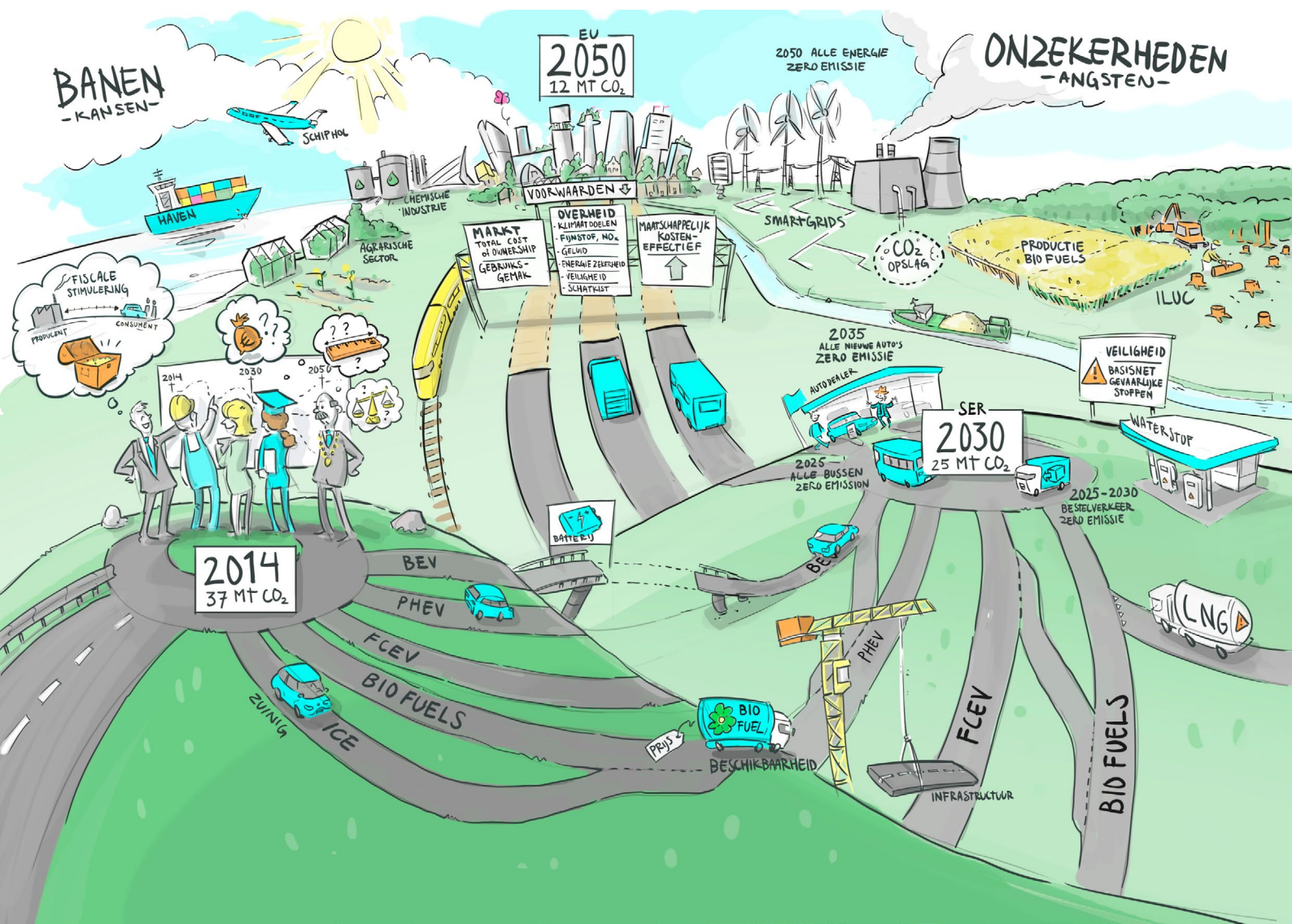


Deelrapport Brandstof Tafel Duurzaam Waterstof

19-6-2014 Eindversie



Inhoud

Managementsamenvatting 5

1. Inleiding 7

- 1.1 Algemene introductie en de plaats van dit deelrapport 7
- 1.2 Waterstof en onze toekomstige energievoorziening 8
- 1.3 Het belang van waterstof en brandstofcelvoertuigen 11
- 1.4 De voorwaarde van een internationale ontwikkeling 12

2. Kansrijke product-markt combinaties (PMC's) 14

- 2.1 Huidige kansrijke PMC's 14
- 2.2 Kansrijke PMC's in/vanaf 2030 15
- 2.3 Doorkijk naar 2050 16

3. Belemmeringen en voorwaarden 18

- 3.1 Belemmeringen en voorwaarden in 2030 18
- 3.2 Doorkijk naar 2050 20

4. Instrumenten 21

- 4.1 Marktgerelateerde instrumenten en maatregelen 21
- 4.2 Overheidsgerelateerde instrumenten en maatregelen 22

5. Koppelkansen 25

- 5.1 Koppelkansen binnen marktsegmenten 25
- 5.2 Koppelkansen tussen modaliteiten 26
- 5.3 Koppelkansen met andere economische clusters / groene groei 26
- 5.4 Te vermijden lock-ins vanuit transitieperspectief 27

6. Ontwikkelpad / bod Brandstof Tafel Duurzaam Waterstof 28

- 6.1 Marktvoorbereiding en vroege marktintroductie: 2015 – 2023/2025 28
- 6.2 Volledige marktintroductie: 2023/2025 – 2030 30
- 6.3 Massamarkt: 2030 – 2050 31

Bijlage 32

- Bijlage 1 Deelnemers Brandstof Tafel Duurzaam Waterstof 33

Management-samenvatting

Elektrisch aangedreven voertuigen gevoed door batterijen en/of brandstofcellen op waterstof zijn de enige vorm van automobilititeit die Tank-to-Wheels (TTW) echt nulmissie is. Voortschrijdende technologische ontwikkelingen en de markt zullen uiteindelijk bepalen welke technologie zich het beste waar laat inzetten. Naast nulmissie en het comfort van elektrisch rijden biedt de inzet van brandstofcellen op waterstof gebruikers een actieradius en tankervaring zoals men die gewend is van de huidige voertuigen. Waterstof is verder belangrijk voor het verduurzamen van onze energievoorziening, omdat de productie van waterstof uit water met elektriciteit, gevoegd bij de brede toepasbaarheid van waterstof, een mechanisme biedt dat vergaande integratie van zon en wind in de energievoorziening mogelijk maakt. Dit leidt tot een grotere energievoorzieningszekerheid en energieonafhankelijkheid en biedt kansen voor innovatie en groene groei.

Algemene brandstofvisie van de Brandstofafel Duurzaam Waterstof

- 1. De toekomstige energievoorziening (2050) zal sterk zijn gebaseerd op zon en wind met technieken die elektriciteit opleveren en het wegverkeer gaat hierin mee:** tussen 2030 en 2050 zullen elektrische aandrijflijnen 'main stream' worden. Tegelijkertijd zal in deze periode de geleidelijke uitfasering van verbrandingsmotoren plaatsvinden. Belangrijke redenen hiervoor zijn:
 - a. Scherpe CO₂-reductiedoelstellingen: alle sectoren -80% in 2050 t.o.v. 1990; verkeer -60% in 2050 t.o.v. 1990.
 - b. Het verder willen terugdringen van de emissies van NO_x, fijn stof en geluid.
 - c. Het willen realiseren van een grotere energievoorzieningszekerheid en energieonafhankelijkheid.
 - d. Zorgvuldig landgebruik: natuurbehoud en voedselproductie.
 - e. Het afnemen van de beschikbaarheid van fossiele grondstoffen.
 - f. De beperkt beschikbare hoeveelheid (duurzame) biomassa die vooral zal worden ingezet voor niet of lastig te elektrificeren verkeersmodaliteiten zoals de sloop- en luchtvaart.
- 2. In de transitie naar 2050 spelen op biomassa gebaseerde brandstoffen een rol in het wegverkeer.** Deze brandstoffen leveren Well-to-Wheels (WTW) CO₂ emissiereductie op vergeleken met benzine en diesel. Inzet van deze brandstoffen vindt plaats in hybride (range extenders) en conventionele aandrijflijnen. Beschikbaarheid van type biomassa, toegevoegde waarde, WTW CO₂ effect en synergie-effecten met brandstoffen voor overige transportopties (productieprocessen en distributie- en tankinfrastructuur) zullen de uiteindelijke vorm van de op biomassa gebaseerde brandstoffen bepalen: vloeibaar of gasvormig.
- 3. De punten 1 en 2 leiden tot de volgende richtinggevende aanbevelingen van de Brandstofafel Duurzaam Waterstof voor de integrale brandstofvisie:**
 - a. **Zet waar mogelijk in op elektrificatie van het wegverkeer met behulp van batterijen en brandstofcellen.**
 - b. **Zie de inzet van plug-in hybrides als belangrijkste transitieoptie.** Van belang daarbij is het maximaliseren van de hoeveelheid elektrische kilometers, in combinatie met de inzet van op biomassa gebaseerde brandstoffen voor de overige kilometers.
 - c. **Zie de toepassing van op biomassa gebaseerde brandstoffen en synthetische brandstof-**

fen in verbrandingsmotoren enkel als korte termijn optie voor CO₂-reductie en als aanvulling op elektrische aandrijflijnen daar waar deze (nog) niet toereikend zijn.

Het specifieke belang van brandstofcelvoertuigen en waterstof

4. **Nulemissie.** Elektrisch aangedreven voertuigen, waaronder brandstofcelvoertuigen op waterstof, zijn de enige echte TTW nulemissievoertuigen die efficiënt omgaan met energie. De toekomstige markt voor elektrisch rijden zal divers zijn en richting 2050 alle door gebruikers gewenste toepassingen en bereiken stap voor stap dekken.
5. **Comfort.** Brandstofcellen op waterstof kunnen een brede range van voertuigen aandrijven en bieden een ruime voertuigactieradius met een volle tank. Het tanken van waterstof gaat snel en is vergelijkbaar met de conventionele manier van tanken.
6. **Efficiënt.** Brandstofcellen zetten energie efficiënter om dan verbrandingsmotoren. Door het hogere rendement wordt de primaire energie in bijvoorbeeld aardgas beter benut en is een elektrische aandrijflijn gevoed door een brandstofcel op waterstof WTW zuiniger dan een verbrandingsmotor, ondanks het feit dat het energie kost om waterstof te maken.
7. **Energievoorzieningszekerheid en energieonafhankelijkheid.** Waterstof (H₂) kan op vele manieren en uit vele (eigen) bronnen worden geproduceerd, centraal en decentraal. Voor de korte termijn is (duurzame) waterstof beschikbaar dat als bijproduct vrijkomt in reguliere productieprocessen. Daarnaast kan waterstof efficiënt worden geproduceerd uit aardgas (vooral methaan: CH₄). Wereldwijd gebeurt dit op grote schaal. Hiervoor kan ook biogas (ook vooral methaan) worden ingezet. Verder kan waterstof worden geproduceerd uit water (H₂O) via elektrolyse met elektriciteit afkomstig van zon, wind en andere (duurzame) bronnen. Ook kan waterstof uit biomassa worden geproduceerd via vergassing. Tot slot zijn er diverse interessante ontwikkelingen voor het directer produceren van waterstof met behulp van zonne-energie, zoals bijvoorbeeld productie via kunstmatige fotosynthese.
8. **Pijler toekomstige energievoorziening.** Zon en wind zijn niet te regelen en kennen een variabele opbrengst, terwijl conventionele elektriciteitscentrales (fossiel, biomassa, nucleair) slechts beperkt zijn op- en af te regelen en elektriciteit niet is op te slaan. Onze op intermitterende bronnen gebaseerde toekomstige energievoorziening heeft daarom behoefte aan een flexibel buffermechanisme met grote capaciteit. Dit buffermechanisme dient flexibiliteit te leveren qua inzet van energie naar tijd (relatief eenvoudig in grote hoeveelheden op te slaan), locatie (overal op te slaan waar elektrische energie voorhanden is en zo nodig relatief eenvoudig te transporteren) en gebruik (geschikt voor een breed scala van toepassingen). Productie van de gasvormige energiedrager waterstof door middel van elektrolyse biedt al deze eigenschappen en is daarmee een belangrijke pijler onder een duurzame energievoorziening.
9. **Groene groei.** Rijden met elektrisch aangedreven brandstofcelvoertuigen op waterstof vergt een nieuw op te bouwen infrastructuur en leidt tot nieuwe economische activiteiten waarvan diverse (Nederlandse) bedrijven zullen profiteren: voertuig-, brandstofcel- en waterstofproducenten, bedrijven betrokken bij de aanleg en exploitatie van de waterstof(tank)infrastructuur en energiebedrijven. Rijden met brandstofcelvoertuigen zorgt voorts voor ontkoppeling tussen mobiliteitsontwikkeling en milieudruk: het milieuaspect vervalft de facto als randvoorwaarde voor (economische groei door) mobiliteitsgroei. De economische impact hiervan is in potentie zeer groot.
10. De punten 4 tot en met 9 verantwoorden het **investeringsprogramma** dat de Brandstofafel Duurzaam Waterstof in dit deelrapport bepleit voor het dekken van de geraamde meerkosten van circa € 250 miljoen voor de fasen van marktvoorbereiding en vroege marktintroductie in de periode 2015 t/m 2023/2025 (zie de raming in paragraaf 6.1 van dit deelrapport; de instrumentatie van het investeringsprogramma met subsidies, fiscale maatregelen e.d. moet nader worden bezien in de volgende fase van het actieplan).

