ook zijn diverse marktconsultaties doorgevoerd.¹⁰
2. De bepaling van de reductie van CO₂-uitstoot met waterstof, door een *tank-to-wheel* vergelijking met het huidig alternatief, op basis van de Emissieregistratie.
3. De benodigde ontwikkeling van bijbehorende tankinfrastructuur.

Rekenmodel en scenarioberekeningen per vervoersmodaliteit

Waterstofmobiliteit staat op de drempel van innovatie naar marktuitrol. Vanwege de grote dynamiek is een statische benadering ontoereikend. Daarom heeft Ekinetix een adaptief rekenmodel gebouwd, waarmee (binnen bandbreedtes en via verschillende scenario's) per deelsegment een inschatting is te maken van zowel het markt bereik als de bijbehorende aantallen voer- en vaartuigen, de afzet van waterstof en de effecten op CO₂-reductie. Daarmee is voor het eerst een totaaloverzicht gemaakt van het mogelijke bereik van waterstof als energiedrager in de significante deelmarkten van mobiliteit, binnen het gehele IenW domein en binnen de scope van het Klimaatakkoord.

Dit prognosemodel is geschikt voor herijking, waarbij steeds de nieuwste informatie over de marktontwikkeling kan worden verwerkt. Op dit punt heeft het model al tijdens het opstellen van de strategische verkenning zijn waarde bewezen. De opbouw van het model faciliteert tevens de doorrekening van de effecten van beleid. De indeling per deelmarkt maakt het mogelijk om specifieke stimuleringsmaatregelen per segment door te rekenen naar te verwachten effecten op aantallen voer- en vaartuigen, afzet van waterstof en bijbehorende CO₂-reductie effecten.

Bijdrage waterstof aan klimaatdoelen mobiliteit

Er zijn drie modelscenario's opgesteld, die allen realiteit kunnen worden onder bepaalde voorwaarden, om hiermee de randen van het speelveld te verkennen. De modelscenario's zijn genaamd: LAAG, MIDDEN en HOOG en representeren verschillende gradaties in beleidsstimulering. Er is een analyse per vervoersmodaliteit gemaakt (bijvoorbeeld een trekker voor oplegger) in de drie scenario's en daarmee een berekende waterstofvraag en emissiereductie. Vervolgens zijn deze uitkomsten per mobiliteitscategorie samengevoegd (bijvoorbeeld vervoer over weg).

Alle modelwaarden zijn opgesteld onder enkele randvoorwaarden. Die omvatten de ontwikkeling van een basisnetwerk tank- en bunkerinfrastructuur, van beschikbaarheid van waterstof en onder borging van veiligheid. Stimulering van voertuigen en tankstations vanuit (additioneel) beleid is hiervoor noodzakelijk. Het bijeenbrengen van vraag en aanbod dienen in de vroege fase is een belangrijke succesfactor.

Zonder deze randvoorwaarden is het onwaarschijnlijk dat zelfs de waarden in het LAAG

⁹ Aangesloten bij bestaande basis, en resolutie toegevoegd waar nodig. Dit model is verder gevalideerd door het inbrengen van relevante informatie van meest recent verschenen rapporten. In een laatste kwaliteitslag is het model afgestemd met PBL, TNO en in lijn gebracht met de Routeradar. Deze is aangevuld vanuit een gedetailleerde marktanalyse.

Referenties: Routeradar 2019 (uitgegeven in 2020) <https://rwsduurzamemobiliteit.nl/beleid/duurzame-energiedragers-mobiliteit/routeradar-2019/> en Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit (sept 2020): <https://rwsduurzamemobiliteit.nl/beleid/duurzame-energiedragers-mobiliteit/visie/>

¹⁰ In de opbouw van deze strategische verkenning is een intensief traject van informatievergaring doorlopen. Via een reeks van interviews binnen IenW is een gedetailleerd overzicht ontstaan van de mogelijke toepassingen en daarmee de relevantie van waterstof in de verschillende transportmodaliteiten. Daarbij is ook een reeks van aanpalende thema's in kaart gebracht, zoals de vraag naar noodzakelijke tankinfrastructuur, de veiligheidsaspecten en de verwachtingen ten aanzien van marktontwikkelingen, maar ook de raakvlakken tussen verschillende modaliteiten en de koppelkansen die er onderling en in relatie tot aanpalende beleidsthema's nadrukkelijk zijn. Vervolgens zijn de belangrijkste aangemerkte uitdagingen op het terrein van het energiesysteem: i) de veiligheid in het publieke domein en ii) de marktontwikkeling (vraagaggregatie), verder uitgediept in een serie van dialoogsessies met experts vanuit bedrijfsleven, kennisinstellingen en (regionale) overheden.

scenario worden behaald. Het MIDDEN scenario zijn representeert de verwachte aantallen indien voor specifieke vervoersmodaliteiten sterker gestimuleerd wordt op vlootontwikkeling, door middel van meerjarig subsidiebeleid¹¹. Het HOOG scenario vereist dat er in Europese context wordt versneld, in publiek-private samenwerking met grotere aandacht voor het economisch verdienpotentieel en een sterkere focus op de zware transportcorridors.

Alle cijfers zijn gevalideerd door vakinhoudelijk experts en zoveel mogelijk in lijn met de bestaande cijferbasis. In het model wordt uitsluitend gerekend met waterstof in gasvormige en vloeibare vorm en met brandstofcel-elektrische aandrijflijnen.

Er is een belangrijke wijziging van de scope ten opzichte van het Klimaatakkoord doorgevoerd: niet langer wordt er uitgegaan van 300.000 FC personenauto's in 2030, maar van 50.000 (LAAG) tot 150.000 (HOOG) en uitsluitend in het D-segment en hoger.

