

KLIMAATNEUTRAAL WEGVERKEER IN 2050

Een verkenning van beelden en paden daar naartoe

Jordy van Meerkerk, Maarten Verbeek, Dieuwert Blomjous

26 maart 2024

PBL

Colofon

Klimaatneutraal wegverkeer in 2050. Een verkenning van eindbeelden en paden daar naartoe

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag 2024

PBL-publicatienummer: 5223

TNO nummer: TNO 2024 P10378

Contact

Jordy.vanmeerkerk@pbl.nl

Auteurs

Jordy van Meerkerk (PBL), Maarten Verbeek (TNO), Dieuwert Blomjous (PBL)

Review

Het PBL en TNO zijn dank verschuldigd aan Auke Hoekstra (TU Eindhoven), Jaco Reijerkerk (Ekintix), Richard Smokers (TNO), Gerben Geilenkirchen, Jaco Stremmer en Femke Verwest (PBL) voor het reviewen van (delen van) conceptversies van deze rapportage.

Supervisie

Femke Verwest

Redactie figuren

Inge Stammes

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Van Meerkerk et al. (2024), Klimaatneutraal wegverkeer in 2050. Een verkenning van eindbeelden en paden daar naartoe, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

TNO is een onafhankelijke onderzoeksorganisatie. Wij verbinden mensen en kennis om innovaties te creëren die de concurrentiekracht van bedrijven en het welzijn van de samenleving duurzaam versterken. Hiertoe zijn wij bij wet opgericht als publiekrechtelijke rechtspersoon. Deze TNO-wet geeft ons een aantal bijzondere taken en kaders en verbindt daaraan specifieke voorwaarden waaronder wij ons werk moeten uitvoeren. Het doel daarvan is dat wij onafhankelijk en betrouwbaar oplossingen kunnen blijven creëren voor de uitdagingen die de samenleving ons stelt.

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	20
2 De opgave en beleidscontext	24
2.1 Huidige opgave	24
2.2 De huidige beleidscontext	27
2.3 Toekomstige opgave	31
3 Invloedsfactoren en beleidsopties	33
3.1 Overstap naar duurzame energiedragers en nieuwe aandrijftechnieken	34
3.2 Verhogen van voertuigefficiëntie	38
3.3 Reduceren van volume van wegverkeer	41
4 Inzet van energiedragers en voer-tuigtechnologieën	47
4.1 Beschikbaarheid van de technologie	49
4.2 Inzetbaarheid	50
4.3 Ketenefficiëntie van energiedragers	52
4.4 Kosten	54
4.5 Externe veiligheid	58
4.6 Conclusie	58
5 Beelden voor klimaatneutraal wegverkeer in 2050 en de paden er naar toe	59
5.1 Paden richting klimaatneutraal wegverkeer	59
5.1.1 Licht wegverkeer	60
5.1.2 Zwaar wegverkeer	63
5.2 Effecten van de paden naar klimaatneutraal 2050	67
5.2.1 Energiebehoefte per energiedrager	68
5.2.2 Emissies	70
5.2.3 Kosten	71
5.3 Mogelijkheden voor versnelling van CO ₂ -reductie	72
5.3.1 Versnelling CO ₂ -reductie door extra inzet van hernieuwbare brandstoffen	72
5.3.2 Versnelling CO ₂ -reductie door maatregelen gericht op het reduceren van gereden kilometers	73
5.3.3 Tijdig handelen vergroot de mitigerende impact op de opwarming van de aarde	75
6 Uitdagingen en handelings-perspectief voor klimaatneutraal wegverkeer	76
6.1 Beschikbaarheid van benodigde grondstoffen	76
6.2 Aanbod van voertuigen met alternatieve aandrijving	81
6.3 Beschikbaarheid van (betaalbare) tank- en laadinfrastructuur en distributie van energiedragers	83
6.3.1 Voldoende en betaalbare laadinfrastructuur	83
6.3.2 Netcongestie	86
6.3.3 Waterstofinfrastructuur	89

6.4	Beschikbaarheid van duurzame energie-dragers	90
6.5	Adoptie van alternatieve aandrijf-technologieën	92
6.6	Beschikbaarheid van kennis en personeel	97
7	Slotbeschouwing op de handelingsperspectieven	99
	Referenties	107
	Bijlage A: Ambities voertuigfabrikanten	113
	Bijlage B: Afkortingen	115

Samenvatting

Mobiliteit van zowel personen als goederen is een essentieel onderdeel van onze samenleving. Personenvervoer biedt ons een belangrijk middel om deel te nemen aan de samenleving. Goederenvervoer verzorgt het transport van grondstoffen, intermediaire goederen en eindproducten. Mobiliteit brengt echter ook belangrijke negatieve effecten met zich mee, zoals klimaatverandering, luchtverontreiniging en geluidshinder.

Klimaatverandering is momenteel een belangrijke drijfveer voor veranderingen in het mobiliteitsstelsel. In het klimaatakkoord van Parijs is afgesproken om de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder de twee graden, met een streven naar maximaal anderhalve graad. Zowel Nederland als de Europese Unie (EU) hebben wettelijk vastgelegd om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Klimaatneutraliteit in 2050 vereist dat de uitstoot van broeikasgassen in alle delen van de economie veelal tot (nagenoeg) nul wordt teruggebracht.

In deze studie is onderzocht wat er voor nodig is om, als onderdeel van die overkoepelende doelstelling, ook de broeikasgasemissies van wegverkeer tot nul gereduceerd te hebben in 2050, en welke kansen, uitdagingen en handelingsperspectieven daaruit voortvloeien voor het Nederlandse beleid. Deze studie is onderdeel van een gezamenlijk project van PBL en TNO waarin paden richting klimaatneutrale mobiliteit in Nederland in 2050 zijn geschetst. De inzichten uit deze studie zijn ook gebruikt in een verkenning van trajecten naar een klimaatneutrale samenleving in 2050 die door PBL is opgesteld (Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050, TVKN) en die in april 2024 uitkomt.

Opgave en beleidscontext voor verduurzaming wegverkeer

Het energiegebruik van het wegverkeer bestaat momenteel nog voor het overgrote deel uit fossiele brandstoffen. Met een uitstoot van ruim 24 megaton CO₂-equivalenten was het wegverkeer in 2022 goed voor circa 80 procent van de totale uitstoot van broeikasgassen door de binnenlandse mobiliteit in Nederland. Binnen het wegverkeer is de personenauto de grootste emissiebron, met meer dan de helft van de totale CO₂-emissies door wegverkeer. Het bestelautoverkeer is goed voor circa 15 procent en vrachtauto's nemen circa een kwart voor hun rekening. De overige emissiebronnen van wegverkeer (autobussen en motor- en bromfietsen) vormen een paar procent van de CO₂-emissies in het wegverkeer en worden buiten beschouwing gelaten in deze studie.

De ontwikkeling van het wegverkeersvolume is geworteld in de structuur van onze economie en samenleving. Zo is de groei van de personenautomobiliteit van oudsher met name verbonden met de inkomensontwikkeling en demografische factoren zoals bevolkings- en huishoudensgroei, en vormt de economische ontwikkeling een drijvende kracht achter de groei van het zware wegvervoer. De verkeersvolumes nemen zonder grote wijzigingen in beleid of gedrag naar verwachting de komende decennia verder toe, onder invloed van onder andere de verwachte groei van de bevolking en economie. Ook wordt het wegverkeer gekenmerkt door veel typen voertuigen, uiteenlopende gebruiksprofielen en een groot aantal gebruikers. Tot slot worden voertuigen gekarakteriseerd door lange levensduren, waardoor er maar weinig natuurlijke vervangingsmomenten zijn tussen nu en 2050.

Europees beleid voor verduurzaming wegverkeer al vergaand uitgewerkt

Binnen de huidige beleidscontext wordt er een verdergaande verduurzaming van het wegverkeer verwacht. Het regelgevende kader is voor het wegverkeer al vergaand uitgewerkt. Doelstellingen en

het bijbehorende instrumentarium zijn op Europees niveau uitgewerkt in het Fit-for-55 beleidspakket. Zo zijn er CO₂-normen vastgelegd voor nieuwe personen- en bestelauto's die fabrikanten verplichten om vanaf 2035 alleen nog nulmissievoertuigen te verkopen. Ook voor vrachtauto's is er overeenstemming in de EU voor aangescherpte voertuignormen voor 2030 en 2040. Het Europese ingroeipad van nulmissietechnologie wordt daarmee al voor een belangrijk deel bepaald.

De verplichtingen en criteria voor de inzet van hernieuwbare brandstoffen zijn in Europa vastgesteld in de Renewable Energy Directive. Deze loopt momenteel tot 2030. Daarnaast komt er vanaf 2027 een vorm van beprijzing door de invoering van een nieuw Europees emissiehandelssysteem voor de gebouwde omgeving en het wegverkeer. Ook stelt de EU eisen aan de uitrol van laad- en tankinfrastructuur voor alternatieve energiedragers (Alternative Fuels Infrastructure Directive). Bovendien zijn aanbestedende diensten verplicht om een deel schone of nulmissievoertuigen aan te schaffen vanwege de Regeling Bevordering Schone Wegvoertuigen, de Nederlandse implementatie van de Clean Vehicles Directive.

Nederland stimuleert en faciliteert de transitie naar klimaatneutraal wegverkeer

Naast (de implementatie van) het Europees beleid stimuleert en faciliteert Nederland momenteel de groei van het aantal nulmissievoertuigen en het gebruik van hernieuwbare energie in vervoer via fiscale prikkels, subsidies, normering (voor bijvoorbeeld de inzet van hernieuwbare energie, voor de CO₂-uitstoot van zakelijk verkeer en via nulmissiezones voor stadslogistiek) en andersoortig/flankerend beleid. Conform het huidig vastgestelde en voorgenomen beleid (najaar 2023) worden de fiscale prikkels en subsidies voor personenauto's de komende jaren grotendeels (verder) afgebouwd. Voor bestel- en vrachtauto's blijven de prikkels langer van kracht of treden bepaalde beleidsinstrumenten conform de huidige beleidsvoornemens later in werking, zoals de introductie van een naar CO₂-uitstoot gedifferentieerde vrachtwagenheffing en de eerder genoemde nulmissiezones.

Klimaatneutraal wegverkeer in 2050 nog niet binnen bereik

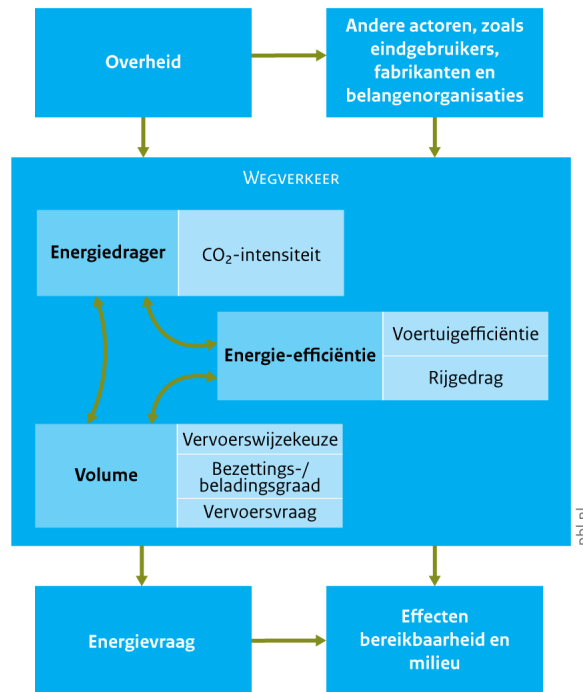
Binnen de huidige beleidskaders worden daarmee al grote stappen in de verduurzaming van het wegverkeer verwacht, maar mede gelet op de lange levensduur van voertuigen en de instroom van nulmissievoertuigen, die vooral in de periode na 2030 op gang komt, is het eindbeeld van emissievrij wegverkeer in 2050 nog niet binnen bereik. Om dit eindbeeld te behalen, is er een versnelling noodzakelijk door bestaande maatregelen te intensiveren dan wel aanvullende maatregelen te nemen. Het pad naar klimaatneutraal in 2050 is minstens zo belangrijk als de situatie in 2050 zelf. Voor het behalen van de Parijsafspraken over het tegengaan van klimaatverandering is van belang om de totale uitstoot van broeikasgassen deze eeuw zoveel mogelijk te beperken.

Verdere verduurzaming mogelijk door duurzame technologie, efficiëntieverbetering en volumereductie

Op hoofdlijnen kan een verdere verduurzaming bewerkstelligd worden middels (een combinatie van) drie 'knoppen', te weten de transitie naar nieuwe energiedragers, hogere voertuigefficiëntie en volumevermindering (Figuur 1). Om te komen tot netto nul CO₂-emissies door wegverkeer zal de verdere inzet van klimaatneutrale energiedragers de belangrijkste bijdrage leveren. Batterij-elektrisch zal naar verwachting de dominante nulmissie-aandrijftechniek worden. Deze techniek is voor het lichte wegverkeer redelijk uitontwikkeld. De focus ligt hier op opschaling. Voor het zware wegverkeer is de techniek nog in ontwikkeling en zouden waterstof of hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen (synthetische- of biobrandstoffen), met name voor het lange afstandsvervoer, eveneens denkbare opties kunnen zijn indien batterij-elektrische voertuigen niet voldoende (snel)

kunnen worden opgeschaald, bijvoorbeeld als gevolg van onvoldoende laadinfrastructuur of netcapaciteit. Mede in relatie tot de noodzaak om naast het realiseren van nul-emissies in 2050 ook de cumulatieve broeikasgasemissie in de periode tot 2050 zo laag mogelijk te houden, liggen er kansen via beleid gericht op de extra inzet van duurzame energiedragers, volumereductie (bijvoorbeeld middels prijsbeleid) en efficiënter voertuiggebruik (bijvoorbeeld via lagere maximumsnelheden en gedragscampagnes).

Figuur 1
Factoren die van invloed zijn op de verduurzaming van het wegverkeer



Bron: PBL & TNO

Gepostuleerde toekomstpaden richting klimaatneutraal wegverkeer in 2050

Voor deze studie zijn op hoofdlijnen twee toekomstpaden geschetst met als doel te verkennen hoe de transitie naar klimaatneutraal wegverkeer kan worden gerealiseerd vóór 2050, en welke uitdagingen dit met zich meebrengt. Deze paden zijn daarmee niet bedoeld om een zo accuraat mogelijk toekomstbeeld te schetsen. De beelden voor 2050 en de paden daarnaartoe zijn een combinatie van verdedigbare aannames over de ontwikkeling van de vervoersvolumes, de energie-efficiëntie van het vervoer en de bijbehorende inzet van klimaatneutrale technologieën en energiedragers. De paden dekken niet de volledige bandbreedte aan denkbare uitkomsten af. Ze zijn gebaseerd op de huidige kennis en verwachtingen over de ontwikkeling van duurzame alternatieven en de huidige vervangingssnelheden van vloten en wagenparken, en houden rekening met de huidige beleidskaders (najaar 2023) die al een zeker reductietempo voorschrijven. De twee paden zijn sterk technologie-gedreven en verschillen hoofdzakelijk in het tempo waarmee de transitie naar nulmissievoertuigen verloopt.

De ontwikkeling van de vlootomvang en het verkeersvolume richting 2050 is met onzekerheid omgeven en hangt in sterke mate af van de bevolkingsgroei en de economische ontwikkeling, alsmede van de aanschafkosten van voertuigen, de kosten van autogebruik en gedrag (bijv. thuiswerken). Om daarmee rekening te houden is gebruik gemaakt van de Welvaart en Leefomgeving (WLO)

scenario's van het CPB en PBL. Deze scenario's zijn ontworpen als rustige groeipaden. Dat wil zeggen dat er geen forse beleidswijzigingen of disruptieve ontwikkelingen (zoals zelfrijdende voertuigen) in de scenario's zijn opgenomen. Afhankelijk van het WLO-scenario, groeit het wagenpark ongeveer zo'n 10% tot 40% en het verkeersvolume nauwelijks tot ongeveer 50%.

Ambitieuze en behoudende ingroepad voor nulmissie technologie

In het eerste pad wordt een ambitieuze groei van de nulmissievloot verondersteld en wordt toegewerkt naar een eindbeeld waarin alle voertuigen in het wagenpark van 2050 nulmissie zijn. Voor het lichte wegverkeer wordt 100% marktaandeel van nulmissievoertuigen in de nieuwverkopen in 2030 verondersteld, in lijn met de ambitie van de kabinetten Rutte-III en Rutte-IV. Voor het zware wegverkeer wordt dat 100% marktaandeel nulmissievoertuigen in 2037 bereikt. Tussen 2040 en 2050 worden de resterende ruim een miljoen personen-, bestel- en vrachtvoertuigen met een verbrandingsmotor versneld vervangen door nulmissievoertuigen.

In het tweede toekomstpad wordt een meer behoudende trendmatige groei aangenomen en verloopt de transitie naar nulmissievoertuigen wat langzamer dan in het eerste toekomstpad. Voor het lichte wegverkeer wordt 100% marktaandeel van nulmissievoertuigen vanaf 2035 gerealiseerd, in lijn met het huidige EU-beleid. Voor vrachtwagens is de ingroei van nulmissievoertuigen tot 2030 zo gekozen dat het iets hoger uitkomt dan de ambities van fabrikanten omdat de introductie van de nationale CO₂-gedifferentieerde vrachtwagenheffing waarschijnlijk zal leiden tot een snellere ingroei dan het EU-gemiddelde. Vervolgens is (bijna) 100% van de nieuwverkopen batterij-elektrisch vanaf 2040, in lijn met de ambities van de Rijksoverheid. De veronderstelling is dat de conventionele voertuigen die in 2050 nog in de vloot aanwezig zijn, zullen rijden op volledig hernieuwbare brandstoffen. In dit tweede toekomstpad is door middel van extra inzet van hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen de jaarlijkse CO₂-reductie in lijn gebracht met de jaarlijkse reductie van het eerste toekomstpad.

Batterij-elektrische aandrijving dominant, onzekere rol voor waterstof

Batterij-elektrische aandrijving (BEV) wordt voor het wegverkeer naar verwachting de dominante techniek. Voor beide toekomstpaden is dan ook aangenomen dat de vloot hoofdzakelijk gebruik zal maken van deze technologie. Deze techniek is voor personenauto's en bestelverkeer redelijk uitontwikkeld. Voor (zware) vrachtauto's is de techniek nog in ontwikkeling en is ook waterstof een technologische optie die nog verder verkend wordt. Daarom is voor het zware wegverkeer in beide paden een sub-variant geconstrueerd waarin circa 20% van de nulmissie-vrachtwagens zal rijden op waterstof voor het geval niet alle barrières die optreden bij de transitie van BEVs kunnen worden geslecht.

In beide paden is aangenomen dat de energie-efficiëntie van nieuwe voertuigen met een verbrandingsmotor nog tot 2030 zal toenemen, vooral op basis van technologieën die ook toepasbaar zijn op voertuigen met andere aandrijvingen. Dit zijn bijvoorbeeld technologieën ten behoeve van verbetering van de aerodynamica of de rolweerstand. Via de verdere doorstroom in het wagenpark heeft de veronderstelde ontwikkeling in de energie-efficiëntie ook tot 2050 nog effect. Voor personen-, bestel- en vrachtauto's is dat respectievelijk ongeveer 5%, 10% en 15%. Voor nulmissievoertuigen is aangenomen dat er nog 15 tot 20% verbetering van de energie-efficiëntie zal worden gehaald tot 2050.

Verbeteringen in de logistieke efficiëntie zijn al in de WLO-scenario's opgenomen, bijvoorbeeld door hogere beladingsgraden en minder ritten door lege vrachtwagens. In de hier gepostuleerde

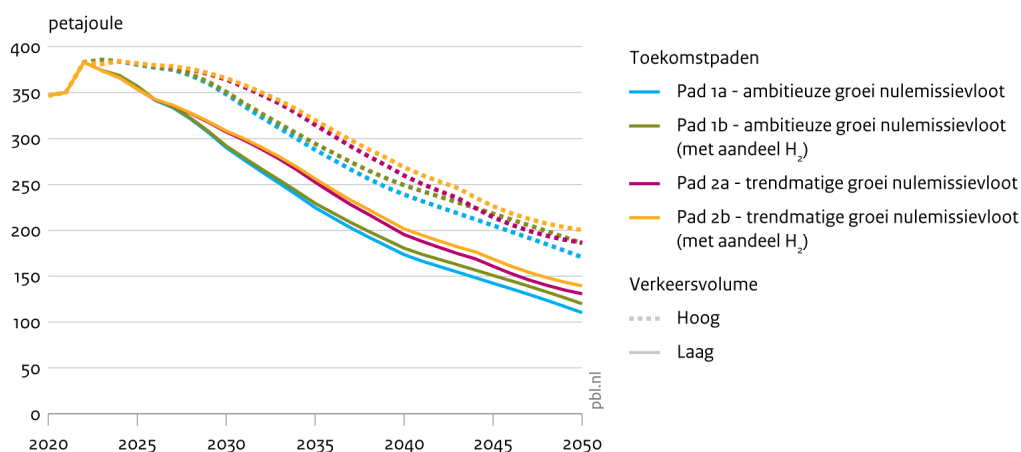
paden zijn ten opzichte van de WLO geen extra volume-effecten aangenomen door de verbetering van logistieke efficiëntie.

Resultaten uit de paden

Een pad naar nulmissie wegverkeer in 2050 is geen onuitvoerbare opgave maar vereist wel dat alle zeilen worden bijgezet met zeer weinig ruimte voor tegenvallers. Zo blijkt uit de paden dat zelfs bij zeer ambitieuze ingroei van nulmissievoertuigen, de huidige vervangingsnelheden van de vloot niet hoog genoeg zijn om een volledige nulmissievloot te realiseren in 2050. Dit betekent dat er nog hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen nodig zullen zijn of dat er ruim een miljoen conventionele voertuigen vervroegd moet worden vervangen door nulmissievoertuigen.

In de gepostuleerde paden wordt het energiegebruik door het wegverkeer tussen 2020 en 2050 ongeveer gehalveerd (zie Figuur 2). Dit komt doordat batterij-elektrische voertuigen en waterstofvoertuigen minder energie gebruiken per gereden kilometer dan vergelijkbare benzine- en dieselveertuigen en de energie-efficiëntie van conventionele voertuigen ook nog toeneemt. Hierdoor is bij de paden met trendmatige groei van de nulmissievloot het energiegebruik wat hoger dan bij de paden met ambitieuze groei van de nulmissievloot.

Figuur 2
Energievraag van het wegverkeer in de toekomstpaden



Bron: PBL & TNO

Energiemix in de paden verschilt

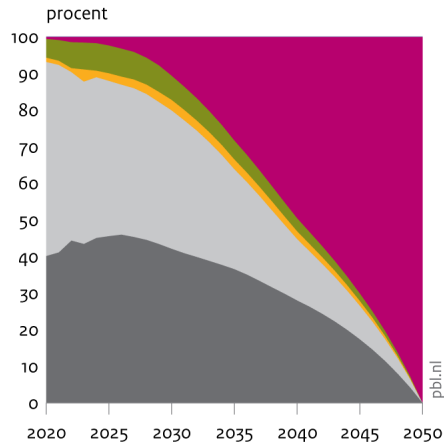
Figuur 3 geeft de mix van energiedragers in de verschillende toekomstpaden weer, inclusief de varianten mét en zonder waterstofaandrijving in het zware vrachtverkeer. In het eerste toekomstpad met een ambitieuze groei van de nulmissievloot spelen hernieuwbare brandstoffen een relatief kleine rol. In dit pad wordt het hele wagenpark in 2050 batterij-elektrisch of met waterstof aangedreven. Het gebruik van benzine en diesel neemt na 2030 snel af; een steeds groter deel van het park gaat bestaan uit nulmissievoertuigen. Het aandeel hernieuwbaar in de vloeibare brandstoffen wordt in de loop der jaren gelijk gehouden, waardoor de absolute inzet van deze brandstoffen daalt. In het tweede toekomstpad met een meer trendmatige groei van de nulmissievloot spelen hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen een grotere rol tot 2050 en blijven ze ook in 2050 nodig om het laatste deel van het wagenpark te verduurzamen. Bij dit pad is zichtbaar dat de vraag naar de brandstoffen groter blijft dan in het eerste pad, maar dat het fossiele brandstofgebruik sneller afneemt door het relatief grotere gebruik van hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen. Bovendien ligt de

piek ten aanzien van de vraag naar duurzame brandstoffen in dit toekomstpad ongeveer vijf jaar later dan in het eerste toekomstpad. Voor beide paden geldt dat met name door de inertie van het systeem de transitie naar nulmissie veel tijd vergt.

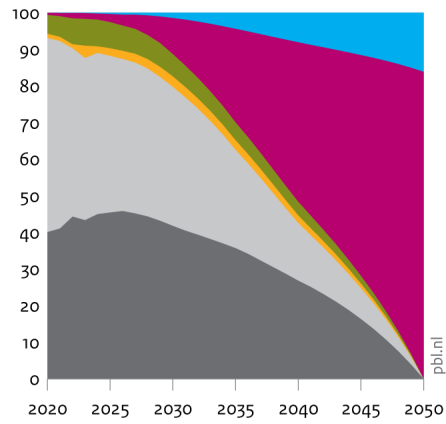
Figuur 3

Energiegebruik van wegverkeer in de toekomstpaden

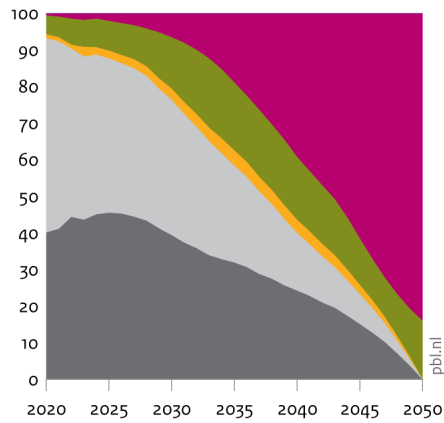
Pad 1a - ambitieuze groei nulemissievloot



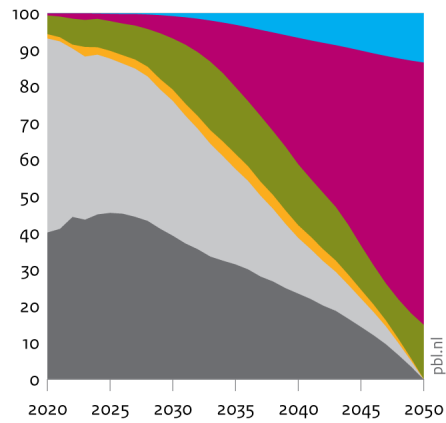
Pad 1b - ambitieuze groei nulemissievloot (met aandeel H₂)



Pad 2a - trendmatige groei nulemissievloot



Pad 2b - trendmatige groei nulemissievloot (met aandeel H₂)



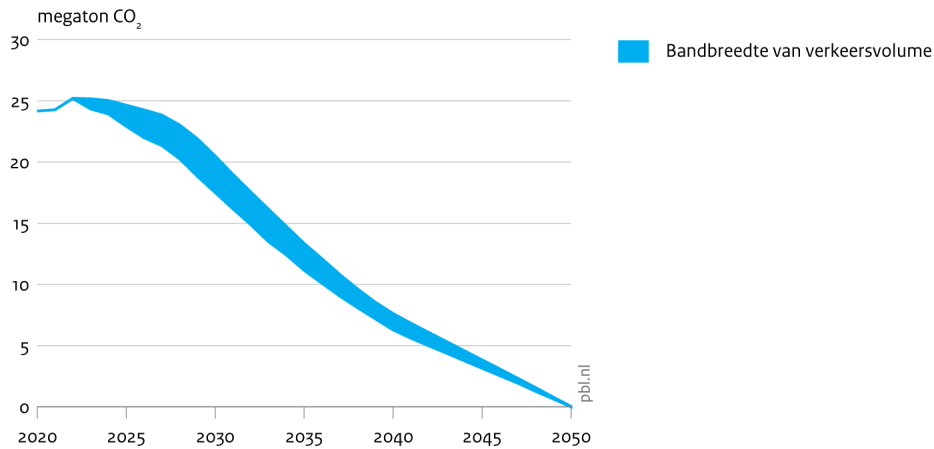
- Waterstof
- Elektriciteit
- Bio- en synthetische brandstoffen
- Overig
- Diesel
- Benzine

Bron: PBL & TNO

In beide paden gaat de CO₂-uitstoot van het wegverkeer naar nul in 2050, zie Figuur 4. Wel is er een verschil in het reductietempo naar 2050 vanwege de gehanteerde bandbreedte ten aanzien van de onzekerheid in de ontwikkeling van het verkeersvolume.

Figuur 4

CO₂-emissies door wegverkeer



Bron: PBL & TNO

Reductietempo CO₂-uitstoot kan omhoog door meer hernieuwbaar en volumebeleid

Door extra duurzame brandstoffen bij te mengen ten opzichte van de geschetste toekomstpaden kan de cumulatieve CO₂-uitstoot gereduceerd worden. Een gegeven bijmengingspercentage leidt op korte termijn tot het grootste effect omdat de vloot in deze periode nog voor een groot deel gebruik maakt van verbrandingsmotoren. Wanneer dit bijmengpercentage naar bijvoorbeeld zo'n 30% in 2030 gaat, wat cumulatief neerkomt op zo'n 200 tot 300PJ extra biobrandstoffen, dan is de cumulatieve CO₂-uitstoot zo'n 15 tot 25 Mton lager dan in de geschetste paden (dat is circa 5% van de cumulatieve CO₂-uitstoot van de toekomstpaden tussen 2020 en 2050). Een andere manier om de CO₂-uitstoot van het wegverkeer versneld te reduceren betreft het sturen op ander mobiliteitsgedrag met als doel een afname van afgelegde voertuigkilometers. Dit kan worden bereikt door middel van een set maatregelen die gericht is op het verminderen van de aantrekkelijkheid van het gebruik van de auto, en tegelijkertijd het bevorderen van het gebruik van het openbaar vervoer of de fiets. Wanneer op korte termijn dergelijke pakketten worden ingevoerd kan het cumulatieve CO₂-effect tot 2050 oplopen tot zo'n 20 tot 30 Mton extra reductie (dat is circa 6% à 7% van de cumulatieve CO₂-uitstoot van de toekomstpaden tussen 2020 en 2050).