1. Inleiding

1.1 Algemene introductie en de plaats van dit deelrapport

In de verkeersector is een omslag nodig naar duurzaam transport. Dit gezien de doelen voor de sector voor klimaat, luchtkwaliteit en geluid. In het eind 2013 ondertekende Energieakkoord voor duurzame groei, onder regie van de Sociaal Economische Raad (SER), hebben partijen de basis gelegd voor een breed gedragen en toekomstgericht energie- en klimaatbeleid. Op het gebied van mobiliteit en transport zijn partijen het eens over de volgende ambitieuze doelstellingen:

- Een reductie van de CO₂ uitstoot met 60% per 2050 t.o.v. 1990;
- Een reductie tot 25 Mton (-17%) in 2030 t.o.v. 1990, op weg naar de doelstelling voor 2050;
- Per 2035 zijn alle nieuw verkochte personenauto's in staat om zero-emissie te rijden.

Deze doelstellingen hebben alleen betrekking op de Tank-to-Wheels (TTW) broeikasgas-emissies waarbij de IPCC definitie wordt gehanteerd: ze hebben betrekking op het Nederlandse territorium en voor de verkeersector gelden biobrandstoffen, elektriciteit en waterstof voor CO₂ als zero-emissie.

Om deze doelen te realiseren zijn in het Energieakkoord concrete stappen afgesproken. Eén daarvan is dat partijen een gezamenlijke visie op de toekomstige energiemix voor de verkeersector opstellen. Zo'n visie is nodig, omdat de overgang van fossiele brandstoffen – vooral benzine en diesel – naar nieuwe (duurzame) energiedragers essentieel is om de doelstellingen te bereiken. Er zijn grote veranderingen nodig. Deze veranderingen zullen verschillen voor de diverse verkeer- en vervoersegmenten. Daarnaast zal er in het streven naar de doelstellingen rekening moeten worden gehouden met belangrijke randvoorwaarden en andere doelen, zoals: veiligheid, luchtkwaliteit, het verduurzamen van de energievoorziening, groene groei en energievoorzieningszekerheid en -onafhankelijkheid.

Het traject naar een visie is verdeeld in drie fasen:

1. In fase 1 hebben ECN, CE Delft en TNO een scenarioanalyse opgesteld. De analyse bevat vier denkbare toekomsten, geeft inzicht in de mogelijke routes om de doelstellingen te halen en schetst de bandbreedte van het aandeel van de verschillende brandstoffen per toekomstbeeld.
2. In fase 2 hebben overheden, marktpartijen, maatschappelijke organisaties en kennisinstellingen aan zes brandstofafels¹ gediscussieerd over waar (product-markt combinaties) en onder welke randvoorwaarden de betreffende brandstof een succesvol onderdeel van de toekomstige energiemix kan worden en hoe (instrumenten) en in welk tempo (ontwikkelpad).
3. In fase 3 zullen er actieplannen worden opgesteld die betrokken partijen in samenhang moeten uitvoeren om de voor de verschillende brandstoffen uitgezette ontwikkelpaden te realiseren.

¹ Duurzaam vloeibaar, duurzaam gasvormig, duurzaam waterstof, duurzaam elektrisch, luchtvaart en scheepvaart. De themagroep 'Groene groei en duurzame energie' doorsneed de brandstofafels.

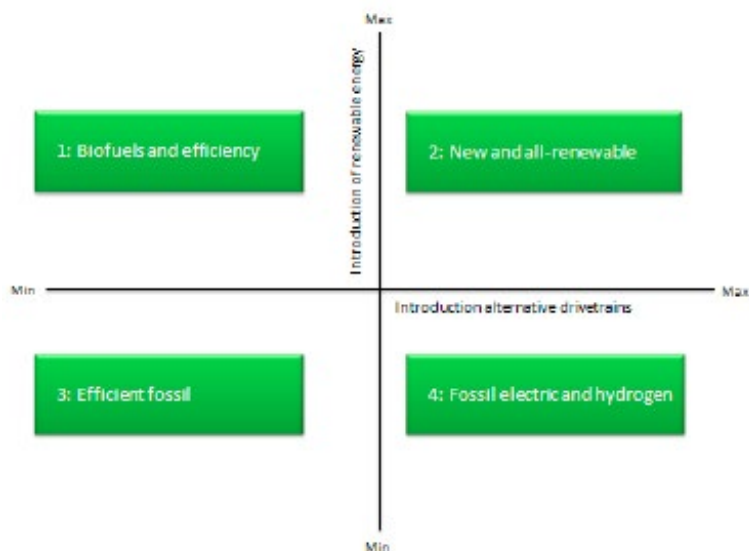
Dit deelrapport is het sluitstuk van fase 2 voor de Brandstofafel Duurzaam Waterstof (verder: BDW). Dit deelrapport bevat de resultaten van de BDW die zijn geboekt op de themadagen in het LEF op 30 januari (kansrijke product-marktcombinaties en belemmeringen), 27 februari (koppelkansen) en 27 maart 2014 (instrumenten), alsmede van de extra ingelaste BDW op 16 april 2014 (ontwikkelpad). De hoofdstukken van dit deelrapport volgen deze door het kernteam aangegeven opbouw vanaf hoofdstuk 3. Daaraan voorafgaand geeft de BDW in paragraaf 1.2 een prealabele beschouwing van waterstof en onze toekomstige energievoorziening. De BDW hecht veel waarde aan deze prealabele beschouwing, om de betekenis en ontwikkeling van waterstof als energiedrager in het algemeen en voor de verkeersector in het bijzonder goed te begrijpen.

Bijlage 1 bevat de personen die bij de discussies in de BDW en de totstandkoming van dit deelrapport betrokken waren. De voorzitter, secretaris en procesbegeleider bedanken hen voor de actieve en open dialoog en de samenwerking.

1.2 Waterstof en onze toekomstige energievoorziening

De scenarioanalyse van ECN, CE Delft en TNO uit fase 1 bevat vier denkbare toekomst, gebaseerd op de twee parameters die als minst zekere en belangrijkste factoren worden beschouwd: het aandeel hernieuwbare energie in het totale energieaanbod en de marktpenetratie van nieuwe elektrische aandrijfmotoren in de verkeersector. Figuur 1 geeft de scenario's van ECN, CE Delft en TNO weer, inclusief toelichting.

Figuur 1 Vier onderscheidende scenario's voor de energiemix in de transportsector



- 1. Biofuels and efficiency:** een doorbraak in de elektrificatie van het verkeer blijft uit en hernieuwbare elektriciteit is beperkt beschikbaar. De nadruk ligt op de inzet van vloeibare en gasvormige biobrandstoffen, hernieuwbare synthetische brandstoffen en zuinige voertuigen om de doelen te halen.
- 2. New and all-renewable:** de combinatie van overvloedig aanwezige hernieuwbare elektriciteit en de doorbraak in de elektrificatie van het wegverkeer leidt tot grote marktaandelen voor batterijelektrische auto's en brandstofcelvoertuigen. Waterstof heeft in dit scenario een sterke positie die samenhangt met de rol van deze energiedrager in een op hernieuwbare elektrici-

teit gebaseerde energiehuishouding.

3. **Efficient Fossil:** het uitblijven van doorbraken in de elektrificatie van het verkeer en de beperkte beschikbaarheid van hernieuwbare energie leidt tot nadruk op extreem zuinige (conventioneel aangedreven) voertuigen in combinatie met volumemaatregelen en de inzet van methaan voor diversificatie van de mix.
4. **Fossil electric and hydrogen:** Geëlektrificeerd verkeer breekt door. Elektriciteit en waterstof komen van centrale productiefaciliteiten en fossiele energiebronnen. CCS wordt hierbij benut voor CO₂ emissiereductie. Methaan wordt benut voor zwaar langeafstandstransport.

De BDW voorziet dat scenario 2 'New and all-renewable' uiteindelijk (2050) voor een belangrijk deel bewaarheid zal worden, om de volgende redenen:

1. Een doel in het Energieakkoord is dat per 2035 alle nieuw verkochte personenauto's zero-emissie kunnen rijden volgens de IPCC definitie (zie paragraaf 1.1). Dit zet – vooral als deze doelstelling in Europees verband wordt geëvenaard – druk op enerzijds de (met instrumenten geprikkelde) introductie van elektrische aandrijflijnen zonder uitstoot (TTW) van CO₂, luchtverontreinigende stoffen en geluid en op anderzijds de uitfasering van verbrandingsmotoren.
2. Fundamentele technische belemmeringen voor de introductie van batterijelektrische auto's, brandstofcelvoertuigen op waterstof en combinaties van beiden ontbreken.
3. Zon en wind zijn schone energiebronnen die in beginsel onuitputtelijk en alom beschikbaar zijn, afgezien van de voor zonnepanelen en windmolens benodigde ruimte. De toekomstige energievoorziening (2050) zal sterk op deze bronnen zijn gebaseerd met technieken die elektriciteit opleveren. Overigens ook om geopolitieke redenen van energieleveringszekerheid, energieonafhankelijkheid, zorgvuldig landgebruik (natuurbehoud en voedselproductie) en de afnemende beschikbaarheid van fossiele grondstoffen.
4. Omdat zon en wind niet te controleren zijn en conventionele elektriciteitscentrales niet makkelijk op- en af te regelen is een zekere continue elektriciteitsopslag binnen de toekomstige energievoorziening noodzakelijk uit het oogpunt van efficiency en energiezekerheid (strategische voorraad)². Waterstof is hiervoor geschikt, vanwege de bewezen mogelijkheid tot opslag en de multi toepasbaarheid van waterstof, onder andere als brandstof voor brandstofcelvoertuigen.
5. De productie van waterstof zal naar verwachting decentraal en centraal plaatsvinden. Decentrale productie zal plaatsvinden uit water via elektrolyse of uit biogas. Voordeel van elektrolyse is dat het goed in staat is om wind- of zonopbrengsten waar geen directe finale vraag naar elektriciteit tegenover staat om te zetten in waterstof. Hierdoor neemt de benuttinggraad van duurzame energiesystemen toe. Bij direct aan de duurzame bron gekoppelde productie is waterstof inherent groen. Bij centrale productie van waterstof uit netstroom moet het aandeel duurzame bronnen in de stroommix groot genoeg zijn voor het met elektrisch rijden op waterstof WTW significant reduceren van CO₂ emissies. De BDW gaat ervan uit dat dit in scenario 2 'New and all-renewable' uiteindelijk (2050) het geval zal zijn. Een interessante nieuwe ontwikkeling is tot slot het direct uit zonlicht produceren van waterstof (artificial photosynthesis). Voordeel hiervan is dat conversiestappen, waarbij energie verloren gaat, ontbreken.
6. Omdat zon en wind niet schaars zijn vervalt op termijn het argument tegen waterstof, dat het energie kost om waterstof te produceren. Uiteraard blijft uit kosten oogpunt verstandig om zo efficiënt mogelijk met energie om te gaan. De inzet van groene stroom in batterijelektrische auto's heeft dus in beginsel de voorkeur boven het centraal uit groene netstroom produceren van waterstof voor brandstofcelvoertuigen, omdat de conversie extra efficiencyverlies

² Vaak wordt er automatisch vanuit gegaan dat duurzame energiebronnen secundair zijn ten opzichte van conventionele elektriciteitscentrales en wordt er dus gesproken over de noodzakelijke opslag van niet voorspelbare duurzame energie via waterstof. Maar omgekeerd, als we er van uitgaan dat duurzame energiebronnen prioriteit krijgen boven fossiele energiebronnen, kunnen ook conventionele centrales efficiënter draaien, in een minder fluctuerende basislast, als er in het energiesysteem sprake is van grootschalige energieopslag. Energieopslag op nationaal, regionaal en lokaal niveau zal zorgen voor een wijd verbreid buffernetwerk en naar verwachting de behoefte aan grote conventionele elektriciteitscentrales doen afnemen.

oplevert. Maar nadrukkelijk 'in beginsel', omdat voor de massale acceptatie en toepassing van elektrische aandrijflijnen volgens de huidige inzichten rekening moet worden gehouden met gebruikerseisen zoals actieradius en tankgemak. Efficiencyverlies zullen we accepteren als gebruikers voor elektrisch rijden de voorkeur geven aan brandstofcelvoertuigen boven puur batterijelektrische voertuigen. Zeker bij een op niet schaarse bronnen gebaseerde energievoorziening.