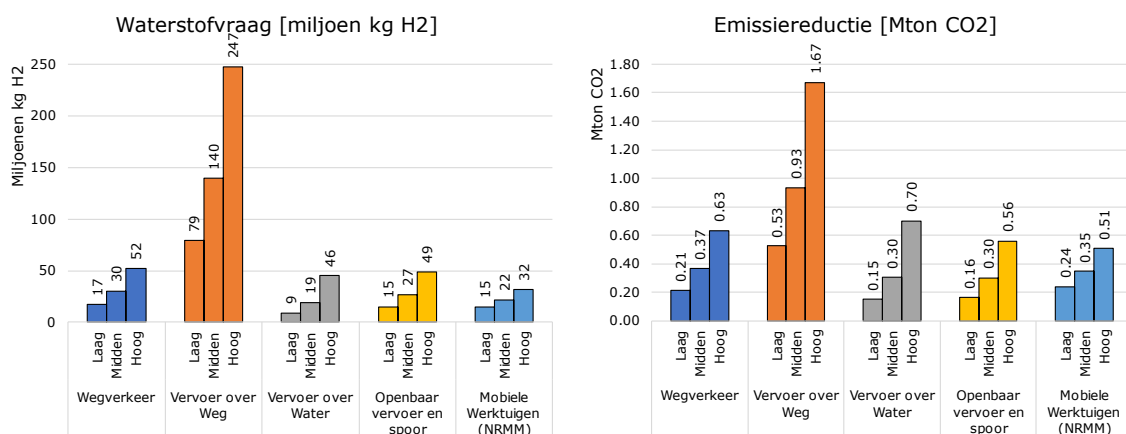
In Figuur 1 zijn de uitkomsten van de scenarioberekeningen met betrekking tot de waterstofvraag en emissiereductie weergegeven. De cumulatieve waterstofvraag, de bijbehorende emissiereductie en het aandeel in de doelstelling voor mobiliteit in het Klimaatakkoord zijn voor de

drie theoretische modelscenario's weergegeven in Tabel 1. De categorieën Wegverkeer, Vervoer over Weg en Openbaar Vervoer en Spoor hebben naar verwachting de grootste impact op de klimaatdoelen voor mobiliteit in 2030. De impact van de categorieën vervoer over water en mobiele werktuigen zijn wegens de lage marktrijpheid, (uitgedrukt in een 'Technology Readiness Level' (TRL)) nog relatief beperkt, maar een versnelling van deze deelmarkten (bijvoorbeeld gedreven door stikstofbeleid) kan zorgen voor een significante bijdrage aan de klimaatdoelen.

Conclusies uit modelberekeningen

Indien alle modaliteiten zich tot hun LAAG scenario ontwikkelen, worden de doelstellingen van het Klimaatakkoord voor "Mobiliteit en Waterstof" niet gehaald. Er is echter zicht op behalen van de doelstelling indien op enkele specifieke modaliteiten, waar de overheid een grotere invloed heeft, versneld wordt naar het MIDDEN scenario.

De MIDDEN en HOOG scenario's bieden een significante propositie. Het HOOG scenario biedt ruimte voor aanscherping van de Klimaatdoelen zoals door de Europese Commissie voorgenomen.



Figuur 1 - Waterstofvraag en emissiereductie over de verschillende mobiliteitscategorieën. Voor de modelscenario's LAAG, MIDDEN, HOOG

Tabel 1 - Waterstofvraag, emissiereductie en fractie van de doelstelling in 2030.

Modelscenario	Waterstofvraag	Emissiereductie	Fractie Doelstelling Mobiliteit Klimaatakkoord (7,3 Mton)
Laag	135 miljoen kg	1,29 Mton	18%
Midden	239 miljoen kg	2,25 Mton	31%
Hoog	429 miljoen kg	4,07 Mton	56%

Voor de theoretische modelscenario's LAAG, MIDDEN en HOOG. Fracties t.o.v. doelstelling 7,3 Mton; totale doelstelling mobiliteit is 16 Mton reductie tussen 1990 en 2030.

¹¹ De aantallen voer- en vaartuigen in het MIDDEN scenario worden berekend als het meetkundig gemiddelde van het LAAG en HOOG scenario. Het meetkundig gemiddelde geeft een gelijke gewing toe aan de onder- en bovengrens, het vindt het evenwicht in de verhoudingen tussen getallen, niet in de verschillen.

Afwegingsmatrix en actualisatie op ijkmomenten

Bij het bepalen van prioriteiten voor beleidsvorming spelen, naast de waterstofvraag en emissiereductie, ook andere factoren een rol. Om deze in beeld te krijgen en af te wegen, is een afwegingsmatrix ontwikkeld (ijkmoment: medio 2021). Deze matrix bevat per modaliteit en toepassing een classificatie van de meest relevante factoren voor prioritering van beleid:

- i) De *waterstofvraag* en *emissiereductie*, op basis van de uitkomsten van het rekenmodel op ijkmoment 2021. Hierin zijn verschillen in de maturiteit en beschikbaarheid van voer- en vaartuigen voor de verschillende toepassingen meegenomen.
- ii) *Bijdrage aan versnelling ontwikkeling van de waardeketen waterstof in mobiliteit*. Bepaalde modaliteiten hebben een specifieke toegevoegde waarde voor de versnelling van de gehele waardeketen van waterstof in mobiliteit. Dat kan technologisch van aard zijn (bijvoorbeeld: het ontlocken van een snellere uitrol van de brandstofceltechniek in andere sectoren). Daarnaast kunnen bijvoorbeeld eerste vloten een tankstation laten

renderen, waardoor er rondom dat tankstation meer tractie kan ontstaan.

- iii) *Duurzaam verdienpotentieel voor de Nederlandse economie*, doordat het Nederlandse bedrijfsleven betrokken is bij productie en/of handel van systemen of onderdelen in de waardeketen.
- iv) *Invloed van overheid op groeitempo*. De Rijksoverheid en regionale overheden kunnen per modaliteit in meer of mindere mate invloed uitoefenen op de snelheid van de marktgroei en daarmee naar de route naar maturiteit van de betreffende deelmarkt. De invloed is hoger bij toepassingen waar de overheid via aanbestedingen, 'launching customership', regelgeving (zoals zero-emissiezones) of via bestuursakkoorden de markt kan stimuleren. Voorbeelden zijn ov-bussen, doelgroepenvervoer, en mobiele werktuigen. Deze invloed is beperkter bij bijvoorbeeld personenauto's, vanwege afhankelijkheid van producenten uit het buitenland. De overheid kan wel met fiscale stimulering sturend optreden.