Grootste uitdagingen voor klimaatneutraal wegverkeer

De transitie naar klimaatneutraal wegverkeer kent een aantal belangrijke uitdagingen. Deze uitdagingen kunnen het tempo van de transitie en het draagvlak voor de transitie onder druk zetten. Een deel van de uitdagingen valt bovendien buiten de directe invloedssfeer van de Nederlandse overheid. De voornaamste uitdagingen zijn:

- De beschikbaarheid van kritieke materialen en grondstoffen. De energietransitie leidt tot een sterk toenemende vraag naar kritieke grondstoffen, waaronder voor de productie van accu's. Die grondstoffen zijn niet altijd in de EU beschikbaar en de beschikbaarheid is soms geografisch geconcentreerd. Bovendien zijn er zorgen over werkomstandigheden tijdens de winning en de lokale impact op milieu en natuur. Schaarste van deze grondstoffen en materialen kan tot tekorten en prijsstijgingen leiden.

- De tijdige uitrol van laadinfrastructuur, inclusief de daarvoor benodigde capaciteit op het elektriciteitsnetwerk. Door knelpunten op het elektriciteitsnet dreigt vertraging van de transitie. Aanpak van deze knelpunten is cruciaal.
- Adoptie van nieuwe aandrijftechnologieën, zoals het realiseren van een volwassen tweedehandsmarkt voor batterij-elektrische personenauto's zodat elektrisch rijden voor een grotere groep autokopers bereikbaar wordt.

In het vervolg wordt dieper ingegaan op de uitdagingen en de handelingsperspectieven voor het Nederlandse beleid.

Groot belang van nationaal beleid gericht op (versnelde) adoptie en het faciliteren van nulemissievoertuigen

Met het gegeven dat het aanbod van nulemissievoertuigen door Europees bronbeleid de komende jaren snel toeneemt, is het zinvol om het accent van nationaal beleid meer te (blijven) leggen op het vergroten van de adoptie van nulemissievoertuigen en het scheppen van de juiste randvoorwaarden, zoals voldoende en betaalbare laad- en tankinfrastructuur.

De afgelopen jaren heeft vooral de aanschaf van nieuwe nulemissievoertuigen veel aandacht gehad in het (fiscale) stimuleringsbeleid. Aangezien veel particuliere autokopers aangewezen zijn op de tweedehandsmarkt verdient de doorstroom van deze voertuigen naar de tweedehandsmarkt in toenemende mate de aandacht. Om een volwassen tweedehandsmarkt voor deze voertuigen te creëren is het van belang dat de kenmerken van nieuw verkochte voertuigen aansluiten bij de behoeften die bestaan op de tweedehands markt. De laatste jaren is daar bij de vormgeving van het (fiscale) stimuleringsbeleid al meer de focus op komen te liggen. Tegelijkertijd dreigt de adoptie op basis van huidig vastgesteld beleid (conform najaar 2023) geremd te worden door met name de hogere motorrijtuigenbelasting-tarieven voor batterij-elektrische voertuigen die vanaf 2026 kunnen gaan gelden als gevolg van het hogere (accu)gewicht en het aflopen van de tijdelijke kortingsregeling voor nulemissie auto's.

Onzekerheid rond ontwikkelingen van kosten en technologieën pleit voor adaptief beleid

De verschillende uitdagingen in de transitie naar klimaatneutraal wegverkeer in 2050 vragen om adaptief beleid. Enerzijds is er behoefte om ver vooruit te kijken om duidelijke doelen te stellen en richting te geven, maar anderzijds is er nog dermate veel onzekerheid dat ook tijdig bijgestuurd moet kunnen worden in termen van oplossingsrichtingen dan wel beleidskeuzes.

De toekomstige kostenontwikkelingen van nulemissievoertuigen zijn met onzekerheid omgeven. De verwachting is dat batterij-elektrische auto's binnen afzienbare tijd concurrerend zullen zijn met conventionele auto's, maar hoe snel dat gebeurt is onzeker, en verschilt ook per segment en de wijze waarop voertuigen worden ingezet. Daarom is het verstandig de hoogte van prijsprikkels, maar ook de inzet van het type beleidsinstrument (verhouding tussen beprijzen, normeren en subsidiëren), te laten hangen van prijsontwikkelingen en consumentenvraag. Ook is het van belang beleidswijzigingen goed te communiceren en duidelijkheid te verschaffen over toekomstige wijzigingen in het fiscale beleid, zodat kopers en eigenaren van batterij-elektrische auto's niet onverwacht worden geconfronteerd met veranderingen in de fiscale lasten. Adaptief beleid ten aanzien van de hoogte van prijsprikkels leent zich daarom meer voor (eenmalige) aanschafbelastingen of -subsidies en minder voor periodieke belastingen.

Ook beleid gericht op de uitrol van publieke laadinfrastructuur dient adaptief te worden vormgegeven, om zo de kans te verkleinen dat dat er tijdens de benodigde snelle uitrol van laadpunten een

'lock-in' ontstaat als gevolg van technologische ontwikkelingen, zoals Electric Road Systems (ERS) of batterijwisselstations. Dit kan worden bereikt door tijdens de uitrol zicht te blijven houden op de potentie van deze nieuwe (laad)technologieën en de uitrolstrategieën hierop aan te passen. Aangezien elke stakeholder (rijksoverheid, lokale overheden, netbeheerders en Charge Point Operators (CPOs)) zijn eigen rol en strategie heeft en het voor een effectieve uitrol belangrijk is dat deze goed op elkaar aansluiten, is onderlinge communicatie van groot belang. Zo is het van belang dat de verschillende stakeholders op de hoogte zijn van deze adaptieve aanpak en dat wijzigingen in strategieën met elkaar worden gedeeld.

Voor de uitrol van waterstoftankstations is de situatie iets anders omdat de grootste onzekerheid hier de toekomstige rol van waterstof in wegmobiliteit is en niet zozeer de ontwikkeling van nieuwe tanktechnologieën. Adaptief beleid is nodig om op termijn snel te kunnen opschalen indien deze technologie nodig blijkt. Ook hiervoor geldt dat het belangrijk is om de verwachte rol van waterstof goed te monitoren en om voorbereidingen te treffen om een snelle uitrol mogelijk te maken. Hiervoor dient er contact te zijn tussen de stakeholders zodat de stakeholders tijdig op de hoogte worden gebracht van strategiewijzigingen en de wijze waarop deze worden geïmplementeerd.

Belangrijke regierol voor overheden

Er een belangrijke regierol weggelegd voor de rijksoverheid om te zorgen dat de adaptieve strategieën van verschillende stakeholders op elkaar aangesloten blijven zodat ze uiteindelijk leiden tot een goed werkend laadinfrastructuurnetwerk. Bij deze uitrol is het van belang duidelijke afspraken te maken met CPOs om zeker te stellen dat bepaalde maatschappelijke belangen zoveel mogelijk worden gediend. Dit betekent bijvoorbeeld dat er elektriciteit wordt geleverd tegen een acceptabele prijs, dat er een dekkend netwerk van laadpunten wordt gerealiseerd, ook op minder rendabele locaties en dat batterij-elektrische voertuigen enkel energie terug leveren op locaties waar en momenten dat er voldoende capaciteit is op het netwerk.

Een regierol dient ook te worden ingevuld in het kader van netverzwaring. Een goede weging van belangen, prioritering en regie vanuit de overheid is nodig om het capaciteitstekort op het elektriciteitsnet op te lossen (PBL & TNO 2022). Zo moet duidelijk worden welke netverzwarringsactiviteiten prioriteit krijgen in het geval er onvoldoende middelen, tijd of arbeidskrachten beschikbaar zijn om alle benodigde netverzwaring te realiseren. Daarnaast moet duidelijk worden vastgelegd welke partij welk mandaat krijgt binnen deze opgave en welke budgetten daarbij horen.

Door de opschaling van nieuwe energiedragers zal op langere termijn de behoefte aan tankstations voor koolstofhoudende brandstoffen juist aanzienlijk afnemen. Ook voor de afbouw hiervan is een regierol voor de overheid weggelegd. Hiermee zou bijvoorbeeld voorkomen kunnen worden dat de minst rendabele tankstations als eerste verdwijnen, waardoor het risico bestaat dat hele regio's zonder conventioneel tankstation komen te zitten. Dit zou er namelijk toe kunnen leiden dat de mobiliteitsmogelijkheden voor de bewoners van deze regio's relatief sterk worden beperkt.

Voor de transitie naar emissievrij wegverkeer zijn nieuwe technologieën, zoals autobatterijen van groot belang. Bepaalde potentiële belemmeringen die daarbij spelen, zoals materiaaltekorten, zijn mondiaal van karakter. Op Europees niveau wordt inmiddels beleid gemaakt om onder meer de afhankelijkheid van externe economieën te verkleinen. Door de verwachte toename in de te verwerken hoeveelheid afgedankte autobatterijen vormt circulariteit van de keten een belangrijke oplossingsrichting. Hier kan (ook nationaal) verder op gestuurd worden. Samenwerking in

Europese context is van belang om waardeketens voor kritische goederen op te bouwen. Het is hierbij belangrijk om strategische allianties te bouwen.

In de energietransitie kan de voorzieningszekerheid onder druk komen staan. Dit kan bijvoorbeeld spelen wanneer hernieuwbare synthetische brandstoffen niet tijdig in voldoende volumes worden geproduceerd om in de mondiale behoefte te voorzien. De overheid zou ook dan een rol kunnen spelen om de kans op tekorten te verkleinen.

Volumereductie en efficiëntieverbeteringen kunnen de opgave verkleinen en bijdragen aan het behalen van tussentijdse klimaatdoelen

Vanwege de lange levensduur zullen voertuigen met verbrandingsmotor voorlopig nog een groot aandeel hebben binnen het wegverkeer. In relatie tot de noodzaak om naast het realiseren van nul-emissies in 2050 ook de cumulatieve emissies in de periode tot 2050 zo laag mogelijk te houden, liggen er kansen via beleid gericht op volumereductie, efficiëntieverbetering, en/of de extra inzet van bio- of synthetische brandstoffen. Daarbovenop zal het verlagen van de energievraag bijdragen aan het vergroten van de kans om de doelen te halen. Het draagt dan rechtstreeks bij aan het verlagen van de druk op het systeem dat de technologische omslag faciliteert.

Prijsbeleid kan bijdragen aan beperken CO₂-uitstoot wegverkeer

Volumereductie ten opzichte van het toekomstpad kan gerealiseerd worden door een vorm van Betalen naar gebruik. Het reduceren van de CO₂-uitstoot zou verder versterkt kunnen worden als bij de vormgeving de tarieven gedifferentieerd worden naar gewicht en/of milieukeurmerken. Daarmee kan een systeem van Betalen naar gebruik ook een bijdrage leveren aan de transitie naar nul-emissievoertuigen. Om een effectieve tariefstelling te bepalen, is het belangrijk goed te overwegen welke doelen dienen te worden bereikt met een dergelijk systeem.

Ook is het introduceren van prijsbeleid van belang dat er voor automobilisten voldoende handelingsperspectief is om te kunnen reageren op de prikkel die van de beprijzing uit gaat. Bij dergelijke maatregelen is het van belang om de juiste voorwaarden te scheppen, zodat een verschuiving van de vraag richting (meer) duurzame vervoersalternatieven wordt geaccommodeerd.

Volumereductie door prijsbeleid is moeilijker te realiseren bij vrachtvervoer dan bij personenvervoer, omdat transportkosten in veel gevallen slechts een klein deel uitmaken van de prijs van de vervoerde goederen. Wel kunnen CO₂-prestatienormen voor bedrijven bijdragen aan volumevermindering. Bovendien kan dit beleid bijdragen aan het stimuleren van de vraag naar voertuigen met een lage CO₂-uitstoot, zoals nul-emissievoertuigen. Door de grote diversiteit van partijen die logistiek bedrijven is het complex om het beleid zo vorm te geven dat de marktverstoring en administratieve last beperkt blijven. Het is daarom van belang om het beleidsvormingsproces aandachtig te doorlopen en zicht te hebben op potentiële marktverstoring die optreedt bij verschillende beleidsopties.

Europees CO₂-bronbeleid kent lange doorlooptijd, nationaal meer mogelijkheden op kortere termijn

De Europese CO₂-normen zullen vanaf nu naar verwachting nog maar beperkt leiden tot zuinigere conventionele voertuigen. In theorie is het nog mogelijk om de normen verder aan te scherpen of een specifieke CO₂-norm voor voertuigen met een verbrandingsmotor (*Internal Combustion Engine Vehicles: ICEVs*) in te voeren waardoor meer efficiëntieverbetering van deze voertuigen te verwachten is. Door het afnemende marktaandeel van personen en bestelauto's met een

verbrandingsmotor wordt het CO₂-reductiepotentieel in de loop der jaren echter steeds kleiner. Voor vrachtauto's zal het potentieel hiervan wel langer aanhouden. Echter, de doorlooptijd voor de introductie van dergelijke regelgeving behelst meerdere jaren. Het is daarom de vraag of de benodigde inspanningen om hier Europees beleid voor te maken de moeite waard zijn.

Middels nationaal beleid voor het beïnvloeden van de aanschaf van (zuinige) conventionele voertuigen zou er wel op kortere termijn CO₂-reductie gerealiseerd kunnen worden. In de huidige tariefstelling van de aanschafbelasting (bpm) en de motorrijtuigenbelasting (mrb) bestaat er reeds een fiscale prikkel om de aanschaf van zuinige auto's te bevorderen en die van onzuinige te ontmoedigen. Ook in de voorgenomen tariefstelling van de vrachtwagenheffing zal daar sprake van zijn. Deze (fiscale) prijsprikkels zouden verder vergroot kunnen worden. Naast deze (fiscale) prijsprikkels, kan ook de RBSW verder worden aangescherpt waardoor aanbestedende diensten worden verplicht om nog zuinigere voertuigen aan te schaffen.

Voor batterij-elektrische voertuigen liggen er nog wel kansen om technische efficiëntieverbetering te realiseren. Dit zou de opgave voor de benodigde materialen, laadpunten, netcapaciteit en duurzame energie kunnen verkleinen. De meest effectieve manier om dit te bereiken is via Europees bronbeleid. De huidige Europese CO₂-normen stimuleren fabrikanten niet om hun nulemissievoertuigen energie-efficiënter te maken. Door bijvoorbeeld Europese energie-efficiëntienormen te introduceren voor alle nieuw verkochte voertuigen of specifiek voor nulemissievoertuigen kan energie-efficiëntie worden gestimuleerd. Ook nationaal zou beleid hierop gericht kunnen worden door bijvoorbeeld het introduceren van naar energiegebruik gedifferentieerde (fiscale) prijsprikkels. Dergelijke maatregelen beperken wel de relatieve aantrekkelijkheid van nulemissievoertuigen. Om de ingroei van deze voertuigen op pijl te houden, is het van belang om dergelijk beleid geleidelijk te implementeren zodat de relatieve kosteneffectiviteit van nulemissievoertuigen stabiel blijft.

Maatregelen gericht op efficiënt rijgedrag kunnen al op korte termijn een bijdrage leveren

Het energiegebruik van voertuigen kan op korte termijn worden verlaagd door maatregelen die gericht zijn op efficiënter rijgedrag. Deze kunnen in een relatief kort tijdbestek worden ingevoerd en indien niet meer nodig worden uitgefaseerd, in tegenstelling tot maatregelen die een relatief lange doorlooptijd kennen zoals investeringen in nieuwe ov-infrastructuur of ruimtelijke ordeningsbeleid.

Maatregelen die gericht zijn op efficiënter rijgedrag hebben bij nulemissievoertuigen geen effect op de directe CO₂-emissies en minder effect op het energiegebruik (vanwege regeneratief remmen). Daarom heeft beïnvloeding van rijgedrag het grootste effect op de korte termijn. Zo lang nog een groot deel van de voertuigvloot gebruik maakt van verbrandingsmotoren, bestaat er een 'window of opportunity'. Daarnaast leiden ook andere maatregelen als lagere maximumsnelheden, in combinatie met handhaving, in veel gevallen tot een lager energiegebruik. Voor deze maatregelen geldt eveneens dat ze in termen van CO₂-reductie het grootste effect hebben op de korte termijn, maar dat ze ook op de lange termijn effectief kunnen zijn om het energiegebruik van BEVs te verlagen. De precieze omvang van dit potentieel is niet goed bekend.

Bepijzing en normering als mogelijke instrumenten voor het reduceren van reboundeffecten

De overgang naar batterij-elektrische voertuigen leidt ertoe dat autorijden goedkoper wordt. Met de verwachting dat de actieradius een steeds minder grote belemmering vormt zal daardoor het autogebruik naar verwachting toenemen. Dit resulteert in een toename van de energievraag en de verkeersdruk, waardoor de autobereikbaarheid naar verwachting zal afnemen (indien er geen

flankerend beleid wordt gevoerd). Met de invoering van een systeem van Betalen naar gebruik (prijsbeleid) zou dat ondervangen kunnen worden.

In de logistieke sector wordt al langere tijd gewerkt aan betere plannings en nieuwe vervoersvormen (zoals toenemende containerisering) waardoor minder transport nodig is om dezelfde hoeveelheid goederen te vervoeren. Doordat deze efficiëntieverbeteringen over het algemeen ook leiden tot lagere transportkosten, kan ook hier een reboundeffect optreden. De mate waarin dit optreedt onder welke omstandigheden is niet bekend. Beprijzing kan een effectief instrument zijn om deze reboundeffecten in te dammen. Echter er is ook een kans dat de hogere transportkosten (deels) worden doorgerekend aan klanten, wat de stimulans voor volumevermindering zou beperken.

Leveranciers van producten voor duurzame mobiliteit kunnen worden gestimuleerd om oplossingen versneld in de markt te zetten.

Naast prijsprikkels voor eindgebruikers via het fiscale systeem is het ook mogelijk om leveranciers te stimuleren om oplossingen voor duurzame mobiliteit, zoals voertuigen en energie / brandstoffen, in de markt te zetten. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door leveranciers te laten concurreren om de subsidie, door subsidie in kavels uit te geven. Marktpartijen kunnen inschrijven op deze kavels en daarmee de verantwoordelijkheid op zich nemen om de in de kavel gevraagde mobiliteitsproducten in de markt te zetten in ruil voor de financiering door de overheid van een niet rendabele top. De kavels kunnen zo worden uitgevraagd dat de producten specifieke kenmerken hebben waarmee ze bijdragen aan het halen van bepaalde (sub)doelen, zoals voertuigen waar veel vraag naar is op de tweedehands markt. Ook kunnen de kavels worden afgestemd op de ontwikkelingsfase van technologieën, zodat de voorlopers niet alle anderen opties wegdrücken. De kavels kunnen bovendien zo worden vormgegeven dat partijen uit verschillende onderdelen van de keten (bijvoorbeeld laadpalen, voertuigen, voertuiggebruikers) genoodzaakt zijn om als consortium in te schrijven waardoor de samenwerking binnen de keten wordt bevorderd. Naast kavels voor implementatie kunnen er ook kavels voor proeftuinen en R&D worden uitgezet.

Draagvlak en verdelingsaspecten belangrijk aandachtspunt bij transitie

De transitie naar klimaatneutraal wegverkeer heeft verregaande gevolgen voor de samenleving. Voor burgers en ondernemers vraagt het om aanpassingen wanneer ze overstappen naar nul-emissie voertuigen en voor ondernemers kan gelden dat ze hiervoor benodigde investeringen moeten doen. Anderzijds kan autorijden met conventionele voertuigen duurder worden door hogere kosten van hernieuwbare brandstoffen, de CO₂-heffing op fossiele brandstof of andere ontwikkelingen. Om de transitie te laten slagen is voldoende draagvlak voor deze veranderingen en de bijbehorende beleidsinstrumenten een cruciale randvoorwaarde.

Vanuit brede-welvaartsperspectief is het belangrijk om oog te hebben voor verdelingseffecten, bijvoorbeeld tussen verschillende inkomensgroepen of regio's, en zorg te dragen voor een inclusieve transitie naar nul-emissie mobiliteit. Bij het ontwerp van nieuw beleid is het daarom van belang om ook rekening te houden met de effecten op verschillende type eindgebruikers.

Zolang de tweedehandsmarkt voor nul-emissievoertuigen niet toereikend is, zullen deze voertuigen niet voor iedereen bereikbaar zijn. Deze groep blijft voorlopig aangewezen op conventionele voertuigen. Indien er aanvullende (afdwingende) maatregelen worden genomen, zoals het invoeren van ZE-zones voor personenauto's, vormt dit een belangrijk aandachtspunt. Ook kan deze groep met prijsstijgingen worden geconfronteerd als gevolg van nieuw beleid zoals het ETS-2 en de oplopende

eisen voor inzet van hernieuwbare energie in verkeer en vervoer. De (extra) inzet van hernieuwbare brandstoffen zal – wanneer de meerkosten daarvan aan de pomp worden doorberekend – voor de eigenaren van die voertuigen leiden tot een toename van de gebruikskosten. Dit maakt het gebruik van voertuigen met verbrandingstechnologie minder aantrekkelijk. Dit kan de transitie naar klimaatneutraal versnellen maar tegelijkertijd het draagvlak voor de transitie ondermijnen zolang elektrisch rijden niet voor iedereen toegankelijk is.

Het toepassen van andere mitigatiestrategieën, zoals overstappen op het OV of de fiets is niet altijd een optie. Met name in de stadsranden, suburbane kernen en het landelijk gebied is de bereikbaarheid per OV en fiets op dit moment beperkt. Het verdient aanbeveling om bij de vormgeving van beleid voor verduurzaming van het wegverkeer hier aandacht voor te hebben. Naast het faciliteren van een betaalbaar aanbod van batterij-elektrische auto's is het inzetten op een beter aanbod van alternatieven en nabijheid van bestemmingen ook een denkbare oplossingsrichting.

De eerste nieuwe en schonere aandrijftechnieken penetreren vooral in woonwijken met bewoners met relatief veel financiële draagkracht. Dit betekent dat inwoners van dergelijke gebieden eerder voordelen hebben als schone lucht en minder geluidemissies. Het verdient aanbeveling om zicht te krijgen en houden in de mate waarin bepaalde kosten en baten (zoals de stapeling van subsidies) bij verschillende groepen neerslaan: wie heeft er profijt van en wie betaalt de rekening?

Een ander aandachtspunt is de uitfasering van tankstations. Met een toenemend aandeel nulmissievoertuigen in de vloot zal de rentabiliteit van de bestaande tankinfrastructuur afnemen. Als de uitfasering van deze infrastructuur aan de markt wordt overgelaten, kan het gebeuren dat de beschikbaarheid en nabijheid van tankstations sneller achteruit gaat in dunner bevolkte regio's waar mensen juist meer afhankelijk zijn van de auto.

Door verdere digitalisering van het mobiliteitssysteem ontstaan nieuwe kansen (zoals het reserveren van laadinfrastructuur en bij *smart grids*), maar ook nieuwe uitdagingen. Eén van deze uitdagingen is het behouden van reismogelijkheden voor mensen die minder digitaal vaardig zijn of minder op hun gemak zijn bij (het tempo van) digitale transformaties (KiM 2020c).

Ook bij goederenvervoer kunnen er herverdelingseffecten optreden. Zo zullen grote vervoerders de overstap naar nulmissievoertuigen makkelijker kunnen maken dan kleinere vervoerders. Vanwege een gespreider portfolio aan ritten kunnen zij hun voertuigen beter dimensioneren op de vraag wat leidt tot lagere kosten. Bovendien zijn de elektriciteitskosten van grootverbruikers lager. Ten derde hebben grotere bedrijven meer optimalisatieruimte ten aanzien van het aantal benodigde laders op hun depot. Tot slot geldt dat kleine bedrijven in verhouding minder investeringsruimte hebben. Zij rijden langer door met hun voertuigen. Dit speelt een rol in de zorgen die ondernemers hebben bij de invoering van ZE-zones voor stadslogistiek. Het verdient daarom aanbeveling om expliciet rekening te houden met deze kleinere ondernemingen om draagvlak voor het beleid te vergroten, zoals dat bijvoorbeeld al is gedaan bij de differentiatie van de AanZET-subsidiebedragen afhankelijk van de grootte van de onderneming.

Herverdelingseffecten zijn in een transitie naar klimaatneutraal wegverkeer vrijwel onvermijdelijk. Een groeiende ongelijkheid tussen diverse groepen brengt het risico met zich mee dat het vertrouwen in de transitie en het gevoerde beleid afneemt. Het verdient aanbeveling dat de overheid stuurt op de rechtvaardigheid van deze verdelingseffecten. Daarbij is niet alleen een visie over een rechtvaardige verdeling van de effecten van belang, maar verdient het ook aanbeveling aandacht te hebben voor een procedurele rechtvaardigheid (proces van totstandkoming van beleid) en

rechtvaardigheid van erkenning (aandacht voor verschillen in de bevolking en aandacht voor wie kwetsbaar is). Als het Rijk duidelijkheid biedt over de keuzes die gemaakt worden over de verdeling van kosten en baten en actief burgers betreft om de gevolgen van deze keuzes in kaart te brengen, kan dit helpen om draagvlak te vergroten.

1 Inleiding

De mobiliteit van zowel personen als goederen is een essentieel onderdeel van onze samenleving. Mobiliteit is een belangrijk middel om activiteiten en goederen te kunnen bereiken en bevordert daarmee het welzijn. Het brengt echter ook belangrijke negatieve effecten met zich mee. Voor het wegverkeer zijn fossiele brandstoffen nog veruit de belangrijkste energiebron, wat zorgt voor emissies van broeikasgassen (m.n. CO₂) die bijdragen aan klimaatverandering. De uitstoot van luchtverontreinigende stoffen (met name van NO_x en fijnstof) en geluid tast de leefbaarheid van zowel stedelijk als landelijk gebied aan. Stikstofemissies en doorsnijding van het landschap hebben negatieve effecten op biodiversiteit. Daarnaast veroorzaakt wegverkeer doden en gewonden door ongevallen en heeft het een groot beslag op schaarse ruimte.

In het klimaatakkoord van Parijs is afgesproken om de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder de twee graden, met een streven naar maximaal anderhalve graad. Als invulling van deze afspraak ambiëert Nederland uiterlijk in 2050 klimaatneutraal te zijn. Dit doel is vastgelegd in de Klimaatwet en is daarmee bindend. Ook de EU heeft wettelijk vastgelegd om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Klimaatneutraliteit in 2050 vereist dat de uitstoot van broeikasgassen in alle delen van de economie veelal tot (nagenoeg) nul moet worden teruggebracht. In deze studie onderzoeken we wat er voor nodig is om, als onderdeel van die overall doelstelling, ook de broeikasgasemissies van wegverkeer tot nul gereduceerd te hebben in 2050, zonder restemissies van broeikasgassen die elders in het energiesysteem gecompenseerd moeten worden. Het is niet gezegd dat het wegverkeer ook daadwerkelijk klimaatneutraal moet zijn in 2050 om tot een klimaatneutrale samenleving te komen. Aan het bereiken van klimaatneutraliteit kan ook worden bijgedragen door bijvoorbeeld CO₂, die vrijkomt bij productie en/of gebruik van biobrandstoffen ondergronds op te slaan of door herbebossing, waarmee koolstof uit de atmosfeer wordt onttrokken. Deze zogeheten negatieve emissies kunnen worden gebruikt om een zekere restemissie te compenseren en netto klimaatneutraal te zijn als samenleving. De voorliggende studie sorteert hier niet op voor.

Binnen de huidige beleidskaders worden grote stappen in de verduurzaming van het wegverkeer verwacht, maar het eindbeeld van nulmissie wegverkeer¹ in 2050 is daarmee nog niet in zicht. De ontwikkeling van het wegverkeer is geworteld in de structuur van onze economie en samenleving. Zo is de groei van de personenautomobiliteit van oudsher met name verbonden met de inkomensontwikkeling en demografische factoren zoals bevolkingsgroei en 'huishoudensverdunding' en vormt de economische ontwikkeling een drijvende kracht achter de groei van het zware wegvervoer.

De verkeersvolumes nemen zonder grote wijzigingen in beleid of gedrag naar verwachting de komende decennia verder toe, onder invloed van onder andere de verwachte groei van de bevolking en economie (IenW 2021; PBL et al. 2022). Ook wordt het wegverkeer gekenmerkt door veel typen voertuigen, uiteenlopende gebruiksprofielen en een groot aantal gebruikers.

¹ Nulemissie wegverkeer slaat op de uitstoot van broeikasgassen. Bij auto's die rijden op hernieuwbare brandstoffen komen er nog wel luchtverontreinigende stoffen vrij. Ook bij auto's met een alternatieve aandrijving (elektrische of waterstofauto's) is dat het geval doordat er fijnstof vrij komt door slijtage van de remmen en banden.

Tot slot worden voertuigen gekarakteriseerd door lange levensduren, waardoor er maar weinig natuurlijke vervangingsmomenten zijn tussen nu en 2050. Een personenauto gaat bijvoorbeeld zo'n twintig jaar mee. Vloten in het wegverkeer bestaan nog voornamelijk uit conventionele voertuigen. Zonder ingrijpen verloopt de instroom van batterij-elektrische voertuigen (of andere alternatieve aandrijftechnologieën met gebruik van volledig duurzame energiedragers) via natuurlijke vervanging te langzaam om de vloot vóór 2050 volledig te decarboniseren.

In deze context is het een grote opgave om klimaatneutraal wegverkeer in 2050 te realiseren. Er is dus een versnelling nodig.

In deze studie verkennen we hoe de eindbeelden naar klimaatneutraal wegverkeer in 2050 en de technologische paden daarnaartoe eruit kunnen zien. Het doel van deze studie is om op basis van de geschetste paden lessen te trekken over de kansen, uitdagingen en handelingsperspectieven voor Nederland op weg naar klimaatneutraal wegverkeer. Op basis van deze analyse schetsen we een aantal opgaven voor het Nederlandse beleid in de komende jaren.

De studie maakt onderdeel uit van een gezamenlijke studie van PBL en TNO waarin het betreffende eindbeeld en de paden daarnaartoe voor vier vervoerswijzen zijn verkend: het wegverkeer, de luchtvaart, de binnenvaart en de zeescheepvaart. Naast de verkenningen per vervoerswijze wordt in een overkoepelende rapportage (Geilenkirchen et al. 2024a) ingegaan op de lessen die uit de vier verhalen gezamenlijk kunnen worden getrokken voor het mobiliteitssysteem in Nederland. In een aanpalende studie van PBL genaamd 'Trajectverkenning Klimaatneutraal' (TVKN) wordt onderzocht hoe de hele Nederlandse economie in 2050 klimaatneutraal zou kunnen worden. De resultaten voor de mobiliteitssector dienen hiervoor als input.

Paden richting klimaatneutraal wegverkeer in 2050

Deze verkenning maakt gebruik van *backcasting*, waarbij eerst beelden zijn geschetst voor klimaatneutraal wegverkeer in 2050. Dit komt neer op een eindbeeld van nul netto CO₂-uitstoot door wegverkeer in 2050². Uitgaande van deze eindbeelden in 2050 schetsen we de denkbare paden daarnaartoe, op basis van huidige maatschappelijke voorkeuren en huidige inzichten over de verschillende technologieën die een rol kunnen spelen in de verduurzaming van het wegverkeer. De paden zijn daarmee in belangrijke mate technologisch van aard. Op basis van literatuurstudie verkennen we echter ook welke rol het mobiliteitsgedrag en de mede daaruit resulterende ontwikkeling van het vervoersvolume en de modal split kan spelen in de verduurzaming van het wegverkeer.