Het voorgaande laat de betekenis van de andere scenario's volgens de BDW overigens onverlet: de andere scenario's spelen een belangrijke rol in de transitie tot 2050 naar het scenario 'New and all-renewable' en (op onderdelen) mogelijk ook daarna:

1. **Scenario 3 'Efficient fossil'** is het vertrekpunt. Tot op heden is er veel inzet gepleegd op het zuiniger maken van voertuigen op benzine en diesel en op korte termijn zal deze inzet doorgaan. Europese normen worden stap voor stap scherper en auto's met verbrandingsmotor hebben vooralsnog de businesscase voor de massa van gebruikers.
2. **Scenario 4 'Fossil electric and hydrogen'** is in eerste instantie primair een transitie-scenario. De betekenis van dit scenario voor elektrisch rijden op waterstof is dat elektrisch rijden op waterstof verkregen uit aardgas (al dan niet met CCS) op korte tot middellange termijn (economisch) realiseerbaar is. Het is een noodzakelijke stap om de markt voor elektrisch rijden op waterstof op gang te brengen. Hierbij mag niet worden vergeten dat de toepassing van waterstof uit aardgas, vanwege de efficiënte keten van brandstofcel en elektrische aandrijflijn, bovendien al een significante CO₂ reductie oplevert vergeleken met verbrandingsmotoren van circa 20-50% (afhankelijk van de zuinigheid van de verbrandingsmotor)³.
3. **Scenario 4** met waterstof uit aardgas (al dan niet met CCS) kan voor mobiliteit ook een langduriger noodzakelijk scenario zijn. Dit is het geval als de productie van duurzame waterstof niet goed van de grond komt, omdat het praktisch of economisch onvoldoende kan concurreren met andere opties om fluctuaties in het energiesysteem op te vangen, zoals:
 - a. Succesvolle maatregelen voor een betere afstemming van de vraag op het aanbod (demand side management, smart grids) in plaats van – traditioneel – andersom (aanbod volgt vraag);
 - b. uitbreiding van netten (versterking van de 'backbone') voor de afvoer van energieoverschotten naar plaatsen/markten waar nog geen sprake is van reststroom;
 - c. opslag met het doel opnieuw elektriciteit te produceren (batterijen, vliegwheels, Pumped Hydro Storage (PHS), Compressed Air Energy Storage (CAES));
 - d. productie van koude of warmte in hybride systemen die overschakelen op elektriciteit als dit 'geloosd' moet worden voor balanshandhaving op het net.
4. **Scenario 4** met waterstof uit aardgas (al dan niet met CCS) kan voor mobiliteit ook langer nodig zijn, als de prijs van aardgas en ook CO₂ zodanig laag blijven dat de productie van duurzame waterstof niet concurrerend wordt met de productie van waterstof uit aardgas (al dan niet met CCS)⁴.
5. **Scenario 4** kan tot slot langer noodzakelijk zijn, als andere sectoren dan mobiliteit de concurrentieslag om de beschikbare elektriciteit uit zon en wind beter aankunnen ('het gevecht om groene stroom').
6. **Scenario 1 'Biofuels and efficiency'** is ook een transitie-scenario. Biobrandstoffen (vloeibaar of gasvormig) tellen mee als nul-emissiebrandstoffen, maar de grote onzekerheid rond beschikbaarheid en duurzaamheid van biomassa leveren geen solide basis voor het met deze routes halen van de CO₂ doelstellingen voor het wegverkeer. Daarbij komt dat auto's met verbran-

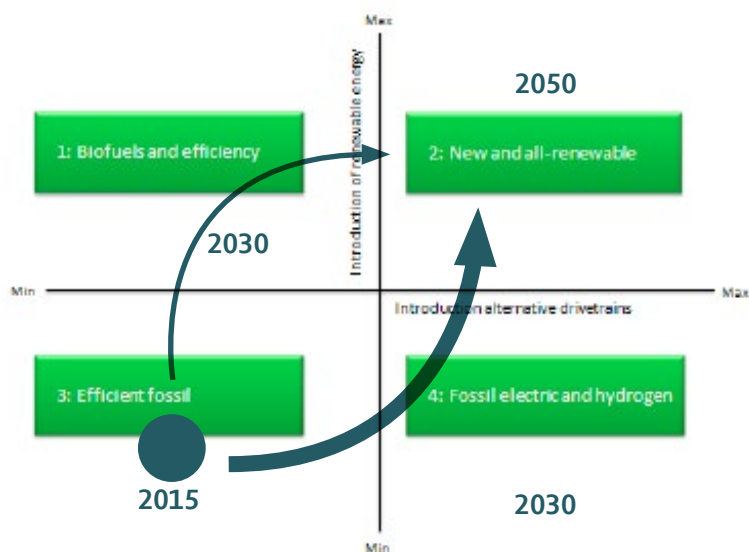
³ EU 2014, JRC Technical Reports, Well-to-wheels report version 4a, JEC Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Met name figuur 6.1 van dit rapport gekoppeld aan de conclusie op pagina 35 van dit rapport, dat geoptimaliseerde monofuel 2020+ CNG voertuigen voor wat betreft CO₂-uitstoot niet beter zullen presteren dan dieselvoertuigen.

⁴ In het rapport 'A portfolio of power-trains for Europe: a factbased analysis' staan verschillende productietechnieken voor waterstof uitgezet op hun WTW prestatie en kosten. De waterstofproductie uit aardgas met CCS is de goedkoopste en vrijwel CO₂ vrije productiemethode tot en met 2050. Kanttekeningen zijn de maatschappelijke haalbaarheid van CCS en de uit kostenoptiek vereiste schaalgrootte.

dingmotoren ook met biobrandstoffen een zekere mate van NOx en fijn stof uitstoten⁵ en – beneden de 50 km/h – meer geluid produceren dan elektrisch aangedreven voertuigen. Bovendien is er voor de inzet van biomassa sterke competitie te verwachten van toepassingen die, vergeleken met het wegverkeer, minder mogelijkheden hebben voor verduurzaming met andere bronnen dan biomassa. Voorbeelden zijn: de koolstofchemie, de luchtvaart en de scheepvaart. Gasvormige en vloeibare biobrandstoffen leveren in de transitieperiode een bijdrage aan het realiseren van de emissiedoelstellingen voor verkeer, zolang een sterk op zon en wind gebaseerde energievoorziening nog niet is gerealiseerd en elektrische aandrijflijnen nog niet 'mainstream' zijn. Voor elektrisch rijden op waterstof geldt dat waterstof uit biogas op korte tot middellange termijn (economisch) realiseerbaar is en een aanvulling vormt op of groen alternatief is voor waterstof verkregen uit aardgas.

Figuur 2 brengt bovenstaande transitieontwikkelingen schematisch in beeld. Figuur 2 drukt uit dat de BDW de transitie van 'Efficient fossil' naar 'New and all-renewable' via scenario 4 'Fossil electric and hydrogen' het meest wenselijk acht.

Figuur 2 De transitie naar een op zon en wind gebaseerde energievoorziening



1.3 Het belang van waterstof en brandstofcelvoertuigen

1. Brandstofcelvoertuigen zijn – tezamen met batterijelektrische voertuigen – de enige echte TTW nulmissievoertuigen.
2. Waterstof en brandstofcellen zijn in staat om een brede range van voertuigen met een ruime actieradius aan te drijven, van kleine auto's tot bussen en naar verwachting ook trucks.

⁵ Naar verwachting zal de uitstoot van auto's met verbrandingsmotoren die voldoen aan de nog in Europese wetgeving vast te leggen Euro 6 FASE 2 norm overigens geen significante bijdrage meer leveren aan situaties waarin de luchtkwaliteitsnormen worden overschreden. Fijn stof wordt ook in belangrijke mate veroorzaakt door slijtage van remmen en banden. Remslijtage treedt bij voertuigen met een elektrische aandrijflijn minder op als gevolg van regeneratie. Ook auto's met verbrandingsmotor zullen naar verwachting in toenemende mate gecombineerd worden met regeneratie als gevolg van hybridisering van de aandrijflijn en daardoor minder fijn stof door remslijtage veroorzaken. Daarbij geldt dat hoe groter de elektromotor is, des te minder er sprake is van remslijtage. Fijn stof veroorzaakt door slijtage van de banden blijft bij alle voertuigen een aandachtspunt.

Waterstof tanken gaat snel en is qua comfort vergelijkbaar met de conventionele manier van tanken.

3. Waterstof (H₂) kan op vele manieren en uit vele bronnen worden geproduceerd, centraal en decentraal. Dit draagt bij aan leveringszekerheid en energieonafhankelijkheid. Voor de marktvoorbereiding en vroege marktintroductie (2015 – 2023/2025) is in reguliere productieprocessen duurzaam meegeproduceerde waterstof beschikbaar. Daarnaast kan waterstof efficiënt worden geproduceerd op de volgende manieren:
 - Uit aardgas (vooral methaan: CH₄). Wereldwijd gebeurt dit op grote schaal. Hiervoor kan ook biogas (ook vooral methaan) worden ingezet.
 - Uit water (H₂O) via elektrolyse met elektriciteit afkomstig van zon, wind en andere (duurzame) bronnen.
 - Uit biomassa via vergassing.
 - Tot slot zijn er diverse interessante ontwikkelingen voor het directer produceren van waterstof met behulp van zonne-energie, zoals bijvoorbeeld productie via kunstmatige fotosynthese.
4. Waterstof is een belangrijke bouwsteen voor de in het Energieakkoord opgenomen wenselijke energietransitie. Omdat zon en wind niet te controleren zijn en conventionele elektriciteitscentrales niet makkelijk zijn op- en af te regelen, is een zekere continue elektriciteitsopslag binnen de toekomstige energievoorziening met intermitterende bronnen noodzakelijk uit het oogpunt van efficiency (kosten op- en afregelen conventionele centrales hoger dan kosten energieopslag) en energiezekerheid (strategische voorraad). Waterstof kan goed dienen als opslag- en distributiemedium. Waterstof is bovendien multi toepasbaar en maakt de toekomstige inzet van energie uit zon en wind in niet elektrische toepassingen mogelijk.
5. Waterstof draagt bij aan groene groei. Rijden met brandstofcelvoertuigen vergt een van meet af aan op te bouwen infrastructuur met nieuwe economische activiteiten waarvan diverse (Nederlandse) bedrijven op uiteenlopende terreinen zullen profiteren: voertuig-, brandstofcel- en waterstofproducenten, bedrijven betrokken bij de aanleg en exploitatie van de waterstof(tank)infrastructuur en energiebedrijven. Rijden met brandstofcelvoertuigen zorgt voorts voor ontkoppeling tussen mobiliteitsontwikkeling en milieudruk: het milieuaspect vervalft de facto als randvoorwaarde voor (economische groei door) mobiliteitsgroei. De economische impact hiervan is in potentie zeer groot.

1.4 De voorwaarde van een internationale ontwikkeling

1. Elektrisch rijden op waterstof kan in Nederland alleen doorbreken als elektrisch rijden op waterstof op Europese schaal van de grond komt. Zo maakt de relatief beperkte omvang van de Nederlandse automarkt dat autofabrikanten niet alleen voor Nederland brandstofcelvoertuigen gaan produceren. En om gebruikers te kunnen laten profiteren van het voordeel van een ruime actieradius zal de Nederlandse waterstoftankinfrastructuur (op termijn) moeten zijn aangetakt op die in de ons omringende landen. Gelet op deze randvoorwaarde is van belang te melden dat er ook in andere lidstaten en in Europees verband wordt gewerkt aan de ontwikkeling van elektrisch rijden op waterstof met ondersteuning van de automobiellindustrie en de politiek. Voorbeelden van ontwikkelingen, die illustreren dat de aandacht voor elektrisch rijden op waterstof geen exclusieve Nederlandse aangelegenheid is, zijn onder andere de volgende:
 - a. Het samenwerkingsverband H₂ Mobility Germany investeert in hechte samenwerking met Daimler, Toyota, Honda, Hyundai, Volkswagen, BMW en Nissan € 350 miljoen in de realisatie van 100 waterstoftankstations in 2017 en 400 waterstoftankstations in 2023 voor het kunnen bedienen van een significante vloot van brandstofcelauto's.
 - b. In het kader van het initiatief TEN-T HIT (Trans Europese Netwerken Hydrogen Infrastructure for Transport) stellen Nederland, Zweden, Denemarken en Frankrijk met steun van Duitsland en Engeland een NIP (national implementation plan) en een SIP

- (synchronised implementation plan) op voor het realiseren van een op elektrisch rijden op waterstof afgestemde tankinfrastructuur.
- c. Waterstof is onderdeel van de EU-richtlijn over een verplichte duurzame brandstoftankinfrastructuur, alsmede van door de EU gefinancierde onderzoeksprogramma's zoals het Fuelcell Joint Undertaking Programme.
2. Ook buiten Europa is er aandacht voor elektrisch rijden op waterstof. In Californië is wetgeving aangenomen voor het ontwikkelen van een waterstoftankinfrastructuur (Assembly Bill 8) gekoppeld aan het beschikbaar stellen van USD 200 miljoen tot 2023 voor het realiseren van 100 waterstoftankstations.