Bij deze analyse is de beschikbare kennis uit de recente literatuur en uit marktconsultaties

Vervoersmodaliteit	Toepassing	Waterstof-vraag	Emissie-reductie	Versnelling waardeketen	Duurzaam verdien-potentieel NL economie	Invloed overheid op groeitempo	Prioriteit stimulering 2021-2025	Inschatting prioriteit stimulering 2025-2030	Indeling tank-/ bunkerinfrastructuur
Wegverkeer									
Personenauto's	Personenauto's ≤ C	-	-	-	-	-	1	1	Personenvervoer
	Personenauto's ≥ D	4	4	1	2	1	4	3	Personenvervoer
Vervoer over Weg									
Licht vervoer	Bestelbussen	4	4	4	2	3	3	4	Personenvervoer / HD
Zwaar vervoer	Vrachtauto's (ex. t.v.o.)	4	4	3	4	3	4	5	Heavy Duty
	Trekkers voor oplegger	5	5	3	4	3	4	5	Heavy Duty
Publieke diensten	Reinigingsvoertuigen	3	3	4	3	5	5	4	Heavy Duty
	Publieke diensten	3	3	3	1	5	4	3	Personenvervoer / HD
Vervoer over Water									
Binnenvaart	Binnenvaartschip	3	3	5	5	3	4	5	Scheepvaart
Kustvaart	Short Sea Schip	2	2	2	3	3	3	4	Scheepvaart
	Utility Schip	2	2	4	3	4	4	5	Scheepvaart
	Visserij	1	1	2	3	4	3	4	Scheepvaart
Zeevaart	Zeevarend Schip						2	3	Scheepvaart / Drop-in
Havens, intralogistiek en goederenvervoer per spoor	Multimodale toepassing	1	1	4	4	4	4	4	Niet-Openbaar
Openbaar vervoer en spoor									
Stads- en streekvervoer	Stads-/streekbussen	4	4	5	4	5	4	3	Niet-Openbaar
Doelgroepenvervoer	Taxi's	3	3	5	1	4	5	3	Personenvervoer
	Zorgvervoer en WMO	3	3	5	1	5	5	4	Personenvervoer
	Touringcars	2	2	2	4	3	2	3	Personenvervoer / HD
Spoorverbindingen	Passagierstreinen	2	2	3	3	5	5	4	Niet-Openbaar
Rondvaart en ferries	Schip	1	1	3	3	5	3	3	Scheepvaart
Mobiele Werktuigen (NRMM)									
Bouw	Machines en voertuigen	4	4	3	3	4	5	5	Niet-Openbaar
Landbouw	Machines en voertuigen						5	4	Niet-Openbaar
Industrie	Machines en voertuigen	2	2	3	3	4	4	4	Niet-Openbaar
Handel, diensten, overheid	Machines en voertuigen	2	2	3	5	5	5	4	Niet-Openbaar
Consumenten	Machines en voertuigen	-	-	-	-	-	1	1	-
Luchtvaart									
Luchtvaart	Vliegtuig						4	4	Drop-in
Grondgebonden Intralogistiek	Voertuigen luchthavens	1	1	2	2	4	2	2	Niet-Openbaar

Figuur 2 - Afwegingsmatrix van de verschillende vervoersmodaliteiten

De scores zijn geïndiceerd van 1 (zeer laag) tot 5 (zeer hoog) voor de verschillende indicatoren. Onder 'HRS Indeling' is met een kleur aangegeven aan welk type infrastructuur deze modaliteit behoefte heeft en bijdraagt.

betrokken. Daarnaast is ook de actuele beleidsontwikkeling in binnen- en buitenland in beschouwing genomen.

De analyse van deze factoren leidt tot een gewogen advies over de prioritering voor stimulering in de aanstaande periode 2021-2025. Focussegmenten voor die periode zijn: Reinigingsvoertuigen, Taxi's, Zorgvervoer & WMO, Passagierstreinen (op niet-geëlektrificeerde trajecten) en Mobiele Werktuigen. Er is een breed scala aan interventie-instrumenten beschikbaar, variërend van subsidiering en fiscaal beleid tot normstelling en regelgeving. De verdere uitwerking van deze instrumentenmix zou in een volgende fase van beleidsvorming moeten plaatsvinden.

De gemene deler bij alle deelsegmenten: in de periode 2021 - 2025 is nadrukkelijk een vorm van subsidiering van voer- en vaartuigen noodzakelijk, aangezien met name de aanvangsinvesteringen in deze fase van marktontwikkeling nog relatief hoog zijn.

Verder wordt tentatief een beleidsadvies voor de periode 2025-2030 gegeven: zou, met de kennis van nu, het beleid gecontinueerd of geïntensiveerd moeten worden, of kent de markt dan voldoende tractie zonder verder stimuleringsbeleid? Een sterkere beleidsfocus zou in 2025-2030 kunnen liggen op zwaar wegvervoer, binnenvaart (met voor beide categorieën een significante impact op de klimaatdoelen), utility schepen en de sector mobiele werktuigen. Vanzelfsprekend is herijking van dit tentatief beleidsadvies rond 2025 noodzakelijk.

4 Van model naar strategie

Basispad Waterstof in Mobiliteit 2030

Bij de ontwikkeling van het strategische beeld op 2030 is de verwachte marktontwikkeling in het modelscenario LAAG als startpunt genomen. Om de aantallen voer- en vaartuigen in LAAG scenario te behalen, moet voldaan worden aan beschreven randvoorwaarden en is additioneel stimuleringsbeleid nodig. Per deelmarkt kan de ingroei van voer- en vaartuigen versneld worden door doelgerichte beleidsinterventies op die vervoersmodaliteit.

Vanuit deze analyse is een "Basispad Waterstof in Mobiliteit 2030" samengesteld. Dit vormt een startpunt om de brede toepassing van waterstofmobiliteit op gang te brengen. Ook is het een realistische route naar het behalen van de ambities zoals gespecificeerd in het Klimaatakkoord. Ingroei van deze voer- en vaartuigen is realistisch, zowel gezien vanuit jaarlijkse productievolumes, als marktaandeel binnen de modaliteit en *technology readiness level (TRL)*.

Het Basispad neemt voor alle deelmarkten het lage scenario het uitgangspunt, maar voor specifieke categorieën voertuigen waar de overheid duidelijke sturing kan uitoefenen (via versnellingsacties zoals *launching customership*) wordt het scenario MIDDEN aangehouden. Dit betreft de deelmarkten van reinigingsvoertuigen, publieke diensten, stads- en streekbussen, zorgvervoer & WMO en passagierstreinen. Realisatie van het Basispad vergt een

ketenbenadering vanuit lenW, om de integrale waardeketen te ontwikkelen.

Het verwachte resultaat bij het volgen van dit Basispad: in 2030 wordt ca. 146 miljoen kg waterstof door de sector mobiliteit afgenomen (Tabel 2). De hiermee gepaard gaande *tank-to-wheel* reductie van broeikasgassen is ca. 1,40 Mton CO₂-equivalent. Dat is ongeveer 19% van de gehele opgave voor mobiliteit (7,3 Mton) die in het kader van het Klimaatakkoord is becijferd. Hierbij is de rekenmethodiek van PBL gehanteerd, zoals ook toegepast in de Klimaat- en Energieverkenning.