De beelden voor 2050 en de technologische paden daarnaartoe vormen een combinatie van verdeigbare aannames over vervoersvolumes, efficiëntieverbetering en bijbehorende inzet van technologieën en energiedragers.

Ze dekken niet de volledige bandbreedte aan denkbare uitkomsten af en zijn primair bedoeld om op basis van de huidige kennis tot een realistische bandbreedte te komen van de toekomstige CO₂-uitstoot en (invulling van de) energievraag, waarbij wordt ingegaan op vragen als: Wat zou er op

² Naast koolstofdioxide (CO₂) veroorzaakt het wegverkeer ook andere broeikasgasemissies. Aangezien voor wegverkeer CO₂ dominant is en het verloop van de meeste andere broeikasgasemissies daarmee samenhangt, beschouwen we ten aanzien van het wegverkeer CO₂-neutraal als proxy voor klimaatneutraal.

korte en middellange termijn moeten gebeuren om in 2050 op nul CO₂-uitstoot te komen? Waar zitten nog belangrijke onzekerheden, dilemma's en afruilen?

De voorliggende verkenning heeft daarmee een ander karakter dan de jaarlijkse Klimaat- en Energieverkenning (KEV) en de scenariostudie Welvaart en Leefomgeving (WLO), waarin ook projecties worden gemaakt voor (de verduurzaming van) de mobiliteit in Nederland. De KEV verkent, startend vanuit het heden, hoe de uitstoot van broeikasgassen zich ontwikkelt bij huidige macro economische trends en bij huidige beleidsafspraken. Ook de WLO gebruikt forecasting in plaats van back-casting en schetst vanuit het heden een aantal scenario's voor hoe de mobiliteit in Nederland zich kan ontwikkelen onder invloed van ontwikkelingen van onder andere bevolking, economie en (klimaat)beleid. Wel zijn bij de globale cijfermatige uitwerking van de toekomstpaden inzichten over groeivolumes en dynamiek in wagenparken en vloten gebruikt uit de WLO (CPB & PBL 2015 en PBL 2020), aangevuld met recente inzichten uit de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) van 2022 en 2023 (PBL et al. 2022 en 2023).

Scope van de studie

Deze verkenning richt zich op de CO₂-uitstoot van het wegverkeer in Nederland. De CO₂-uitstoot als gevolg van in Nederland verkochte brandstoffen is hierin leidend. Dit is dezelfde scope die in de KEV wordt gebruikt en dit is ook de scope in de nationale broeikasgasinventarisatie die Nederland jaarlijks aan de VN oplevert (RIVM 2023).

Het wegverkeer, en met name het vrachtverkeer over de weg, is een internationale aangelegenheid. In de analyse wordt daarom ook het internationale speelveld (qua beleid en technologieontwikkeling) betrokken en worden internationale ontwikkelingen in energiegebruik en uitstoot van broeikasgassen van het wegverkeer geschetst. Tevens is voor deze analyse verondersteld dat de EU en de rest van de wereld ook op een pad zitten dat in lijn is met de Parijsafspraken. Dit pad is niet expliciet gemaakt, maar impliciet gaan we ervan uit dat de paden naar klimaatneutraal wegverkeer in Nederland niet tot grote uitwijkeffecten leiden naar omringende landen. Het tempo waarin dit tot emissiereductie leidt en het type oplossingen kan uiteraard wel verschillen per regio.

De verkenning richt zich op de periode tot 2050 en redeneert vanuit het nationale en Europese doel van een klimaatneutrale samenleving in (uiterlijk) 2050. In het licht van de klimaatafspraken van Parijs is 2050 'slechts' een tussenstap in het beperken van de opwarming van de aarde. Het pad naar (klimaatneutraal in) 2050 en de ontwikkeling daarna bepaalt uiteindelijk of de Parijsafspraken worden gehaald. Het gaat dus niet enkel om het einddoel (het emissieniveau in 2050 zelf) maar ook om de cumulatieve CO₂-emissies op weg daar naar toe. De vraag welke (cumulatieve) uitstootreductie nodig is in Nederland om aan de Parijsafspraken te voldoen valt buiten de scope van deze studie. Wel verkennen we hoe snel het wegverkeer klimaatneutraal kan worden en welke factoren daarop van invloed zijn. Vanuit praktisch oogpunt werken we echter niet met koolstofbudgetten. Dit kan onderwerp zijn van vervolgonderzoek.

Het grootste deel van de emissies bij wegverkeer komt door personen-, bestel- en vrachtauto's. Gezamenlijk zijn deze voertuigcategorieën goed voor ruim 96 procent van de CO₂-uitstoot door het wegverkeer in Nederland (PBL et al. 2022).

Met deze voertuigen worden de meeste wegkilometers afgelegd bij personen- en goederenvervoer en het grootste deel van deze voertuigen rijdt nu (nog) op fossiele brandstoffen. Dit rapport beperkt zich dan ook tot de energietransitie bij deze voertuigen.

De paden in dit rapport schetsen de energievraag en de uitstoot van broeikasgassen door het wegverkeer zelf. Dit is de zogeheten ‘*tank-to-wheel*’ (TTW) benadering. Voor klimaatneutraliteit dient de hele keten van de brandstoffen en van de voertuigen in ogenschouw te worden genomen. Bij de productie en sloop van de voertuigen en bij de productie van de energiedragers wordt ook energie gebruikt met bijbehorende uitstoot van broeikasgassen. Deze bijdrage wordt in deze studie niet expliciet berekend. Er worden in het kader van TVKN aparte rapportages geschreven over de verduurzaming van de elektriciteitsopwekking en over bio grondstoffen. In die rapportages wordt ingegaan op het aanbod van hernieuwbare energiedragers. Voor een overzicht van de totale energieketens voor klimaatneutrale mobiliteit wordt verwezen naar recent onderzoek van het KiM (2022). Bij het gebruik van biobrandstoffen of hernieuwbare synthetische brandstoffen (ofwel e-brandstoffen of *e-fuels*) komt er feitelijk wel CO₂ uit de uitlaat, maar dezelfde hoeveelheid CO₂ is tijdens de productie van de brandstof onttrokken aan de buitenlucht middels de groei van de biomassa of *direct air capture*³, waardoor de netto CO₂-uitstoot nul is. In lijn met de IPCC-voorschriften beschouwen we deze brandstoffen in de context van deze studie daarom als klimaatneutrale brandstoffen.

Leeswijzer

We schetsen in hoofdstuk 2 van dit rapport eerst de opgave en het speelveld met de factoren en ontwikkelingen die van invloed zijn op de transitie naar nulmissie wegverkeer in 2050. Daarna brengen we in hoofdstuk 3 de opties in kaart voor de inzet van energiedragers, voor efficiëntieverbetering en voor volumebeperking. In hoofdstuk 4 gaan we vervolgens dieper in op de technische en kostenkenmerken van de verschillende duurzame energiedragers die voor het wegverkeer het meest voor de hand liggen. Op basis hiervan volgen in hoofdstuk 5 denkbare eindbeelden voor klimaatneutraal wegverkeer in 2050 en paden daarnaartoe. Die paden naar 2050 zijn niet zonder onzekerheden en uitdagingen. Deze worden in combinatie met de bijbehorende handelingsperspectieven voor beleid beschreven in hoofdstuk 6. Tot slot volgt in hoofdstuk 7 een slotbeschouwing.

³ Technologie om CO₂ te onttrekken aan de buitenlucht, bijv. als bouwsteen voor koolstofhoudende hernieuwbare synthetische brandstoffen .

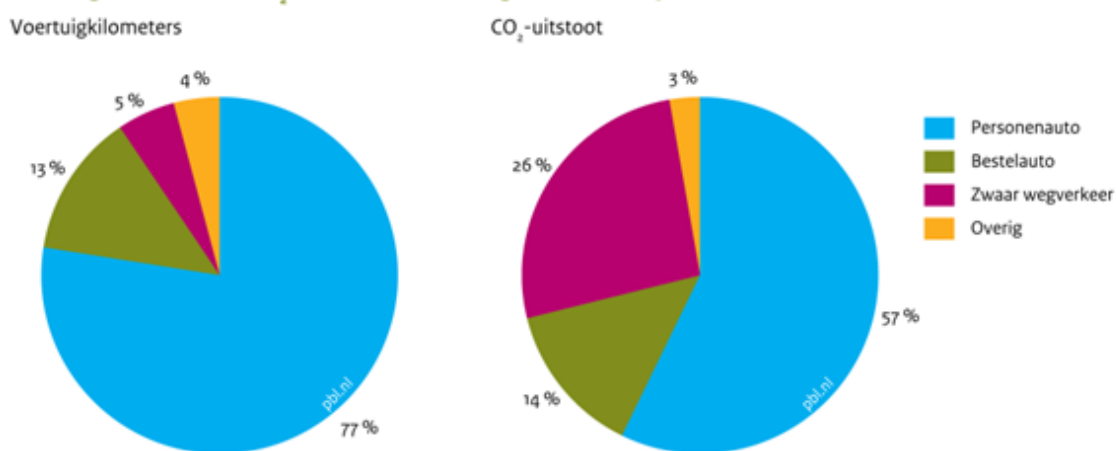
2 De opgave en beleidscontext

2.1 Huidige opgave

Met een uitstoot van ruim 24 megaton CO₂-equivalenten was het wegverkeer in 2022 goed voor circa 80 procent van de totale uitstoot van broeikasgassen door de binnenlandse mobiliteit in Nederland (circa 30 megaton) (RIVM/Emissieregistratie 2024). De uitstoot van het wegverkeer vertoont sinds 2006 een lichte afname. Als gevolg van de coronamaatregelen was de uitstoot de afgelopen jaren fors gedaald. Ondanks een herstel van de verkeersvolumes door de afbouw van de coronamaatregelen begin 2022, lag de uitstoot in 2022 nog wel lager dan in 2019 (circa 29 megaton), het laatste jaar voordat de coronamaatregelen van kracht werden (RIVM/Emissieregistratie 2024). Figuur 2.1 toont het aandeel van de verschillende modaliteiten binnen het wegverkeer in 2019. Binnen het wegverkeer is de personenauto de grootste emissiebron, met meer dan de helft van de totale CO₂-emissies door wegverkeer. Het bestelautoverkeer is goed voor circa 14 procent en zwaar wegverkeer neemt circa een kwart voor zijn rekening, ondanks dat het zwaar wegverkeer slechts een klein deel van het verkeersvolume vertegenwoordigt. De overige emissiebronnen van wegverkeer (autobussen en motor- en bromfietsen) vormen een paar procent van de CO₂-emissies in het wegverkeer en worden buiten beschouwing gelaten in deze studie.

Figuur 2.1

Voertuigkilometers en CO₂-uitstoot van het wegverkeer in 2019



Bron: CBS

De EU en Nederland hebben zich ten doel gesteld de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met ten minste 55% te verminderen ten opzichte van 1990 en tegen 2050 klimaatneutraal te zijn. In het Coalitieakkoord van het demissionaire kabinet Rutte IV is afgesproken om het klimaatbeleid te richten op een hogere opgave van circa 60% reductie in 2030, zodat het doel in de Klimaatwet met grotere waarschijnlijkheid zou kunnen worden gehaald. Voor de binnenlandse mobiliteit (waarin het wegverkeer dominant is) is in de voorjaarsnota van 2023 een streefdoel geformuleerd van 21 megaton in 2030 (EZK 2023). Dat komt neer op een reductie van 8,6 megaton ten opzichte van 2022. Er zijn geen subsectorale doelstellingen geformuleerd.

De Europese adviesraad heeft de Europese Commissie in 2023 geadviseerd om de transitie naar klimaatneutraal te versnellen (ESABCC 2023). Naar aanleiding daarvan heeft de Europese Commissie in februari 2024 aangekondigd voor een reductie van 90% te gaan in 2040 (EC 2024a). Ook de WKR

onderschrijft dit advies en adviseert Nederland om zijn inspanningen richting klimaatneutraal te versnellen (WKR 2023).

Het energiegebruik van het wegverkeer bestaat momenteel voor het overgrote deel uit fossiele brandstoffen. In 2019 lag het aandeel van fossiele brandstoffen op 94%. Het resterende deel komt hoofdzakelijk uit biobrandstoffen (6%) en voor iets meer dan 1% uit elektriciteit.

De (verdere) ontwikkeling van de CO₂-emissies van het mobiliteitssysteem en daarmee die van het wegverkeer wordt bepaald door het product van verschillende factoren. In het verlengde van de ASIF-formule (Schipper et al. 1999) wordt de ontwikkeling van de CO₂-emissies bepaald door de volgende factoren:

- Activiteiten: de mobiliteitsvraag uitgedrukt in de totaal afgelegde afstand van personen of vracht.
- Modal Split: de verdeling van de mobiliteitsvraag over de vervoerwijzen, uitgedrukt in reizigerskilometers of tonkilometers per voertuigtype.
- Bezettingsgraad dan wel beladingsgraad: de mate waarin voertuigen benut worden, uitgedrukt in voertuigkilometers per personenkilometer of tonkilometer.
- Energie-efficiëntie: uitgedrukt in het energiegebruik per voertuigkilometer.
- De CO₂-emissiefactor: de CO₂-emissie per eenheid energie-inhoud van de energiedrager.

Activiteit en modal split: groeiende vervoersvolumes en dominante rol automobilit

Gedurende de afgelopen dertig jaar (tot aan de coronacrisis) is het totale wegverkeer op Nederlands grondgebied toegenomen (CBS 2022). De personenautokilometers zijn in de afgelopen dertig jaar geleidelijk gestegen, met ongeveer 30% ten opzichte van 1990. Deze toename is gerelateerd aan de toename van het aantal huishoudens en de toename van het aantal voertuigen per huishouden. Sinds 1990 is het autobezit toegenomen van 0,8 naar ongeveer 1,1 auto per huishouden. Bij bestelauto's gaat het ongeveer om een verdubbeling van het aantal gereden kilometers ten opzichte van 1990, al heeft deze groei met name tussen 1990 en 2000 plaatsgevonden. Met een toename van ongeveer 40% is ook het vrachtverkeer in Nederland fors gestegen ten opzichte van 1990, voor een groot deel gedreven door de economische ontwikkeling.

Ontwikkelingen in de *modal split* zijn van invloed op het energiegebruik en de uitstoot van het wegverkeer (en de mobiliteit als geheel). Modaliteiten verschillen onderling in energie-efficiëntie en uitstoot per gereden kilometer. Ten opzichte van het wegvervoer kenmerken OV, spoor en binnenvaart zich door een hoge energie-efficiëntie per reizigerskilometer of tonkilometer. Actieve mobiliteit zoals de (elektrische) fiets en lopen hebben zelfs weinig tot geen energiebehoefte. De *modal split* van personenvervoer is door de jaren heen redelijk stabiel. Er worden beduidend meer kilometers afgelegd met de auto dan met het openbaar vervoer (KiM 2022b). Een kleine *modal shift* vanuit de auto kan daardoor al een groot verschil in het OV veroorzaken. Uit studies is gebleken dat er nauwelijks concurrentie bestaat tussen auto en OV (KiM 2013; KiM 2015). Dit heeft bijvoorbeeld te maken met dat voor bepaalde reizen niet een alternatief gezien wordt voor de auto, bijvoorbeeld bij reizen die worden afgelegd voor het vervoeren van spullen als boodschappen, of bij reizen in de nacht waarin geen of beperkt OV beschikbaar is of bij reizen waarbij het verschil in reistijd te groot is. Zo is het deel van de autoreizen waarvoor het OV qua reistijd concurrerend is slechts zeer beperkt.

Ook binnen het goederenvervoer is het wegtransport dominant. Er worden naar verhouding beduidend meer tonkilometers afgelegd met wegtransport, ten opzichte van de binnenvaart en het spoor, en dit beeld is door de jaren heen vrij stabiel gebleven (KiM 2022b).

Energiegebruik neemt toe maar gebruik van fossiele energie niet

In lijn met de groei van de verkeers- en vervoersvolumes is het energiegebruik door het wegverkeer gaandeweg toegenomen in het afgelopen decennium (voor de coronacrisis). Desondanks daalde de bijdrage van fossiele olieproducten en daarmee de gemiddelde emissies van broeikasgassen door het wegverkeer per afgelegde kilometer de afgelopen jaren al gestaag door de toenemende energie-efficiëntie van voertuigen, de inzet van biobrandstoffen en de groei van het aantal nulmissievoertuigen, met name bij het personenautoverkeer. De efficiëntieverbetering van het wagenpark is onder andere bereikt door vermindering van rol- en luchtweerstand, efficiëntere aandrijving en gebruik van lichtere materialen in nieuwe generaties voertuigen. Deze trend wordt voornamelijk gedreven door Europees bronbeleid waardoor de gemiddelde CO₂-uitstoot per kilometer van de door een fabrikant verkochte nieuwe voertuigen in een bepaald jaar niet hoger mag zijn dan een vastgestelde waarde.

De opkomst van zwaardere en minder efficiënte voertuigen zoals SUV's vertraagt echter de vooruitgang op het gebied van de efficiëntieverbeteringen van voertuigen. Mede daardoor neemt sinds 2016/ 2017 de CO₂ uitstoot van nieuwe conventionele personenauto's (met een verbrandingsmotor) in de praktijk weer toe. In de periode tussen 2014 en 2022 is het aandeel SUV/MPV in de nieuwverkopen sterk gestegen van 20% naar 50% (RVO 2023c). SUV's/MPV's hebben over het algemeen een hoger leeggewicht en motorvermogen en zijn hierdoor vaak minder zuinig. Ook speelt dat de CO₂ uitstoot per kilometer van personen- en bestelauto's in werkelijkheid hoger is dan de typekeurwaarde waar het Europese bronbeleid op is gebaseerd. Dit verschil is in de laatste decennia sterk toegenomen. Zo was dit verschil in het jaar 2000 nauwelijks bestaand, terwijl het in 2019 42% bedroeg voor personen- en bestelauto's (TNO 2020a). De daadwerkelijke CO₂-reducties zijn daardoor lager. Desondanks neemt de gemiddelde CO₂-uitstoot van het wegverkeer nog steeds af als gevolg van de verkoop van voertuigen met zeer lage of zelfs geen CO₂-emissies.

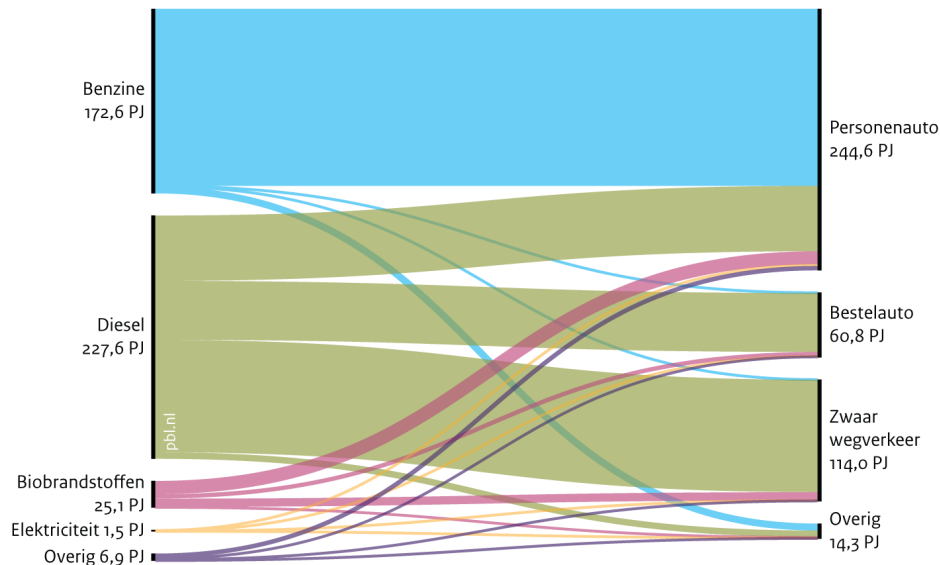
De ontwikkeling in de bezetting en belading draagt ook bij aan de energie-efficiëntie. Historische trends duiden op een steeds minder goede benutting en belading van wegvoertuigen. Ondanks een toegenomen gebruik van carpoolpleinen is de gemiddelde bezettingsgraad van personenauto's tussen 2010 en 2021 met 3% afgenomen (KiM 2022b). De beladingsgraad in het goederenvervoer over de weg is tussen 2000 en 2009 afgenomen van circa 60% naar circa 40% en sindsdien ongeveer gelijk gebleven (KiM 2021a).

Snelle ontwikkeling batterij-elektrische aandrijving

Het wegverkeer wordt nog gedomineerd door auto's op fossiele brandstoffen, met benzine als de dominante energiedrager bij personenauto's en diesel bij bestel- en vrachtauto's (Figuur 2.2). Het aandeel volledig nulmissievoertuigen is in het wagenpark weliswaar nog beperkt, maar het marktaandeel (in de nieuwverkopen) is de afgelopen jaren fors toegenomen. Dit is grotendeels het gevolg van de (fiscale) stimuleringsmaatregelen in de afgelopen jaren (zie ook paragraaf 2.2). Begin 2018 reden er circa 20 duizend nulmissievoertuigen in Nederland rond. Inmiddels, eind 2023, zijn dat er ruim 420 duizend (RVO 2023a). Dat komt neer op circa 4 procent van het totale autopark. Het gaat hoofdzakelijk om batterij-elektrische auto's (BEVs). Het aantal auto's op waterstof is nog gering. In vergelijking met personenauto's loopt de instroom van nulmissie bestel- en vrachtauto's nog achter, maar ook daar vindt de laatste jaren een forse groei plaats.

Figuur 2.2

Energiegebruik naar brandstofsoort en voertuig in 2019



Bron: Emissieregistratie

Inzet van biobrandstoffen in wegverkeer toegenomen

Naast de ingroei van nulmissievoertuigen is de afnemende bijdrage van fossiele olieproducten in het wegverkeer ook het gevolg van de toenemende inzet van biobrandstoffen. Deze ontwikkeling houdt verband met de Europese regelgeving voor biobrandstoffen en hernieuwbare energie en de nationale invulling daarvan. Implementatie van de Europese *Renewable Energy Directive* (RED) vindt in Nederland plaats door een jaarlijks oplopende verplichting voor hernieuwbare energie in de transportsector richting 2030 (zie ook paragraaf 2.2). Brandstofleveranciers worden hiermee verplicht om een steeds groter deel van de aan vervoer geleverde energie hernieuwbaar te maken. In de praktijk werd dit de afgelopen jaren vooral via het gebruik van biobrandstoffen gerealiseerd.

2.2 De huidige beleidscontext

Nationaal en internationaal beleid spelen een belangrijke rol in de (verdere) verduurzaming van het wegverkeer. Om de CO₂-uitstoot terug te dringen zijn er de afgelopen jaren diverse doelstellingen geformuleerd en beleidsmaatregelen in gang gezet, zowel op Europees als nationaal niveau. Deze paragraaf beperkt zich tot een kort overzicht van de belangrijkste beleidsmaatregelen sinds het verschijnen van het Nederlandse Klimaatakkoord en de Europese Green Deal in 2019⁴. In hoofdstuk 3, waarin de invloedsfactoren en de beleidsopties worden beschreven, komen enkele hiervan wat uitgebreider aan bod.

⁴ We beschrijven het beleid t/m medio 2023, waaronder de beleidsplannen die het kabinet Rutte-IV in de voorjaarsnota van 2023 heeft gepresenteerd. Met de val het kabinet is het doorgaan van deze plannen onzeker geworden.

Europese beleid voor verduurzaming wegverkeer aangescherpt in Green Deal

Om de CO₂-uitstoot terug te dringen heeft de Europese Commissie in 2019 de Green Deal gepresenteerd en spraken de EU-lidstaten af dat de EU in 2050 klimaatneutraal moet zijn. In het verlengde daarvan werd in 2021 de Europese Klimaatwet van kracht met het tussendoel de CO₂-uitstoot in 2030 met 55 procent te verlaagd te hebben ten opzichte van het niveau in 1990. Het doel geldt voor de EU als geheel; voorlopers kunnen compenseren voor achterblijvers. Om deze doelen te realiseren presenteerde de Europese Commissie medio 2021 een pakket met concrete voorstellen, onder de noemer van 'Fit for 55'. Het pakket bestaat uit een reeks met elkaar samenhangende voorstellen, die bestaande wetgeving wijzigen of nieuwe initiatieven introduceren.

De voornaamste maatregelen/voorstellen die (ook) van invloed zijn op de verduurzaming van het wegverkeer worden hieronder beschreven.

- Aanscherping van de CO₂-normen voor nieuwe personen- en bestelauto's. De normen voor 2030 betreffen -55% voor personenauto's en -50% voor bestelauto's (ten opzichte van 2021 (WLTP)⁵. Vanaf 2035 moeten alle nieuwe personen- en bestelauto's vanaf 2035 nulmissie zijn aan de uitlaat (of moeten in staat zijn om enkel op klimaatneutrale brandstoffen te rijden).
- In 2025 moet de CO₂-uitstoot van nieuwe vrachtauto's met gemiddeld 15% zijn teruggebracht ten opzichte van het basisjaar (juli 2019 t/m juni 2020). In 2030 moet de emissie van de nieuwverkoop nog eens verder zijn verlaagd tot 30%. In een recent gepubliceerd wetsvoorstel van de Europese Commissie (EC 2023a) wordt deze reductie verhoogd tot 45% in 2030 en wordt 90% reductie voorgesteld voor 2040. Op moment van schrijven is dit voorstel geaccepteerd door het Europees Parlement dat nog met alle lidstaten zal spreken over de uiteindelijke vorm van de wetgeving. In andere Europese regelgeving is vastgelegd dat nulmissievrachtauto's tot twee ton zwaarder mogen zijn, waardoor zwaardere aandrijflijnen, waaronder batterijen en brandstofcellen, kunnen worden geïntegreerd zonder dat dit ten koste gaat van de maximale belading.
- De Europese richtlijn *Hernieuwbare Energie* (RED) stelt criteria ten aanzien van de inzet van hernieuwbare energie. In de recente revisie (REDIII) wordt het bereik van de verplichting voor inzet van hernieuwbare energie in vervoer uitgebreid naar de totale levering van brandstoffen aan vervoer, inclusief de bunkerbrandstoffen voor de internationale lucht- en scheepvaart en krijgen lidstaten de keuze uit een vermindering van de broeikasgasintensiteit met 14,5% door het gebruik van hernieuwbare energie tegen 2030 of een aandeel van ten minste 29% hernieuwbare energie in het eindverbruik van energie in de vervoerssector tegen 2030. Daarnaast gelden er minimale aandelen in te zetten geavanceerde biobrandstoffen en RFNBO's (hernieuwbare brandstoffen van niet biologische oorsprong) en is er een plafond ingesteld voor de inzet van "ouderwetse" biobrandstoffen.
- Een afzonderlijk *Europees emissiehandelssysteem* (ETS-BRT) voor wegtransport en gebouwde omgeving dat een heffing op de CO₂-uitstoot geeft. De rechten moeten worden gekocht door energieleveranciers. Overeenkomstig het voorlopig akkoord tussen de Raad en het Europese Parlement start dit systeem in 2027. De brandstof distributie voor zowel commerciële als particuliere voertuigen zal in het toepassingsgebied worden opgenomen. Deze nieuwe regeling zal naar verwachting bijdragen aan het verminderen van de broeikasgasimpact van brandstoffen

⁵ Op aandringen van onder andere Nederland heeft de Europese Commissie voor PHEV's (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) voertuigen een nieuwe verbruiksfactor (utility factor/UF) opgesteld waardoor deze voertuigen gekoppeld worden aan een realistischer verbruikscijfer. Deze aanpassing (van verordening 2017/1151) zal ingaan per 1 januari 2025.

die worden gebruikt in de bestaande vloot en het kostenverschil tussen conventionele en duurzame voertuigen positief beïnvloeden.

- Als onderdeel van het bredere Fit-for-55 pakket is de AFID (Alternative Fuels Infrastructure Directive) herzien. In de reeds vastgestelde AFIR (Alternative Fuels Infrastructure Regulation) zijn minimum uitrolverplichtingen opgenomen die EU-lidstaten verplichten om, per alternatieve energiedrager, een bepaalde hoeveelheid (locaties en vermogen) aan infrastructuur te realiseren. De streefcijfers voor het vermogen aan laadinfrastructuur hangen af van het aantal lichte batterij-elektrische voertuigen in een land. Zo moet er voor elk vol-elektrisch voertuig minimaal 1,3 kW aan publiek laadvermogen zijn. De streefcijfers voor snelladen hangen af van het aantal kilometers hoofdwegen. Europa gebruikt hiervoor de classificaties TEN-T 'kern' en 'uitgebreid' netwerk. Uiterlijk 31 december 2030 moet er langs het TEN-T kernnetwerk elke 60 kilometer minimaal 3.600 kW aan laadvermogen zijn voor batterij-elektrische vrachtwagens.

Nederlands beleid helpt verduurzaming wegverkeer verder op gang

Het Europees beleid vormt een drijvende kracht voor de verduurzaming van het wegverkeer binnen Nederland. Daarnaast zet de Nederlandse overheid verschillende (aanvullende) instrumenten in om de verduurzaming van het wegverkeer verder op gang te brengen. Deze komen veelal voort uit het Klimaatakkoord van 2019. Daarin zijn afspraken gemaakt met een groot aantal (maatschappelijke) partijen gericht op het realiseren van het in de Klimaatwet vastgelegde streefdoel om de uitstoot van broeikasgassen in 2030 te verminderen.

Nederland stimuleert en faciliteert de groei van het aantal nulmissievoertuigen en het gebruik van hernieuwbare energie in vervoer momenteel via belastingen en subsidies, normering en andersoortig beleid, zoals convenanten. De voornaamste nationale beleidsinstrumenten gericht op de verduurzaming van het wegverkeer worden hieronder nader beschreven. Voor een meer gedetailleerd overzicht van de verschillende beleidsinstrumenten en beleidsinitiatieven verwijzen we naar de KEV van 2022 en 2023 (PBL et al. 2022 en 2023).