2. Kansrijke product-markt combinaties (PMC's)

2.1 Huidige kansrijke PMC's

1. De BDW voorziet dat de markt voor elektrisch rijden op waterstof zich in 4 fasen zal ontwikkelen: (1) marktvoorbereiding 2015 – 2018, (2) vroege marktintroductie 2018 – 2023/2025, (3) volledige marktintroductie 2023/2025 – 2030 en (4) massa markt >2030. Daarbij gaat het zowel om het vestigen van waterstoftankstations als om het op de weg krijgen van brandstofcelvoertuigen.
2. Kansrijke PMC's zijn situaties waarin brandstofcelvoertuigen een goede concurrentiepositie hebben vergeleken met andere voertuigen/brandstoffen (d.w.z. ze voldoen globaal aan dezelfde functionele eisen tegen een vergelijkbare prijs/TCO) en een substantiële bijdrage leveren aan de doelstellingen voor CO₂ reductie en het op de weg krijgen van nulmissie voertuigen.
3. In de marktvoorbereiding, tussen 2015 en 2018, zijn de volgende PMC's kansrijk: OV-bussen stad- en streekvervoer en personen- en (mogelijk) bestelauto's in lokale vloten van overheden en bedrijven actief op het gebied van MVO, alle direct gekoppeld aan de waterstoftankstations in Amsterdam, Rotterdam, Arnhem en Helmond/Eindhoven.
4. In de fase van vroege marktintroductie, tussen 2018 en 2023/2025, komen daar speciale voertuigen bij, zoals stadsreinigingvoertuigen en heftrucks. En ook personen- en bestelauto's en (mogelijk) distributietrucks voor 'innovators' en 'early adopters', die vanwege de uitbreiding van het aantal waterstoftankstations (20 – 50) een brandstofcelvoertuig kunnen gaan rijden. Bij uitbreiding is aansluiting van de infrastructuur met die in de ons omringende landen van belang voor de ontwikkeling van een Europees netwerk
5. In de fase van volledige marktintroductie, tussen 2023/2025 en 2030, zal het aanbod van de onder 2 en 3 genoemde soorten brandstofcelvoertuigen groeien en diversifiëren (ook goedkopere typen), en ook het aantal waterstoftankstations. Na de 'innovators' en de 'early adopters' kan in deze fase zodoende de 'early majority' worden bereikt. Uitbreiding van het tankstationnetwerk is erop gericht om door heel Nederland te kunnen rijden met brandstofcelvoertuigen. Uiteraard is de in paragraaf 1.4 beschreven internationale invalshoek hierbij een randvoorwaarde. Tabel 1 vat het voorgaande samen:

Tabel 1 Kansrijke PMC's brandstofcelvoertuigen vanaf 2014 (tot 2030)

Marktontwikkelingsfase	Kansrijke PMC's tot 2030	Indicatie totale vloot	Indicatie aantal tankstations
Marktvoorbereiding 2015 – 2018	<ul style="list-style-type: none"> • OV-bussen stad- en streekvervoer • Personenauto's in lokale vloten (o.a. taxi's) • Bestelauto's in lokale vloten 	Tientallen	5 – 20
Vroege marktintroductie 2018 – 2023/2025	<ul style="list-style-type: none"> • OV-bussen stad- en streekvervoer • Personenauto's in lokale vloten • Bestelauto's in lokale vloten • Speciale voer- en vaartuigen (o.a. stadsreiniging, heftrucks, rondvaartboten, veerponten) • Personenauto's 'innovators' en 'early adopters' • Bestelauto's 'innovators' en 'early adopters' • Distributietrucks 'innovators' en 'early adopters' 	Enkele honderden tot enkele duizenden	20 – 50
Volledige marktintroductie 2023/2025 – 2030	• Alle voornoemde PMC's in groeiende aantallen ('early majority' kan worden bereikt)	100.000 à 200.000	50 – 200

2.2 Kansrijke PMC's in/vanaf 2030

1. In/vanaf 2030 kan de vierde marktontwikkelingsfase van massa markt worden bereikt. Van alle in tabel 2.1 genoemde PMC's is dan naar verwachting een breed aanbod beschikbaar, inclusief trekker-opleggers voor regionale distributie en (wellicht ook) trucks, trekker-opleggers en touringcars voor de lange afstand. Het aantal tankstations zal vanaf 2030 verder en landsdek-kend groeien tot ordegrrootte 1.000 à 1.500 in 2050 en sluit als het goed is aan op de tankinfra-structuur in de ons omringende landen.
2. Gegeven de definitie van kansrijke PMC's (zie 2.1 punt 2) onderstreept de BDW voor 2030 het belang van brandstofcelauto's, vanwege de doelstelling in het Energieakkoord dat alle nieuw verkochte auto's in 2035 nulemissie kunnen rijden volgens de IPCC definitie (zie paragraaf 1.1) en omdat personenauto's, gezien hun aantal/aandeel, het grootste CO₂ reductiepotentieel vertegenwoordigen.
3. De BDW ziet af van het op voorhand aan de PMC's koppelen van een bepaald actieradius, zoals dat in een eerder stadium wel is gedaan om onder andere de markten voor batterijelek-trische auto's en brandstofcelvoertuigen van elkaar te onderscheiden. De BDW verwacht namelijk dat de toekomstige markt voor elektrisch rijden divers zal zijn en zal bestaan uit oplossingen die alle in de markt door gebruikers gewenste bereiken dekken: batterijelek-trische voertuigen (gekozen door gebruikers die voldoende hebben aan een actieradius van circa 100 à 200 kilometer), brandstofcelvoertuigen (gekozen door gebruikers die een auto wensen met een actieradius in de orde van 200 tot 700 kilometer) en/of combinaties van beiden, waarbij de brandstofcel fungeert als range extender zoals de verbrandingsmotor in de huidige generatie plug-in hybrides (gekozen door gebruikers die optimale flexibiliteit willen). Tabel 2 vat het voorgaande samen:

Tabel 2 Kansrijke PMC's brandstofcelvoertuigen in/vanaf 2030

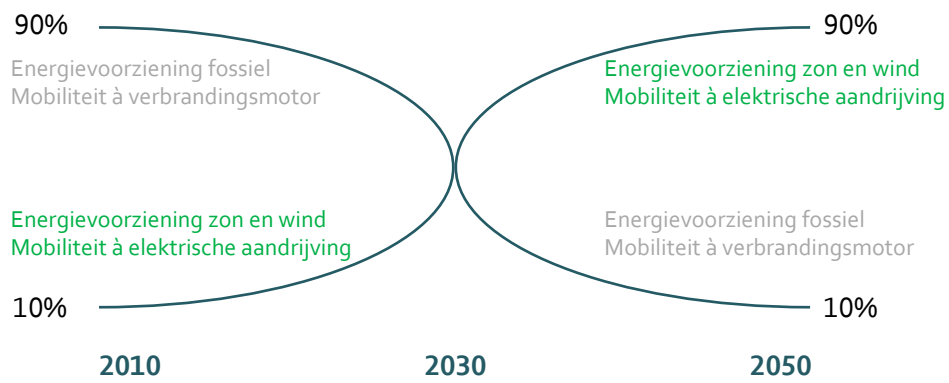
Marktontwikkelingsfase	Kansrijke PMC's in/vanaf 2030	Indicatie totale vloot	Indicatie aantal tankstations
Massa markt > 2030	<ul style="list-style-type: none"> • Personenauto's • OV-bussen stad- en streekvervoer • Bestelauto's • Distributietrucks en trekker-opleggers • Speciale voer- en vaartuigen (o.a. AGV's, stadsreiniging, heftrucks, rondvaartboten, veerponten) • Trucks en trekker-opleggers voor de lange afstand • Touringcars 	Groeiend naar circa 40% ⁶ van het totale wagenpark tussen 2030 en 2050, waaronder 2.000 à 3.500 OV-bussen en 2,5 à 3 miljoen personen- en bestelauto's	Groeiend naar 1.000 – 1.500 tussen 2030 en 2050

2.3 Doorkijk naar 2050

1. Gegeven paragraaf 2.1 en 2.2 blijft de verbrandingsmotor in de periode tot 2030 een belangrijke rol vervullen. Voor de periode tussen 2030 en 2050 verwacht de BDW dat onze energievoorziening steeds meer zal zijn gebaseerd op elektriciteit uit zon en wind (scenario 2 'New and all-renewable' uit paragraaf 1.2). In lijn daarmee zal – onder de voorwaarde dat dit een internationale ontwikkeling is (zie paragraaf 1.4) – enerzijds de uitfasering van verbrandingsmotoren plaatsvinden tussen 2030 en 2050 en zullen anderzijds elektrische aandrijflijnen 'main stream' worden, gevoed door batterijen, brandstofcellen en/of een combinatie van beiden. De doelstelling in het Energieakkoord dat per 2035 alle nieuw verkochte personenauto's zero-emissie kunnen rijden volgens de IPCC definitie (zie paragraaf 1.1.) zal deze ontwikkeling voor Nederland versterken, op voorwaarde dat de EU regelgeving deze doelstelling voldoende ondersteunt. Weliswaar tellen ook auto's op biobrandstof (vloeibaar of gasvormig) mee als nulmissievoertuig, maar voor het met deze auto's halen van de CO₂-doelstellingen voor 2050 is er naar verwachting te weinig biomassa beschikbaar, ook vanwege de verwachte competitie van toepassingen die, vergeleken met het wegverkeer, minder mogelijkheden hebben voor verduurzaming met andere bronnen dan biomassa, zoals de koolstofchemie, de luchtvaart en de scheepvaart. Figuur 3 vat de hiervoor geschetste ontwikkelingen (bewust uitvergroet) samen:

⁶ Dit percentage is gebaseerd op de veronderstelling dat ook batterijelektrische voertuigen een over-tuigend marktaandeel bereiken. Als de batterijtechniek echter onvoldoende verbetert, kan/zal het aandeel brandstofcelvoertuigen groter zijn dan 40%, omdat met brandstofcellen op termijn een brede markt kan worden bediend: zie de kansrijke PMC's in tabel 2, variërend van (ook kleine) personen-auto's tot touringcars.

Figuur 3 Uitfasering verbrandingsmotor en opkomst elektrische aandrijving, gekoppeld aan de energievoorziening die zich ontwikkelt van gebaseerd op fossiel naar gebaseerd op zon en wind



3. Belemmeringen en voorwaarden

3.1 Belemmeringen en voorwaarden in 2030

1. De belemmeringen en voorwaarden zijn grotendeels gelijk voor de in hoofdstuk 2 opgenomen kansrijke PMC's en in algemene termen opgenomen in tabel 3. De in paragraaf 1.4 beschreven randvoorwaarde dat elektrisch rijden op waterstof in Nederland alleen kan doorbreken als elektrisch rijden op waterstof op Europese schaal van de grond komt geldt onverkort, maar is niet opgenomen in tabel 3 en in dit hoofdstuk.

Tabel 3 Algemeen overzicht belemmeringen en voorwaarden elektrisch rijden op waterstof

Belemmeringen	Voorwaarden
Een niet aantrekkelijk kostenplaatje voor gebruikers van brandstofcelvoertuigen en een niet acceptabel investeringsrisico en businesscase voor uitbaters van waterstoftankstations.	Een met andere brandstoffen vergelijkbaar kostenplaatje voor gebruikers (concurrerende TCO) en een acceptabel investeringsrisico en businesscase voor de uitbaters van waterstoftankstations.
Brede onbekendheid met (rijden op) waterstof.	Brede acceptatie van (rijden op) waterstof.
Het vanwege de (gepercipieerde) onveiligheid van waterstof doorschieten in het stellen van eisen aan de veiligheid van brandstofcelvoertuigen en de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur.	Het kosteneffectief waarborgen van de veiligheid van brandstofcelvoertuigen en de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur.
Verschuivende institutionele kaders voor (o.a. de veiligheid van) brandstofcelvoertuigen en de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur.	Een internationaal uniform institutioneel kader voor (o.a. de veiligheid van) brandstofcelvoertuigen en de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur.
Het onvoldoende van de grond komen van een (voornamelijk op zon en wind gebaseerde) duurzame waterstofproductie.	Voldoende beschikbaarheid van duurzaam geproduceerde waterstof.