Het Basispad 2030 zorgt dus ook voor het behalen van de ambitie uit het Klimaatakkoord van 141 mln. kg H₂, met inbegrip van enige marge.

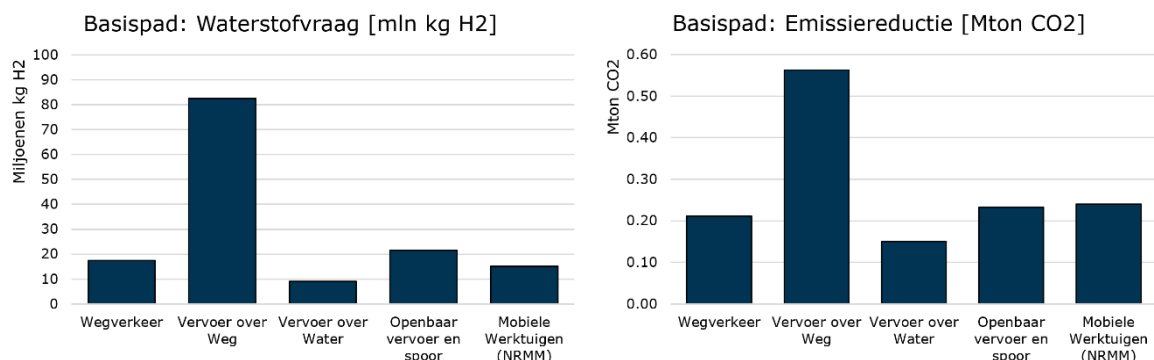
Het concreet versnellen op de betreffende modaliteiten waar de overheid sturingsmogelijkheden heeft, levert daarnaast twee belangrijke spin-off effecten op:

- i) Voor de modaliteiten waarop versneld wordt, ligt de waardeketen van de productie van componenten en eindproducten veelal in Nederland. Dat genereert duurzaam verdienpotentieel voor de Nederlandse maakindustrie.
- ii) Deze voertuigen kunnen (grotendeels) opereren vanuit één tankstation. Door het aggregeren van een significant aantal voertuigen, ontstaat een geconcentreerde waterstofvraag op één station en krijgen deze tankstations een hogere benuttingsgraad. Daardoor draagt een

Tabel 2 - Waterstofvraag, emissiereductie en fractie van de doelstelling in 2030 in het Basispad.

Modelscenario	Waterstofvraag	Emissiereductie	Fractie Doelstelling Mobiliteit in Klimaatakkoord (7,3 Mton)
Basispad 2030	146 miljoen kg	1,40 Mton	19%

Het Basispad is een haalbare weg naar realisatie van ambities uit Klimaatakkoord



Figuur 3 - Waterstofvraag en emissiereductie in 2030 voor de verschillende mobiliteitscategorieën. Voor het Basispad Waterstof in Mobiliteit 2030

versnelling op deze modaliteiten bij aan een efficiënte ontwikkeling van het basisnetwerk tankinfrastructuur tegen de laagste totale maatschappelijke kosten.

Bij het realiseren van deze voertuigaantallen is er perspectief op de waterstofvraag en emissiereductie per categorie zoals weergegeven in Figuur 3.

Box 1 - Aantallen voer- en vaartuigen in het Basispad 2030

In 2030 beslaat waterstofmobiliteit pas een klein deel van het uiteindelijke potentieel in 2050. Het Basispad 2030 is opgesteld als mogelijk en tegelijkertijd realistisch ingroeipad voor brandstofcel-elektrische voer- en vaartuigen. Het biedt een perspectief op de toepassing van waterstofmobiliteit in de volle breedte en is tegelijkertijd een richtpunt om de zero emissie-ambities van het kabinet te realiseren.

Het Basispad 2030 bevat voor de meeste modaliteiten het LAAG scenario. Het neemt het MIDDEN scenario voor modaliteiten waar duidelijke overheidssturing mogelijk is. Dit zijn reinigingsvoertuigen, publieke diensten, stads- en streekbussen, zorgvervoer & WMO en (diesel) passagierstreinen.

Om deze aantallen globaal te kunnen behalen moet aan bepaalde randvoorwaarden worden voldaan, zoals beschikbaarheid van tankinfrastructuur, beschikbaarheid en betaalbaarheid van voldoende (groene) waterstof en de ontwikkeling van een veiligheidskader. Het Basispad 2030 gaat uit van additioneel stimuleringsbeleid om de marktontwikkeling in deze vroege marktphase op gang te brengen.

De aantallen brandstofcel-elektrisch aangedreven voer- en vaartuigen in 2030 zijn relatief klein ten opzichte van de totale vloten en bedienen specifieke marktsegmenten. De cijfers zijn te interpreteren als additioneel en dus complementair aan de ontwikkeling van batterij-elektrische toepassingen.

Tabel 3 - Voer- en vaertuigaantallen in het Basispad 2030 per vervoersmodaliteit

Vervoers-modaliteit	Toepassing	Totale vloot in 2020	Fractie van deze vloot brandstofcel-elektrisch in 2030	Aantal voer- en vaartuigen brandstofcel-elektrisch in Basispad 2030
Wegverkeer	Personenauto's (segment C en lager)*	6.500.000	0%	0
	Personenauto's (segment D en hoger)	2.450.000	2%	50.000
Vervoer over Weg	Bestelbussen	875.000	1%	11.500
	Vrachtwagens (excl. trekkers voor oplegger)	71.000	4%	3.000
	Trekkers voor oplegger	90.000	7%	6.000
	Reinigingsvoertuigen (zwaar)	6.000	17%	1.000
	Publieke diensten (voertuigen)	-	-	3.000
Vervoer over Water	Binnenvaartschepen	5.500	1%	50
	Maritiem overig (visserij, short sea, dienstvaartuigen)	-	<1%	75
	Havens, intralogistiek en goederenvervoer per spoor	-	-	50
Openbaar Vervoer en Spoor	Stads- en streekbussen	6.500	12%	1.200
	Taxi's	27.000	11%	3.000
	Zorgvervoer en WMO	15.000	20%	3.000
	Treinen**	136	21%	50
	Touringcars	5.000	8%	400
Mobiele Werktuigen	Mobiele werktuigen***	120.000	4%	5.000
Luchtvaart	Passagiersvliegtuigen en Vrachtluchtvaart	-	0%	n.v.t.; Afzet in e-fuels/ synfuels

Het Basispad neemt het MIDDEN scenario voor de groen gearceerde 'stuurbare' modaliteiten, het LAAG scenario voor de andere modaliteiten. Er bestaat geen overlap tussen de verschillende modaliteiten.