Toenemende inzet van duurzame energiedragers

In de Nederlandse wetgeving is sinds 2007 de zogenaamde bijmengverplichting opgenomen. Deze houdt in dat het aandeel hernieuwbare energie in vervoer gestaag moet toenemen. In de praktijk heeft dit er vooral toe geleid dat in elke liter die in Nederland wordt getankt voor het wegverkeer, een percentage biobrandstof zit. Dit percentage stijgt per jaar. Ook dragen biobrandstoffen bij aan de algemene doelstelling voor hernieuwbare energie. In het verlengde van de Europese RED-richtlijn wordt in Nederland het gebruik van hernieuwbare energie voor vervoer op basis van de Wet Hernieuwbare Energie gereguleerd in de vorm van een verplichting voor brandstofleveranciers om een steeds groter deel van de aan vervoer geleverde energie hernieuwbaar te maken. De verplichting kan worden ingevuld door verschillende vormen van hernieuwbare energie in te zetten. Tot nog toe wordt de verplichting voor het overgrote deel ingevuld met de inzet van biobrandstoffen, maar dat gaat in de komende jaren veranderen door de toenemende inzet van (grotendeels hernieuwbare) elektriciteit als gevolg van de verdergaande elektrificatie van het wegverkeer (PBL et al. 2022 en 2023). De huidige regelgeving leidt ertoe dat er door een hogere inzet van (grotendeels hernieuwbare) elektriciteit in vervoer er minder hernieuwbare brandstoffen nodig zijn om aan de jaarverplichting voor hernieuwbare energie in vervoer te voldoen.

In het kader van de Europese REDIII is het demissionaire kabinet Rutte IV voornemens een reductieverplichting in te voeren voor de broeikasgasintensiteit van de brandstoffen (IenW 2023). Op het moment van schrijven is de nationale implementatie van de REDIII nog niet uitgewerkt. De

jaarverplichting voor hernieuwbare energie in het vervoer evenals de doelstellingen in het kader van de REDIII gelden momenteel tot en met het jaar 2030. Voor de periode daarna is nog niets besloten.

Fiscale prikkels en prijsbeleid

Middels (fiscale) stimuleringsmaatregelen wordt in Nederland de aanschaf van BEVs bevorderd en die van auto's met fossiele brandstofmotoren ontmoedigd. Zo zijn er fiscale prikkels van toepassing in de motorrijtuigenbelasting (mrb), de belasting op personenauto's en motorrijwielen (bpm) en de bijtelling. Eerder heeft de Nederlandse overheid ook de aanschaf van schone en zuinige technologie door bedrijven bevorderd via de Milieu-Investeringsaftrek (MIA) en de Vrije Afschrijving milieu-investeringen (VAMIL). Daarnaast wordt de aanschaf van nulmissie personen-, bestel- en vrachtauto's aangemoedigd middels de subsidieregeling Elektrische Personenauto's Particulieren (SEPP), de Subsidieregeling voor Emissieloze Bestelauto's (SEBA) en de aanschafsubsidie voor Zero Emissie Trucks (AanZET). Per 2025 wordt de hoogte van de bpm van bestelauto's voor ondernemers afhankelijk van de CO₂-uitstoot van de bestelauto. Voor emissievrije bestelauto's blijft een vrijstelling gelden. Deze maatregel leidt tot een lastenverzwaring voor nieuwe bestelauto's op fossiele brandstof en geeft daarmee een stimulans voor de instroom van nulmissie bestelauto's.

Voor 2026 staat de introductie van de vrachtwagenheffing op de rol. Met de beoogde tariefstelling, op basis van de herziene Eurovignetrichtlijn, wordt in combinatie met de terugsluis van de netto opbrengsten beoogd een impuls te geven aan de verdere verduurzaming van het vrachtverkeer. De herziene Eurovignetrichtlijn biedt de mogelijkheid om een verlaging van de heffing van minimaal 50% en maximaal 75% toe te passen voor nulmissie voertuigen. Nederland is voornemens de maximale verlaging van 75% toe te passen (Harbers, 2023).

In het Coalitieakkoord van het demissionaire kabinet Rutte-IV was voor 2030 ook voor het licht wegverkeer een systeem van "Betalen naar gebruik" geagendeerd, waarbij de mrb zou worden omgevormd tot een belasting op basis van het aantal gereden kilometers. De invoering van dit systeem is in het najaar van 2023 door de Tweede Kamer controversieel verklaard waardoor het onzeker is of dit systeem op korte termijn wordt ingevoerd.

Op basis van het huidig vastgestelde beleid komt de fiscale stimulering na 2025 voor nulmissie personen- en bestelauto's grotendeels te vervallen, al is er wel een verlenging van de SEPP voor tweedehands nulmissie personenauto's tot aan 2030 geagendeerd. Vanaf 2026 krijgen batterij-elektrische auto's vanwege het hogere (accu)gewicht juist te maken met een hogere mrb. Daarmee dreigt de adoptie op basis van huidig vastgesteld beleid (conform najaar 2023) geremd te worden. Ook loopt de vrijstelling voor het besturen van elektrische bestelauto's (tot 4250 kg) met een C-rijbewijs op 1 juli 2024 definitief af.

Regulering

Ook via regulering en normering wordt in Nederland gepoogd verduurzaming van het wegverkeer te bewerkstelligen. Zo zijn vanwege het Besluit CO₂-reductie werkgebonden personenmobiliteit alle werkgevers met honderd of meer werknemers vanaf 2024 verplicht om jaarlijks gegevens te rapporteren over het zakelijk en woon-werkverkeer van hun medewerkers. Vanaf 2026 kan de overheid besluiten om een normering in te voeren. In het voorjaarspakket van 2023 staat een aanscherping van het CO₂-reductiedoel voor werkgebonden personenmobiliteit van 1 naar 1,5 Mton.

Om de groei van zero emissievoertuigen voor stadslogistiek te bevorderen is in het Klimaatakkoord afgesproken dat in 30 tot 40 (middel)grote gemeenten in Nederland vanaf 1 januari 2025 zero-

emissiezones voor goederenvervoer worden ingevoerd. Er zijn momenteel 28 gemeenten (peildatum april 2023) die hebben aangekondigd een zero-emissiezone voor stadslogistiek in te voeren. Vanaf 2025 moeten alle nieuwe vrachtauto's en bestelauto's die een zero-emissiezone in willen, emissievrij aangedreven zijn. Voor bestaande vrachtwagens en bestelauto's geldt een overgangstermijn tot 2030.

Sinds 2021 is de Regeling Bevordering Schone Wegvoertuigen (RBSW) van kracht die aanbestedende diensten (gemeenten, provincies, het Rijk en publiekrechtelijke instellingen) verplicht om bij aanbestedingen voor wegvoertuigen te voldoen aan een minimumpercentage van schone en emissievrije wegvoertuigen. De RBSW is de Nederlandse implementatie van de Europese "Clean Vehicles Directive" (CVD).

Facilitering

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat alternatieve laad- en tankinfrastructuur (inclusief opslag) zal worden uitgerold om te voldoen aan de vraag naar elektriciteit en alternatieve brandstoffen in het wegverkeer. Specifiek voor het realiseren van voldoende laadinfrastructuur voor batterij-elektrische voertuigen is de Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL) opgericht. Dit is een meerjarige beleidsagenda waarin marktpartijen, overheden en netbeheerders samenwerken om een dekkend, betrouwbaar en toekomstbestendig laadnetwerk en energiesysteem te realiseren. Binnen de NAL is ook de werkgroep logistiek opgericht, waarin onder meer wordt gewerkt aan het inzichtelijk maken van de laadvraag vanuit logistieke sector op bedrijventerreinen. Specifiek voor zware bedrijfsvoertuigen zijn laadoplossingen nodig die tegemoetkomen aan de vereiste hogere vermogens/ laadsnelheden en passen binnen de logistieke inzet en planning.

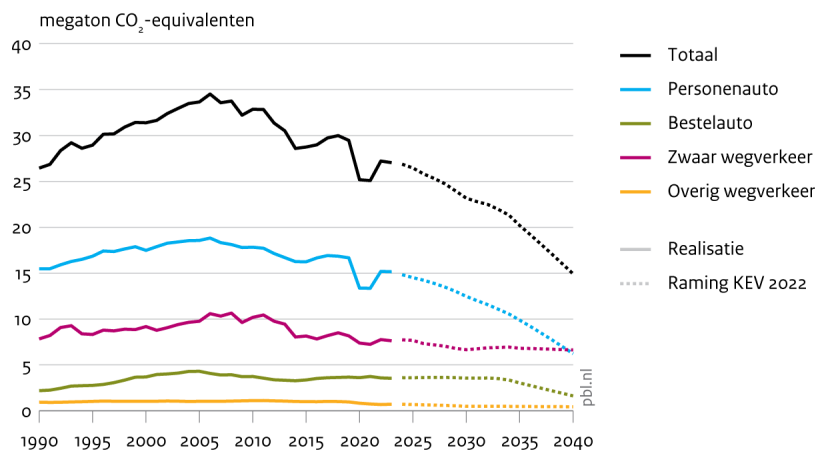
Er wordt ook rekening gehouden met een toekomst waarin nul-emissievoertuigen voor een deel door waterstof zullen worden aangedreven. Het aantal waterstoftankstations is nog gering, maar er is een wezenlijk aantal in aanbouw (H₂Platform 2022).

2.3 Toekomstige opgave

Zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven hangt de ontwikkeling van de CO₂-emissies van het wegverkeer af van de verwachte ontwikkelingen ten aanzien van het verkeersvolume, de voertuigefficiëntie en de overstap naar koolstofarme energiedragers. De verwachte ontwikkelingen van deze indicatoren zijn met grote onzekerheid omgeven en zijn voor een groot deel het gevolg van de verwachte groei van de bevolking, economie, de snelheid van technologische ontwikkelingen en de beleidscontext (CPB & PBL 2015). Daarbij is sprake van een grote mate van onzekerheid. Zo kan het verkeersvolume zonder grote wijzigingen in beleid of gedrag naar verwachting met zo'n 2 tot 50 procent toenemen tot 2050 (IMA 2021). Om de toekomstige opgave te schetsen baseren we ons in deze paragraaf daarom op de Klimaat en Energieverkenning (KEV) van 2022 en 2023 (PBL et al. 2022 en 2023). De KEV 2022 betreft de meest recente integraal doorgekende raming, waarin het in de voorgaande paragraaf beschreven beleid grotendeels is meegenomen, voor zover dat bij het opstellen van de analyses concreet was uitgewerkt. Daaruit komt naar voren dat de uitstoot van het wegverkeer in 2030 met 12% en in 2040 met 44% gedaald zal zijn ten opzichte van 1990 (Figuur 2.3).

Figuur 2.3

Broeikasgasemissies door wegverkeer



Bron: Emissieregistratie (realisatie); PBL (raming)

De KEV 2022 laat zien dat er met het vastgestelde en (concreet) voorgenomen beleidspakket (per 1 mei 2022) al grote stappen worden gezet, maar dat het indicatieve sectorale doel voor 2030 (21 Mton) nog niet in zicht is. Datzelfde geldt ook voor het eindbeeld van emissievrij wegverkeer in 2050, wanneer je de raming van de KEV verder zou extrapoleren naar 2050.

In de KEV 2022 raming ontbraken echter nog de meest recente (inter)nationale vastgestelde en voorgenomen maatregelen die sinds mei 2022 op de agenda zijn gekomen, waaronder de naar CO₂-uitstoot gedifferentieerde vrachtwagenheffing, de afschaffing van de bpm-vrijstelling voor bestelauto's, het ETS-2 en de aangescherpte CO₂-normen voor nieuwe vrachtwagens. In de KEV 2023 zijn deze in een raming op hoofdlijnen meegenomen evenals de geagendeerde maatregelen uit de voorjaarsnota van het demissionaire kabinet Rutte IV (Jetten 2023a). Daaruit komt naar voren dat de uitstoot binnen de mobiliteitssector kan worden teruggebracht naar een niveau van 18 tot 25 megaton CO₂-equivalenten in 2030, waarmee het indicatieve sectorale doel voor 2030 binnen bereik komt te liggen, mits de maatregelen volledig uitgevoerd worden én maximaal effect hebben.

Belangrijke kanttekening is dat een belangrijk deel van de KEV 2023 raming wordt bepaald door de invoering van Betalen naar gebruik en extra bijmenging van biobrandstoffen als gevolg van implementatie van de RED III. Door de val van het kabinet Rutte-IV heeft dit geagendeerde beleid een andere status gekregen. Beide maatregelen hangen af van te maken keuzes door een volgend kabinet. Door deze onzekerheid wordt het halen van de klimaatdoelstelling van 55 procent broeikasgasreductie in 2030, en in het verlengde daarvan het eindbeeld van emissievrij wegverkeer in 2050, bemoeilijkt. Temeer de tijd om het beleid tijdig uit te werken en te implementeren steeds beperkter wordt.

Binnen de huidige beleidskaders worden dus weliswaar al grote stappen in de verduurzaming van het wegverkeer verwacht, maar mede gelet op de lange levensduur van voertuigen en de instroom van nulmissievoertuigen, die binnen het huidige beleidskader vooral in de periode na 2030 op gang komt, is het eindbeeld van emissievrij wegverkeer in 2050 nog niet binnen bereik. Er ligt een opgave voor schaalvergroting van de overgang naar volledig duurzame mobiliteit over de weg.

3 Invloedsfactoren en beleidsopties

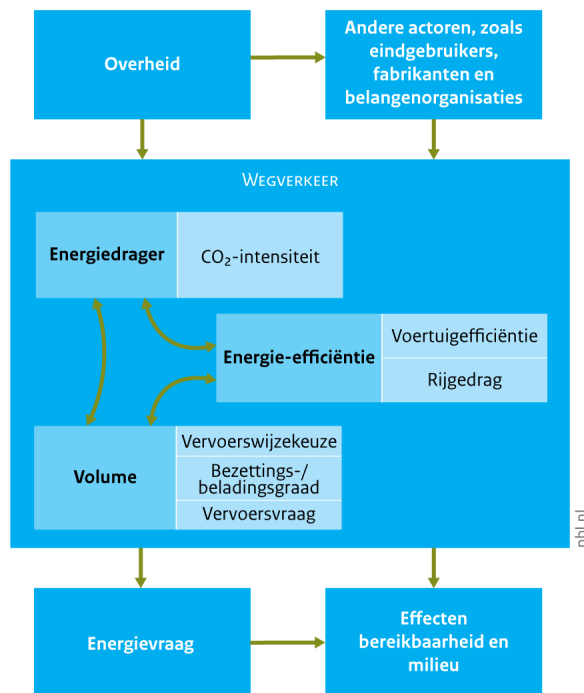
Zoals in de voorgaande paragraaf staat beschreven worden er in de huidige beleidscontext al grote stappen in de verduurzaming van het wegverkeer verwacht, maar is emissievrij wegverkeer in 2050 daarmee nog niet volledig in zicht en komt de instroom van nulmissievoertuigen vooral in de periode na 2030 op gang. Om het eindbeeld in 2050 te behalen zal er een versnelling noodzakelijk zijn door bestaande maatregelen te intensiveren dan wel aanvullende maatregelen te nemen. De voorname bouwstenen en de daarmee samenhangende beleidsopties voor het reduceren van de CO₂-uitstoot door het wegverkeer worden in dit hoofdstuk uiteengezet.

In samenhang met de eerdergenoemde factoren in paragraaf 2.1 kunnen (beleids)maatregelen globaal in drie hoofdclusters ingedeeld worden, ook wel Trias Mobilica genoemd (VNG 2019):

- Maatregelen gericht op de introductie van *klimaatneutrale brandstoffen/energiedragers* (CO₂-intensiteit van energiedrager). Voorbeelden van deze maatregelen zijn: de fiscale stimulering van nulmissievoertuigen, de CO₂-normen voor nieuwe auto's, ZE-zones voor het logistieke wegverkeer, bijmenging van (geavanceerde) biobrandstoffen, etc..
- Maatregelen gericht op *efficiëntieverbetering* door enerzijds de toepassing van energiebesparende technieken en anderzijds beïnvloeding van het voertuiggebruik/rijgedrag (energie-intensiteit van voertuigen). Voorbeelden van deze maatregelen zijn: differentiatie in de mrb naar gewicht, CO₂-normen voor nieuwe auto's, gedragscampagnes, etc.
- *Volumemaatregelen* gericht op een reductie van voertuigkilometers en/of toename van gebruik van alternatieve vervoerswijzen. Diverse vormen van beprijzen zijn hier voorbeelden van, maar ook andere maatregelen gericht op een verschuiving naar andere modaliteiten met lagere CO₂-emissies zoals OV en fiets en specifiek voor goederenvervoer een verschuiving naar spoor en binnenvaart. Onder deze categorie kan ook worden gedacht aan een hogere bezettings- dan wel beladingsgraad, kortere *supply chains* en inzet van Langere en Zwaardere Vrachtautocombinaties (LZV's).

Figuur 3.1

Factoren die van invloed zijn op de verduurzaming van het wegverkeer



Bron: PBL & TNO

Deze drie clusters vormen belangrijke ingangen voor de (verdere) verduurzaming van het wegverkeer, schematisch weergegeven in figuur 3.1. Langs deze lijn worden de opties in dit hoofdstuk beschreven, waarbij tevens de huidige beleidscontext in beschouwing wordt genomen. Reeds vastgestelde en voorgenomen (inter)nationale beleidsmaatregelen spelen immers al een belangrijke rol in de verduurzaming van het wegverkeer (paragraaf 2.2).

3.1 Overstap naar duurzame energiedragers en nieuwe aandrijftechnieken

Een volledige overstap naar duurzame energiedragers en alternatieve aandrijftechnologieën zal doorslaggevend zijn om het eindbeeld van klimaatneutraal 2050 te kunnen realiseren. Deze paragraaf gaat in op de achterliggende invloedfactoren en beleidsopties. Welke duurzame energiedragers en nieuwe aandrijftechnieken precies vanuit beschikbaarheid, efficiëntie en kostenooqpunt het meest voor de hand liggen komt in hoofdstuk 4 nader aan de orde.

Verjonging wagenpark gaat langzaam

De inertie van het systeem en de adoptie van nieuwe technologieën door gebruikers spelen een belangrijke rol bij het tempo waarin de vloot kan verduurzamen. Zelfs wanneer een nieuwe aandrijftechnologie 100 procent marktaandeel bereikt, duurt het (zonder harde beleidsinterventie) meer dan twee decennia voordat het hele autopark gebruik maakt van deze techniek, vanwege de levensduur van de voertuigen en het kleine aandeel van de nieuwverkopen in het totale wagenpark (Tabel 3.1). Deze trage aanpassing wordt ook wel de inertie van het systeem genoemd. Door technologische ontwikkelingen is de levensduur van voertuigen bovendien steeds langer geworden, en naar verwachting zal deze ontwikkeling zich ook in de komende jaren verder

doorzetten. Dit vraagt om een tijdige implementatie van nieuwe technologieën om het eindbeeld van emissievrij wegverkeer in 2050 te realiseren.

Tabel 3.1
Kenmerken wagenparken 2019

	Personenauto	Bestelauto	Vrachtauto
Gemiddelde leeftijd (jaar)	10	9	8
Aantal nieuwverkopen (x duizend)	465	77	13
Omvang park (x duizend)	9.533	1.051	137

Bron: CBS, VWE Automotive en Trendrapportage RVO & Revnext

Normering belangrijke aanjager voor vergroening wagenparken

Een overstap naar nieuwe aandrijftechnieken kan via beleid gerealiseerd worden door middel van normeren, beprijzen en/of stimuleren. In tegenstelling tot beprijzen en stimuleren, is normeren een instrument dat dwingend van karakter is en kan ingrijpen op de aanbodzijde van de markt. Zo zijn de Europese CO₂-emissiestandaarden (Europees bronbeleid) voor nieuwe voertuigen sterk van invloed op de (kenmerken van) auto's die op de Nederlandse markt worden aangeboden. Door efficiëntere voertuigen en/of door nulmissievoertuigen te verkopen kunnen fabrikanten voldoen aan de geldende normen. Paragraaf 3.2 gaat verder in op het effect van de CO₂-normen op de energie-efficiëntie van voertuigen.

Zoals beschreven in paragraaf 2.2 zijn de EU CO₂-normen voor het lichte wegverkeer verder aangescherpt tot uiteindelijk 0 gr/km in 2035, en die voor nieuwe vrachtvoertuigen tot een 90% reductie per 2040. Om aan deze aangescherpte normen te kunnen voldoen ontstaat in toenemende mate een toekomstbeeld waarin fossiel aangedreven auto's langzaam worden uitgefaseerd en worden vervangen door nulmissievoertuigen.

Mede in reactie op de (plannen voor) aanscherping van het Europese bronbeleid zijn autofabrikanten hun strategische productplannen aan het aanpassen. Zo heeft een aantal fabrikanten al publiekelijk bekendgemaakt wat hun plannen zijn voor het marktaandeel van volledig batterij-elektrische voertuigen in de komende jaren⁶. Voor personenauto's komt dat in het totaal neer op ongeveer 21% nieuw verkochte BEVs in 2025 en 58% in 2030 (zie Bijlage A). Voor vrachtwagenfabrikanten geldt dat zij verwachten dat 45% van hun nieuwverkopen in 2030 zullen bestaan uit nulmissievoertuigen (voertuigen met batterij-elektrische aandrijving; BEV en waterstofaandrijving; FCEV) en ongeveer 91% in 2040 (zie Bijlage A)

Onderzoek naar patenten die door patenthouders in de automobielenindustrie zijn geregistreerd, toont ook aan dat CO₂-emissiestandaarden een belangrijke aanjager zijn van innovatie (Rozendaal & Vollebergh 2021). Het onderzoek toont een trend waarin patentaanvragen voor duurzame "doorbraaktechnologie" pieken, nadat overheden strengere normen aankondigen.

Omdat de (aanscherpingen van) CO₂-normen langere tijd van tevoren zijn aangekondigd kunnen fabrikanten hier tijdig op anticiperen. Nu de normen voor het wegverkeer in sterke mate zijn aangescherpt, zullen fabrikanten dan ook eerder geneigd zijn te investeren in nieuwe technologieën in

⁶ Zie bijvoorbeeld de volgende nieuwsberichten ([nieuwsbericht Ford](#)) en ([nieuwsbericht Volkswagen](#))

plaats van voortborduren op de bestaande verbrandingstechnologie. Uit het onderzoek bleek verder dat R&D-subsidies en brandstofprijzen in verhouding veel minder effect sorteren ten aanzien van groene innovatie door autofabrikanten.

Aanvullend nationaal beleid noodzakelijk

Gelet op de lange levensduur van auto's zal met het huidige Europees bronbeleid het personen- en bestelautopark nog niet volledig uit nulemissievoertuigen bestaan in 2050. Hetzelfde geldt voor vrachtauto's, ook als de norm voor nieuwe vrachtauto's in de toekomst op basis van de Nederlandse ambitie nog verder zou worden aangescherpt tot 100% reductie in 2040 (zie ook paragraaf 5.1). Om de doelstelling van klimaatneutraal wegtransport in 2050 te kunnen realiseren is aanvullend beleid noodzakelijk door de instroom van nulemissie-auto's te versnellen, de uitfasering van de resterende auto's op fossiele brandstoffen en/of door de inzet van hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen. Met diverse instrumenten kan de overheid de overstap naar nulemissie-auto's (verder) stimuleren (KiM 2020a). Aan de "harde" kant zijn er dwang en beperkingen (bijvoorbeeld normering, ge- en verboden). Aan de "zachte" kant staan maatregelen die als doel hebben consumenten te overreden, zonder dat er dwang wordt uitgeoefend, zoals het informeren van consumenten. Daartussen zitten financiële instrumenten (zoals fiscale maatregelen en subsidies) en het bieden van bepaalde privileges.

Zoals beschreven in paragraaf 2.2 zijn er reeds (fiscale) stimuleringsmaatregelen van toepassing om de aanschaf van meer zuinige dan wel nulemissie-auto's te bevorderen en die van minder zuinige auto's te ontmoedigen. Aan de hand van ex-post analyses is gebleken dat (eerdere) differentiaties in de bpm en de bijtelling sterk van invloed zijn geweest op de verkoop van zuinige auto's met een lage CO₂-uitstoot (Van Meerkerk et al. 2014; Van Meerkerk et al. 2018). Deze (fiscale) prijsprikkels zouden verder vergroot kunnen worden, ook gelet op de huidige trend in de nieuwverkopen naar grotere/zwaardere auto's (SUV/MPV).

De laatste jaren is het accent meer komen te liggen op het stimuleren van de aanschaf van nulemissievoertuigen. Binnen de huidige beleidscontext worden de fiscale stimuleringsmaatregelen de komende jaren grotendeels afgebouwd. Hierdoor dreigt de adoptie geremd te worden. Temeer omdat door het vervallen van de korting op de mrb, batterij-elektrische auto's als gevolg van het hogere gewicht (accu) vanaf 2026 te maken krijgen met een hogere mrb in vergelijking met vergelijkbare conventionele auto's. Het toepassen van een zogenoemde "gewichtscorrectie" in de mrb zou daarvoor een denkbare optie zijn (EZK 2023). Daarnaast is uit eerdere analyses naar voren gekomen dat met een verlenging van stimuleringsmaatregelen in combinatie met een gedifferentieerde kilometerheffing naar milieukeurmerken de ambitie uit het Klimaatakkoord van 100% nul-emissie nieuwverkopen in 2030 binnen bereik komt te liggen (Muconsult et al. 2020).

Voor vrachtwagens is de overheid voornemens een kilometerheffing van gemiddeld 15 cent (prijspeil 2019) per gereden kilometer in te voeren per 2026. Middels een zogenoemde terugsluis worden de netto-opbrengsten ingezet voor verduurzaming en innovatie van het wegvervoer. Beoogd wordt om daarmee onder andere de instroom van batterij-elektrische vrachtvoertuigen verder op gang te brengen middels continuering van de reeds bestaande subsidieregeling voor nulemissie vrachtwagens.

Op basis van de herziene Eurovignet-richtlijn zal een tariefdifferentiatie op grond van CO₂-emissie gaan plaatsvinden, waarbij voertuigen worden ingedeeld in CO₂-emissieklassen en nulemissievoertuigen een korting krijgen. Deze nieuwe tariefstructuur leidt naar verwachting tot een versnelde

ingroei van nulmissie trucks vanaf 2026 (Revnext 2023). Een beleids optie is deze financiële prikkel te vergroten door een verhoging van het gemiddelde kilometertarief.

Naast directe maatregelen om de versnelling van de ingroei van duurzame voertuigen te stimuleren, kan ook flankerend beleid worden ingezet. Voorbeelden van flankerend beleid zijn tijdelijke ontheffingen voor het gebruik van bepaalde rijbanen of het verruimen van venstertijden voor vrachtwagens. Immers, vanwege lagere geluidsemissies van sommige alternatieve aandrijvingen, leidt het toelaten van deze voertuigen in sommige gevallen niet tot het overschrijden van acceptabele geluidsniveaus.

Laad- en tankinfrastructuur als cruciale randvoorwaarde

Tijdige realisatie van voldoende laad- en tankinfrastructuur is een belangrijke randvoorwaarde voor grootschalige marktpenetratie van alternatieve aandrijftechnologie. De uitdaging van het realiseren van voldoende laadinfrastructuur wordt verder toegelicht in paragraaf 6.3.

De Europese verordening (AFIR) is een stevige driver voor uitrol van nieuwe infrastructuur (TNO 2021a). Uit deze analyse uit 2021 blijkt echter dat de eisen die zijn vastgelegd in de AFIR (in de meeste gevallen) niet voldoende zullen zijn om de groei van het aantal voertuigen op nieuwe energiedragers, zoals ten doel gesteld in het klimaatakkoord en daaropvolgende publicaties, goed te kunnen faciliteren. Ook wordt volgens de voortgangsrapportage van de NAL geconstateerd dat het elektriciteitsnetwerk niet overal is uitgerust om de extra vraag te accommoderen (NAL 2022).

Intensivering beleid voor hernieuwbare energie in vervoer

Omdat de komende jaren nog een groot deel van de auto's is uitgerust met een verbrandingsmotor, kan er bij het terugdringen van de CO₂-uitstoot van het wegverkeer (ook) voor worden gekozen de inzet van hernieuwbare brandstoffen te verhogen. In het kader van de *Renewable Energy Directive II* (RED II) is er reeds een EU-verplichting van kracht om in de transportsector in 2030 14% hernieuwbare energie te realiseren. Dit kan naast elektrisch vervoer ook gerealiseerd worden via bijmenging van biobrandstoffen of inzet van andere hernieuwbare brandstoffen.

De Nederlandse regelgeving kent momenteel een hoger doel dan wat de REDII voorschrijft in verband met onder andere de afspraken uit het Klimaatakkoord (maximaal 60 PJ hernieuwbare brandstoffen in het wegverkeer). Met de REDIII, waarover binnen de EU in het voorjaar van 2023 overeenstemming is bereikt, wordt de verplichting voor inzet van hernieuwbare energie in vervoer verder verhoogd. Afhankelijk van de nationale implementatie van de REDIII is het, gelet op de uitbreiding van de scope naar bunkerbrandstoffen, mogelijk dat de bijmenging van biobrandstoffen in het wegverkeer richting 2030 verder verhoogd zal gaan worden (PBL et al. 2023). Wel is het zo dat binnen de huidige regelgeving hernieuwbare elektriciteit en de inzet van hernieuwbare brandstoffen, waaronder biobrandstoffen, communicerende vaten zijn.

Een hogere inzet van (grotendeels hernieuwbare) elektriciteit als gevolg van een grotere instroom van elektrische auto's maakt dat er minder hernieuwbare brandstoffen nodig zijn om aan de jaarverplichting voor hernieuwbare energie in vervoer te voldoen. Met het opknippen hiervan zou het potentieel van beide routes beter benut kunnen worden. Tegelijkertijd past een langzame uitfasering van het gebruik van biobrandstoffen in met name het lichte wegverkeer binnen het SER-advies (Sociaal-Economische Raad) voor inzet van biomassa in Nederland. De SER (2020) adviseert de biomassa te benutten voor toepassingen waar alternatieve oplossingen nog niet of beperkt in zicht zijn, waaronder zwaar wegtransport en lucht- en scheepvaart.

Om de CO₂-uitstoot van het wegverkeer (versneld) te reduceren zou de nationale overheid ervoor kunnen kiezen de bijmenging van (geavanceerde) biobrandstoffen verder te verhogen, boven op de invulling van de REDIII (in lijn met het voorstel hiertoe uit de voorjaarsnota 2023). Een dergelijke ophoging kan in de uitwerking van de Europese verplichting meegenomen worden, waardoor de gestelde ambitie vanuit Europa een extra nationale kop krijgt. De ophoging zou zo geïmplementeerd kunnen worden dat de daarmee gepaard gaande CO₂-emissiereductie uitsluitend in het wegtransport zal plaatsvinden. Aandachtspunt daarbij is dat de verdergaande verduurzaming van het wegverkeer ten koste kan gaan van de benodigde stappen richting verduurzaming van de lucht- en scheepvaart.