2. Als we de belemmeringen nader beschouwen, kunnen deze als volgt worden gespecificeerd:
 - a. Het niet aantrekkelijke kostenplaatje voor gebruikers komt vooral doordat brandstofcellen en dus de daarmee uitgeruste voertuigen nu nog erg duur zijn. Voor het realiseren van de in hoofdstuk 2 aangegeven vloot van brandstofcelvoertuigen (tussen 2030 en 2050 groeiend naar 40% van het totale wagenpark) en een substantieel aandeel in de nieuwverkopen, is dan ook een voorwaarde dat de kostprijs van brandstofcellen daalt. Vooral het (internationaal) realiseren van schaalgroottes is hiervoor vereist. Voorts wordt wel gewezen op het belang van brandstofcellen met geen of minder platina, maar dit is eerder een financieringsdan een kostenvraagstuk omdat platina kan worden gerecycled.
 - b. Kijken we naar de niet sluitende businesscase voor uitbaters van waterstoftankstations, dan gaat het qua voorwaarden enerzijds om de snelheid waarmee de investeringskosten zullen dalen, doordat de markt voor het bouwen van waterstoftankstations groter en meer volwassen wordt (ervaring, concurrentie en schaalvoordelen). Anderzijds gaat het om voldoende brandstofcelvoertuigen per vulpunt, respectievelijk een voorspelbaar afzetvo-

- lume van waterstof, om bij een bepaalde waterstofprijs een gezonde exploitatie (kastroom) te kunnen realiseren (minimaal verkoopvolume per dag van 400 kilogram per tankstation) .
- c. Een retailprijs van (duurzaam) waterstof die integraal concurrerend is met de prijs van andere brandstoffen is voor zowel de gebruikers (inkoop) als de uitbaters van waterstof-tankstations (winstmarge) een belangrijke voorwaarde.
 - d. De brede onbekendheid met (rijden op) waterstof is een volgende belemmering. Dit geldt voor alle potentiële gebruikers. Als we deze belemmering nader beschouwen geldt specifiek dat potentiële gebruikers de kans op ernstige ongelukken met (elektrisch rijden op) waterstof over het algemeen onrealistisch hoog inschatten. Verder is er onbekendheid met de voor- en nadelen van (elektrisch rijden op) waterstof, vergeleken met andere brandstoffen/technieken. Om door te breken is het realiseren van een brede acceptatie van (elektrisch rijden op) waterstof en de aangeboden waterstoftankinfrastructuur een voorwaarde.
 - e. De (gepercipieerde) onveiligheid van waterstof maakt dat beleidsmakers en vergunningverleners kunnen doorschieten in het stellen van veiligheidseisen aan brandstofcelvoertuigen en de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur. Dit heeft onder andere negatieve gevolgen voor het kostenplaatje van de voertuigen en de businesscase van de uitbaters van waterstoftankstations. Uiteraard moet de veiligheid worden gewaarborgd, maar een voorwaarde voor het doorbreken van (elektrisch rijden op) waterstof is dat dit kosteneffectief gebeurt. Liefst op basis van een tussen (internationale) overheden afgesproken institutioneel kader. In zo'n kader horen ten eerste geharmoniseerde veiligheidseisen aan het voertuig: op de weg, bij parkeren, voor hulpdiensten en bij onderhoud en reparatie. In zo'n kader horen ten tweede geharmoniseerde veiligheidseisen aan de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur, het werken aan brandstofcelvoertuigen en zo nodig ook inrichtingseisen voor parkeergarages en gesloten ruimtes als werkplaatsen waar auto's worden onderhouden en gerepareerd. In zo'n kader horen tot slot noodzakelijke standaarden voor onder andere tankstations voor wat betreft vuldruk, vulnippels en voldoende en veilige ventilatie in gesloten ruimtes.
 - f. Er zijn verschillende manieren om waterstof te maken. Uiteindelijk is waterstof uit elektriciteit van duurzame bronnen (zon en wind) het duurzaamst en spelen andere productiewijzen zoals waterstof uit aardgas (al dan niet met CCS) en biogas vooral een rol in de transitie daar naartoe. Zie ook paragraaf 1.2 waarin de BDW deze gedachtegang heeft toegelicht. Dit betekent dat voldoende beschikbaarheid van elektriciteit uit zon en wind voor de productie van voldoende duurzaam waterstof voor mobiliteit uiteindelijk (2050) een voorwaarde is. Voor de korte termijn (marktvoorbereiding en vroege marktintroductie) is de waterstof die door middel van elektrolyse uit (groene) stroom wordt meegeproduceerd in bestaande productieprocessen (zoals bij het maken van chloor en het bleken van papier en pulp) een goede en waarschijnlijk toereikende optie.
 - g. Samenvattend zijn de specifieke voorwaarden geschetst in tabel 4.

Tabel 4 Overzicht specifieke belemmeringen/voorwaarden elektrisch rijden op waterstof

	Voertuig	Energiedrager	Infrastructuur
Technisch	<ul style="list-style-type: none"> • Brandstofcellen met minder of zonder platina 		
Economisch	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten brandstofcel omlaag brengen door het realiseren van schaalgrootte 	<ul style="list-style-type: none"> • De retailprijs van een kg waterstof moet concurreren met de prijs van andere brandstoffen, voor gebruikers (inkoop) en voor uitbaters van tankstations (winstmarge) 	<ul style="list-style-type: none"> • Investeringskosten waterstoftankstations omlaag • Voldoende brandstofcelvoertuigen per vulpunt voor een gezonde exploitatie
Institutioneel	<ul style="list-style-type: none"> • Een tussen (internationale) overheden afgesproken institutioneel kader 	<ul style="list-style-type: none"> • Voldoende perspectief op de beschikbaarheid van elektriciteit uit zon en wind voor de productie van voldoende duurzaam waterstof • Opnemen waterstof als brandstof in relevante regelgeving inclusief vaststellen fiscaal kader (bv. accijns, energiebelasting)” 	<ul style="list-style-type: none"> • Een tussen (internationale) overheden afgesproken institutioneel kader
Overig	<ul style="list-style-type: none"> • Acceptatie brandstofcelvoertuigen 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceptatie waterstof als brandstof voor het wegverkeer 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceptatie van de voor (rijden op) waterstof noodzakelijke distributie-, opslag- en tankinfrastructuur.

3. De belemmeringen en voorwaarden in punt 1 en 2 zijn kwalitatief aangegeven. Voorlopig cijfermateriaal over de belemmeringen en voorwaarden is in productie. Dit zal betrekking hebben op de productie van waterstof en op het stap voor stap komen tot een voldoende aantrekkelijk kostenplaatje voor gebruikers van brandstofcelvoertuigen en uitbaters van waterstoftankstations. Hierbij moet worden bedacht dat de cijfers op dit moment nog aanzienlijke bandbreedtes kennen vanwege het prille ontwikkelingsstadium van elektrisch rijden op waterstof. Dit kan discussies bemoeilijken, omdat opposanten bijvoorbeeld vragen om meer en preciezere cijfers die nog niet te geven zijn. Dit kan afwachten in de hand werken en is een risico voor het op korte termijn kunnen inzetten van de marktvoorbereidingsfase voor elektrisch rijden op waterstof, terwijl de BDW nu starten van groot belang acht voor het kunnen halen van de collectieve opgave: 60% CO₂ reductie in 2050 vergeleken met 1990 en alle nieuwverkopen zero-emissie per 2035. Meer dan om precieze cijfers gaat het er in deze fase om dat overheid en markt de (strategische) kansen van (elektrisch rijden op) waterstof voor de verdere toekomst erkennen – zie 1.2 – en nu bereid zijn tot zekere basisinvesteringen (zie de raming in paragraaf 6.1), zonder dat de kosten/baten en terugverdientijd precies vaststaan en nauwkeurig kunnen worden berekend. In feite is dit een korte termijn voorwaarde.

3.2 Doorkijk naar 2050

1. Als elektrisch rijden op waterstof op Europese schaal van de grond komt (zie paragraaf 1.4) en als de in 3.1 opgenomen belemmeringen tot 2030 worden weggewerkt c.q. de aangegeven voorwaarden tot 2030 worden gerealiseerd, kan de markt voor elektrisch rijden op waterstof vanaf 2030 volwassen zijn. De in paragraaf 2.3 geschetste doorkijk naar 2050 kan dan worden gerealiseerd, met als kernpunt de verwachte verschuiving van verbrandingsmotoren naar elektrische aandrijflijnen.

4. Instrumenten

1. Voorzichtigheid over de snelheid waarmee de markt van elektrisch rijden op waterstof zich de komende jaren kan/zal ontwikkelen is op zijn plaats. De techniek voor elektrisch rijden op waterstof is weliswaar beschikbaar, maar voor een rijpe markt moeten nog veel belemmeringen worden overwonnen (zie hoofdstuk 3) en dat kost tijd: tabel 1 en tabel 2 van hoofdstuk 2 illustreren dat hierbij moet worden gedacht aan ordegrootte 15 tot 20 jaar voor de periode van marktvoorbereiding tot volwassen markt.
2. Gegeven de collectieve opgave van CO₂-reductie en het per 2035 in Nederland alleen nog willen verkopen van nulmissieauto's, betekent dit 'geduldig, maar met volle kracht vooruit': als de marktvoorbereiding vanaf 2015 wordt opgestart, kan de markt voor elektrisch rijden op waterstof rond 2030/2035 volwassen zijn (mits de Europese ontwikkelingen voor elektrisch rijden op waterstof ook worden doorgezet).
3. De marktvoorbereidingsfase opstarten vanaf 2015 is opportuun. De autofabrikanten hebben al veel geïnvesteerd om de techniek voor elektrisch rijden op waterstof beschikbaar te maken en het versnellen van hun inzet en het overbruggen van de beruchte 'valley of death' zijn nu gebaat bij een duidelijk perspectief en investeringsprogramma voor de verdere marktontwikkeling van elektrisch rijden op waterstof. Overheid en markt hebben daarbij allebei een rol: in paragraaf 4.1 wordt op noodzakelijke marktgerelateerde instrumenten en maatregelen ingegaan, in paragraaf 4.2 op noodzakelijke overheidsgerelateerde instrumenten en maatregelen.

4.1 Marktgerelateerde instrumenten en maatregelen

De BDW onderscheidt de volgende bestaande of in gang gezette instrumenten:

1. **Platforms als H2 Mobility NL en TEN-T HIT.** Het (introduceren van) elektrisch rijden op waterstof is onmogelijk zonder tankstations en eerste productieaantallen brandstofcelvoertuigen. De tankinfrastructuur moet van meet af aan worden opgebouwd. Het beoogde H2 Mobility platform NL van marktpartijen, kennisinstellingen en overheid zet hiertoe in op het in de fase van marktvoorbereiding (2015-2018) creëren van een aantal lokale markten. Dat wil zeggen: enkele eerste waterstoftankstations met een vloot van brandstofcelvoertuigen van enige omvang in de directe omgeving, bijvoorbeeld: OV-bussen, taxivloten en/of stadsreiniging- en zo mogelijk stadsdistributievoertuigen. Vervolgens gaat het in de fase van vroege marktintroductie (2018-2023/2025) om het stap voor stap verbinden en uitbouwen van de lokale markten tot regionale markten met meer tankstations en meer brandstofcelvoertuigen. Om meer massa te maken is het in dat stadium belangrijk om de zakelijke markt te interesseren voor elektrisch rijden op waterstof. Een overtuigende propositie voor first movers door marktpartijen is dan noodzakelijk, ondersteund door stimulerend fiscaal beleid (zie paragraaf 4.2). Vervolgens is ook het aansluiten van de Nederlandse tankinfrastructuur op die in andere landen van belang. Dit is onderwerp van het gestarte initiatief TEN-T HIT (Trans Europese Netwerken Hydrogen Infrastructure for Transport). In dat verband stellen Nederland, Zweden, Denemarken en Frankrijk met steun van Duitsland en Engeland een NIP (national implementation plan) en SIP (synchronised implementation plan) op. Beide initiatieven tezamen zijn gericht op ordegrootte 20 à 30 waterstoftankstations in Nederland in 2020. Het H2 Mobility platform NL is voorts een geschikt instrument om op basis van ervaring te werken aan de acceptatie van brandstofcelvoertuigen, de acceptatie van waterstof als brandstof voor het wegverkeer en de acceptatie van de voor elektrisch rijden op waterstof noodzakelijke distributie-, opslag en tankinfrastructuur.

2. **Green deal zero-emissie busvervoer.** Er is een green deal gesloten tussen het rijk en de Stichting Zero Emissie Busvervoer. De deal heeft tot doel om in de periode 2015-2025 in alle openbaar vervoerconcessies zero emissie als eis voor de inzet van bussen op te laten nemen. Als de green deal slaagt worden alle OV-bussen in Nederland in 2025 elektrisch aangedreven.
3. **Green deal zero-emissie stadsdistributie.** Gelet op de ontwikkelingen met betrekking tot batterijelektrisch rijden en elektrisch rijden op waterstof is het volgens de BDW waard versnelling van de invoering van zero-emissie stadsdistributie te laten onderzoeken door de overheid, de betrokken brancheorganisaties en andere relevante stakeholders, waarbij de BDW als dit haalbaar is een invoering per 2025 nastreeft.
4. **Green deal 'launching customership' voor taxi en stadsreiniging.** Taxivolten en stadsreinigingvoertuigen zijn ook perspectiefrijke vroege markten voor brandstofcelvoertuigen. De BDW ziet green deals voor 'launching customership' met de taxisector en de stadsreinigingsector in principe als goede instrumenten om in deze markten te beginnen met de inzet van brandstofcelvoertuigen en stelt voor dat de overheid de mogelijkheden daartoe in overleg met betrokken brancheorganisaties en andere relevante stakeholders onderzoekt.