* Voor kleine en middenklasse personenauto's tot het C-segment, worden geen waterstof voertuigen opgenomen.

** Dit aantal bevat alleen de treinen die momenteel nog op diesel rijden.

*** Dit aantal bevat alleen de sectoren 'bouw', 'industrie', 'handel, diensten, overheid' en laat 'landbouw' (scope van Ministerie van LNV) en 'consumenten' (veelal lichte toepassing) buiten beschouwing.

Prijswontwikkeling van voer- en vaartuigen

Kijkend naar de vlootontwikkeling van voer- en vaartuigen, is het algemene beeld dat de 'Total Cost of Ownership' (TCO) nog met 30 tot 50% dient te dalen om competitief te zijn met fossiel aangedreven voer- en vaartuigen. Het tempo waarin deze prijsreductie zich zal voordoen verschilt per deelmarkt. Naar verwachting is richting 2030 het brede scala aan voertuigen volledig competitief. Voor het deelsegment OV-bussen is (mede dankzij de JIVE programma's van de FCH JU) de aanschafprijs inmiddels vergelijkbaar met batterij-elektrische bussen. De nieuwste FCEV-personenauto, de Toyota Mirai 2, kost in Nederland ca. 20% minder dan zijn voorganger, tegen significant betere specificaties, en bij een nog steeds relatief kleine jaarproductie van slechts 30.000 stuks.

De prijs van FCEV-trucks is van ca. € 800.000 inmiddels gereduceerd tot € 400.000 - 450.000, zelfs zonder noemenswaardige opschaling van de productie. Dit is deels te verklaren omdat OEM's aangeven in trucks dezelfde technieken te (willen) gebruiken als in personenauto's, waardoor de ontwikkelkosten relatief laag blijven. Er is dus sprake van een significante relatie tussen ontwikkelingen in het personenautosegment en trucks. De gelijktijdige inzet van verschillende Europese landen om de vlootontwikkeling te stimuleren geeft de OEM's het vertrouwen dat er een robuuste markt voor waterstof-elektrische voertuigen gaat ontstaan. Samengevat: een verdere prijsreductie is dus te verwachten, mede omdat opschaling en kostenreductie kruislings doorwerken in verschillende modaliteiten en andere elektrische aandrijfvormen.

Versnellingskansen buiten Basispad

Naast de waterstofvraag en emissiereductie die te verwachten zijn vanuit het Basispad, zijn er versnellingskansen voor verschillende toepassingen. Deze toepassingen zijn niet meegenomen in het Basispad.

Binnen scope Klimaatakkoord:

i) De Terugsluis vrachtwagenheffing wordt verwacht in werking te treden vanaf 2025. Het terugvloeien van deze middelen binnen de sector zal naar verwachting een versnelling van de implementatie van zero-emissie vrachtwagens en trekkers voor oplegger teweegbrengen.

ii) Toepassing van waterstof in landbouwvoertuigen is kansrijk, mede ingegeven door het urgente stikstofdossier. Deze potentie is niet opgenomen in het Basispad, omdat dit binnen de taakstelling van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) valt en dus buiten de scope van lenW.

iii) Versnelde implementatie in mobiele werktuigen staat in de volle belangstelling (vooral bouw, maar ook landbouw, industrie en 'handel, diensten en overheid'), mede gezien de ontwikkeling van een routekaart voor de zero-emissie bouwplaats. Inzet van de beschikbare middelen vanuit het stikstofdossier kan hier een versnelling bieden. Het Kabinet reserveert in de periode 2021-2030 500 miljoen euro voor stikstofreductie in de bouw.

Buiten scope Klimaatakkoord:

Het Klimaatakkoord stelt geen doelen voor luchtvaart en internationale scheepvaart, omdat deze niet toerekenbaar zijn als Nederlandse emissies. Echter, deze sectoren hebben een aanwijsbaar grote klimaatimpact en er liggen duidelijke kansen voor toepassing van waterstof.

iv) In Luchtvaart speelt de bijmengverplichting van 14% duurzame luchtvaartbrandstoffen 'Sustainable Aviation Fuel' (SAF) in 2030. Dit omvat HEFA bio-kerosine en synthetische kerosine. Waterstof is een belangrijke bouwsteen van SAF en kan dus op grote schaal worden toegepast.

v) Voor Scheepvaart zijn in internationaal verband afspraken vastgelegd in de Verklaring van Mannheim, waarin de Europese landen zich hebben vastgelegd op een CO₂-reductie in de binnenvaart van 35% in 2035. De preferente energiedrager staat nog niet vast, te denken valt aan vloeibare waterstof, LOHC, natriumboorhydride, ammonia en methanol, verschillende 'verpakkingsvormen' van waterstof.

Waterstof verbrandingstechniek

Naast de toepassing van brandstofcel-elektrische aandrijflijnen liggen er kansen voor gebruik van waterstof in verbrandingsmotoren (ICE) in zwaar wegtransport, vervoer over water en mobiele werktuigen. Waterstof verbrandingstechniek is een van de oplossingen die de zware mobiliteit op weg kan helpen richting zero-emissie en kan bijdragen aan verbetering van luchtkwaliteit. Ten eerste kan het een additionele bijdrage leveren aan de ontwikkelingen van de waardeketen van (groene) waterstof. Ten tweede gebruikt het dezelfde tankinfrastructuur, waardoor deze sneller kan gaan renderen. Ten derde zijn de producten soms eerder beschikbaar op de markt tegen lagere kosten. Verbrandingstechniek wordt daarom in de transitie richting zero-emissie in 2050 niet uitgesloten.

De potentiële waterstofvraag en bijbehorende emissiereductie wordt dan tot 2030 gezien als additioneel aan het Basispad. De aantallen voer- en vaartuigen in het Basispad 2030 zijn klein ten opzichte van bestaande vloten. Daarnaast spelen verschillende aanschafargumenten een rol voor brandstofcel-elektrisch en waterstof verbrandingstechniek. Hierdoor, laat de markt voldoende ruimte voor toepassing van (additionele) waterstof-ICE techniek.

5 Berekeningsmethodiek emissies en reflectie door PBL

Het Planbureau voor de Leefomgeving heeft in mei 2021 een reflectie gegeven op een tussenrapportage, voortkomend uit het verkenningstraject voor Waterstof in Mobiliteit vanuit het Ministerie van IenW¹². Deze strategische verkenning is een opvolging op dit traject. Hieronder wordt de berekeningsmethodiek voor emissiereducties beschreven en wordt gereflecteerd op de aanpak en inschatting van de voertuigontwikkeling door PBL.