Een andere beleidsoptie om een overstap naar duurzame energiedragers te realiseren is het invoeren van een emissieplafond. Zoals in paragraaf 2.2 beschreven is er binnen de EU afgesproken dat er vanaf 2027 een afzonderlijk emissiehandelssysteem voor gebouwde omgeving en transport komt (ETS-2). Dit zou kunnen worden uitgebreid met een nationaal emissieplafond, waarbij het nationale plafond sneller zou kunnen dalen dan het Europese plafond. Vergeleken met een Europees ETS geeft een nationaal ETS de Nederlandse overheid meer vrijheden en zeggenschap (CE Delft 2021). Net zoals bij het Europese ETS zullen brandstofleveranciers jaarlijks voldoende rechten moeten hebben om hun emissies te dekken met emissierechten.

Met een afnemend emissieplafond zal de totale uitstoot afnemen en emissierechten schaarser (en daarmee duurder) worden. Brandstofleveranciers zullen waar mogelijk emissie-reducerende maatregelen nemen, bijvoorbeeld door extra biobrandstoffen bij te mengen. Uiteindelijk zullen ze de daarmee samenhangende kosten doorberekenen aan eindgebruikers via hogere brandstofprijzen, wat ertoe leidt dat eindgebruikers een financiële prikkel krijgen om emissies te reduceren. De overheid zou de prijsstijging voor de eindgebruikers vervolgens (deels) kunnen compenseren door accijnsverlagingen door te voeren. Met een verlaging van het emissieplafond kan de zekerheid vergroot worden dat verduurzaming van het wegverkeer verder op gang komt en het zou daarmee een effectief instrument kunnen zijn. Een kanttekening bij dit instrument is dat de overheid niet direct kan sturen op welke emissie-reducerende maatregelen door de markt getroffen worden. Brandstofleveranciers zullen zelf de meest kosteneffectieve oplossingen kiezen.

3.2 Verhogen van voertuigefficiëntie

Europese CO₂-normen voor nieuwe voertuigen

Het potentieel van kosteneffectieve technische maatregelen om voertuigen met verbrandingsmotor zuiniger te maken lijkt nog niet volledig benut, o.a. vanwege uitnutting van testflexibiliteiten (die de verhouding tussen praktijk- en testverbruik vergroten) en de inzet van plug-in hybride voertuigen. Desondanks zullen fabrikanten van personen- en bestelauto's naar verwachting in toenemende mate inzetten op de verkoop van nulmissievoertuigen om te kunnen voldoen aan het EU bronbeleid (paragraaf 3.1), waardoor het beschikbare potentieel voor efficiëntieverbeteringen bij conventionele voertuigen maar in beperkte mate zal worden gerealiseerd. In theorie is het daarmee nog mogelijk om de normen verder aan te scherpen of een specifieke CO₂-norm voor ICEVs in te voeren waardoor meer efficiëntieverbetering van deze voertuigen te verwachten is.

Omdat de CO₂-reductienormen voor het zware wegverkeer later zijn geïntroduceerd, resteert er bij conventionele zware vrachtvoertuigen (met verbrandingsmotor) meer reductiepotentieel dan bij de personenauto's. Zo leidt een CO₂-reductie van 20% tot 25% (ten opzichte van het gemiddelde in

2020) tot iets hogere productiekosten van de vrachtwagens. De brandstofkostennemen echter sterker af waardoor dit netto leidt tot lagere kosten vanuit zowel het eindgebruikersperspectief als het maatschappelijk perspectief⁷ (TNO 2018). Inzet van energie-efficiëntere dieseltechnologie kan dus bijdragen aan CO₂-reductie en aan lagere kosten in het wegvervoer.

Zoals eerder beschreven in paragraaf 2.2, is er in 2023 een wetsvoorstel van de Europese Commissie gepubliceerd met een aanscherping en extensie van de CO₂-normen voor nieuwe vrachtvoertuigen. Hoewel er dus nog een aanzienlijke hoeveelheid aan technische efficiëntieverbeteringen mogelijk is voor conventionele vrachtauto's, is de verwachting dat fabrikanten voor het halen van de CO₂-emissiedoelen in toenemende mate technologieën zullen toepassen op hun conventionele voertuigen die ook bruikbaar zijn voor nulemissievoertuigen, zoals zuinigere banden, het gebruik van lichtere materialen en bepaalde aerodynamische verbeteringen. Door de strengere normen na 2030 zal de transitie naar nulemissie verder worden afgedwongen, waardoor investeren in enkel het verduurzamen van dieseltechnologie op lange termijn niet loont.

Via nationaal beleid kan er ook (verder) gestuurd worden op de aanschaf van energie-efficiënte vervoersmiddelen of technologieën zoals zuinige banden. De bpm kent een CO₂-component en stuurt daarmee voor auto's met een verbrandingsmotor indirect ook op de energie-efficiëntie. Datzelfde geldt voor de voorgenomen vrachtwagenheffing. De mrb is gewichtsafhankelijk en stuurt daarmee ook indirect op energie-efficiëntie. Deze (fiscale) prijsprikkels zouden verder vergroot kunnen worden. Naar verhouding is het sturen op de autotypekeuze via de mrb minder effectief (Van Meerkerk et al. 2014). Wel is het zo dat de mrb qua kostenpost een steeds grotere rol speelt naarmate de leeftijd van auto toeneemt.

Energie-efficiëntie van nulemissievoertuigen

Nulemissievoertuigen stoten geen CO₂ uit, maar gebruiken wel energie. Net als bij fossiele voertuigen kan men zich bij nulemissievoertuigen ten doel stellen om het energiegebruik te reduceren. Dit zou de opgave voor het aanbod van duurzame energie kunnen verlichten. Anderzijds maakt dit het ook mogelijk om met een gegeven batterijgrootte de actieradius van het voertuig te vergroten of om een gewenste actieradius te realiseren met een kleinere batterij. Het eerste vergroot de inzetbaarheid van nulemissievoertuigen, het tweede vermindert de vraag naar schaarse materialen.

Niet alle voertuigen die nu op de markt verkrijgbaar zijn, zijn even energie-efficiënt. Het energieverlies door bijvoorbeeld laadverlies, sluipverbruik, conditionering van accu en interieur bij stilstand en het balanceren van de accu verschilt tamelijk sterk per fabrikant en voertuigmodel. Wanneer alle voertuigen zo goed zouden presteren als het best presterende bestaande voertuig, zou de gemiddelde reductiepotentie naar verwachting ongeveer 10% tot 20% bedragen van het huidige praktijkenergiegebruik (momenteel ongeveer 0,2 kWh/km) (TNO 2024c). In de verdere toekomst zou een grotere reductie kunnen plaatsvinden door nog verdere gewichtsreductie en verbeterd batterijontwerp. In een studie uit 2016 werd geschat dat het energie reductiepotentieel van batterij-elektrische personen- en bestelauto's ongeveer 20% zou bedragen (Ricardo 2016; JRC 2017). Daarbij was het vermijden van energieverliezen door laadverlies, sluipverbruik, en conditionering dan weer niet meegenomen. In het totaal zal naar verwachting nog ongeveer 15% tot 25% energie-

⁷ Kosten voor aanschaf en gebruik van voertuigen over de totale levensduur, exclusief belastingen en met een lagere rentevoet dan voor het eindgebruikersperspectief.

efficiëntieverbetering mogelijk zijn door aanpassingen aan lichte voertuigen. Op basis van een recente studie door TNO (TNO 2022) geldt een dergelijke potentie ook voor vrachtwagens.

Een mogelijke maatregel voor het realiseren van deze verbeteringen is het introduceren van Europese regelgeving waarin normen voor het energiegebruik van BEVs worden vastgelegd. Daarnaast is het ook mogelijk om in Nederland het gebruik van energiezuinige BEVs te stimuleren via differentiatie in belastingen. Nu is het mrb-tarief bijvoorbeeld afhankelijk van het gewicht van het voertuig, waardoor voertuigen in kleinere segmenten aantrekkelijker zijn.

Sturen op efficiënt voertuiggebruik

Behalve van de techniek, hangt het energiegebruik per kilometer, en daarmee voor auto's met verbrandingsmotor ook de CO₂-uitstoot, ook af van allerlei andere factoren. Denk aan de rijstijl van de bestuurder, de belasting van de auto, de verkeerssituatie, de bandenspanning of aan het gebruik van stroomverbruikers in de auto, zoals de airconditioning of de verwarming.

Door toepassing van een energiezuinige rijstijl bij auto's met verbrandingsmotor zou in potentie ruwweg 5-10% energie bespaard kunnen worden (CE Delft 2006). Programma's van Het Nieuwe Rijden (HNR) haken hier op in. In het verleden is uitgebreid onderzoek gedaan naar HNR. Daaruit bleek dat HNR een brede bekendheid genoot onder automobilisten en een groot deel de HNR-principes ook zegt toe te passen (CE Delft 2014). Praktijkonderzoek liet echter zien dat automobilisten zelf moeilijk kunnen inschatten of zij de HNR-principes correct toepassen (TNO 2009).

Naarmate het aandeel van nulmissievoertuigen op de weg stijgt, wordt het potentieel van zuiniger rijgedrag steeds meer bepaald door het potentieel bij BEVs. In vergelijking met conventionele auto's zal het potentieel bij BEVs anders uitpakken. Zo hebben BEVs een hoger tank-to-wheel-rendement bij alle relevante motorbelastingen en toerentallen, veel minder verlies bij stilstand en wordt remenergie teruggewonnen door middel van regeneratief remmen (Weiss et al. 2020). Waar benzine- en dieselauto's bij lagere snelheden in het stadsverkeer het minst efficiënt zijn, zijn BEVs juist het meest efficiënt (He & Wu 2018).

Onderzoeksresultaten laten zien dat de impact van rijstijl op het energiegebruik bij BEVs minder groot is vanwege regeneratief remmen en de algehele hogere efficiëntie van de elektromotor in tegenstelling tot de verbrandingsmotor, met name in situaties met veel stilstaan en remmen zoals in het stadsverkeer gebruikelijk is (Dong et al. 2022). Vanwege deze kenmerken zal het energiebesparingspotentieel van zuiniger rijgedrag bij BEVs vermoedelijk kleiner zijn. Daarentegen zal het effect van een lage maximumsnelheid, bijvoorbeeld op de snelweg, op het gemiddelde energiegebruik van BEVs juist groter zijn dan bij voertuigen met een verbrandingsmotor. Dit komt omdat de motorefficiëntie van ICEVs relatief hoog is bij hoge snelheden (door een hoger geleverd vermogen), terwijl deze bij BEVs (bijna) niet afhankelijk is van de gereden snelheid.

Met de voortschrijdende techniek bieden voertuigen steeds meer mogelijkheden om een energiezuinige rijstijl te vergemakkelijken of zelfs (deels) te automatiseren. Hiermee kan een deel van het potentieel al ontsloten worden. Daarmee is het de vraag in hoeverre extra beleidsinzet via gedragscampagnes nog additioneel effect kan hebben op de energie-efficiëntie van het autogebruik.

Met een verlaging van de maximumsnelheid of (ruimtelijke) aanpassingen gericht op de doorstroming van het verkeer zou ook energiebesparing behaald kunnen worden. CPB en PBL (2020) laten bijvoorbeeld zien dat de verlaging van de maximumsnelheid op het hoofdwegennet die in 2020 is ingevoerd een CO₂-besparing oplevert die kan oplopen tot circa 1 megaton. Zoals hierboven

beschreven, zal de relatieve energiegebruiksreductie van BEVs door deze maatregel nog hoger uitvallen dan die van voertuigen met een verbrandingsmotor.

3.3 Reduceren van volume van wegverkeer

Het verkeersvolume (autogebruik) is direct van invloed op de energievraag en, zolang er nog gebruik wordt gemaakt van fossiele brandstoffen, op de CO₂-uitstoot. De ontwikkeling van het verkeersvolume is afhankelijk van vele factoren. Los van demografische, ruimtelijke en economische ontwikkelingen, die van invloed zijn op de toekomstige verkeersvraag, kunnen diverse beleidsinterventies hierop inspelen.

Maatregelen voor de vermindering van autogebruik kunnen worden ingedeeld naar structurele en psychologische, ‘zachte’ interventies (Fujii et al. 2001). Psychologische, ‘zachte’ interventies zijn erop gericht om een vrijwillige gedragsveranderingen te bereiken door middel van het beïnvloeden van de kennis, houding en denkbeelden over duurzame reismethoden (Graham-Rowe et al. 2011). Voorbeelden hiervan zijn gedrags- en communicatiecampagnes, het opzetten van pilots om praktijkervaring op te doen rond duurzaam reisgedrag. Deze kunnen van belang zijn om het bewustzijn te vergroten met betrekking tot de mogelijkheden die mensen zelf hebben. Zo is momenteel het hebben van een auto de norm voor veel Nederlanders. Hoewel zo’n 6% van de bevolking bewust autovrij is, heeft ongeveer driekwart van de huishoudens 1 of meer auto’s. In sociaal opzicht wordt de auto gezien als een teken van zelfredzaamheid, flexibiliteit en autonomie (KiM 2022c). De effecten van ‘zachte’ gedragsinterventies zijn lastig in te schatten, maar met goed vormgegeven gedragsinterventies zou een aantal procenten vermindering van het autogebruik bereikt kunnen worden (Hendrich et al. 2018).

Structurele of ‘harde’ interventies zijn veranderingen in omstandigheden die het reizen per auto minder aantrekkelijk maken ten opzichte van duurzamere vervoermiddelen zoals het OV of de fiets, de mogelijkheden daartoe beperken, en/of de noodzaak daartoe verminderen (Gärling en Schuitema 2007). Deze maatregelen maken gebruik van financiële stimulansen, dwang en/of externe prikkels. Voorbeelden zijn ruimtelijk beleid, prijsmaatregelen, snelheidsverlagingen, bevoordelen van OV en/of fiets middels verkeersmanagement of parkeermaatregelen. De effecten op het autogebruik van de afzonderlijke maatregelen kunnen sterk uiteenlopen en zijn mede afhankelijk van de exacte vormgeving.

In de praktijk omvat beleid vaak een pakket van maatregelen. Door overlap in de aangrijpingspunten is het totale effect minder dan de som van de individuele effecten van de losse onderdelen. Ook kunnen onderdelen van een pakket elkaar afzwakken. Aan de andere kant zouden juist bij een goed vormgegeven integrale aanpak de maatregelen elkaar kunnen aanvullen of zelfs versterken. Zo zal het effect op het autogebruik van investeringen in het openbaar vervoer en/of de fietsinfrastructuur op zichzelf naar verwachting beperkt zijn (CPB & PBL 2020), maar als er in combinatie daarmee minder in weginfrastructuur wordt geïnvesteerd, wordt de reductie van het autoverkeer substantieler (CPB & PBL 2020).

Aandachtspunt bij volumebeleid is dat deze maatregelen verschillend (politiek gewenst of juist ongewenst) kunnen uitpakken voor verschillende groepen mensen in bijvoorbeeld de bereikbaarheid van voorzieningen en banen. In hoofdstuk 7 wordt verder in gegaan op handelingsperspectief met betrekking tot mogelijke verdelingseffecten in de energietransitie.

Hogere bezetting en belading in wegverkeer en -vervoer moeilijk te bewerkstelligen

Betere benutting van de capaciteit door carpoolen kan bijdragen aan een hogere energie-efficiëntie. Het organiseren van carpoolen vergt extra inspanning boven gebruik van de eigen auto en is dus vooral interessant voor regelmatig terugkerende verplaatsingen zoals woon-werkverkeer. Omdat het ingaat tegen consumentenvoorkeuren komt het veelal echter niet vanzelf tot stand (KiM 2021a). Ook is de gemiddelde bezettingsgraad van personenauto's tussen 2010 en 2021 met 3% afgenomen, ondanks een toegenomen gebruik van carpoolpleinen (KiM 2022b). Een efficiënter gebruik van de auto zou mogelijk ook via prijsbeleid gerealiseerd kunnen worden, maar uit onderzoek blijkt dat een maatregel als een kilometerheffing naar verwachting niet tot wezenlijk hogere bezettingsgraden leidt (CPB & PBL 2020). De vraag is hiermee of er effectieve maatregelen zijn om dit te verhogen.

Voorbeelden van mogelijke manieren om de efficiëntie binnen het goederenvervoer over de weg te verhogen zijn betere logistieke planning, productontwerp of verpakkingsontwerp (verpakking van product of containers waarin producten worden vervoerd) waardoor een hogere beladingsgraad mogelijk is. Andere opties zijn bijvoorbeeld *platooning*, *near sourcing*, LZVs en 3D-printen. Met dergelijke maatregelen is in potentie wel 10% tot 50% efficiëntieverbetering te behalen afhankelijk van het goederensegment (TNO 2020c).

De belangrijkste reden om dergelijke maatregelen te nemen is momenteel de kostenreductie die ze teweegbrengen. Minder voertuigkilometers en een lagere energiebehoefte per tonkilometer betekenen immers ook lagere transportkosten per vervoerd product. Echter, implementatie van dergelijke maatregelen vergt veelal investeringen en vereist samenwerking binnen logistieke ketens en tussen bedrijven die soms met elkaar concurreren (CE Delft et al. 2020), bijvoorbeeld door goederenstromen te bundelen. Dit komt niet vanzelf tot stand. Ook kunnen maatregelen invloed hebben op andere logistieke parameters, zoals doorlooptijd en flexibiliteit. Het is hiermee geen gegeven dat wanneer een maatregel kostenverlagend is, dit afdoende reden is voor de markt om de maatregel daadwerkelijk door te voeren.

In het Klimaatakkoord en het Energieakkoord zijn afspraken gemaakt om een efficiëntieverbetering in de logistiek te realiseren. Tot op heden is echter niet duidelijk wat inspanningen op dit vlak hebben opgeleverd. Eén van de redenen hiervoor is dat logistieke efficiëntie maatregelen leiden tot een afname van de logistieke kosten waardoor de vraag naar logistiek weer kan stijgen (*reboundeffect*). Dit doet de bereikte CO₂-reductie (deels) teniet.

Een dergelijk *reboundeffect* kan bijvoorbeeld worden beperkt door kilometerbeprijzing. Als gevolg van de hogere kosten per kilometer worden verladers en vervoerders extra gestimuleerd om hun activiteiten uit te voeren met zo weinig mogelijk kilometers. Aangezien transportkosten maar een beperkt aandeel uitmaken van de kostprijs van de vervoerde producten, is de gevoeligheid van de transportvraag voor logistieke kosten beperkt. Om het transportvolume terug te brengen dient de prijs per gereden kilometer voldoende hoog te zijn. De hoogte van dit bedrag zal ook bepalen of het maatschappelijk wordt geaccepteerd en er voldoende politieke steun is om het ook daadwerkelijk in te voeren. Bovendien bestaat ook de kans dat de extra transportkosten (deels) worden doorgerekend aan de consument, wat de stimulans voor volumevermindering door logistieke partijen beperkt en tegelijkertijd de maatschappelijke acceptatie erodeert.

Normbeleid voor de logistieke sector is een andere mogelijkheid om dit *reboundeffect* te beperken. Hierbij wordt een CO₂-prestatienorm opgelegd aan (een deel van) de logistieke sector.

In het Klimaatakkoord is opgenomen dat er een normstellende regelgeving voor bedrijven en organisaties zal worden ingevoerd om de CO₂-uitstoot van werkgerelateerd verkeer terug te dringen. Onder deze normering zou zowel het werkgebonden personenverkeer als goederenvervoer door

bedrijven vallen. Recenter is de intentie tot een invoering van dergelijk beleid nog opgenomen in de Voorjaarsnota 2023 en in Roadmap Terugsluis Vrachtwagenheffing van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. In 2020 heeft TNO samen met belangrijke stakeholders een eerste verkenning uitgevoerd naar een dergelijke norm voor het goederenvervoer (TNO 2020d). Hieruit bleek dat het erg complex is om het normbeleid zo in te vullen dat de marktverstoring en administratieve last beperkt blijven. Dit komt door de grote diversiteit van bedrijven die logistiek bedrijven.

'Harde' prijsmaatregelen kunnen tot wezenlijke reductie leiden van het verkeersvolume

Met harde maatregelen die zich direct toespitsen op het autogebruik, zoals prijsbeleid, een accijnsverhoging of een afschaffing van de onbelaste reiskostenvergoeding, kunnen wezenlijke reducties behaald worden van het autogebruik (Kansrijk 2020). Zo is bij de invoering van een systeem van Betalen naar gebruik voor het lichte wegverkeer met een kilometertarief van ca. 7 à 8 cent op den duur een afname van zo'n 15% à 20% denkbaar (MuConsult et al. 2020; MuConsult et al. 2023). Bij dergelijke maatregelen is het van belang om de juiste voorwaarden c.q. handelingsperspectieven te scheppen, die niet alleen een groei in autogebruik afremmen, maar ook een verschuiving van de vraag kunnen accommoderen richting (meer) duurzame vervoersalternatieven, zoals investeringen in het ov en de fietsinfrastructuur (*modal shift* beleid).

In het verlengde van Betalen naar gebruik kan ook gedacht worden aan een variabele bijtelling. In het huidige belastingstelsel heeft de hoeveelheid kilometers die privé gereden wordt geen invloed op de hoogte van de bijtelling. Er is alleen een prikkel om minder dan 500 kilometers privé ter rijden, aangezien de fiscale bijtellingsregels pas van toepassing zijn vanaf 500 kilometer privégebruik van de auto van de zaak. Dit betekent dat de marginale kosten voor privégebruik nul zijn. Een regime met een gestaffelde (variabele) bijtelling zou overmatig privégebruik van de auto van de zaak kunnen ontmoedigen. Uit analyses is naar voren gekomen dat hiermee een (beperkte) afname het totale autogebruik gerealiseerd zou kunnen worden van ongeveer 1 à 2% (Hekkenberg et al. 2018).

Ook ruimtelijke maatregelen als het bundelen van wonen en werken op stedelijke locaties kunnen het autogebruik beperken. Door bij gebiedsontwikkeling vroegtijdig het openbaar vervoer in te regelen zou in combinatie met andere autoluwe maatregelen een blijvende *modal shift* teweeg gebracht kunnen worden (KiM 2023a). Het potentieel van autoluwe maatregelen op het reduceren van het autogebruik is echter onzeker, en hangt onder andere sterk af van lokale situaties.

Zoals eerder beschreven is de overheid voornemens een kilometerheffing voor vrachtverkeer in te voeren per 2026, waarbij wordt uitgegaan van een gemiddeld tarief van EUR 0,15 per kilometer. Naast een samenstellingseffect binnen het vrachtautopark zal dit ook tot een volume-effect leiden. De heffing komt neer op een kostenverhoging per kilometer van ongeveer 10 procent (KiM 2018). Daarmee vormt de heffing naar verhouding een klein deel van de totale kosten per kilometer. Ook wordt reistijd in het vrachtverkeer hoger gewaardeerd dan bij het personenverkeer. Dit leidt ertoe dat het volume-effect van een kilometerheffing voor het vrachtverkeer in vergelijking met het personenautoverkeer klein is. Wanneer een gemiddeld tarief van 15 cent per gereden kilometer wordt geheven op een heffingsnetwerk bestaande uit autosnelwegen aangevuld met regionale wegen, dan daalt het aantal voertuigkilometers van het vrachtverkeer naar verwachting met 4 à 5%. Het aantal kilometers op het onderliggende wegennet neemt weliswaar toe door uitwijkgedrag, maar de afname van het absolute aantal voertuigkilometers op het hoofdwegennet is groter. Afhankelijk van de hoogte van de heffing en de precieze omvang van het heffingsnetwerk is een volume-effect van grofweg 5 à 10% denkbaar (Mu 2018). Een verduurzaming van het vrachtverkeer zal naar

verwachting hoofdzakelijk worden behaald middels de tariefdifferentiatie (korting voor nulemissie vrachtwagens) en de terugsluis.

Effect modal shift beleid in het goederenvervoer is naar verwachting gering

Ook bij goederenvervoer zijn er mogelijkheden om van vervoerswijze te veranderen. Transportbeleid voor goederenvervoer is veelal gericht op het bereiken van een *modal shift* van weg naar spoor en binnenvaart, om onder meer de druk op de weginfrastructuur te verminderen en het goederenvervoer te verduurzamen. De Nederlandse overheid stimuleert middels diverse projecten actief de modal shift voor goederenvervoer van weg naar binnenvaart, spoor of *shortsea*. Zo is er de Modal Shift-regeling met als doel het containervervoer op de corridors Oost en Zuid-Oost van weg naar binnenvaart om te buigen (Logistiek Makelaars 2023). Echter, voor veel bulk- en breakbulk-transport zijn trein en binnenvaart al de primaire vervoersmodaliteiten. Wegtransport wordt hier met name voor de *last mile* of specifieke kleine niches gebruikt. De potentie voor additionele modal shift is hiermee beperkt voor deze productgroepen (TNO 2020d).

Containertransport leent zich goed voor *modal shift*. Vervoer per trein en binnenvaart is per container (TEU) goedkoper en duurzamer. Wegvervoer is echter nog steeds goed voor een marktaandeel van 50% (ladinggewicht). Dit komt onder meer door congestie in havens, relatief lange doorlooptijden, beperkte flexibiliteit van water en spoor, organisatorische belemmeringen en fluctuaties in omvang van goederenstromen gedurende het jaar (TNO 2020). Om de flexibiliteit van gebruik van verschillende modaliteiten te bevorderen wordt daarom een geavanceerdere manier van modal shift ontwikkeld: *sychromodaliteit*. Dat is het synchroniseren van de logistieke transportvraag met de beschikbare capaciteit van de verschillende modaliteiten. Door efficiënte inrichting van overslaglocaties en real-time planning kan steeds de best passende modaliteit worden gekozen voor de goederen. Dit principe kan bijvoorbeeld toegepast worden bij de keuze tussen weg- en spoorvervoer of scheepvaart. Echter, omdat het marktaandeel van containers relatief beperkt is (7,6% van de TTW CO₂-uitstoot van het goederenvervoer), is de potentie van deze maatregel beperkt, zeker als alleen naar vervoer over langere afstanden wordt gekeken.

Effect van andere energiemix

De inzet van andere energiedragers brengt een verandering van de kosten in het gebruik van voertuigen met zich mee. Over het algemeen geldt dat een daling van de operationele kosten per kilometer leidt tot een stijging van de gereden kilometers (PBL 2010). De gemiddelde reiskosten van licht wegverkeer nemen af wanneer er meer elektrisch wordt gereden, rekening houdend met de verwachte ontwikkeling van verschillende kosten (zie paragraaf 4.4). Een dergelijke trend naar lagere kosten voor autogebruik kan leiden tot een toename van de gereden kilometers, dit is het zogeheten *reboundeffect*. Mensen kunnen er bijvoorbeeld voor kiezen verder te reizen voor bepaalde activiteiten of een baan verderop of ze kunnen bijvoorbeeld ervoor kiezen vaker de auto te pakken. Een metastudie van Dimitropoulos et al. (2018) constateert een vrij grote spreiding in de grootte van dit effect onder benzine- en dieselrijders. Het lange termijn effect bedraagt gemiddeld circa 26 à 29 procent. Wel lijkt de omvang van het reboundeffect in het wegverkeer af te nemen in de loop van de tijd. Hoe groot het reboundeffect is van overstap van benzine- of diesel naar elektrisch rijden is onderwerp van nader onderzoek. Met de invoering van een systeem van Betalen naar gebruik (prijnsbeleid) zou dit reboundeffect ondervangen kunnen worden. Aan de andere kant zou het autogebruik van conventionele auto's kunnen afnemen als gevolg van hogere brandstofkosten door een oplopende bijmenging van biobrandstoffen.

Hoewel eerder werd genoemd dat er mogelijkheden zijn tot modal shift beleid van wegverkeer naar trein en binnenvaart, zou er op den duur een omgekeerde effect kunnen optreden door de verwachte kostenontwikkelingen (zie paragraaf 4.4). In het goederenvervoer zouden de lagere operationele kosten per kilometer van het wegvervoer, als gevolg van de overstap naar elektrisch rijden, ertoe kunnen leiden dat het wegvervoer sneller goedkoper wordt dan andere vormen van vervoer (zoals de trein of de binnenvaart), en zo een verschuiving van deze modaliteiten naar wegvervoer teweeg kunnen brengen (*reverse modal shift*). Ook hier geldt dat via prijsmaatregelen een dergelijk effect ondervangen zou kunnen worden.

Effecten van andere ontwikkelingen in mobiliteit

Mogelijk staan er nog andere veranderingen te wachten in de mobiliteitsector die invloed kunnen hebben op het toekomstig autogebruik en –bezit. Bekende (mogelijke) innovaties als MaaS (*Mobility as a Service*), deelauto's en zelfrijdende voertuigen zouden volgens de literatuur disruptief kunnen zijn voor toekomstige mobiliteit (TNO 2020b). Deze veranderingen zijn afhankelijk van de ontwikkelingen in de markt en mogelijk ook de sturing van beleid.

Zo is het aantal deelauto's sterk toegenomen, maar is het daadwerkelijke deelautogebruik nog relatief laag⁸ (KiM 2021a). Wanneer de huidige groei in deelautogebruik zich trendmatig doorzet, is tot op heden de verwachting dat het effect hiervan klein is op het toekomstig autogebruik (PBL & CPB 2020). Dit komt door tegengestelde effecten. Enerzijds treedt een daling op van het autobezit wanneer mensen hun auto wegdoen of afzien van een aanschaf van een nieuw voertuig (PBL 2015), hetgeen leidt tot een afname van de verplaatsingen met de auto omdat mensen minder reizen met een deelauto dan met een eigen auto (KiM 2021a). Anderzijds treedt een toename op van autoverplaatsingen, omdat een deel van de mensen de deelauto gebruikt in plaats van de fiets of bijvoorbeeld het openbaar vervoer.

De introductie van zelfrijdende auto's kan ertoe leiden dat gebruikers meer en langere afstanden reizen omdat de tijd in de auto comfortabeler of nuttiger te gebruiken wordt, bijvoorbeeld door te werken. Indien auto's juist meer gebruikt gaan worden, wordt het privébezit weer aantrekkelijker dan het gebruik van een deelauto.

MaaS zou er juist toe kunnen leiden dat de drempel voor gebruik van andere vervoerswijzen (zoals OV, deelauto's) lager wordt, wat zou kunnen leiden tot minder autobezit. Mogelijke effecten van MaaS zijn echter nog onzeker (KiM 2020b).

Technologische veranderingen hebben niet alleen effecten op de energietransitie vanwege aangepaste verkeersvolumes, maar kunnen het gedrag van verkeersdeelnemers dusdanig veranderen dat ze leiden tot nieuwe belemmeringen of kansen en oplossingen voor de energietransitie. Een voorbeeld hiervoor is dat MaaS leidt tot andere stakeholders die van belang worden voor het realiseren van verduurzaming, zoals reisplanningsplatforms en deelvoertuigvlooteigenaren. Door andere rollen en andere stakeholders zijn in dat geval wellicht ook wijzigingen in de toegepaste beleidsinstrumenten nodig.