De BDW oppert voorts de volgende nieuwe instrumenten, waarbij het investeringsprogramma onder 5 van doorslaggevend belang is voor de marktontwikkeling van elektrisch rijden op waterstof:

5. **Investeringsprogramma elektrisch rijden op waterstof.** Om het H₂ Mobility platform NL, TEN-T HIT en de fasen van marktvoorbereiding (2015-2018) en vroege marktintroductie (2018-2023/2025) te laten slagen, acht de BDW een substantieel investeringsprogramma noodzakelijk voor de voor deze fasen geraamde meerkosten van circa € 250 miljoen (zie paragraaf 6.1; instrumentatie investeringsprogramma met subsidies, fiscale maatregelen e.d. moet nader worden bezien in de volgende fase van het actieplan). Vanwege het (strategische) belang dat (elektrisch rijden op) waterstof doorbreekt, pleit de BDW ervoor dat de overheid in overleg met betrokken brancheorganisaties en stakeholders mede beziet of en hoe de huidige gebruiker voor het investeringsprogramma kan worden belast.
6. **Marktvoorbereidingsproject duurzaam transport.** Voor de verduurzaming van het vrachtvervoer is een mix van technieken/brandstoffen op de verschillende terreinen (voertuigen, logistieke concepten, transportondernemers, eindgebruikers) voorhanden, maar geen gemeengoed. Learning by doing is in de vervoersector van belang, ook om ondernemers innovaties en de businesscase daarvan te laten ervaren. Een marktvoorbereidingsproject ('Truck van de Toekomst II) zou hierbij kunnen helpen. Vooral (groot)stedelijk is er behoefte aan verdere verduurzaming op korte tot middellange termijn ('stil en schoon de stad in'; geluid is in stedelijk gebied een belangrijke trigger voor vernieuwing) en liggen er bovendien nog de nodige kansen. Kansrijke opties/PMC's om in een marktvoorbereidingsproject duurzaam transport op te nemen zijn:
 - a. De inzet van elektrisch aangedreven voertuigen in de (binnen)stad (batterij en brandstofcel).
 - b. De inzet van stille elektrische auxiliary toepassingen (batterij en brandstofcel). Met name bij voertuigen op diesel die in de stad vooral op hun plek staan om de klus met hun auxiliaries te klaren, kan dit belangrijke milieuwinst opleveren: niet zozeer de korte stadsrit is een probleem, als wel de uren dat zij bijvoorbeeld een luidruchtig dieselaggregaat laten draaien.
 - c. Hybridisering van zogenoemde 'last mile' vrachtvoertuigen/trekkers.
 - d. Het delen van vrachtvoertuigen.

4.2 Overheidsgerelateerde instrumenten en maatregelen

1. **Europees bronbeleid / CO₂ emissienormering.** Offensief Europees bronbeleid is essentieel voor de ontwikkeling en inzet van zuinige, schone en stille bussen en personen-, bestel- en vrachtauto's en het realiseren van de collectieve doelstellingen. Met CO₂ normering (techniekneutraal) kan ervoor worden gezorgd dat de markt zichzelf gaat reguleren, elektrisch

rijden op waterstof verder tot ontwikkeling komt en de doelstellingen worden bereikt. De vraag is of de norm van 95 g/km en de momenteel bediscussieerde norm van 70 g/km voor personenauto's volgens de NEDC-testcyclus autofabrikanten voldoende prikkelen. Mogelijk zijn deze normen realiseerbaar door efficiencyverbetering van verbrandingsmotoren al dan niet in combinatie met vormen van elektrificatie (hybridisering). Als het Europees bronbeleid onvoldoende prikkelt voor het realiseren van de doelstellingen adviseert de BDW dat Nederland in Europa pleit voor een strengere CO₂ emissienormering. Een strengere norm kan eventueel worden gecombineerd met een verplicht quotum op de markt te brengen nul-emissievoertuigen (vgl. Californische aanpak: bijv. 10% in 2025), hoewel dit laatste niet door alle leden van de BDW wordt gedragen.

2. **Emissienormering nationaal.** Als het Europese bronbeleid de markt onvoldoende prikkelt om op middellange termijn (2030) te zorgen voor de doorbraak van elektrisch rijden op waterstof en het halen van de gestelde doelen, kan de overheid hiervoor in overleg met brancheorganisaties en stakeholders de mogelijkheden verkennen van nationale emissienormering naar Californisch voorbeeld ('force the change'). Niet alle leden van de BDW zien dit overigens als een realistisch pad.
3. **Fiscaliteit voertuigen.** De markt voor batterijelektrisch rijden (inclusief plug-in hybrides) is in de afgelopen paar jaar op gang gekomen en kan op basis van aantallen voertuigen worden gepositioneerd op de overgang van vroege marktintroductie (1000 – 1.000 voertuigen) naar volledige marktintroductie (10.000 voertuigen). Fiscale stimuleringsmaatregelen hebben een doorslaggevende rol gespeeld bij het aanvonken van de markt. De BDW vindt in lijn hiermee dat fiscale maatregelen ook van essentieel belang zijn voor het opstarten van de markt voor elektrisch rijden op waterstof, met name voor het interesseren van de zakelijke rijders. Waterstof wordt apart behandeld in de wet. Dit opent de mogelijkheid om de markt voor elektrisch rijden op waterstof met fiscale voordelen op gang te helpen, terwijl de fiscale voordelen voor batterijelektrisch rijden in verband met oplopende verkoopaantallen onafhankelijk daarvan kunnen worden afgezwakt als stimuleren niet langer noodzakelijk is. De BDW acht een samenhangend fiscaal stimuleringspakket noodzakelijk ter begeleiding van in ieder geval de marktintroductiefase, de vroege marktintroductie en de eerste paar jaar van de volledige marktintroductie (periode 2015-2025/2027). Onderdelen van zo'n pakket zijn in ieder geval: vrijstelling van aankoopbelasting (BPM), 0-4% bijtelling en belastingvriendelijke regelingen voor bedrijven die brandstofcelvoertuigen aanschaffen (MIA-VAMIL, EIA, KIA) met als doel dat de TCO van deze voertuigen concurrerend wordt aan die van conventionele voertuigen. Aanvullend kan ook worden gekeken naar gedragsbeïnvloeding en compensatie van fysieke tekortkomingen bij inzetmogelijkheden.
4. **Fiscaliteit brandstof.** De prijs van een kg waterstof moet concurreren met de prijs van andere brandstoffen. Nu is er geen accijns op waterstof. De BDW vindt dat dit voordeel in ieder geval tijdens de marktvoorbereidingsfase (100 voertuigen) en de vroege marktintroductie (1000 – 1.000 voertuigen) moet worden gehandhaafd (periode 2015-2023/2025). De eventuele introductie van een waterstofaccijns kan omstreeks 2023/2025 opnieuw worden bezien in het licht van de dan actuele markt voor en TCO van elektrisch rijden op waterstof.
5. **Tankinfrastructuur.** Bedrijven investeren niet vanzelf in een waterstoftankinfrastructuur voor het wegverkeer. Weliswaar is er een businesscase, maar die is afhankelijk van het aantal voertuigen dat komt tanken. De voertuigvloot is op korte termijn nog dusdanig klein dat de investeringskosten nu niet binnen een redelijke termijn kunnen worden terugverdiend c.q. een gezonde exploitatie vooralsnog niet mogelijk is. De BDW is van mening dat overheidsstimulering, evenals voor voertuigen, ook voor waterstoftankstations van essentieel belang is. Deze ondersteuning betreft zowel de realisatie van tankstations, als het mede dekken van de jaarlijkse operationele kosten (ca. 10% van de investeringskosten in apparatuur) zolang er onvoldoende voertuigen zijn om deze kosten uit de verkoop van waterstof te dekken. De BDW merkt co-financiering en zachte leningen van de Europese of Nederlandse Investeringsbank hierbij als eerste instrumenten aan, al dan niet gekoppeld aan de (vergunning)verplichting om waterstof op het tankstation aan te bieden, mogelijk ondersteund door exclusieve concessieverlening voor een periode van 10 tot 15 jaar.
6. **Flankerend beleid.** Flankerend beleid kan de aantrekkelijkheid van elektrisch rijden op

waterstof voor gebruikers verder vergroten. Bij voorkeur adviseert de BDW dat flankerend beleid op ten minste nationaal niveau wordt gecoördineerd om lokale verschillen en onduidelijkheid voor gebruikers te voorkomen. Flankerend beleid bestaat uit verschillende mogelijke maatregelen:

- a. Milieuzonering: bepaalde stadsdelen zijn beter of alleen toegankelijk voor nulemissievoertuigen.
 - b. Parkeerbeleid: bepaalde parkeerplekken zijn gereserveerd voor nulemissievoertuigen c.q. voor nulemissievoertuigen geldt een lager tarief of nultarief.
 - c. Privilegemaatregelen: specifieke wegen/wegstroken (o.a. busbanen) zijn mede toegankelijk voor nulemissievoertuigen.
 - d. Venstertijdenbeleid: nulemissievoertuigen mogen ook buiten de reguliere venstertijden bevoorraden.
7. **Subsidies voor research en innovatie / Horizon 2020.** Een voorbeeld van een technische uitdaging is het verlagen van het platinagehalte van brandstofcellen, opdat de kostprijs daarvan daalt ten gunste van de businesscase van elektrisch rijden op waterstof. Platinarecycling is een alternatief, waardoor het gebruik en de beschikbaarheid van platina een financierings- in plaats van een kostenvraagstuk zijn. Voor onderzoek naar het verbeteren van (het gebruik van) de brandstofceltechniek is het van belang dat Nederlandse onderzoeksinstellingen en bedrijven gebruik kunnen maken van subsidieprogramma's voor research en innovatie, zoals Horizon 2020.
8. **Een tussen (internationale) overheden afgesproken institutioneel kader.** Een (internationaal) institutioneel kader bevordert de eenduidige ontwikkeling van elektrisch rijden op waterstof. Het gaat ten eerste om geharmoniseerde veiligheidseisen aan het voertuig: op de weg, bij parkeren, voor hulpdiensten en bij onderhoud en reparatie. Het gaat ten tweede om geharmoniseerde veiligheidseisen aan de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur, het werken aan brandstofcelauto's en zo nodig ook om inrichtingseisen voor parkeergarages en gesloten ruimtes als werkplaatsen waar auto's worden onderhouden en gerepareerd. Tot slot gaat het om noodzakelijke standaarden voor onder andere tankstations voor wat betreft vuldruk, vulnippels en voldoende en veilige ventilatie in gesloten ruimtes.

5. Koppelkansen

5.1 Koppelkansen binnen marktsegmenten

1. De BDW heeft diverse koppelkansen geïnventariseerd, dat wil zeggen: mogelijkheden om verschillende investeringsagenda's of ambities te verbinden waardoor gestelde doelen sneller, beter of tegen geringere (maatschappelijke) kosten worden bereikt.
2. **Waterstof – Elektrisch rijden.** Vanwege de geleidelijke uitfasering van fossiele brandstoffen en verbrandingsmotoren is de toekomst (vanaf 2030) aan elektrische aandrijflijnen voor bussen en personen-, bestel- en (distributie)vrachtauto's. Waterstof en elektrisch rijden vullen elkaar goed aan, omdat elektrische aandrijflijnen kunnen worden gevoed door batterijen (elektrisch rijden, korte afstand, stads- en regioverkeer), brandstofcellen (elektrisch rijden op waterstof, middellange en lange afstand, nationaal en internationaal verkeer) en/of een combinatie van beiden ⁷. Zodoende kunnen elektrisch rijden en elektrisch rijden op waterstof gezamenlijk zorgen voor een rijk geschakeerd en gebruikersbehoeftegedekkend aanbod van voertuigen, dat bovendien compleet zero-emissie is. In eerste instantie TTW, maar in de verdere toekomst WTW, bij een op zon en wind gebaseerde energievoorziening. Het is dus geen kwestie van kiezen tussen waterstof en batterijelektrisch, maar een kwestie van samen doorontwikkelen, in het perspectief van een toekomstige op duurzame stroom gebaseerde energievoorziening, waarin binnen het wegverkeer de elektrische aandrijflijn centraal staat en gebruikers inzetafhankelijk zullen kiezen voor batterijelektrisch of waterstofelektrisch.
3. **Waterstof – Gasvormig.** Er is sprake van verschillende koppelkansen:
 - a. Gasvormige brandstoffen hebben allemaal te maken met het thema 'veiligheid' en de belemmering dat de grote groep van potentiële gebruikers gasvormige brandstoffen niet eenvoudig accepteert, omdat de kans op ernstige ongelukken onrealistisch hoog wordt ingeschat. Samenwerking op het gebied van (het ontwikkelen van) veiligheidseisen (o.a. voor vergunningverlening en het werken aan brandstofcelvoertuigen) en voorlichting en communicatie ligt voor de hand.
 - b. Een dekkende tankinfrastructuur moet zeker voor waterstof, maar in mindere mate ook voor brandstoffen als CNG nog worden ontwikkeld. Regie door het Rijk is hierbij noodzakelijk, omdat de inrichting van de tankinfrastructuur (waaronder de locatie en capaciteit van tankstations waar alternatieve brandstoffen worden aangeboden) mede bepalend is voor het succes, maar zonder regie suboptimaal kan zijn (bijvoorbeeld als gevolg van beleidsconcurrentie tussen gemeenten en/of provincies). Door regie kunnen ook de voor de tankinfrastructuur beschikbare overheids- en marktmiddelen het efficiëntst worden ingezet.
 - c. Biogas kan worden benut in verbrandingsmotoren van bussen en personen-, bestel- en vrachtvoertuigen, maar er kan ook waterstof van worden gemaakt voor nul-emissie brandstofcelvoertuigen. Gasvormig en waterstof liggen op dit punt in elkaars verlengde en kunnen opeenvolgende fasen zijn binnen de gehele transitie naar compleet zero-emissie wegverkeer. Aanvankelijk ligt benutting van biogas in verbrandingsmotoren voor de hand, maar bij voldoende brandstofcelvoertuigen verschuift de voorkeur naar omzetting van biogas in waterstof voor mobiliteit vanwege de efficiënte keten van brandstofcel en elektrische aandrijflijn. In hoeverre deze ontwikkelingen doorgang zullen vinden is uiteraard mede afhankelijk van de discussie over de begrensdde hoeveelheid biomassa en de efficiënt-

⁷ In het laatste geval zorgen de met netstroom opgeladen batterijen voor een eerste actieradius en nemen de brandstofcellen het over zodra dit bereikt is. De brandstofcel fungeert dan als range-extender, gelijk de verbrandingsmotor van de huidige generatie plug-in hybrides. De dimensionering van batterijelektrische brandstofcelvoertuigen zullen fabrikanten naar verwachting gaan toespitsen op verschillende gebruikersprofielen, waarbij technisch nog de nodige ontwikkeling gaande is om beperkingen te overwinnen respectievelijk technieken te verbeteren.

ste inzet daarvan. In het algemeen lijkt het macro gezien raadzaam en efficiënt om beperkt beschikbare hoeveelheden biomassa te bestemmen voor modaliteiten die voor vergroening vooral van biomassa afhankelijk zijn. Niettemin kunnen lokale omstandigheden het mogelijk maken om tegen lage kosten decentraal biogas te produceren en dit om te zetten in waterstof.