Berekeningsmethodiek emissiereducties

De emissiereducties en daarmee bijdragen aan doelen uit het Klimaatakkoord zijn berekend in lijn met de berekeningsmethodiek die PBL voor de jaarlijkse Klimaat- en Energieverkenning (KEV) hanteert. Er is gerekend met uitstootwaarden op basis van publiek beschikbare waarden in de Emissieregistratie. Hierbij worden vlootgemiddelden voor de relevante toepassingen gebruikt, daar waar waterstof-aangedreven voer- en vaartuigen het huidig alternatief vervangen.

Emissiereductie fossiele voertuigen door efficiëntieverbeteringen

PBL rekent in de KEV met een emissiereductie voor voer- en vaartuigen aangedreven op conventionele fossiele brandstoffen. Deze verbeteringen variëren van 3% tot 18% in 2030, afhankelijk van de toepassing. Dezelfde efficiëntieverbeteringen worden ook in deze strategische verkenning gehanteerd.

Aandeel biobrandstoffen

Conform de PBL methodiek bij de KEV, is voor alle toepassingen een aandeel biobrandstoffen van 8,5% genomen.

Inschatting aantallen voer- en vaartuigen

In haar reflecties gaat PBL uit van bestaand beleid, zonder additionele maatregelen vanuit publieke en private partijen. Op grond daarvan acht PBL de vlootontwikkeling in het Basispad op onderdelen onzeker. Dit beeld wordt gedeeld in deze strategische verkenning. Dit verschil is te verklaren, omdat het Basispad uitgaat van *additioneel* stimuleringsbeleid.

'Waterstof in mobiliteit' bevindt zich nog in een te vroege marktphase om met bestaand beleid autonoom te kunnen groeien. Deze verkenning stelt dan ook dat, om het Basispad 2030 te realiseren, aan randvoorwaarden moet worden

voldaan betreft tankinfrastructuur, veiligheid en beschikbaarheid van waterstof. Daarnaast stelt deze verkenning dat *additionele* inspanningen van zowel publieke als private partijen mogelijk én noodzakelijk zijn. Het vereist een meerjarenstrategie voor stimulering van tankstations en aanschaf van voer- en vaartuigen.

Het Basispad veronderstelt dus actieve overheidsstimulering met een ketenaanpak, passend bij de premature marktphase, om de brede marktintroductie en opschaling van waterstof in mobiliteit te stimuleren. Deze inzet is nodig om het kip-ei dilemma tussen voertuigen en tankinfrastructuur te doorbreken. Door zulke ketenaanpak wordt het punt bereikt waarop autonome groei mogelijk wordt. Het Actieprogramma Waterstof in Mobiliteit kan hier concrete invulling aan geven.

¹² Nauta, M.M.N. & G.P. Geilenkirchen (2021), Reflectie Achtergronddocument bij Actieprogramma Waterstof in Mobiliteit, Den Haag: PBL.

6 Ontwikkeling basisnetwerk tankinfrastructuur

Minimale benodigde basisinfrastructuur

Het Klimaatakkoord noemt als opgave het realiseren van minimaal 50 waterstof-tankstations in 2025. Daarbij worden de streefcijfers genoemd van 15.000 FCEV personenauto's en 3.000 zwaardere voertuigen. In deze strategische verkenning verschuift de focus van het op de weg brengen van 300.000 personenauto's in 2030 naar een breder spectrum aan deelmarkten in mobiliteit. De afzet van waterstof blijkt daarmee per saldo nagenoeg gelijk te staan als de afzet in 300.000 personenauto's.

De bijbehorende tankinfrastructuur dient in de komende jaren aan de hand van de ingroeipaden van de verschillende deelmarkten te worden ingericht. Tot ca. 2025, in een fase met nog relatief kleine voertuigaantallen, volgt de markt de infrastructuur. Later zal de infrastructuur de markt volgen.

In deze verkenning zijn de randvoorwaarden aan de benodigde tankinfrastructuur tot aan 2025 geïdentificeerd. Het minimaal benodigde basisnetwerk bestaat uit:

- *Tankstations lichtere wegvoertuigen*, bestaande uit 30-40 tankstations nabij ZE zones. Bij die ZE zones ontstaat immers als eerste de concrete vraag naar ZE voertuigen.
- *Tankstations zwaar wegtransport*, bestaande uit 15-20 tankstations op logistieke hotspots voor trucks (vrachtauto's en trekkers voor oplegger). Afhankelijk van de locatie en aanwezigheid van een 700 bar tankzuil kunnen hier ook bestelbussen, personenauto's en taxi's terecht.
- *Bunkerstations vervoer over water* behoeft 5 bunkerstations, waarmee de eerste trajecten kunnen worden gevaren. Er zijn koppelkansen om dit te combineren met een vulpunt voor wegverkeer (zoals een recent voorbeeld in Antwerpen laat zien)¹³.
- *Tankstations OV-bussen* betreffen eigen, niet-openbare HRS en zijn niet meegenomen in de 50 HRS doelstelling. Tot 2030 zullen zo'n 15 HRS op depots

nodig zijn. Treinen hebben eigen bunkerstations nodig (1 à 2 per regio).

- *Luchtvaart* zal (nog) geen bunkerstations behoeven omdat waterstof voorlopig enkel in vorm van (drop-in) fuels zal worden ingezet, luchthaven gebonden grondvoertuigen zijn in principe een private aangelegenheid.

In de fase tot 2025 dienen overheden, zowel nationaal (Ministerie van IenW) als regionaal (zoals provincies, regionale ontwikkelingsmaatschappijen, gemeenten) zich niet alleen te richten op de tankinfrastructuur, maar juist ook op het ondersteunen van de snelle groei van de eerste voertuigenvloot die voor de noodzakelijke afname van waterstof moet gaan zorgen. Tankinfra en vlootontwikkeling dienen hand in hand te gaan, wil er een goed fundament komen onder het basisnetwerk van minimaal 50 tankstations. Als die basisinfrastructuur eenmaal goed georganiseerd is, is de verwachting dat de markt de verdere uitrol op eigen kracht zal kunnen realiseren. Tussen 2025 en 2030 kan het netwerk groeien tot minimaal 100 tankstations (HRS), met totaal ca. 400 vulzuilen waarvan 140 langs het hoofdwegennet (volgens TNO-studie 'Behoeftes aan alternatieve energiedragers', oktober 2019) om de jaarlijkse afzet van 141 miljoen kg te kunnen bewerkstelligen.