⁸ 2-6% van de Nederlandse bevolking gebruikt een deelauto en op een gemiddelde dag gebruikten 0,1% van de reizigers een deelauto via een aanbieder of online platform in 2018-2019 (KiM 2021c)

Als gevolg van de energietransitie verandert de omvang en samenstelling van de vraag naar energiedragers. Hierdoor verandert ook de vervoersbehoefte. Zo zal de afnemende vraag naar benzine en diesel ten gunste van elektriciteit leiden tot minder transport van brandstoffen. Deze veranderingen hebben het grootste effect op het spoorvervoer en binnenvaart en een minder grote invloed op het wegvervoer (CPB 2019). Reden hiervoor is dat bulkvervoer meer plaatsvindt via spoorvervoer en binnenvaart dan via wegverkeer (CPB 2019).

4 Inzet van energiedragers en voertuigtechnologieën

De drie in het vorige hoofdstuk beschreven strategieën om CO₂-reductie in wegtransport te realiseren, zijn alle van belang voor het halen van de klimaatdoelstellingen. De introductie van nieuwe energiedragers en aandrijftechnologieën zal hier naar verwachting de grootste bijdrage aan leveren. Deze paragraaf geeft daarom een uitgebreidere beschrijving van verschillende cruciale kenmerken van deze technologieën: de beschikbaarheid van de technologie, de inzetbaarheid van de techniek, de ketenefficiëntie van de technologie en de kosten van het voertuig en de energiedrager. Ook gaan we kort in op de externe veiligheid. Naast deze kenmerken zijn er ook andere kenmerken die van belang kunnen zijn maar die niet worden besproken, zoals de levenscyclusanalyse (LCA) van het voertuig.

Er is een beperkt aantal energiedragers zonder CO₂-ketenemissies dat voor 2050 op grote schaal zal kunnen worden toegepast in wegvoertuigen die in serie kunnen worden geproduceerd:

1. **Elektriciteit** kan worden gebruikt in een batterij-elektrisch voertuig. Tijdens het rijden komen geen uitlaatemissies vrij. Bij het gebruik van groene elektriciteit (bijvoorbeeld via zonnepanelen of windmolens) komen er ook bij de productie van elektriciteit geen emissies vrij. De productie van grijze elektriciteit (uit fossiele brandstoffen) leidt wel tot CO₂-emissies, maar in Nederland wel resulteert dit alsnog in een afname van de CO₂-uitstoot vergeleken met het gebruik van conventionele brandstoffen. Een verdere reductie is bij inzet van grijze elektriciteit mogelijk wanneer de CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen.
Laadpalen op privéterrein hebben vaak een relatief laag laadvermogen dat in veel gevallen voldoende is om 's nachts de accu vol te laden. In de openbare ruimte staan zowel laders met beperkte vermogens als snelladers. Bij deze snelladers kan in een korte tijd relatief veel energie worden geladen, maar de elektriciteit is er relatief duur. Naast het gebruik van laadpalen, kan ook inductief worden geladen, waarbij geen fysieke verbinding nodig is, of via een 'electric road system' waarbij het voertuig tijdens het rijden van elektriciteit wordt voorzien, bijvoorbeeld via een bovenleiding. Elektriciteit kan worden gedistribueerd via het bestaande elektriciteitsnet. Wanneer BEVs een aanzienlijk deel van de voertuigvloot gaan vormen, zal dit netwerk wel moeten worden verzaamd. Er wordt ook gewerkt aan de mogelijkheid om voertuigen elektriciteit terug te laten leveren, ook wel bekend als *Vehicle-2-Grid* (V2G). Middels deze technologie kunnen BEVs ook ingezet worden om pieken in het elektriciteitsaanbod op te vangen en energie af te staan wanneer vraagpieken ontstaan. De toenemende rol van hernieuwbare energie via zon en wind betekent meer fluctuatie in het aanbod van stroom op het net. In theorie kan (een deel van) de accu-capaciteit in de toekomstige voertuigvloot als buffer fungeren voor het balanceren van vraag en aanbod op het elektriciteitsnet.
2. **Waterstof** (H₂) kan worden toegepast in een brandstofcel (*Fuel Cell Electric Vehicle*; FCEV) of in een verbrandingsmotor (H₂-ICE; *Internal Combustion Engine*). In het geval van de FCEV wordt waterstof in de brandstofcel omgezet in elektriciteit. Die elektriciteit gaat naar de elektromotor (gedeeltelijk via een batterij) die het voertuig aandrijft. Bij deze processen komen geen schadelijke uitlaatemissies vrij.

Het concept van H₂-ICE is vergelijkbaar met een conventionele verbrandingsmotor en heeft een aanzienlijk lager rendement dan de FCEV wanneer het wordt ingezet voor personenauto's. Bij de inzet in langeafstandsvervoer met zware vrachtvoertuigen, is het rendement van H₂-ICE vergelijkbaar met dat van FCEV. Hierbij komt vrijwel geen CO₂ vrij, wel een beperkte hoeveelheid luchtverontreinigende emissies. Indien de waterstof wordt gemaakt van elektriciteit uit bijvoorbeeld zon of wind wordt er over de hele keten geen CO₂ geëmitteerd (groene waterstof), bij het gebruik van grijze elektriciteit of waterstofproductie middels *steam reforming* van aardgas komt er in de keten wel CO₂ vrij (grijze waterstof). Indien deze wordt opgeslagen onder de grond, leidt dit niet tot een toename van de CO₂-concentratie in de atmosfeer (blauwe waterstof). In Nederland wordt CO₂-opslag nog niet toegepast. Waterstof kan worden getankt bij een waterstoftankstation. Deze zijn nog maar beperkt beschikbaar. De distributie van waterstof naar de tankstations gebeurt momenteel veelal met speciale waterstoftankwagens ofwel *tube-trailers*. Daarnaast is het ook mogelijk om het te distribueren via een (nog te ontwikkelen) pijpleidingensysteem, maar vereist daarna nog zuivering voordat de waterstof kan worden gebruikt in brandstofcellen. Waterstof kan ook lokaal op kleine schaal worden geproduceerd nabij het tankstation.

3. **Hernieuwbare synthetische brandstoffen** (ook wel e-brandstoffen of *e-fuels*) kunnen worden toegepast in voertuigen met een verbrandingsmotor. Ze worden geproduceerd met behulp van waterstof en koolstof (bijvoorbeeld e-diesel, e-methanol of e-dimethylether (e-DME)) of waterstof en stikstof (e-ammonia). Alleen als er gebruik wordt gemaakt van groene of blauwe waterstof én er geen CO₂ wordt uitgestoten bij het winnen van koolstof of stikstof, leidt de productie van deze brandstoffen niet tot een toename van de CO₂-concentratie in de atmosfeer. Door verduurzaming van alle sectoren wordt het winnen van koolstof in de toekomst complexer. Dit zou bijvoorbeeld uit de buitenlucht kunnen worden gehaald (Direct Air Capture), maar dit is een dure en nog niet volwassen technologie. De verbranding van hernieuwbare synthetische brandstoffen leidt wel tot uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Voor het gebruik van dergelijke brandstoffen in conventionele voertuigen hoeven deze niet of slechts zeer beperkt te worden aangepast. Voor distributie en tanken kan veelal gebruik worden gemaakt van bestaande tankwagens en tankstations.
4. **Biobrandstoffen** kunnen worden toegepast in voertuigen met een verbrandingsmotor. De eisen die door Europese wetgeving worden gesteld aan de biomassa die hiervoor mag worden gebruikt worden steeds strenger om onwenselijke effecten zoals ontbossing te voorkomen. Bij het gebruik van de juiste biomassabronnen kunnen biobrandstoffen worden gebruikt zonder dat dit leidt tot een significante toename van de CO₂-concentratie in de atmosfeer. Wel leidt de verbranding van biobrandstoffen tot de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Door strenge Europese emissie-eisen aan nieuwe voertuigen zijn deze emissies in de laatste decennia sterk afgenomen. Net als bij hernieuwbare synthetische brandstoffen kunnen ook biobrandstoffen worden gebruikt in conventionele voertuigen die in heel beperkte mate zijn aangepast. Voor distributie en tanken kan veelal gebruik worden gemaakt van bestaande tankwagens en tankstations. Hernieuwbare synthetische brandstoffen en biobrandstoffen kunnen ook worden bijgemengd bij fossiele brandstoffen. In dat geval is nog wel sprake van netto toename van CO₂-emissies (namelijk uit verbranding van de fossiele brandstof), maar minder dan bij het gebruik van volledig fossiele brandstoffen.

4.1 Beschikbaarheid van de technologie

Alle hierboven beschreven technologieën en energiedragers zijn voldoende ver ontwikkeld om aan te kunnen nemen dat zij op termijn op grote schaal beschikbaar kunnen worden gemaakt voor wegmobiliteit. Dit wil echter niet zeggen dat alle technologieën ook (grootschalig) toegepast zullen gaan worden. Immers, er is schaalgrootte nodig om productiekosten te reduceren, er zijn significante investeringen vereist in infrastructuur en het moet ruimtelijk inpasbaar zijn. En er zijn ook andere modaliteiten binnen het mobiliteitssysteem en andere sectoren binnen de economie die van deze duurzame energiedragers of de ervoor benodigde grondstoffen gebruik willen maken. Voldoende beschikbaarheid voor wegverkeer is daarmee geen gegeven.

Huidige situatie

Groene elektriciteit wordt momenteel al op grote schaal geproduceerd. Dit geldt ook voor batterij-elektrische personenauto's. De productie van batterij-elektrische bestel- en vrachtwagens is nog beperkt. Laadinfra is er voldoende om de huidige vloot van elektriciteit te voorzien.

Duurzame waterstof wordt nog niet op grote schaal geproduceerd. Dit geldt ook voor voertuigen die op waterstof rijden. Er is een zeer beperkt aantal voertuigmodellen op de markt die gebruik maken van een brandstofcel, maar de oplages zijn zeer klein. Er zijn nog geen in serie geproduceerde voertuigen voorzien van een waterstofverbrandingsmotor. Er wordt al wel gewerkt aan de opbouw van waterstoftankinfrastructuur, omdat er tankpunten beschikbaar moeten zijn voordat waterstofvoertuigen in grotere getale ingezet gaan worden. Deze waterstoftankstations worden momenteel bevoorrad met behulp van tankwagens ofwel 'tube-trailers'.

Biobrandstoffen worden momenteel al op grote schaal gebruikt. Dit gebeurt voornamelijk door bijmenging bij fossiele brandstoffen. Daarnaast zijn er ook vlooteigenaren met eigen tankfaciliteiten die hun voertuigen laten rijden op hogere aandelen biobrandstof, tot 100%. Zoals hierboven al beschreven, kunnen deze brandstoffen worden gebruikt in bestaande voertuigen en tankinfrastructuur, eventueel met beperkte aanpassingen. Hernieuwbare synthetische brandstoffen zijn momenteel nog niet beschikbaar.

Toekomstperspectief

Om BEVs op grotere schaal te gaan toepassen zal de productie aanzienlijk moeten worden opgeschaald. De verwachting is dat fabrikanten deze opschaling wel kunnen organiseren. De belangrijkste barrière hiervoor lijkt de beschikbaarheid van materialen. Dit wordt verder beschreven in paragraaf 6.1. Om deze voertuigen te faciliteren zal ook de hoeveelheid laadpunten en de netcapaciteit aanzienlijk moeten toenemen. Deze grote uitdaging wordt verder behandeld in paragraaf 6.3. Naast mobiliteit zal ook in andere sectoren de behoefte aan elektriciteit gaan toenemen. Als gevolg hiervan zal de productie van groene elektriciteit ook aanzienlijk moeten groeien. Het is niet zeker of alle elektriciteit die in Nederland zal worden gebruikt of "getankt" (inclusief voor de productie van hernieuwbare synthetische brandstoffen voor internationale scheep- en luchtvaart) in Nederland opgewekt kan worden. Mogelijk is er daarom import nodig. Naar verwachting zal er voldoende duurzame elektriciteit beschikbaar zijn voor wegtransport. Of deze volledig in Nederland wordt opgewekt is afhankelijk van strategische keuzes die worden gemaakt omtrent de verdeling van energie over verschillende sectoren.

Duurzame waterstof is nodig voor de verduurzaming van verschillende sectoren, waaronder de industrie en de lucht- en scheepvaart (productie van hernieuwbare brandstoffen).

Het is daarom zeer waarschijnlijk dat grootschalige productie op gang komt in de komende decennia. De toekomstige rol van waterstof in wegtransport is echter onzekerder dan die van elektriciteit. In welke mate er grootschalige productie zal komen van waterstofvoertuigen is onzeker. Dit geldt ook voor de tankinfrastructuur, aangezien waterstoftankstations geen andere toepassing kennen dan wegtransport.

Hernieuwbare synthetische brandstoffen zullen hoogstwaarschijnlijk nodig zijn voor (intercontinentale) lucht- en scheepvaart. De brandstofsoorten die het meest wenselijk zijn voor de toepassing in deze sectoren (bijvoorbeeld e-kerosine), zijn niet per definitie ook de 'drop-in' brandstoffen voor wegtransport, zoals e-diesel. Het is onzeker of de vraag vanuit wegtransport groot genoeg zal zijn om op grote schaal e-diesel te produceren. Andere hernieuwbare synthetische brandstoffen die mogelijk voor andere toepassingen zullen worden geproduceerd, zoals e-methanol, kunnen niet direct in de huidige wegvoertuigen worden toegepast, maar deze kunnen wel verder worden verwerkt tot 'drop-in' brandstoffen. Ook kunnen voertuigen worden ontwikkeld die direct op deze brandstoffen kunnen rijden. Voor distributie kan (eventueel met beperkte aanpassingen) gebruik worden gemaakt van de huidige infrastructuur.

4.2 Inzetbaarheid

De belangrijkste limiterende factor voor de inzetbaarheid van verschillende energiedragers en aandrijftechnieken is de actieradius. Of eigenlijk hoe de actieradius zich verhoudt tot de tijd die nodig is om te tanken of te laden. Daarnaast kan voor bepaalde toepassingen ook het beschikbare laadvolume en laadgewicht een rol spelen. Deze worden beperkt door het volume en gewicht van de batterijen of brandstoftanks.

Huidige situatie

In het geval van personenauto's zijn benzine en diesel momenteel de standaard. Voertuigen op deze brandstoffen hebben een bereik dat meer dan voldoende is voor de wijze waarop de meeste voertuigen worden ingezet. Bovendien kan je met een paar minuten tanken weer honderden kilometers vooruit. De actieradius van batterij-elektrische personenauto's is aanzienlijk kleiner dan van conventionele equivalenten, maar voldoende voor een zeer groot deel van het dagelijkse gebruik. Batterij-elektrische personenauto's hebben nu gemiddeld een actieradius van 300 kilometer. Dit is voldoende voor bijna 90% van de ritten gereden door Nederlandse personenauto's⁹. Er zijn echter ook al voertuigen beschikbaar met een actieradius van 600 kilometer wat goed is voor ruim 95% van alle ritten gereden door Nederlandse personenauto's. Bovendien kan er op hoog vermogen worden geladen indien nodig. Desalniettemin duurt het laden aanzienlijk langer dan tanken van conventionele brandstoffen. Een voordeel is wel dat het laden in veel gevallen kan plaatsvinden op een voor de gebruiker handig(e) locatie en moment, bijvoorbeeld thuis in de nacht.

Momenteel kan de overstap van dieselveertuigen naar BEVs, zeker voor zware vrachtoertuigen, een aanzienlijke aanpassing betekenen door de beperktere actieradius. Op korte termijn is de actieradius voor veel toepassingen niet voldoende voor een hele dag. Een typische actieradius 300 kilometer voor batterij-elektrische trekker-opleggers is voldoende voor slechts 10% van de

⁹ Eigen analyse op basis van Onderweg in Nederland (ODiN) data

voertuigen¹⁰. Door drie kwartier bij te laden op 350 kW is dit voldoende voor 20% van de trekker-opleggers. Om de inzet van batterij-elektrische (zware) vrachtwagens mogelijk te maken, dient er in de planning van de dagelijkse inzet van voertuigen rekening te worden gehouden met laadmomenten inclusief de daarbij behorende laadtijd en het risico op wachttijden bij laadpunten. Bovendien is het ten behoeve van een lage 'Total Cost of Ownership' (TCO) van belang om de batterij niet te overdimensioneren. Hierdoor wordt de planning vooraf complexer en moet er meer rekening worden gehouden met onverwachte situaties.

De actieradius van zware waterstofvrachtvoertuigen is momenteel groter dan die van BEVs, maar aanzienlijk kleiner dan die van dieselveertuigen. Met een actieradius van ongeveer 500 kilometer, zou een groot deel van de zware vrachtvoertuigen op diesel kunnen worden vervangen door waterstofvoertuigen zonder overdag extra te hoeven tanken. Tanken duurt aanzienlijk minder lang dan bij elektriciteit, maar langer dan bij diesel (zie Figuur 4.1).

De actieradius van voertuigen op hernieuwbare synthetische brandstoffen of biobrandstoffen is nagenoeg hetzelfde als die van hun fossiele equivalent. Dit betekent dat de actieradius van voertuigen op e-diesel en biodiesel erg groot is vergeleken met elektriciteit en waterstof. Doordat brandstoffen als methanol en DME een lagere energiedichtheid hebben dan diesel, is de actieradius bij een vergelijkbare tankgrootte kleiner. Het is echter meer dan voldoende voor het overgrote deel van de toepassingen. Bovendien zou het nog mogelijk zijn om de tank beperkt te vergroten voor toepassingen waarvoor dat wenselijk is.

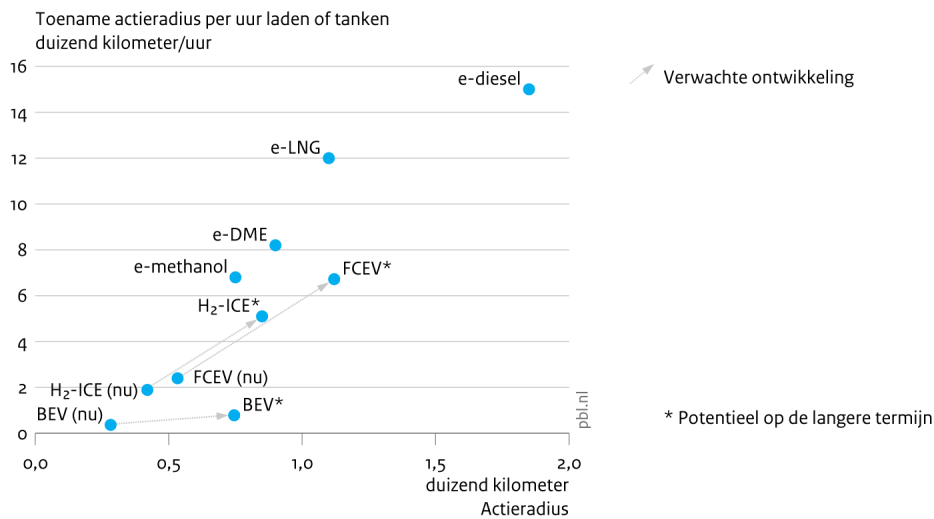
Toekomstperspectief

In de toekomst zal de actieradius van BEVs waarschijnlijk verder toenemen (zie Figuur 4.1). Doordat batterijen naar verwachting goedkoper worden, hoeft deze grotere actieradius niet per definitie te leiden tot een duurder voertuig. Bovendien worden gebruikers door een grotere actieradius minder afhankelijk van overdag bijladen. De verwachting is dat er voor 2030 voertuigen beschikbaar zijn met voldoende actieradius om het overgrote deel van de voertuigvloot te vervangen zonder grote aanpassingen aan de inzetprofielen. Voor personenauto's geldt al dat 95% van de ritten kan worden gereden met BEVs wanneer een voertuig wordt gebruikt dat past bij het inzetprofiel. Voor vrachtwagens zal de actieradius nog aanzienlijk moeten toenemen. Een actieradius van 800 kilometer lijkt haalbaar en zou voldoende moeten zijn voor ruim 80% van de inzetdagen van trekker-opleggers¹⁰. Drie kwartier snelladen op 500 kW, in aanvulling op 's nachts op het depot laden, zou voldoende moeten zijn voor de dagelijkse inzet van 95% van de trekker-opleggers. Wanneer het inzetprofiel beter wordt afgestemd op de actieradius van het voertuig, kan dit nog verder oplopen (TNO 2022). In de toekomst zou ook AI een rol kunnen spelen bij het optimaliseren van de batterij-inzet.

Er wordt gewerkt aan het meenemen van meer waterstof en zuinigere voertuigen om de actieradius van waterstofvoertuigen verder te laten toenemen. De actieradius van waterstofvoertuigen zal daarmee aanzienlijk groter blijven van die van elektrische equivalenten, maar aanzienlijk kleiner dan van dieselveertuigen (zie Figuur 4.1).

¹⁰ Deze voertuigen hebben voldoende actieradius voor 95% van hun gebruiksdagen.

Figuur 4.1
Beschikbare actieradius van zware vrachtoertuigen nu en verwachte ontwikkelingen op de langere termijn



Bron: TNO 2023

4.3 Ketenefficiëntie van energiedragers

In verschillende processen in de energieketen gaat energie verloren, bijvoorbeeld bij distributie en conversie. Bij het gebruik van groene elektriciteit als energiedrager gaat energie verloren bij distributie, tijdens het laden door energieverliezen in het voertuig en bij de omzetting van elektriciteit naar mechanische aandrijfenergie. In het totaal gaat ongeveer een kwart van de energie hieraan verloren aan deze processen. Bij het gebruik van waterstof uit groene elektriciteit in een brandstofcel is dit verlies aanzienlijk hoger, namelijk ongeveer 78%. Deze extra verliezen komen door een extra conversiestap bij de productie (van elektriciteit naar waterstof), door energiegebruik tijdens de distributie (vooral bij vervoer met vrachtauto's) en door een lagere efficiëntie van de aandrijflijn als gevolg van de conversie van waterstof naar elektriciteit.

Doordat een verbrandingsmotor een wat lager rendement heeft dan een brandstofcel, hebben H₂-ICE voertuigen een nog wat groter verlies. Voor vrachtwagens die worden ingezet op lange ritten, waarbij de dieselmotor op een optimaal rendement draait, is het verlies ongeveer 80% en daarmee redelijk vergelijkbaar met brandstofcellen. Voor voertuigen die een aanzienlijk deel van hun tijd spenderen in een stedelijke omgeving (met meer remmen en optrekken) is het energieverlies groter.

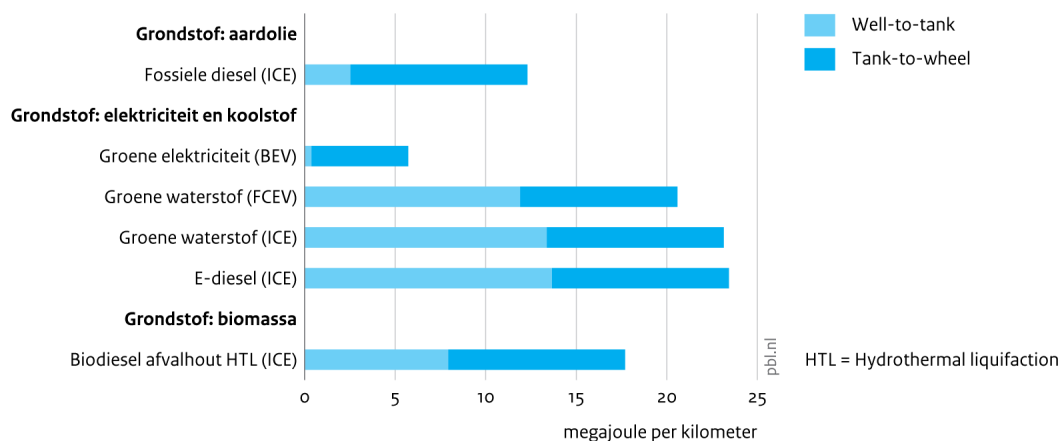
Bij het gebruik van hernieuwbare synthetische brandstoffen in vrachtwagens is het totale energieverlies in de keten ook ongeveer 81%. Ondanks dat er bij de distributie minder energie verloren gaat dan bij waterstof, wanneer dat met tubetrailers wordt gedistribueerd, leidt een extra conversiestap in de productie (waterstof en koolstof naar e-diesel) tot een vergelijkbaar ketenrendement als bij rijden op waterstof. Figuur 4.2 laat zien hoe dit uitpakt bij gebruik van de verschillende energiedragers in een trekker-oplegger in 2030.

Voor de energiedragers op basis van elektriciteit betekent een lager ketenrendement dat er meer (groene) elektriciteit nodig is om voertuigen een gegeven afstand te kunnen laten rijden dan bij directe inzet van elektriciteit, zie Figuur 4.2. Om voldoende elektriciteit op te wekken om te kunnen

voldoen aan de mobiliteitsvraag zijn daarom meer zonnepanelen en/of windturbines nodig. Dit betekent dat er meer schaarse materialen nodig zijn en ook meer schaarse ruimte om ze te plaatsen. Ter referentie, in het geval dat 100% van de trekker-opleggers in Nederland batterij-elektrisch zouden zijn, zou voor de duurzame energievoorziening ongeveer 27 km² aan oppervlak nodig zijn voor zonnepanelen, ofwel ongeveer een derde van de stad Utrecht. Bij het gebruik van 100% waterstof zou dat ongeveer 114 km² bedragen en zelfs 153 km² bij het gebruik van e-diesel, ofwel anderhalf keer de gemeente Utrecht.

Ook voor het produceren en distribueren van biobrandstoffen is energie nodig. Dit betreft bijvoorbeeld energie voor het verzamelen van de biomassa, transport naar de verwerkingsplaats en energie voor het verwerken zelf. De ketenefficiëntie van het gebruik van biobrandstoffen is wat hoger dan van het gebruik van waterstof of hernieuwbare synthetische brandstoffen, maar aanzienlijk lager dan dat van elektriciteit in batterij-elektrische voertuigen.

Figuur 4.2
Energieverbruik in de energieketen van verschillende energiedragers van een trekker-oplegger in 2030



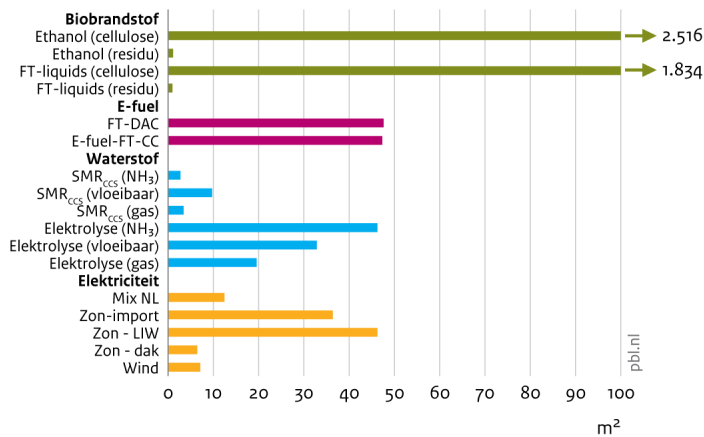
Bron: TNO 2023

Gebaseerd op een distributie van de energiedrager over gemiddeld 200 kilometer met elektrische vrachtwagens (TNO 2023b).

Gegeven de schaarste van ruimte en zeker in de beginfase van de transitie ook het beperkte aanbod van groene elektriciteit, is het directe gebruik van elektriciteit als energiedrager wenselijker dan het gebruik van afgeleiden zoals (groene) waterstof of hernieuwbare synthetische brandstoffen, zie Figuur 4.3 (KiM 2022a). Voor biobrandstoffen geldt dat het ruimtebeslag nog hoger is tenzij gebruik kan worden gemaakt van afvalstromen, omdat in dat geval de ruimte die nodig is om de biomassa te laten groeien, wordt toegerekend aan de belangrijkste toepassing en dus niet aan de afvalstroom.

Hoe groter de behoefte aan deze van elektriciteit afgeleide energiedragers, hoe groter het beslag op schaarse ruimte en hoe groter de afhankelijkheid van energie-import uit plekken met veel wind of zon en waar grond relatief goedkoop is, zoals in Canada, Australië en Oman (TNO 2021b). Ook kan bij beperkte beschikbaarheid van groene elektriciteit per eenheid ingezette elektriciteit meer klimaatwinst worden behaald bij direct gebruik van elektriciteit dan bij gebruik van waterstof of hernieuwbare synthetische brandstoffen.

Figuur 4.3
Ruimtegebruik van verschillende manieren van CO₂-neutrale energiewinning voor levering van energie voor één personenauto



Bron: KiM 2022

Voor elektriciteit (mix NL) en de benodigde elektriciteit voor elektrolyse geldt een verhouding van 76% wind en 24% zon. H₂-SMR-CCS: geen landgebruik toegerekend aan het gebruik van biomethaan. Geen landgebruik toegerekend aan biomassa-feedstock uit residuen.

4.4 Kosten

Om het kostenverschil tussen conventionele wegvoertuigen en wegvoertuigen met alternatieve aandrijftechnologie en/of energiedragers gedurende de bezitsduur te vergelijken worden de kosten doorgaans inzichtelijk gemaakt middels een *Total Cost of Ownership* (TCO) benadering. In deze benadering worden de totale kosten vergeleken gedurende de bezitsduur van het voertuig, waaronder de kosten bij aanschaf (aanschafprijs inclusief belastingen) en gebruik (onderhoud, brandstof, verzekeringen, belastingen), en wordt ook de restwaarde van het voertuig meegenomen.

De kosten van voertuigen en energiedragers zijn gebaseerd op de ontwikkelingen van productiekosten en op basis van het huidige belastingsysteem

Toekomstige prijzen van voertuigen en energiedragers worden beïnvloed door technologieontwikkeling, maar ook door beleid (bijvoorbeeld belastingen en subsidies) en marktwerking (als gevolg van strategische prijzen door fabrikanten en de verhouding tussen vraag en aanbod). Met name de effecten van beleid en marktwerking op prijzen die fabrikanten hanteren zijn zeer moeilijk te voorspellen. Om die reden is ervan uitgegaan dat de ontwikkeling van prijzen van voertuigen en energiedragers in lijn zal zijn met de ontwikkeling van de (productie)kosten. Een andere aanname is dat het belastingsysteem niet verder zal wijzigen dan de ontwikkelingen nu al bekend zijn (voorgenomen beleid) tenzij anders vermeld.