- d. De eerste stap van Power-to-Gas betreft de inzet van (duurzame) elektriciteit voor de productie van waterstof uit water door middel van elektrolyse. De waterstof kan vervolgens voor diverse doeleinden worden gebruikt. Hier ligt de volgende koppelkans: de waterstof kan worden gebruikt voor brandstofcelvoertuigen en diverse andere toepassingen die op dit moment met verbrandingsmotoren worden aangedreven door de productie van synthetisch aardgas (Power-to-Gas) of de productie van synthetische vloeibare brandstoffen (Power-to-Liquids). Inzet van waterstof in brandstofcelvoertuigen heeft de voorkeur, energetisch gezien en vanwege de daadwerkelijke nulmissie TTW. Het uit duurzame energiebronnen verkregen waterstofgas en/of synthetisch gas kunnen ook dienen als feedstock voor de (chemische) industrie ter vergroening van hun productie.

5.2 Koppelkansen tussen modaliteiten

4. **Waterstof – Scheepvaart.** Op de langere termijn (>2030) kan waterstof naar verwachting een rol spelen bij de aandrijving van binnenvaartschepen. Op de kortere termijn (2015 e.v.) is naar verwachting reeds toepassing van brandstofcellen voor het aandrijven van auxiliaries mogelijk.

5.3 Koppelkansen met andere economische clusters / groene groei

5. **Waterstof – Duurzame energie.** De BDW heeft de koppelkansen tussen waterstof en een duurzame energievoorziening uitvoerig geschetst in paragraaf 1.2. Kern is dat een op intermitterende bronnen gebaseerde energievoorziening (zon en wind in combinatie met lastig af te schakelen conventionele centrales) moet kunnen beschikken over een opslagmedium (waterstof) om efficiënt te zijn en voor het continu kunnen aanhouden van een strategische energievoorraad, terwijl een daadwerkelijk duurzame benutting (WTW) van elektrische aandrijflijnen in het wegverkeer staat of valt met de beschikbaarheid van voldoende (waterstof uit) elektriciteit afkomstig van zon of wind. Kort en goed zijn waterstof en een op intermitterende bronnen gebaseerde energiesysteem twee kanten van dezelfde medaille.
6. **Waterstof – Groene groei.** De BDW heeft de volgende koppelkansen geïnventariseerd:
 - a. Rijden met brandstofcelvoertuigen op waterstof vergt een van meet af aan op te bouwen infrastructuur. Diverse bedrijven op uiteenlopende terreinen – voertuigen, brandstofcellen, waterstofproductie, aanleg en exploitatie waterstof(tank)infrastructuur, energiebedrijven – zullen hierbij betrokken zijn en daar voordeel van hebben.
 - b. Rijden met brandstofcellen op waterstof kan een belangrijke bijdrage leveren aan de ontkoppeling tussen mobiliteitsontwikkeling en milieudruk. Die ontkoppeling is zeer vergaand als de waterstof duurzaam is geproduceerd. Het milieu vervalt dan de facto als randvoorwaarde voor (economische groei door) mobiliteitsgroei. De economische impact hiervan is in potentie zeer groot.
 - c. Nederland is in belangrijke mate een dienstenland. Op energiegebied verdienen we nu geld met aardgasgerelateerde diensten. Als Nederland inzet op waterstof als opslagmedium, kan Nederland wellicht ook daar geld mee verdienen: 'Nederland als 'de batterij' van Europa'. Een nadere onderbouwing van deze gedachte is noodzakelijk om de steekhoudendheid ervan te onderbouwen. Bovendien kan het naar Nederland halen van elektriciteit netver-

zware zwaarings noodzakelijk maken en de vraag is of dat realistisch en wenselijk is. Tot slot profileert Noorwegen zich reeds als de batterij van Europa door het installeren van grote hoeveelheden Pumped Hydro Storage.

5.4 Te vermijden lock-ins vanuit transitieperspectief

Vergeleken met benzine en diesel kan met gas CO₂ reductie worden bereikt: bij gebruik van fossiel aardgas lijkt 70 g/km per personenauto haalbaar; bij groen gas mag de CO₂ uitstoot TTW zelfs als nul worden aangemerkt. Dit maakt dat rijden op gas accent heeft gekregen voor het halen van de CO₂ doelen in 2030 (max. 25 Mton) en dat er in 5.1 koppelkansen met gasvormig zijn geschetst. Hier zijn met het oog op de langere termijn – 2050 – een aantal kanttekeningen bij te maken:

- a) De hoeveelheid biomassa is beperkt. Naar verwachting is 10 tot 20% groen gas voor personenauto's haalbaar. Hoe het volume synthetisch gas zich zal ontwikkelen is onbekend. Dit maakt dat voertuigen op gas in grote mate aangewezen blijven op LPG en fossiel aardgas ;
- b) Rijden op gas is aldus geen robuuste optie richting 2050 die past bij de gestelde doelen: het blijft een optie waarbij koolstofrijke energiedragers worden gedistribueerd over talloze eindgebruikers waar de CO₂ niet kan worden afgevangen en onvermijdelijk in de atmosfeer terecht komt.
- c) Batterijelektrisch rijden en elektrisch rijden op waterstof kennen voornoemde nadelen niet. Bovendien is het energie-efficiënter om aardgas om te zetten in waterstof voor brandstofcelvoertuigen dan aardgas te gebruiken in auto's met verbrandingsmotor. De vraag die dan rijst is of het zinvol is om tot 2030 te investeren in de voor de langere termijn niet robuuste techniek van rijden op (bio)gas , terwijl er elektrische alternatieven voorhanden zijn die ook investeringen vergen, maar wel robuust, toekomstbestendig en energie-efficiënt zijn. Ook in het licht van de energievoorziening als zodanig, die zich op langere termijn (2050) ontwikkelt tot in hoofdzaak gebaseerd op elektriciteit van hernieuwbare bronnen (zon en wind).
- d) Bovendien bestaat het risico dat we de inzet op batterijelektrisch rijden en elektrisch rijden op waterstof temperen, omdat we de 2030 doelen halen met efficiëntere verbrandingsmotoren en (groen) gas. Terwijl de inzet op (een infrastructuur voor) batterijelektrisch rijden en elektrisch rijden op waterstof juist nu volop moet starten (marktvoorbereiding en -introductie) om naar 2030 en daarna te kunnen opschalen naar een massamarkt voor nulmissievoertuigen.
- e) Nuanceringen bij voorgaande kanttekeningen zijn dat er geen grootschalige overheidssteun naar de ontwikkeling van (een infrastructuur voor) rijden op gas is gegaan en hoeft te gaan, omdat de businesscase van rijden op gas op zichzelf redelijk gunstig is en dat rijden op gas een terugvalscenario is als elektrisch rijden minder dan nu verwacht van de grond komt.

6. Ontwikkelpad / bod Brandstoftafel Duurzaam Waterstof

6.1 Marktvoorbereiding en vroege marktintroductie: 2015 – 2023/2025

Maatregelen	2015 – 2023/2025
Aantallen voertuigen, tankstations, e-dragers, kostenramingen, onrendabele top	<p>Marktvoorbereiding 2015 – 2018</p> <p><u>Demonstratie in geselecteerde regio's (leren, testen en bewijzen)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Regio's Amsterdam, Rotterdam, Utrecht, Arnhem-Nijmegen en Helmond/Eindhoven <p><u>Voertuigen en aantallen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> OV-bussen: 10-20, meerkosten ca. € 700.000 per bus ^{*1} Personen- en bestelauto's in lokale vloten: 20-50, meerkosten ca. € 50.000 per auto ^{*2} <p><u>Tankstations</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 5 à 20 waterstoftankstations, minimaal 20 tegen 2020 om dan te kunnen doorstarten Vereisen in deze fase ondersteuning voor de investeringskosten + deels de operationele kosten <p>Vroege marktintroductie 2018 – 2023/2025</p> <p><u>Demonstratie in geselecteerde regio's + verbinden regio's (leren, testen en bewijzen + eerste opschaling)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Verbinden regio's Amsterdam, Rotterdam, Utrecht, Arnhem-Nijmegen en Helmond/Eindhoven; Noord/Oost Nederland, Zuid/West Nederland, rond grote stadskernen en op/nabij snelwegknooppunten (A2/A12, A16/A27, A1/A50, A28/A32, A2/A79, et cetera). <p><u>Voertuigen en aantallen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> OV-bussen: 20-50, meerkosten ca. € 500.000 per bus ^{*1} Personen- en bestelauto's in lokale vloten + 'innovators' en 'early adopters': 250-2.500, meerkosten aflopend van ca. € 50.000 tot ca. € 10.000 per auto ^{*2/*3} Distributietrucks en speciale voertuigen (o.a. stadsreiniging): ca. 20-50 (veronderstelde meerkosten ca. € 700.000 per voertuig ^{*4} <p><u>Tankstations</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 20 à 50 waterstoftankstations (minimaal 50 tegen 2023/2025 voor verdere opschaling) Vereisen in deze fase ondersteuning voor de investeringskosten + deels de operationele kosten <p>Indicatieve meerkostenraming / onrendabele top in de periode 2015 – 2023/2025</p> <ul style="list-style-type: none"> OV-bussen: € 7 à € 14 mio (2015 – 2018) & € 10 à € 25 mio (2018 – 2023/2025) = max. € 39 mio. Personen- en bestelauto's: € 1 à € 2,5 mio (2015 – 2018) & € 12,5 à € 60 mio (2018 – 2023/2025) = maximaal 62,5 mio. Distributietrucks en speciale voertuigen: max. € 35 mio. Tankstations: investeringskosten € 1,5 à 2 mio. per station, uitgaande van stations zonder elektrolyser, die gebruik maken van beschikbare waterstof van reguliere productieprocessen: max. € 100 mio. Ondersteuning operationele kosten (ca. € 100.000 per station per jaar met een veronderstelde noodzakelijke ondersteuning van ca. 50%) = ca. € 13 mio ^{*5}. <p>Totaal veronderstelde maximale meerkosten voertuigen en tankstations (50 OV-bussen, 2.500 personen- en bestelauto's, 50 distributietrucks en speciale voertuigen en 50 waterstoftankstations tussen 2015 en 2023/2025: ca. € 250 mio ^{*6}.</p>

^{*1} Bron: Urban buses: alternative powertrains for Europe, a fact based analysis of the role of diesel hybrid, hydrogen fuel cell, trolley and battery electric powertrains, Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU).

*2: Bron: Fuelling Europe's Future, how auto innovation leads to EU jobs, Cambridge Econometrics, Element energy, Ricardo AEA, juni 2013.

*3: Voor de aangegeven 250-2.500 auto's is qua verdeling en (afnemende) meerkosten gerekend met: 250 auto's à € 50.000, 250 à € 40.000, 500 à € 30.000, 750 à € 20.000 en 750 à € 10.000. Dit is een aanname die op termijn zal moeten worden getoetst aan de op de markt beschikbare voertuigen.

*4: Inschatting naar analogie van de meerkosten van bussen. Onbekend is of dit in de praktijk zal gelden.

*5: Dit bedrag is gebaseerd op een stapsgewijze toename van het aantal tankstations tussen 2015 en 2025 (van 5 naar 50) en een gemiddeld noodzakelijke ondersteuning van 50% (= ca. € 50.000) van de geschatte jaarlijkse operationele kosten (ca. € 100.000 = 10% van de investeringskosten in apparatuur).

*6: Instrumentatie (subsiëring, fiscale maatregelen, e.d.) te bepalen in de fase van het actieplan.