De route naar rendabele exploitatie van waterstof-tankinfrastructuur

Stations voor wegverkeer kunnen verschillende toepassingen bedienen. De meeste HRS zullen waterstof aangeleverd krijgen met trailers of worden beleverd met decentraal geproduceerde waterstof. Op sommige locaties is een aansluiting op waterstofleidingen mogelijk, zoals reeds het geval is bij het tankstation in Rhon. Vanaf 2027 zal dit op meer locaties kunnen wanneer de landelijke backbone waterstofinfrastructuur van Gasunie voldoende ontwikkeld is. Belangrijke notie is dat de capaciteit van een tankstation uit te breiden is wanneer de vraag toeneemt, waardoor men niet met een overcapaciteit hoeft te starten.

In de markt is nu grote interesse in ontwikkeling van 50 HRS in de periode tot 2025. Deze kans kan worden verzilverd als de overheid regie voert, door meerjarig consistent subsidiebeleid en door

¹³ H2Platform (2021) Waterstof-tankstation voor trucks en scheepvaart geopend voor publiek <https://opwegmetwaterstof.nl/waterstof-tankstation-voor-weg-en-watertransport/>

drempels weg te nemen (onder meer door eigen ijksystemen voor dispensers, uniforme vergunningverlening, PGS multifuel, PGS stalling & onderhoud, parkeergaragenorm, flankerend veiligheidsonderzoek- en beleid, ondersteuning certificeringssysteem van tankstations).

Het effectief uitrollen van de essentiële basis - HRS infrastructuur, vergt subsidie op het onrendabele deel van de exploitatie in de aanvangsjaren en het organiseren van een gegarandeerde waterstofafname, bijvoorbeeld via overheidsvloten. Om het basisnetwerk tankinfrastructuur slim (bijvoorbeeld prestatieafhankelijke stimulering) en kosteneffectief te realiseren zou tankinfrastructuur tegelijkertijd ontwikkeld moeten worden met *early fleets*, die door middel van vraagaggregatie kunnen worden gerealiseerd. Dat verbetert de business case van een tankstation.

Verder liggen er duidelijke koppelkansen op de Europese weg- en watercorridors, in tank/-bunkerinfrastructuur, maar ook in vraagaggregatie voor langeafstandsvervoer over weg en water. Het advies is dus

- Gericht sturen op de ontwikkeling voor tankpunten nabij zero-emissie gemeenten
- Intensief samenwerken op Benelux en Pentalateraal niveau voor (inter-)nationaal zwaar transport over het water en over de weg.

7 Koppelkansen met andere beleidsterreinen IenW

Naast een bijdrage aan de reductiedoelstellingen in de sector mobiliteit, kan waterstof zorgen voor synergie en versnelling bij het realiseren van doelstellingen op andere beleidsterreinen. Gesprekken met vertegenwoordigers van IenW, maar ook met het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties hebben inzicht geleverd in concrete raakvlakken tussen waterstof en de actuele beleidsthema's en opgaven van het Rijk, provincies en gemeenten (Box 2).

Box 2 - Overzicht raakvlakken waterstof en andere beleidsthema's IenW

- Fit for 55 Package met voorstellen voor: herziening van REDII/REDIII en AFID, uitbreiding ETS naar scheepvaart en wegvervoer
- REDII (en herziening in 2023/2024)
- European Green Deal – Executive Vice President Frans Timmermans - MIRT-investeringsagenda en -corridors, MIRT-investeringen t.b.v. alternatieve tank- en laadinfrastructuur langs de MIRT-corridors
- Verbinding met én tussen regionale mobiliteitsplannen, Regionale Energie Strategieën
- Zero Emission Stadslogistiek, logistieke hubs
- Aanpak Stikstof
- Schone Lucht Akkoord
- Strategie "Naar klimaatneutrale en circulaire Rijksinfrastructuurprojecten"
- Havennota 2020-2030, ontwikkelingen rond waterstof bij havens & containerterminals
- "Verantwoord vliegen naar 2050" Luchtvaartnota 2020-2050, Kamerbrief ontwikkelingen duurzame brandstoffen luchtvaart
- Routekaart ZE-havens
- Duurzame energie op Rijksareaal (waterstof als opslagmiddel als oplossing voor knelpunten door beperkingen in het elektriciteitsnet)
- Circulaire Economie (opslagfunctie van waterstof en de productie van groene waterstof, grondstoffenbehoefte t.b.v. batterijen)
- Waterstoftankinfrastructuur waar mogelijk laten aansluiten op aanleg van buisleidingen tussen Haven Rotterdam en het achterland t.b.v. transport brandbare gassen (Internationale) goederencorridors
- Innovatie: IKIA en missiegedreven innovatiebeleid, m.n. ontwikkeling van klimaatneutrale brandstoffen

Verwijzingen documentatie:

- Kamerbrief ontwikkelingen duurzame brandstoffen luchtvaart Kenmerk: IENW/BSK-2020/24484
- Kamerbrief bij definitieve luchtvaartnota Kenmerk: IENW/BSK-2020/215184
- Verantwoord vliegen naar 2050 Luchtvaartnota 2020-2050 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, november 2020)
- Kamerbrief bij definitieve Havennota 2020 - 2030 Kenmerk: IENW/BSK-2020/232439
- Havennota 2020-2030 Agenda voor krachtige havens in een duurzame en digitale economie (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, november 2020)
- Strategie Naar klimaatneutrale en circulaire rijksinfrastructuurprojecten (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, januari 2020)
- Stikstofaanpak en vrijkomende middelen tussen 2021 en 2030, Kamerstuk 32 847, nr. 681.
- Kamerbrief over strategische aanpak batterijen Kenmerk: IENW/BSK-2020/10509
- Kamerbrief over Schone Lucht Akkoord Kenmerk: IENW/BSK-2019/267463
- Fit for 55 Package: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/package-fit-for-55> en <https://www.consilium.europa.eu/nl/policies/fit-for-55/>

8 Ontwikkeling van beleid

Marktfase van innovatie naar commercialisatie

Waterstofmobiliteit bevindt zich op het grensvlak van innovatie en marktuitrol. De introductie van deze nieuwe energiedrager en brandstof in mobiliteit vergt een integrale aanpak en een periode van substantiële stimulering. Dit is nodig om waterstof op weg te helpen richting commercialisatie en zo de kansen die het biedt voor het zero-emissie mobiliteitssysteem en voor het halen van de CO₂-reductiedoelstellingen van mobiliteit, optimaal te benutten.