Huidige situatie

Recente TCO-berekeningen laten zien dat bij de huidige fiscale behandeling batterij-elektrische personenauto's in Nederland inmiddels al concurrerend zijn voor veel toepassingen (segmenten van kleinere auto's) of zelfs al goedkoper zijn (grotere auto's) dan vergelijkbare benzine- en dieselauto's (RVO 2023b). Hierbij dient te worden opgemerkt dat in de berekeningen gebruik is gemaakt

van gemiddelde autoprijzen en een bepaalde voertuiginzet. In werkelijkheid wordt elk voertuig anders gebruikt (kilometrage), waardoor de ene gebruiker eerder TCO-pariteit bereikt dan de ander met hetzelfde voertuig. Gebruikers van de kleinere autosegmenten rijden over het algemeen minder kilometers, waardoor de lagere gebruikskosten voor deze voertuigen een minder groot voordeel zijn ten opzichte van de uitgaven voor de aanschafprijzen en -belastingen. Daarnaast zijn ook de elektriciteitskosten verschillend voor verschillende gebruikers, bijvoorbeeld afhankelijk van of er geladen wordt met zelf opgewekte elektriciteit of bij publieke (snel)laadpunten. Ook heeft elk autosegment een breed scala aan modellen, waarvan sommige ver boven en andere juist ver onder het gemiddelde geprijsd zijn (RVO 2023c).

Ook batterij-elektrische bestelauto's zijn vanuit TCO-oogpunt inmiddels vaak al concurrerend, afhankelijk van het jaarkilometrage (Revnext 2022). Bij vrachtvoertuigen is het aanbod van batterij-elektrische modellen nog beperkt. Desalniettemin zijn er wel al segmenten waarbij de TCO van batterij-elektrisch lager is dan van dieseltrucks (TNO 2022). Dit geldt echter alleen voor de kleinere vrachtvoertuigen met een kleinere actieradius. Voor een groter deel van de vrachtvoertuigen geldt nog dat de BEV niet concurreert in TCO met zijn fossiele tegenhanger.

Waterstofvoertuigen zijn momenteel amper beschikbaar waardoor het niet mogelijk is om een representatieve TCO te bepalen. Uit de beperkte data die beschikbaar is, is bepaald dat de TCO van een waterstofpersonenauto ongeveer 45% hoger ligt dan voor een equivalent benzinevoertuig (TNO 2021c). Voor vrachtwagens is de TCO momenteel zelfs een factor drie hoger dan die van een equivalente dieseltruck (TNO 2021d). Ook hiervoor geldt dat de waarde van deze vergelijking beperkt is vanwege de beperkte hoeveelheid beschikbare data.

Biobrandstoffen kunnen worden gebruikt in bestaande voertuigen met een verbrandingsmotor (eventueel na beperkte aanpassingen). Deze voertuigen zijn daarmee in aanschaf even duur als fossiele equivalenten. De kosten van diesel met een klein aandeel FAME (Fatty Acid Methyl Esters) als biobrandstof (B7) zijn vergelijkbaar met die van fossiele diesel. Een hogere blend, die kan worden toegepast in daarvoor goedgekeurde bestaande dieselveertuigen (Hydrotreated Vegetable Oil ofwel HVO100), is momenteel ongeveer 25% tot 30% duurder dan reguliere diesel. De TCO zou daarmee ongeveer 15% tot 20% hoger uitkomen voor een trekker-oplegger die acht jaar lang 100.000 km/jaar rijdt (TNO 2021d). Hernieuwbare synthetische brandstoffen zijn momenteel nog niet beschikbaar.

Toekomstperspectief

Batterij-elektrische voertuigen

De ontwikkeling van de aanschafprijzen van BEVs is voor een groot deel afhankelijk van de ontwikkeling van de batterijprijzen. Deze batterijprijzen zullen naar de toekomst toe naar verwachting verder dalen door technologische ontwikkelingen en door toename van de productievolumes en de daarmee samenhangende toenemende schaalvoordelen en leereffecten (Nykvist 2019). Bloomberg New Energy Finance (BNEF) prognosticeert jaarlijks de wereldwijde cumulatieve vraag naar batterijcapaciteit voor elektrische vervoer en de batterijprijzen voor het zichtjaar 2030¹¹. Projecties van de afgelopen jaren tonen aan dat de kostendaling sneller gaat dan eerder voorzien. In 2015 werd de

¹¹ Batterijprijsontwikkeling: BloombergNEF (www.bnef.com)

verwachte prijs per kWh in 2030 geraamd tussen \$136 tot \$190. In 2022 is de verwachte kostprijs per kWh in 2030 gedaald naar \$77. Of de prijzen ook werkelijk zo snel zullen dalen blijft afhankelijk van verschillende factoren zoals de beschikbaarheid van grondstoffen, goed werkende aanvoerketens, eisen aan mijnen en productiefaciliteiten met betrekking tot milieu- en arbeidsomstandigheden en geopolitieke stabiliteit. Door andere vereisten aan de batterij zal de chemische samenstelling van batterijen voor vrachtwagens anders zijn dan voor personenauto's. Voor vrachtwagens zullen deze kosten met \$ 80/kWh in 2029 naar verwachting wat hoger zijn (TNO 2022). Batterijprijzen zullen hierna waarschijnlijk nog verder dalen. Door deze ontwikkeling van batterijen zal naar verwachting de actieradius van de voertuigen toenemen en/of zullen de aanschafprijzen van voertuigen afnemen.

Ondanks de sterke kostprijzdaling van batterijen is in de markt (Nederland en andere landen) tot nog toe slechts beperkt sprake van daling van catalogusprijzen van batterij-elektrische personenauto's (RVO 2023c). Dit duidt er op dat fabrikanten voorsnog investeren in de (door)ontwikkeling van de technische kenmerken. Naar verwachting zullen er de komende jaren steeds meer mogelijkheden voor fabrikanten ontstaan om de productiekosten en ontwikkelkostenopslag in de prijs te laten dalen, waardoor (ook) de aanschafprijzen kunnen gaan dalen (RVO 2023c). Hoewel voor alle autosegmenten geldt dat de kale aanschafprijs van batterij-elektrische personenauto's voorlopig nog hoger ligt ten opzichte van benzineauto's, geldt dat voor de consumentenprijzen (dus kale prijzen plus bpm en btw) de grotere segmenten eerder een kostenpariteit bereiken (rond 2025) (Heijnen 2023). Voor kleine segmenten is dit onder huidig fiscaal beleid later het geval, richting 2030, omdat binnen deze segmenten de bpm ook relatief laag is bij benzine personenauto's.

De ontwikkeling van de elektriciteitsprijzen is onzeker aangezien er grote veranderingen zullen zijn in zowel aanbod als vraag. Op termijn zal alle elektriciteit duurzaam moeten worden opgewekt en dit zal meer dan nu decentraal gebeuren, bijvoorbeeld middels PV op daken. De vraag naar elektriciteit zal ook sterk toenemen in andere sectoren en ook de plaats en tijd waarop deze nodig zal zijn, zal veranderen. In een gunstig scenario zou de elektriciteitsprijs in 2030 vergelijkbaar kunnen zijn met de prijzen in 2019 en 2020. In het minst gunstige geval zou hij tweemaal hoger kunnen zijn (PBL 2022).

De verwachting is dat ook de TCO van grotere batterij-elektrische vrachtvoertuigen binnen afzienbare tijd concurrerend zal worden, met name door de verwachte sterke afname in batterijprijzen. De verwachting is dat batterij-elektrische vrachtwagens tegen 2030 een lagere TCO zullen hebben dan hun diesequivalenten voor het overgrote deel van de vrachtwagenvloot (TNO 2022). Vanuit een maatschappelijk perspectief¹² zouden batterij-elektrische trucks ongeveer een jaar later de meest kosteneffectieve aandrijftechniek worden. Dit is later omdat in dit perspectief geen rekening wordt gehouden met subsidies en belastingen, die met de huidige regelingen en Nederland relatief gunstig zijn voor nulemissievrachtauto's. (TNO 2024b).

Zoals eerder in deze paragraaf beschreven, zullen batterij-elektrische vrachtwagens tegen het eind van dit decennium voldoende actieradius hebben om de inzet van hun diesequivalenten in grote

¹² Exclusief (directe) belastingen en subsidies op voertuigen en energiedragers en op basis van de volledige levensduur in plaats van enkel de eerste gebruiker.

mate te kunnen vervangen. Voor een gedeelte van de voertuigen geldt dan wel dat zij overdag zullen moeten snelladen op hoog vermogen (~500 kW).

Waterstofvoertuigen

De aanschafprijs van brandstofcelwaterstofvoertuigen ligt momenteel fors hoger dan die van volledig batterij-elektrische voertuigen. De kosten voor brandstofcellen zullen naar verwachting nog aanzienlijk dalen. Desalniettemin zullen de aanschafprijzen van vrachtwagens met deze technologie naar verwachting 10% tot 20% hoger zijn dan van batterij-elektrische voertuigen met een grote batterij (ca. 800 km actieradius) in 2040 (TNO 2022). Verschillende fabrikanten van zware vrachtoertuigen werken daarnaast aan waterstofverbrandingsmotoren (H₂-ICE). Deze zouden rond 2025 beschikbaar kunnen zijn. Op korte termijn zullen de productiekosten van H₂-ICE-voertuigen aanzienlijk lager zijn dan die van equivalente brandstofcelwaterstofvoertuigen, maar hoger dan die van dieselloertuigen. Doordat dieselloertuigen moeten worden uitgerust met duurder uitlaatgasbehandelingssystemen, zouden de productiekosten van H₂-ICE voertuigen tegen 2030 gelijk kunnen zijn aan die van equivalente dieselloertuigen (The ICCT 2022a) en daarna zelfs goedkoper.

De vraag naar duurzame waterstof zal naar verwachting ook komen uit andere sectoren dan mobiliteit, zoals de industrie, wat ten gunste komt van het schaalniveau waarop waterstof wordt geproduceerd en daarmee van de productiekosten. Tegelijkertijd kan de grote vraag naar (groene) waterstof ook leiden tot een hoge marktprijs. Aangezien er in andere sectoren (zoals de industrie) weinig tot geen alternatieven bestaan voor het gebruik van waterstof zal de betalingsbereidheid (*willingness-to-pay*) daar relatief hoog zijn. Zolang waterstof maar in beperkte mate beschikbaar is, zal de prijs daardoor waarschijnlijk hoog blijven. Naar verwachting zullen de productiekosten bij grootschalige productie tegen 2030 dalen tot 3,6 – 5,8 €/kg. Een combinatie van optimistische ontwikkelingen boven op de ondergrens van deze kostenprojectie zou kunnen leiden tot productiekosten van 2,5 en 3,6 €/kg (TNO 2021e). Distributie van waterstof is relatief duur door de lage energiedichtheid. Inclusief kosten voor distributie met tube-trailers zullen de kosten van waterstof bij het tankstation in 2030 tussen 5,3 en 7,5 €/kg bedragen (TNO 2023b). Ook bij lokale productie zal de prijs in die buurt liggen (TNO 2022). De marktprijs zal naar verwachting hoger liggen.

De TCO van waterstofbrandstofcelvoertuigen zal naar verwachting significant hoger blijven dan die van batterij-elektrische voertuigen. Voor specifieke toepassingen, zoals zwaar goederentransport of goederentransport over hele lange afstanden, zou de TCO vergelijkbaar kunnen worden met die van voertuigen op fossiele diesel (TNO 2022). H₂-ICE voertuigen zullen goedkoper zijn dan brandstofcelvoertuigen. Echter, door de iets lagere energie-efficiëntie van de voertuigen, zal de TCO van beide technologieën naar verwachting vergelijkbaar zijn. Lage waterstofprijzen zouden in het voordeel zijn van H₂-ICE vanwege het hogere energiegebruik.

Voertuigen op hernieuwbare brandstoffen

De chemische samenstelling van hernieuwbare brandstoffen is zeer vergelijkbaar met die van hun fossiele equivalenten. Ze kunnen daarom worden gebruikt in conventionele voertuigen met een verbrandingsmotor. 100% (geavanceerde) biobrandstoffen en hernieuwbare synthetische brandstoffen zullen waarschijnlijk duurder blijven dan fossiele diesel. De kosten van e-diesel zullen naar verwachting een factor 2,5 hoger zijn dan die van fossiele diesel in 2030. Voor biobrandstoffen zal het verschil aanzienlijk kleiner zijn. Voor beide brandstoffen geldt dat de marktprijs sterk zal worden beïnvloed door de vraag vanuit de lucht- en scheepvaart. Deze modaliteiten zullen bijdragen aan een grotere vraag en daardoor snellere opschaling, maar zijn tegelijkertijd concurrenten omdat er voor deze modaliteiten nauwelijks of geen andere CO₂-neutrale alternatieven zijn.

Doordat de productiekosten van e-diesel aanzienlijk hoger zullen liggen dan die van fossiele diesel, zal de TCO ook hoger liggen. Indien de brandstoffen hetzelfde worden belast, zal de TCO van trekker-opleggers op e-diesel rond 2040 ongeveer 20% hoger zijn dan wanneer er fossiele diesel zou worden gebruikt (TNO 2023b). Bij het gebruik van biobrandstoffen zal het verschil waarschijnlijk kleiner zijn.

4.5 Externe veiligheid

Het gebruik van andere energiedragers kan ook leiden tot een verandering in de externe veiligheidssituatie bij productie, transport, opslag, tanken en gebruik. In welke mate dit verandert, is voornamelijk afhankelijk van het type energiedrager en de wijze waarop deze wordt gedistribueerd en opgeslagen. In het geval van elektriciteit zit het grootste risico bij het doven van een accubrand. Ook bij het gebruik van waterstof bestaan er risico's zoals ontvlambaarheid en het explosiegevaar. Voor hernieuwbare brandstoffen zijn de risico's hetzelfde als voor hun fossiele of bio-equivalent. In het geval van diesel zijn deze risico's beperkt. Bij (e-)methanol zijn deze hoger vanwege de ontvlambaarheid ervan. Indien (e-)ammoniak zou worden gebruikt, zijn de risico's aanzienlijk hoger zijn omdat dit een zeer giftige stof is. Deze toepassing is daarom onwaarschijnlijk voor wegverkeer.

Ondanks dat de veiligheidsrisico's bij het gebruik van batterijen en waterstof hoger zijn dan die van diesel, lijken het momenteel geen showstoppers. Desalniettemin, is het van belang om hier op verschillende manieren aandacht aan te schenken. Het gaat dan om het opstellen en bijstellen van protocollen bij brand en onderzoek naar veiligere manieren om branden van voertuigen met batterijen te doven. Voor waterstof is de distributiemethode op termijn een belangrijk aspect omdat transport via pijpleidingen zal leiden tot veel beperktere veiligheidsrisico's dan transport via vrachtwagens.

4.6 Conclusie

Om tot klimaatneutraal wegverkeer te komen is de overstap naar alternatieve aandrijftechnologieën essentieel. Zoals eerder beschreven zijn elektriciteit, waterstof en duurzame brandstoffen (zijnde biobrandstoffen en hernieuwbare synthetische brandstoffen) de denkbare opties gegeven de huidige beleidscontext en de technologische ontwikkelingen. Een belangrijk nadeel van batterij-elektrische voertuigen is (vooralsnog) de relatief beperkte actieradius en lage snelheid waarmee kan worden geladen. Voor de andere indicatoren die zijn toegelicht in dit hoofdstuk (met uitzondering van externe veiligheid) geldt juist dat batterij-elektrische voertuigen de meest geschikte optie zijn. Gezien het huidige tempo waarin in BEV-technologie wordt geïnvesteerd en waarin prestaties en kosten van deze optie zich ontwikkelen, rijst de vraag welk aandeel van de voertuigvloot op termijn gebruik zal maken van een andere energiedrager dan elektriciteit. Hierbij speelt ook dat op termijn de concurrentie om duurzame energiedragers vanuit andere sectoren zal toenemen. Zo kan groene waterstof bijvoorbeeld (efficiënter) ingezet worden in de staalindustrie en zullen hernieuwbare brandstoffen hard nodig zijn in de lucht- en scheepvaart. Die (extra) vraag verhoogt enerzijds de kans op lagere productiekosten door schaalgrootte. Anderzijds zijn de alternatieven voor verduurzaming in deze sectoren naar verwachting beperkt. Als gevolg hiervan zal de betalingsbereidheid in deze sectoren relatief hoog zijn, wat de prijs van waterstof en hernieuwbare brandstoffen juist kan gaan opdrijven. Aangezien er in het wegvervoer wel alternatieve energiedragers zijn, kan dit een negatief effect hebben op de relatieve prijspositie van voertuigen op waterstof of hernieuwbare brandstoffen.

5 Beelden voor klimaatneutraal wegverkeer in 2050 en de paden er naar toe

In dit hoofdstuk worden de (globale) paden richting klimaatneutraal wegverkeer in 2050 beschreven. Deze paden zijn ontwikkeld om te verkennen hoe de transitie naar klimaatneutraal wegverkeer kan worden gerealiseerd vóór 2050, en welke uitdagingen dit met zich mee brengt. Dit zijn gepostuleerde toekomstbeelden en daarmee geen projecties op basis van te verwachten ontwikkelingen van beleid, kosten en technologieën. Wel zijn de paden getoetst op de technische haalbaarheid. Dit betekent dat er rekening is gehouden met de (verwachte) technologische ontwikkelingen en het (inter)nationale beleid per najaar 2023. De cijfers van gerealiseerde jaren tot en met 2022 zoals die bekend waren bij het opstellen van de KEV 2023 zijn gebruikt als startpunt. Naast de impact van deze toekomstpaden op bijvoorbeeld het energiegebruik en CO₂-uitstoot, gaat het hoofdstuk ook in op mogelijkheden tot versnelling van de CO₂-reductie. In de paden maken we onderscheid naar licht- en zwaar wegverkeer. Dit houdt in dat de paden voor het personen- en bestelverkeer zijn samengevoegd omdat deze in grote mate hetzelfde pad volgen, onder andere door een vergelijkbare beleidscontext en technologieroute.

5.1 Paden richting klimaatneutraal wegverkeer

In deze paragraaf lichten we de aannames toe die zijn gedaan om tot de paden richting klimaatneutraal wegverkeer te komen. Dat doen we eerst voor het lichte wegverkeer (personenauto's en bestelauto's) en daarna voor het zware wegverkeer (vrachtauto's en trekker-opleggers). Voordat de paden worden toegelicht, staan we stil bij de autonome ontwikkeling van mobiliteit richting 2050.

De ontwikkeling van mobiliteit naar 2050 toe is onzeker

De verdere ontwikkeling van het verkeersvolume richting 2050 is met onzekerheid omgeven. Om hiermee rekening te houden maken we gebruik van de WLO-scenario's (CPB & PBL 2015; PBL 2020). Deze scenario's zijn ontworpen als rustige groeipaden. Dat wil zeggen dat er geen forse beleidswijzigingen of disruptieve ontwikkelingen (zoals zelfrijdende voertuigen) in de scenario's zijn opgenomen. Ze geven een beeld van de trendmatige groei van de mobiliteit zoals die wordt verwacht, gegeven (trendmatige voorzetting van) huidig beleid, huidige voorkeuren en mobiliteitsgedrag en gegeven de onzekerheid over de toekomstige economische groei en bevolkingsontwikkeling.

WLO Hoog werkt met een hoge economische groei, relatief hoge bevolkingsgroei, hogere technologische ontwikkelingen en lagere energieprijzen. Zo wordt aangenomen dat de Nederlandse bevolking naar 20,7 miljoen in 2050 groeit, de economie met 2% per jaar groeit en dat er sprake is van een sterke groei van de wereld economie en internationale handel. Het aantal gereden kilometers van het wegverkeer groeit in dit scenario tussen 2018 en 2050 met ongeveer +50% (IMA 2021). In het scenario Laag groeit de Nederlandse bevolking minder hard, en is er na 2040 zelfs sprake van krimp.

Deze groei wordt gecombineerd met een gematigde economische groei (<1% per jaar) en een daarmee samenhangend beperkte groei van de wereldeconomie en internationale handel. De groei van de wegwijlen tussen 2018 en 2050 is in dit scenario dan ook beperkt (ongeveer +2%).

In beide scenario's wordt verondersteld dat nieuwe auto's zuiniger worden in gebruik, zowel conventionele auto's (t/m 2030) als BEVs (t/m 2050). Bij personenauto's ligt bij WLO Laag voor fabrikanten in eerste instantie het accent meer bij het zuiniger maken van conventionele auto's. Bij WLO Hoog is dat minder het geval en wordt er in sterkere mate ingezet op batterij-elektrisch.

Ook bij diesel bestel- en vrachtauto's wordt tot 2030 een verbetering verondersteld van de brandstofefficiëntie van nieuwe voertuigen. Deze verbetering is in beide scenario's identiek en bedraagt ongeveer 1,5 procent per jaar voor nieuwe bestelauto's en 1 procent voor nieuwe vrachtauto's. Voor nieuwe batterij-elektrische personen-, bestel- en vrachtauto's wordt t/m 2050 een geleidelijke verbetering in het energieverbruik verondersteld van gemiddeld ca. 1 procent per jaar.

De sluiting van kolencentrales en de overgang naar schonere energie heeft impact op het vervoersvolume door Nederland, m.n. het vervoer van brandstoffen. Daarnaast zet de dematerialisatie naar verwachting door, wat leidt tot een vermindering van het aandeel van verpakkingen in het transport. De kostenefficiëntie van goederentransport over de weg neemt toe onder andere door een groeiend aandeel lange voertuigen (trekker met oplegger en LZV), een trend die al langer gaande is. In de WLO-paden zijn reeds verbeteringen aangenomen in de logistieke efficiëntie. In het WLO-scenario Hoog loopt de aangenomen efficiëntiewinst door LZVs op tot 20% in 2050, terwijl deze efficiëntiewinst beperkt blijft tot 5% in WLO-scenario Laag. Daarnaast zijn efficiëntiewinsten verondersteld die tot stand komen door hogere beladingsgraden (tot 5% in Hoog en 2,5% in Laag) en een lager percentage lege voertuigen (5% in Hoog en 2,5% in Laag). Andere relevante ontwikkelingen zijn de modal shift voor het containervervoer op de Maasvlakte van de weg naar het spoor en de binnenvaart, en de bouw van nieuwe terminals waar goederen van de ene op de andere vervoerwijze kunnen worden overgezet. Ook is in de volumeontwikkeling op basis van de WLO scenario's rekening gehouden met de vrachtwagenheffing. De groei van het totaal aantal ritten in het wegvervoer is minder sterk dan de groei in het aantal vervoerde tonnen als gevolg van de veronderstelde ontwikkelingen in de logistieke organisatie: hogere beladingsgraden en efficiëntiewinst door de inzet van zware vrachtoertuigen (IMA 2021).

5.1.1 Licht wegverkeer

Bij licht wegverkeer is zoals beschreven in hoofdstuk 4 de verwachting dat batterij-elektrische aandrijving (BEV) de dominante oplossing wordt. Vanuit kostenoogpunt (TCO) zijn BEVs al op korte termijn concurrerend met conventionele auto's. Een belangrijke randvoorwaarde voor de instroom van BEVs is dat de laadinfrastructuur in de pas loopt met de ingroei van BEVs en dat deze auto's voldoende beschikbaar zijn (zie hoofdstuk 4). Als optie achter de hand gaan we uit van bio- en/of synthetische brandstoffen. Bovendien kunnen deze brandstoffen de komende decennia ook extra worden ingezet om versneld CO₂ te reduceren. Deze brandstoffen zijn met relatief weinig aanpassingen in het huidige systeem toe te passen, maar zijn relatief kostbaar in vergelijking met elektriciteit en zijn waarschijnlijk harder nodig voor de verduurzaming van andere vervoerswijzen.

Aannames voor de paden

De weg naar nulmissie voor licht wegverkeer kan op veel verschillende manieren en snelheden worden vormgegeven. We schetsen twee paden richting nulmissie in 2050. Het eerste toekomstpad werkt toe naar een eindbeeld waarin alle voertuigen in het park BEVs zijn. In dit pad zijn, in lijn

met de ambitie van de kabinetten Rutte-III en Rutte-IV, alle nieuwverkopen vanaf 2030 batterij-elektrisch en worden de resterende conventionele voertuigen in de vloot tussen 2040 en 2050 versneld vervangen door BEVs. In het tweede pad komt de elektrificatie trager op gang en zijn de nieuwverkopen vanaf 2035 volledig batterij-elektrisch, in lijn met de aangescherpte Europese CO₂-normen voor nieuwe lichte voertuigen. De resterende conventionele voertuigen rijden in 2050 volledig op bio- of synthetische brandstoffen.

In beide paden neemt de energie-efficiëntie van nieuwe conventionele voertuigen na 2030 niet verder toe. We veronderstellen dat autofabrikanten zich vanaf dat moment volledig focussen op de doorontwikkeling van BEVs en niet meer investeren in optimalisatie van verbrandingstechnologie. De energie-efficiëntie van BEVs neemt nog wel toe in de paden. Deze en eerder beschreven aannames in de beide paden staan samengevat in Tabel 5.1.

Tabel 5.1
Belangrijke parameters in de beide paden voor licht wegverkeer

Belangrijke parameters van de paden	Toekomstpad 1	Toekomstpad 2
100% nieuwverkopen BEV vanaf het jaar	2030	2035
Versneld bijmengen van bio- of synthetische brandstoffen tot 100% in 2050	nee	ja
Efficiëntieverbetering nieuwe fossiele voertuigen	tot 2030	tot 2030
Efficiëntieverbetering nieuwe batterij-elektrische voertuigen	20%	20%
Efficiëntieverbetering nieuwe waterstofvoertuigen	n.v.t.	n.v.t.
Versneld vervangen conventionele auto's 2040-2050	ja	nee

Zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven houden we in de paden rekening met de onzekerheid in de verdere demografische en economische ontwikkeling aan de hand van de WLO-scenario's. In combinatie met de huidige beleidscontext, voorkeuren en mobiliteitsgedrag leidt dat tot een bepaalde bandbreedte in de trendmatige ontwikkeling van de toekomstige verkeersvolumes en omvang van het autopark (CPB & PBL 2015 en PBL 2020).

In de scenario's van de WLO is al rekening gehouden met de verandering van de autogebruikskosten en het effect daarvan op de kilometers als gevolg van de in die scenario's aangenomen ontwikkelingen in voertuigen en energiedragers. Voor de toekomstpaden die in deze studie worden geschetst zijn additionele kostenverlagingen te verwachten door een nog groter aandeel elektrisch gereden kilometers. Het additionele effect daarvan zou, uitgaande van de kostengevoeligheden onder diesel- en benzinerijders kunnen leiden tot een stijging van 5 tot 10 procent van de gereden personenautokilometers ten opzichte van de WLO-scenario's. Het additionele effect is naar verwachting kleiner bij bestelauto's omdat zakelijk verkeer over het algemeen minder sterk gevoelig is voor kostenveranderingen.

Deze ontwikkelingen zijn echter nog onderwerp van huidig onderzoek. Vanwege de grote mate van onzekerheid over de omvang van dit zogeheten reboundeffect is er voor gekozen om additionele volume-effecten niet mee te nemen in de volumeontwikkeling voor de toekomstpaden in deze studie. De toekomstpaden hebben reeds een bruikbare grootte van de bandbreedte op basis van de WLO scenario's. Ook is het denkbaar dat op termijn maatregelen worden getroffen om meer het

autogebruik (in plaats van bezit) te belasten¹³, waardoor het kostenverschil en daarmee het reboundeffect kleiner uit kan vallen.

De ontwikkeling richting 2050 in de omvang van het park en de kilometers, zoals die wordt aangehouden in de paden, staat weergegeven in Tabel 5.2.

Tabel 5.2

Aangenomen ontwikkeling van de omvang van het wagenpark en de gereden kilometers door lichte voertuigen

Licht wegverkeer	2018	2050 Groei Hoog	2050 Groei Laag
Omvang wagenpark [mln voertuigen]	9,3	38%	13%
Gereden kilometers [mld km]	129	61%	1%

Toekomstpad 1: Ambitieuze groei nulemissievloot

Het eerste toekomstpad veronderstelt een volledig batterij-elektrisch wagenpark in 2050. Om deze verregaande elektrificatie te bewerkstelligen, rekenen we met 100% batterij-elektrische nieuwverkopen vanaf 2030 voor personenauto's, in lijn met de kabinetsambitie van demissionair kabinet Rutte IV. Voor bestelauto's doen we dezelfde aanname. Hoewel dat niet expliciet het doel was van het kabinet Rutte-IV, is er wel veel beleid in gang gezet gericht op snelle instroom van nulemissiebestelauto's, waaronder de verhoging van de aanschafbelasting voor nieuwe dieselveertuigen, de subsidie voor nulemissiebestelauto's en de nulemissiezones voor logistiek in de binnensteden (zie ook paragraaf 2.2).

Rekening houdend met de leeftijdsopbouw van het wagenpark en met de autonome verjonging van het wagenpark zou bij volledige nulemissie nieuwverkopen vanaf 2030 nog zo'n tien procent van het autopark in 2050 conventioneel zijn (zie ook paragraaf 3.1). Deze oude auto's rijden weliswaar relatief weinig kilometers meer in 2050, maar het gaat naar verwachting nog steeds om een substantieel aantal (ruim één miljoen). In dit toekomstpad gaan we er van uit dat deze voertuigen tot 2050 versneld worden afgeschreven, bijvoorbeeld door stimuleringsbeleid of een sloopregeling, en er in 2050 een (vrijwel) volledig batterij-elektrisch wagenpark resulteert.

Een volledig batterij-elektrisch wagenpark in 2050 is niet realistisch. Al was het maar vanwege oldtimers die een grote waarde vertegenwoordigen en niet zomaar vervangen worden. Er zal waarschijnlijk ook (ver) na 2050 een kleine hoeveelheid (hernieuwbare) brandstof nodig zijn om dit deel van het autopark aan te drijven. Op het totale energiegebruik van het autopark gaat het echter om een minimaal aandeel, daarom rekenen we in dit pad enigszins gestileerd met alleen elektrische aandrijving in 2050.