Bronbeleid	<ul style="list-style-type: none"> De vraag is of de norm van 95 g/km en de momenteel bediscussieerde norm van 70 g/km voor personenauto's volgens de NEDC-testcyclus autofabrikanten voldoende prikkelen tot CO₂ reductie. Mogelijk zijn deze normen realiseerbaar door efficiëncyverbetering van verbrandingsmotoren al dan niet in combinatie met vormen van elektrificatie (hybridisering). Als het Europees bronbeleid onvoldoende prikkelt voor het realiseren van de doelstellingen adviseert de BDW dat Nederland in Europa pleit voor een strengere CO₂ emissienormering. Een strengere norm kan eventueel worden gecombineerd met een verplicht quotum op de markt te brengen nulmissievoertuigen (vgl. Californische aanpak: bijv. 10% in 2025), hoewel dit laatste niet door alle leden van de BDW wordt gedragen.
Innovatie- en subsidiebeleid	<ul style="list-style-type: none"> H2 Mobility platform NL en TEN-T HIT zijn noodzakelijke samenwerkingsverbanden van markt en overheden voor de marktvoorbereiding en vroege marktintroductie. Inzet hierop is nodig. Deze samenwerkingsverbanden moeten gebruik kunnen maken van een investeringsprogramma om genoemde aantallen voertuigen en tankstations te kunnen realiseren. De geraamde meerkosten van ca. € 250 mio voor 2015 – 2023/2025 geeft een indicatie van de vereiste omvang van het investeringsprogramma (instrumentatie nader te bezien). Learning by doing is vooral in de transportsector van belang. Een Marktvoorbereidingsproject duurzaam transport is nodig om ondernemers in de periode 2018 – 2023/2025 ervaring te laten opdoen met nulmissie-oplossingen (voertuigen en auxiliaries), voorsortend op de fase van volledige marktintroductie vanaf 2023/2025 en een succesvolle green deal zero-emissie stadsdistributie.
Flankerend beleid	<p>De volgende maatregelen, bij voorkeur op ten minste nationaal niveau gecoördineerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> Milieuozonering: bepaalde stadsdelen beter of alleen toegankelijk voor nulmissievoertuigen. Parkeerbeleid: reservering en/of nultarieven voor nulmissievoertuigen. Privilege: specifieke wegen of wegstroken (busbanen) toegankelijk voor nulmissievoertuigen. Venstertijdenbeleid: nulmissievoertuigen mogen ook buiten de reguliere tijden bevoorraden.
Fiscaal beleid	<ul style="list-style-type: none"> Brandstof: geen accijns op waterstof (zolang als uit TCO oogpunt noodzakelijk). Voertuigen: geen BPM, geen MRB, 0-4% bijtelling + MIA-VAMIL, EIA en KIA als aanschafbevordering (zolang uit TCO oogpunt noodzakelijk).
Overig beleid	<ul style="list-style-type: none"> Een tussen (internationale) overheden afgesproken institutioneel kader met geharmoniseerde veiligheidseisen aan het voertuig en de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur en overige noodzakelijke eisen en standaarden (o.a. vuldruk, vulnippels, etc.).
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> Introductie elektrisch rijden op waterstof en overbruggen 'valley of death', zodat elektrisch rijden op waterstof vanaf 2023/2025 een zodanige schaal heeft bereikt dat het in de jaren daarna – tot 2030 – langzaam maar zeker op eigen benen kan komen te staan. Dat wil zeggen: er is in toenemende mate een businesscase voor zowel gebruikers als tankstationhouders en de overheidsstimulering kan in lijn daarmee worden afgebouwd. Een geëffend pad voor het realiseren van de doelstelling van het Energieakkoord om vanaf 2035 alleen nog nulmissievoertuigen volgens de IPCC definitie te verkopen (personenauto's). Een geëffend pad voor het stap voor stap energieonafhankelijker worden. Dat wil zeggen: het ondersteunen van de transitie naar een op hernieuwbare bronnen (zon/wind) gebaseerde energievoorziening (waterstof als buffer) en een op elektrische aandrijflijnen gebaseerde nulmissie automobilititeit.

6.2 Volledige marktintroductie: 2023/2025 – 2030

Maatregelen	2023/2025 – 2030
Aantallen voertuigen, tankstations, e-dragers, kostenramingen, onrendabele top	<p>Volledige marktintroductie 2023/2025 – 2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Na de 'innovators' en 'early adopters' kan de 'early majority' in deze fase worden bereikt, omdat het aanbod brandstofcelvoertuigen groeit, diversifieert en gunstiger geprijsd wordt en het aantal tankstations en de spreiding ervan zodanig wordt, dat door heel Nederland met brandstofcelvoertuigen kan worden gereden. <p>Voertuigen en aantallen</p> <ul style="list-style-type: none"> • OV-bussen: groei naar 1.000 in 2030 • Personen- en bestelauto's: groei naar 130.000 à 205.000 in 2030 • Speciale voer- en vaartuigen, distributietrucks: groei naar enkele duizenden in 2030. <p>Tankstations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Groei van 50 naar 200 waterstoftankstations in 2030, mede te sturen door concessie exclusiviteit gedurende 10-15 jaar.
Bronbeleid	<ul style="list-style-type: none"> • Afhankelijk van de mate van doelbereiking kan een verdere intensivering van het EU bronbeleid noodzakelijk blijken te zijn om fabrikanten verder te stimuleren tot CO₂ reductie en/of de introductie van nulemissievoertuigen. Als het Europees bronbeleid onvoldoende prikkelt voor het realiseren van de doelstellingen adviseert de BDW dat Nederland in Europa pleit voor verdere verscherping van de CO₂ emissienormen. Dit kan eventueel worden gecombineerd met een verhoging van een verplichte quotum op de markt te brengen nulemissievoertuigen (vgl. Californische aanpak: bijv. 20% in 2030), hoewel dit laatste niet door alle leden van de BDW wordt gedragen.
Innovatie- en subsidiebeleid	<ul style="list-style-type: none"> • Ondersteunen vorming Europees inkoopconsortium (van steden / urbane regio's) om door middel van schaalvergroting de beschikbaarheid en betaalbaarheid van brandstofcelvoertuigen te helpen bevorderen.
Flankerend beleid	<p>De volgende maatregelen, bij voorkeur op ten minste nationaal niveau gecoördineerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Milieuzonering: bepaalde stadsdelen beter of alleen toegankelijk voor nulemissievoertuigen. • Parkeerbeleid: reservering en/of nultarieven voor nulemissievoertuigen. • Privilege: specifieke wegen of wegstroken (busbanen) toegankelijk voor nulemissievoertuigen. • Venstertijden: nulemissievoertuigen mogen ook buiten de reguliere tijden bevoorraden.
Fiscaal beleid	<ul style="list-style-type: none"> • Brandstof: geen accijns op waterstof (zolang uit TCO oogpunt noodzakelijk) • Voertuigen: voortzetting passend fiscaal stimulerend pakket voor brandstofcelvoertuigen (zolang uit TCO oogpunt noodzakelijk). • Inzet van MIA-VAMIL, EIA en KIA om de aanschaf te bevorderen (zolang uit TCO oogpunt noodzakelijk).
Overig beleid	<ul style="list-style-type: none"> • Concessie exclusiviteit tankstations gedurende 10-15 jaar. • Een tussen (internationale) overheden afgesproken institutioneel kader met geharmoniseerde veiligheidseisen aan het voertuig en de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur en overige noodzakelijke eisen en standaarden (o.a. vuldruk, vulnippels, etc.).
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> • Volledige marktintroductie van elektrisch rijden op waterstof, zichtbaar in toenemende aantallen en typen brandstofcelvoertuigen en uitbreiding van het aantal tankstations. • Het binnen bereik komen van de doelstelling van het Energieakkoord om vanaf 2035 alleen nog nulemissievoertuigen te verkopen conform de IPCC definitie (personenauto's). • Het verder ondersteunen van de transitie naar een op hernieuwbare bronnen (zon/wind) gebaseerde energievoorziening (waterstof als buffer) en een op elektrische aandrijflijnen gebaseerde nulemissie automobilititeit.

6.3 Massamarkt: 2030 – 2050

Maatregelen	2030 – 2050
Aantallen voertuigen, tankstations, e-dragers, kostenramingen, onrendabele top	<p>Massamarkt > 2030</p> <ul style="list-style-type: none"> Van alle typen voertuigen is een breed aanbod met brandstofcel verkrijgbaar, inclusief trekker-opleggers voor regionale distributie en (wellicht ook) trucks, trekker-opleggers en touringcars voor de lange afstand. Het aantal tankstations is verder en landsdekkend gegroeid en sluit aan op de tankinfrastructuur in de ons omringende landen. <p>Voertuigen en aantallen: groei naar substantieel aandeel in het wagenpark.</p> <ul style="list-style-type: none"> OV-bussen: groei naar 2.000 à 3.500 in 2050 Personen- en bestelauto's: groei naar 2,5 à 3 miljoen in 2050 Speciale voer- en vaartuigen, distributietrucks: groei naar enkele tienduizenden in 2050 <p>Tankstations</p> <ul style="list-style-type: none"> Verdere groei van het aantal waterstoftankstations.
Bronbeleid	<ul style="list-style-type: none"> Afhankelijk van de mate van doelbereiking kan een verdere intensivering van het EU bronbeleid richting 2040 en 2050 noodzakelijk blijken te zijn om fabrikanten verder te stimuleren tot CO₂ reductie en/of de introductie van nulemissievoertuigen. Als het Europees bronbeleid onvoldoende prikkelt voor het realiseren van de doelstellingen adviseert de BDW dat Nederland in Europa pleit voor verdere verscherping van de CO₂ emissienormen. Dit kan eventueel worden gecombineerd met een verhoging van een verplichte quotum op de markt te brengen nulemissievoertuigen (vgl. Californische aanpak: bijv. 40% in 2040), hoewel dit laatste niet door alle leden van de BDW wordt gedragen.
Innovatie- en subsidiebeleid	-
Flankerend beleid	<p>De volgende maatregelen, bij voorkeur op ten minste nationaal niveau gecoördineerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> Milieuozonering: bepaalde stadsdelen beter of alleen toegankelijk voor nulemissievoertuigen. Parkeerbeleid: reservering en/of nultarieven voor nulemissievoertuigen. Privilege: specifieke wegen of wegstroken (busbanen) toegankelijk voor nulemissievoertuigen. Venstertijden: nulemissievoertuigen mogen ook buiten de reguliere bevoorraden.
Fiscaal beleid	<ul style="list-style-type: none"> Brandstof: gelijk speelveld brandstoffen; stimuleringsnoodzaak moet op basis van TCO onderzoek worden aangetoond. Voertuigen: het afhankelijk van de TCO zo nodig handhaven van een fiscaal stimulerend pakket voor brandstofcelvoertuigen. Het afhankelijk van de TCO zo nodig handhaven van de inzet van MIA-VAMIL, EIA en KIA om de aanschaf te bevorderen.
Overig beleid	<ul style="list-style-type: none"> Een tussen (internationale) overheden afgesproken institutioneel kader met geharmoniseerde veiligheidseisen aan het voertuig en de distributie-, opslag- en tankinfrastructuur en overige noodzakelijke eisen en standaarden (o.a. vuldruk, vulnippels, etc.).
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> Massamarkt elektrisch rijden op waterstof. Brandstofcelvoertuigen zijn een volwaardig alternatief. Het bereiken van de doelstelling van het Energieakkoord om vanaf 2035 alleen nog nulemissievoertuigen conform de IPCC definitie te verkopen. Het verder ondersteunen van de transitie naar een op hernieuwbare bronnen (zon/wind) gebaseerde energievoorziening (waterstof als buffer) en een op elektrische aandrijflijnen gebaseerde nulemissie automobilititeit.

Bijlage

Bijlage 1 Deelnemers Brandstof Tafel Duurzaam Waterstof⁸

1	Dick Appels	RWS Leefomgeving
2	Wout Benning	Mercedes-Benz
3	Jaap Bolhuis	Siemens
4	Ruud Bouwman	VDL
5	Erik Büthker	Ballast Nedam
6	Maus Dieleman	RVO
7	Chris van Dijk	RAI Vereniging
8	Remco Groenenberg	Akzo Nobel
9	Alexander Hablé	Ministerie van IenM - Voorzitter
10	Fred Hagendoorn	FH Advisory
11	Ed Koelemeijer	Schiphol
12	Ab van Marlen	Ministerie van IenM
13	Ad Matthijsen	RIVM
14	Jan Piet van der Meer	NWBA
15	Jan Morren	DCMR
16	Floris Mulder	RWS - Procesbegeleider
17	Jaap Oldenziel	Air Liquide
18	Jean-Paul de Poorter	MMG Advies - Secretaris
19	Frank Schnitzeler	Air Products
20	Petra van Stijn	VéBé Van Steijn
21	Frank Versteeg	Toyota
22	Hans van Vliet	Waterstofplatform Rotterdam
23	Marcel Weeda	ECN

(Footnotes)

¹ Dit percentage is gebaseerd op de veronderstelling dat ook batterijelektrische voertuigen een overtuigend marktaandeel bereiken. Als de batterijtechniek echter onvoldoende verbetert, kan/zal het aandeel brandstofcelvoertuigen groter zijn dan 40%, omdat met brandstofcellen op termijn een brede markt kan worden bediend: zie de kansrijke PMC's in tabel 2, variërend van (ook kleine) personenauto's tot touringcars.

⁸ Dit is de complete lijst van deelnemers. Niet iedereen was bij elke sessie aanwezig. De complete inhoud van dit deelrapport heeft niet per definitie door alle deelnemers te worden onderschreven. Niet alle aannames zijn reeds te onderbouwen; deze zullen op termijn periodiek moeten worden getoetst. Het rapport is in het licht van het voorgaande een toekomstvisie.