Benodigde ketenregie

De Rijksoverheid heeft de taak om een pakket aan maatregelen en instrumenten te ontwikkelen waarmee waterstof-elektrische mobiliteit zich, naast batterij-elektrische mobiliteit, tot een breed gedragen zero-emissie mobiliteitsoptie kan ontwikkelen. Zo kan zero-emissie mobiliteit over de hele linie worden afgedekt. Dit vereist het oppakken van een actieve coördinerende rol, en intra- en interdepartementale samenwerking. Zo'n ketenregie kan worden vormgegeven via een programmatische aanpak, bijvoorbeeld voor de periode 2022 - 2025.

Advies programmatische aanpak

De programmatische aanpak zal moeten worden doorgetrokken totdat er een basaal netwerk van HRS-tankinfrastructuur en voldoende aanbod van voertuigen zijn, als er een competitieve TCO is en het aanbod van groene waterstof een voldoende niveau heeft bereikt. Op dat moment zal de markt op eigen kracht (autonoom) de route naar een brede uitrol kunnen oppakken. Omdat de markt sterk in ontwikkeling is zal de inzet van het Ministerie van IenW een adaptief karakter moeten hebben, steeds inspeland op actuele ontwikkelingen en kansen, zowel op nationaal niveau als regionaal, Europees en internationaal.

9 Conclusie

Het in deze strategische verkenning ontwikkelde 'Basispad Waterstof in Mobiliteit 2030' schetst een haalbare weg naar realisatie van de ambities voor waterstof in mobiliteit zoals beschreven in het Klimaatakkoord (141 miljoen kg per jaar in 2030). In het Basispad is de afzet van waterstof in 2030 jaarlijks 146 miljoen kg. Door realisatie van het Basispad 2030 kan tevens een belangrijk deel van de emissiedoelstelling voor mobiliteit worden gerealiseerd: jaarlijkse reductie van 1,4 Mton CO₂ uitstoot in 2030.

Er is additioneel aan dit Basispad zicht op een substantiële versnelling op de modaliteiten zwaar wegtransport (via de Terugsluis Vrachtwagenheffing), mobiele werktuigen, scheepvaart en luchtvaart. Er ligt een nog groter potentieel in het verschiet na 2030. Doordat de marktrijpheid van verschillende toepassingen (vooral zwaar vrachtvervoer, vervoer over water, mobiele werktuigen, luchtvaart) anno 2021 nog beperkt is, kan namelijk tot 2030 slechts een zeer beperkt aandeel van het uiteindelijke potentieel worden benut. Om dat uiteindelijke potentieel te kunnen verzilveren is het noodzakelijk om er nu al voor te zorgen dat de voorwaarden (waaronder een minimale tankinfrastructuur) gerealiseerd worden.

Met de realisatie van het 'Basispad Waterstof in Mobiliteit 2030' worden waterstoftoepassingen in mobiliteit tijdig en over de hele linie ontwikkeld. Het biedt een solide uitgangspositie voor de ontwikkeling richting 2050. Zo kan op de lange termijn de volledige mobiliteit en transport worden voorzien van zero-emissie oplossingen, met name in de zwaardere toepassingen, en wordt de route naar zero-emissie mobiliteit robuuster.

De toepassing van batterij-elektrische voertuigen groeit sterk maar is in absolute zin nog beperkt. Daardoor zijn de potentiële grenzen aan de toepassing van deze techniek nog niet manifest. Bij vergaande opschaling van deze techniek kan de beperkt beschikbare capaciteit van het elektriciteitsnet een obstakel vormen. Het oplossen van dit probleem via netverzwaringen vereist grote investeringen en kan tot vertragingen leiden. Door de tijdige parallelle ontwikkeling van waterstof als complementaire optie naast BEV, kunnen maatschappelijke kosten voor netverzwaring op knelpunten worden verminderd. Daarnaast kan het verzachten bieden op de groeiende vraagstukken rondom de beschikbaarheid van kritieke

mineralen. Investeren in waterstofmobiliteit levert dus brede maatschappelijke verdiensten op.

Om het waterstof-ecosysteem tijdig te ontwikkelen, is nu een sterk stimulerend beleid nodig. Daarbij is het aan de orde om nu de stap te maken van enkel (technisch georiënteerd) innovatiebeleid naar het daadwerkelijk opschalen van infrastructuur én bijbehorende vloten, onder het adagium "van proeftuin naar duurzaam ecosysteem". Daarbij is het wenselijk om uiterlijk per 2025 volledig over te kunnen schakelen op groene waterstof. Vanzelfsprekend is aandacht voor een veilige uitrol en opschaling van de productie van waterstof onontbeerlijk. Een gerichte aanpak voor deze nieuwe fase, gericht op commercialisatie en opschaling, biedt de randvoorwaarden voor het behalen van de ambities in het Klimaatakkoord.

Een duidelijk advies aan het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is om meerjarig consistent beleid te ontwikkelen vanuit een programmatische aanpak, om de voorliggende fase van vroege marktontwikkeling mogelijk te maken. Zo wordt bijgedragen aan de klimaat- en luchtkwaliteitsdoelen, en wordt een volwaardig en robuust pakket aan volledig emissieloze opties in mobiliteit haalbaar.

Naast de directe klimateffecten liggen er duidelijke kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven en de maakindustrie. Dit betreft de levering van zowel eindproducten als componenten voor onder andere vrachtwagens, schepen, mobiele werktuigen, bussen en (ombouw van) bestel- en passagiersbusjes, maar ook voor de brandstofcellen.

Tenslotte ondersteunt de uitrol van waterstof in mobiliteit de (snellere) transitie naar een duurzaam energiesysteem met behulp van groene waterstof als energiedrager. De ontwikkeling van waterstof in mobiliteit als vroege afzetmarkt is daarmee een essentiële schakel in het realiseren van de Kabinetsvisie Waterstof, en uiteindelijk het realiseren van een duurzaam energiesysteem in Nederland.

Deze studie is tot stand gekomen in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Dit rapport is opgesteld onder verantwoordelijkheid van Ekinetix. De resultaten reflecteren niet noodzakelijkerwijs het standpunt van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, of andere in deze studie genoemde partijen. Er kunnen geen rechten worden ontleend aan de inhoud van deze studie.

Alle informatie in dit rapport is intellectueel eigendom van Ekinetix. Verspreiding of distributie van de inhoud is toegestaan, onder voorwaarde van referentie naar deze publicatie als bron.

Dit document is te citeren als:

Ekinetix (2021), *Waterstof in Mobiliteit in 2030 - Strategische verkenning*. In opdracht van het Ministerie van IenW. Auteurs: Van der Star, M., MSc. en Reijerkerk C.J.J., MSc.

© Ekinetix, december 2021