Figuur 5.1 illustreert dat het aandeel nulemissievoertuigen in de nieuwverkopen na 2040 groter is dan honderd procent vanwege de uitfasering van de conventionele voertuigen. Er worden dan dus

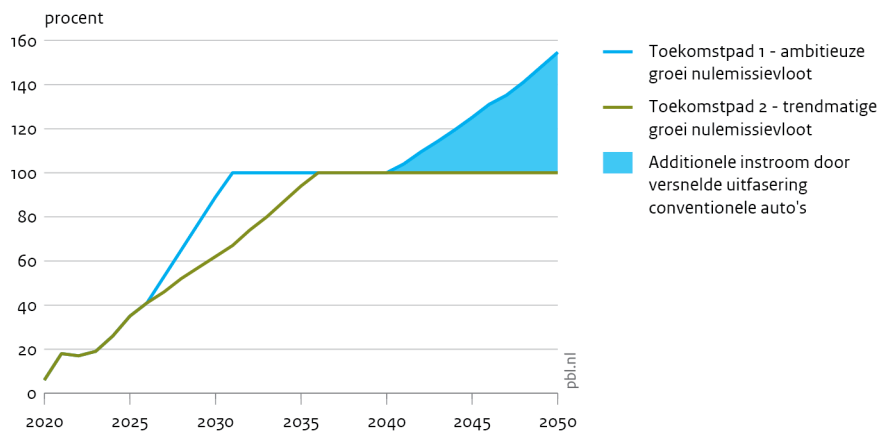
¹³ Een voorbeeld hiervan is het invoeren van een systeem van Betalen naar Gebruik dat door het demissionaire kabinet Rutte-IV op de agenda was gezet.

meer nieuwe voertuigen gekocht dan in toekomstpad 2. De bijmenging van hernieuwbare brandstoffen is in dit pad gelijk verondersteld aan die in de KEV 2022. Door een vast bijmengpercentage (ongeveer 7%) te veronderstellen, daalt de absolute inzet van bio- en/of synthetische brandstoffen in lijn met de afname van het gebruik van fossiele brandstoffen. In 2050 er geen inzet van deze brandstoffen omdat het hele wagenpark dan verondersteld is elektrisch te rijden.

Figuur 5.1

Instroom nulemissievoertuigen in licht wegverkeer

Ten opzichte van totaal aantal nieuwverkopen in toekomstpad 2



Bron: PBL & TNO

Waarden hoger dan 100% betekenen dat er versneld wordt vernieuwd. Het aantal nieuwe registraties ligt daardoor hoger dan er bij natuurlijke vervanging zouden worden verkocht.

Toekomstpad 2: Trendmatige groei nulemissievloot

In het tweede toekomstpad komt de elektrificatie van het wagenpark later op gang en is het autopark in 2050 niet volledig batterij-elektrisch. Vanaf 2035 zijn alle nieuwverkopen van personen- en bestelauto's elektrisch, in lijn met het huidige Europese bronbeleid. Tot aan deze jaren verloopt de diffusie van elektrische aandrijftechnologie minder snel dan in toekomstpad 1 (zie figuur 5.1). Daarentegen is in dit pad wel een grotere inzet van hernieuwbare brandstoffen verondersteld dan in het eerste pad.

Het kabinet Rutte-IV was ook voornemens om de inzet van hernieuwbare brandstoffen in het wegverkeer te verhogen, zoals is aangekondigd in de Voorjaarsnota 2023. Concreet is in dit pad de inzet van hernieuwbare brandstoffen zo gekozen dat een vergelijkbaar CO₂-reductietempo wordt gerealiseerd als met het eerste toekomstpad. Dit resulteert uiteindelijk in een volledig hernieuwbare brandstofplas in 2050.

5.1.2 Zwaar wegverkeer

Ten opzichte van de lichte voertuigen is bij de categorie zware vrachtvoertuigen minder duidelijk hoe groot de rol van verschillende technologieën zal zijn. Zoals toegelicht in paragraaf 3.1 zullen batterij-elektrische aandrijvingen naar verwachting de laagste TCO hebben van alle CO₂-neutrale aandrijftechnieken voor zware vrachtvoertuigen. Op basis van staand beleid en breed geaccepteerde projecties van batterij- en energieprijzen zullen batterij-elektrische zware vrachtvoertuigen op middellange termijn zelfs een lagere TCO hebben dan equivalente dieselveertuigen. Dit omslagpunt ligt naar verwachting tussen 2028 en 2035 afhankelijk van het type voertuig en de wijze

waarop de voertuigen worden ingezet.¹⁴ De actieradius van batterij-elektrische zware vrachtoertuigen zal op termijn naar verwachting voldoende zijn voor het overgrote deel van de toepassingen in Europa. Voertuigen die voor meer veeleisende ritten worden gebruikt (hoge dagkilometrages, bergritten of zware lading) zullen moeilijker één-op-één te vervangen zijn door elektrische voertuigen.

Hiervoor zijn verschillende oplossingen mogelijk, zoals:

- Andere wijze van elektriciteitsvoorziening, bijvoorbeeld ‘electric road systems’ (elektrische bovenleidingen) of batterijwisselstations;
- Logistieke oplossingen zoals *modal shift* naar trein of water, ritten opdelen of het wisselen van de trekker voor de oplegger;
- De inzet van andere energiedragers (zoals waterstof of biobrandstoffen/e-fuels).

Om batterij-elektrische vrachtoertuigen in te kunnen zetten op de ritten die zij zonder aanzienlijke logistieke aanpassingen zouden kunnen rijden, dient aan een aantal uitdagende randvoorwaarden te worden voldaan. Zo dienen er voldoende batterij-elektrische zware vrachtoertuigen beschikbaar te zijn en voldoende (hoog vermogen) laadinfrastructuur. Bovendien zal het inpassen van batterij-elektrische zware vrachtoertuigen in uitdagende inzettypen, bijvoorbeeld langeafstandsritten met twee chauffeurs, een moeilijke opgave zijn. Het is nog zeer onzeker of er tijdig aan al deze voorwaarden zal worden voldaan. Hierdoor is het ook onzeker welk deel van de vloot zware vrachtoertuigen een batterij-elektrische aandrijving zal kunnen hebben.

Aannames voor de paden

Zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven houden we in de paden rekening met onzekerheden in de verdere demografische en economische ontwikkeling aan de hand van de WLO-scenario’s. In combinatie met de huidige beleidscontext leidt dat tot een bepaalde bandbreedte in de toekomstige verkeersvolumes (IMA 2021). Met de ontwikkeling van de jaarkilometrages conform de KEV 2022 resulteert de ontwikkeling van de omvang van het vrachtwagenpark. De ontwikkeling richting 2050 in de omvang van het park en de kilometers, zoals wordt aangehouden in de paden, staat weergegeven in Tabel 5.3.

Tabel 5.3

Aangenomen ontwikkeling van de omvang van het wagenpark en gereden kilometers door zware voertuigen

Zwaar wegverkeer	2018	2050	
		Groei Hoog	Groei Laag
Omvang wagenpark [mln voertuigen]	0,13	38%	-3%
Gereden kilometers [mld km]	7,3	59%	8%

Voor deze studie zijn twee paden gepostuleerd voor zware wegvoertuigen met betrekking tot de ingroei van nieuwe aandrijftechnologieën en de hoeveelheid gebruikte duurzame ‘drop-in’

¹⁴ Indien de ontwikkeling van de batterijprijs, de elektriciteitsprijs of de dieselprijs (inclusief belastingen) afwijken van deze projecties, zou het omslagpunt eerder of later kunnen liggen.

brandstoffen. Voor beide paden is nog een variant uitgewerkt. Een belangrijk uitgangspunt is dat een CO₂-gedifferentieerde vrachtwagenheffing wordt ingevoerd. De paden zijn zo gekozen dat de vrachtwagensector in 2050 netto geen CO₂ meer uitstoot.

In het eerste toekomstpad is uitgegaan van een snelle ingroei van nulmissievoertuigen. Er is aangenomen dat alle nieuwverkochte vrachtwagens vanaf 2037 nulmissie zullen zijn. Eventuele resterende dieselveertuigen worden versneld vervangen zodat de volledige vrachtwagenvloot in 2050 bestaat uit nulmissievoertuigen. Hierdoor zijn er in 2050 geen hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen meer nodig. Deze nulmissievoertuigen zijn allen batterij-elektrisch. In de variant op dit pad is een toekomstpad gepostuleerd waarin een deel van de nulmissievoertuigen rijdt op waterstof.

In het tweede toekomstpad is aangenomen dat 100% nieuwverkopen van nulmissievoertuigen rond 2040 wordt bereikt, in lijn nationale ambitie (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat 2023). De ingroei van nul-emissievoertuigen is in dit pad daarom wat langzamer dan in de eerste pad. De ingroei van nulmissievoertuigen is in dat geval iets sneller dan de verwachtingen van fabrikanten zoals gepresenteerd in paragraaf 3.1. Eventueel resterende voertuigen met een verbrandingsmotor maken in dit pad in 2050 gebruik van 100% hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen. Er is aangenomen dat de hoeveelheid benodigde energie in de vorm van hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen zich zo zal ontwikkelen dat de CO₂-uitstoot in elk jaar gelijk is aan die van het eerste pad. Ook bij het tweede pad geldt dat is aangenomen dat alle nulmissievoertuigen gebruik maken van een batterij-elektrische aandrijving en dat er een variant is uitgewerkt waarbij een deel van de nulmissievoertuigen rijdt op waterstof.

Zoals genoemd in de introductie van dit hoofdstuk zijn er in de WLO al volumeverminderingseffecten opgenomen als gevolg van de verwachte inzet van langere vrachtwagens, hogere beladingsgraden en minder lege vrachtwagens. Er is daarom voor gekozen om geen extra effect bovenop de in de WLO aangenomen efficiëntieverbetering in te boeken vanwege het mogelijke reboundeffect zoals besproken in paragraaf 3.3.

In een meer duurzame en circulaire economie zal minder transport nodig zijn van fossiele producten zoals olie. Deze afname zal echter gedeeltelijk teniet worden gedaan door het transport van duurzame energiedragers. Ook zullen er waarschijnlijk minder materialen en producten worden vervoerd omdat er meer gerecycled wordt. Eventuele volumevermindering als gevolg van een meer duurzame en circulaire samenleving is echter niet gekwantificeerd en dus niet meegenomen in deze paden.

Het energiegebruik van vrachtwagens met verschillende aandrijflijnen, en de verbeteringen die hierin worden verwacht, zijn overgenomen van een recente studie waarin het energiegebruik van vrachtwagens met verschillende aandrijftechnieken is gemodelleerd (TNO 2022).

Toekomstpad 1a: 100% BEV in 2050

Zoals toegelicht in paragraaf 4.4 zullen batterij-elektrische vrachtauto's op termijn naar verwachting de goedkoopste aandrijftechnologie zijn en zullen zij voldoende actieradius hebben om dieselveertuigen bijna één-op-één te kunnen vervangen. Om die reden is in toekomstpad 1a gekozen voor een volledig batterij-elektrische vrachtwagenvloot in 2050. Hiervoor is aangenomen dat 65% van de nieuwverkopen batterij-elektrisch in 2030 en (bijna) 100% vanaf 2037. Zonder extra maatregelen leiden deze nieuwverkopen niet tot een volledig batterij-elektrische vloot in 2050. Er is daarom aangenomen dat de resterende ICEVs versneld worden vervangen door batterij-elektrische

equivalenten om toch tot een volledig batterij-elektrische vloot te komen in 2050, zie figuur 5.2. Dit betreft ongeveer 15.000 vrachtwagens. Het aandeel duurzame 'drop-in' brandstoffen loopt in dit pad op van 5,8% in 2020 tot 13,5% in 2030 om daarna gelijk te blijven.

Toekomstpad 1b: 100% BEV+H₂ in 2050

Zoals toegelicht in paragraaf 3.1, dient er aan een aantal moeilijk te realiseren randvoorwaarden te worden voldaan om de snelle ingroei van batterij-elektrische voertuigen goed te faciliteren. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de beschikbaarheid van infrastructuur, beschikbaarheid van kritieke materialen, productiecapaciteit van batterijen voor wegvoertuigen en het inpassen van laadsessies in de logistieke voertuiginzet. Indien het niet mogelijk blijkt om aan al deze voorwaarden te voldoen, zal de ingroei van batterij-elektrische voertuigen achter blijven. In toekomstpad 1b is gaan we er van uit dat de ingroei van nul-emissievoertuigen even snel zal verlopen als in toekomstpad 1a, maar is aangenomen dat 20% van de nieuw verkochte voertuigen zal bestaan uit waterstofvoertuigen. Dit representeert de situatie waarin het niet lukt om aan alle randvoorwaarden te voldoen om de hele vloot te elektrificeren. Er is aangenomen dat de waterstofvoertuigen allemaal trekker-opleggers zullen zijn omdat de uitdaging van elektrificatie bij deze categorie het grootst zal zijn. Bovendien is aangenomen dat deze voertuigen 120.000 kilometers per jaar rijden en daarmee aanzienlijk meer dan de 70.000 kilometers die trekker-opleggers gemiddeld rijden. In dit toekomstpad rijdt bijna 20% van de vloot op waterstof in 2050. Ook in dit pad zullen ongeveer 15.000 vrachtwagens vervroegd moeten worden vervangen.

Toekomstpad 2a: 90% BEV in 2050 aangevuld met hernieuwbare brandstoffen

In toekomstpad 2a is aangenomen dat batterij-elektrische trucks langzamer ingroeien dan in pad 1a, zie Figuur 5.2. In dit pad bestaat ongeveer 50% van de nieuwverkopen in 2030 uit batterij-elektrische vrachtwagens. Alle zware vrachtvoertuigen die gedeeltelijk in steden rijden zullen volledig elektrisch rijden in 2030, om te kunnen voldoen aan de eisen van de nul-emissiezones. Het deel van de vloot dat niet in steden rijdt, decarboniseert langzamer.

Tot 2030 is de ingroei zo gekozen dat het iets hoger uitkomt dan de ambities van fabrikanten omdat de introductie van de nationale CO₂-gedifferentieerde vrachtwagenheffing waarschijnlijk zal leiden tot een snellere ingroei dan het EU gemiddelde. Vervolgens is (bijna) 100% van de nieuwverkopen batterij-elektrisch vanaf 2040, in lijn met de ambities van de rijksoverheid (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat 2023). Dit leidt tot 20.000 tot 25.000 elektrische vrachtwagens in 2030. In 2050 bestaat 90% van de vloot uit BEVs.

Zelfs bij deze snelle ingroei, zal in 2050 niet de volledige vloot bestaan uit nul-emissievoertuigen. Om toch een volledig klimaatneutrale vrachtwagensector te realiseren is in dit toekomstpad aangenomen dat de resterende ICEVs in 2050 gebruik maken van duurzame 'drop-in' brandstoffen. Om toekomstpad 2 vergelijkbaar te maken met pad 1, is ervoor gekozen om zoveel hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen in te zetten dat de CO₂-emissies in ieder jaar hetzelfde zijn als die in pad 1.

Toekomstpad 2b: 90% BEV+H₂ in 2050 aangevuld met hernieuwbare brandstoffen

In dit toekomstpad groeien nul-emissievoertuigen even snel in als in pad 2a, maar er is aangenomen dat 20% van de nieuw verkochte nul-emissievoertuigen zal rijden op waterstof. De aannames van waterstofvoertuigen ten aanzien van het jaarkilometrage zijn hetzelfde als in pad 1b, namelijk 120.000 kilometer per jaar.

Van de 20.000 tot 25.000 nul-emissievoertuigen in 2030 rijden er in dit pad 2.200 tot 3.000 trekkeropleggers op waterstof. In 2050 zijn er dat 18.000 tot 29.000. Tezamen gebruiken zij in dat jaar 16 tot 25 PJ waterstof.

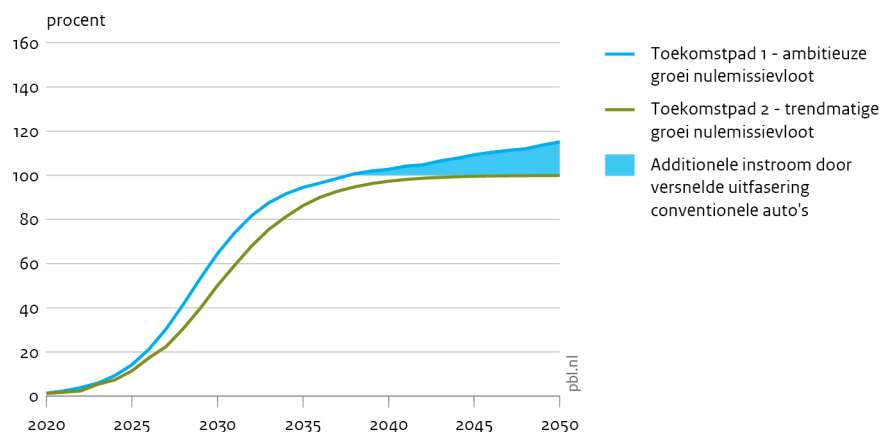
Tabel 5.4
Belangrijke parameters in de beide paden voor zwaar wegverkeer

Toekomstpad	1a	1b	2a	2b
100% nieuwverkopen BEV vanaf het jaar	2037	2037	2040	2040
Versneld bijmengen van bio- of synthetische brandstoffen tot 100% in 2050	nee	nee	ja	ja
Efficiëntieverbetering nieuwe fossiele voertuigen	tot 2030	tot 2030	tot 2030	tot 2030
Efficiëntieverbetering nieuwe batterij-elektrische voertuigen	20%	20%	20%	20%
Efficiëntieverbetering nieuwe waterstofvoertuigen	17%	17%	17%	17%
Versneld vervangen conventionele voertuigen 2040-2050	ja	ja	nee	nee

Figuur 5.2

Instream nulemissievoertuigen in zwaar wegverkeer

Ten opzichte van totaal aantal nieuwverkopen in toekomstpad 2



Bron: PBL & TNO

Waarden hoger dan 100% betekenen dat er versneld wordt vernieuwd. Het aantal nieuwe registraties ligt daardoor hoger dan er bij natuurlijke vervanging zouden worden verkocht.

5.2 Effecten van de paden naar klimaatneutraal 2050

In deze paragraaf schetsen we de energiebehoefte en de resulterende CO₂-uitstoot van beide paden voor het wegverkeer waarbij lichte en zware voertuigen zijn gecombineerd. Vervolgens duiden

we de impact van de paden op de kosten, de resulterende behoefte aan laadinfrastructuur en de tweede orde effecten van de paden.

5.2.1 Energiebehoefte per energiedrager

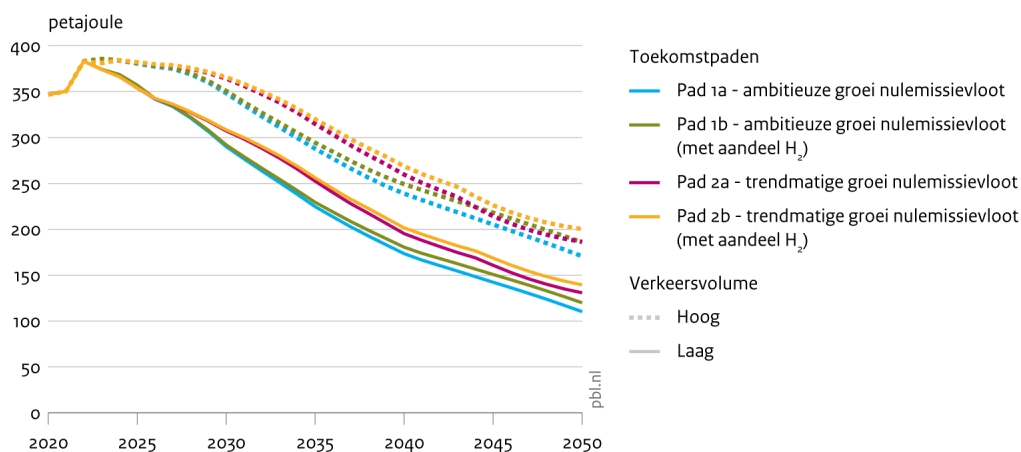
Figuur 5.3 schetst de ontwikkeling van de energievraag door het wegverkeer in beide paden, waarbij onderscheid is gemaakt tussen lage en hoge groei van de verkeersvolumes. De groeipaden voor de verkeersvolumes zijn afgeleid van de WLO-scenario's Hoog en Laag, zoals hiervoor is toegelicht.

De figuur laat zien dat de energievraag in beide varianten fors afneemt, ongeacht het groeitempo van de verkeersvolumes. In het totaal is de energievraag in 2050 ongeveer gehalveerd ten opzichte van 2019. Dit komt doordat de batterij-elektrische voertuigen en waterstofvoertuigen minder energie gebruiken per gereden kilometer dan equivalente dieselveertuigen en de energie-efficiëntie van deze voertuigen ook nog toeneemt.

Bovendien is aangenomen dat de energie-efficiëntie van de conventionele voertuigen toeneemt tot 2030. Na 2030 zal dit naar verwachting beperkt zijn omdat de benodigde investeringen zich steeds moeilijk zullen terugbetalen door het afnemende aantal verkochte benzine- en dieselveertuigen. Dit verschil in efficiëntie verklaart ook het verschil in energiegebruik tussen beide paden.

In het pad met een volledig batterij-elektrisch wagenpark in 2050 (toekomstpad 1) ligt het energiegebruik zo'n tien tot vijftien procent lager dan in het pad waarin een deel van de vloot gebruikt van hernieuwbare brandstoffen (toekomstpad 2). In stippellijnen is ook de energievraag weergegeven in de variant waarin een deel van het vrachtopark op waterstof rijdt. Ook dit resulteert in een iets hogere energievraag vanwege het lagere energierendement van deze aandrijflijn.

Figuur 5.3
Energievraag van het wegverkeer in de toekomstpaden

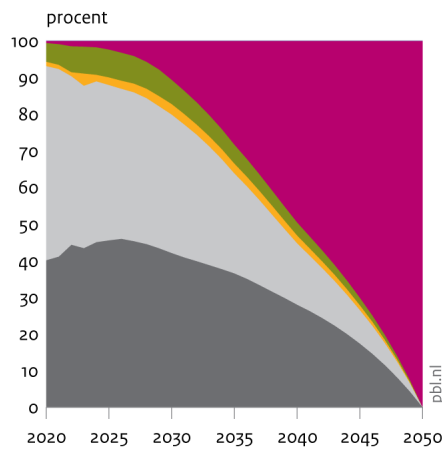


Bron: PBL & TNO

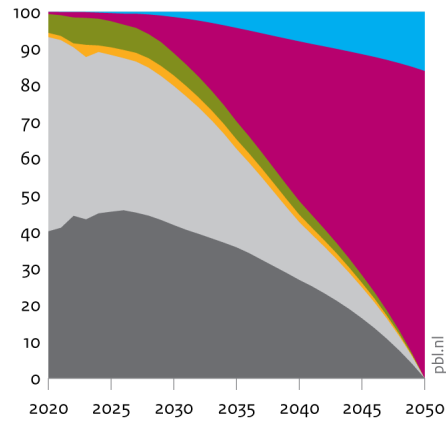
Figuur 5.4

Energiegebruik van wegverkeer in de toekomstpaden

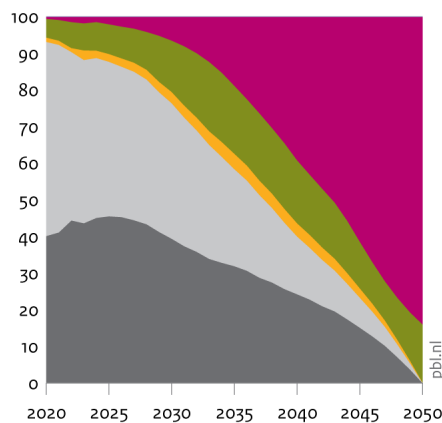
Pad 1a - ambitieuze groei nulemissievloot



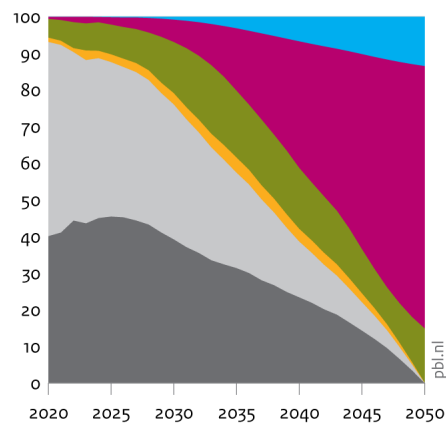
Pad 1b - ambitieuze groei nulemissievloot (met aandeel H₂)



Pad 2a - trendmatige groei nulemissievloot



Pad 2b - trendmatige groei nulemissievloot (met aandeel H₂)



Bron: PBL & TNO

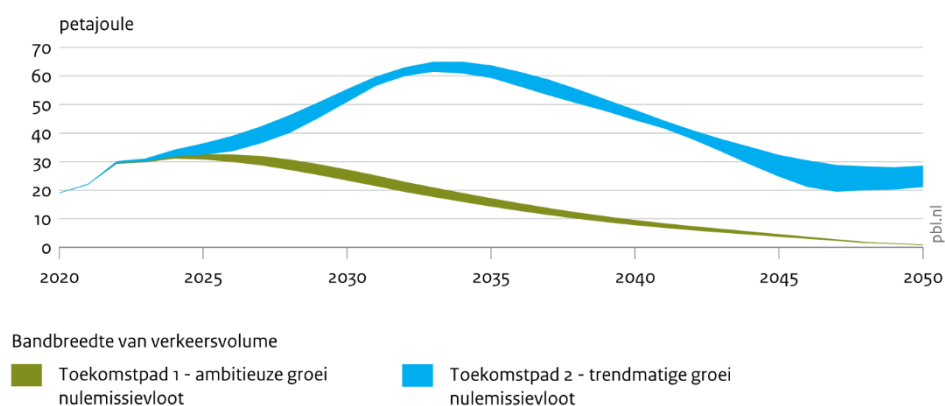
Figuur 5.4 geeft de mix van energiedragers in beide paden weer, inclusief de varianten mét en zonder waterstofaandrijving in het zware vrachtverkeer. Zoals is toegelicht in paragraaf 5.1 spelen hernieuwbare brandstoffen in het eerste toekomstpad een relatief kleine rol. In dit pad wordt het hele wagenpark in 2050 batterij-elektrisch of met waterstof aangedreven. Het gebruik van benzine en diesel neemt na 2030 snel af; een steeds groter deel van het park gaat bestaan uit nulemissievoertuigen.

In het tweede toekomstpad spelen hernieuwbare brandstoffen een grotere rol tot 2050 en blijven ze ook in 2050 nodig om het laatste deel van het wagenpark te verduurzamen (Figuur 5.4). Bij dit pad is zichtbaar dat de vraag naar de brandstoffen groter blijft dan in het eerste toekomstpad, maar dat het fossiele brandstofgebruik sneller afneemt door het relatief grotere gebruik van bio-

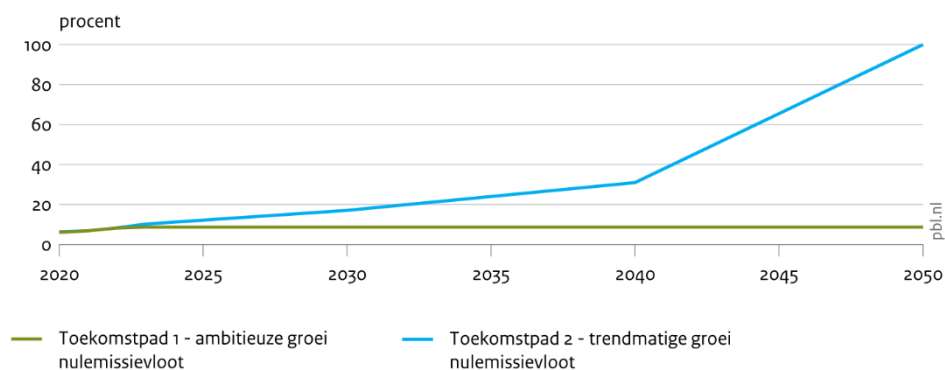
en/of synthetische brandstoffen. Voor beide paden geldt dat onder andere door de inertie van het systeem (paragraaf 3.1) de transitie naar nulmissie tijd vergt.

Figuur 5.5 schetst ten slotte de inzet van hernieuwbare brandstoffen in de beide paden. In het eerste toekomstpad neemt die inzet gestaag af tussen 2025 en 2050. In het tweede pad neemt de behoefte eerst toe en ligt die ook op langere termijn hoger omdat het CO₂-reductietempo in beide paden identiek is verondersteld. Een lagere inzet van deze energiedragers rond 2030, zou het doel van nul CO₂-emissies in 2050 niet onhaalbaar maken, maar zou wel leiden hogere cumulatieve CO₂-emissies in de periode tot 2050.

Figuur 5.5
Energievraag voor bio- en/of synthetische brandstof



Aandeel bio- en synthetische brandstof in energiegebruik van conventionele voertuigen



Bron: PBL & TNO

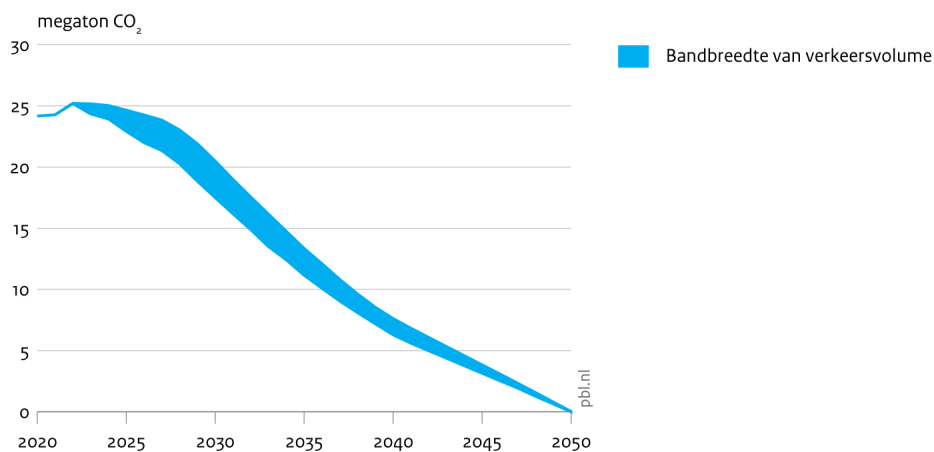
5.2.2 Emissies

De paden hebben alle als eindbeeld nul CO₂-emissies in 2050. Maar zoals in de inleiding is toegelicht is het tempo waarmee de uitstoot van broeikasgassen wordt teruggebracht uiteindelijk bepalend of de Parijsafspraken worden gehaald, niet het emissieniveau in 2050. Figuur 5.6 schetst het emissiereductietempo voor wegverkeer zoals dat resulteert uit de beide paden. De bandbreedte geeft de onzekerheid weer in de groei van het verkeersvolume. De hoeveelheid gebruikte 'drop-in' brandstoffen in toekomstpad 2 is zo gekozen dat de jaarlijkse CO₂-reductie gelijk is aan die in toekomstpad 1. De bandbreedte in de CO₂-uitstoot verschilt daarom alleen tussen het hoge en het lage WLO-scenario en verschilt daarom niet tussen de twee verschillende paden.

Uit deze paden volgt dat in de eerste jaren de CO₂-reductie trager gaat dan in de latere jaren. Dit heeft te maken met de ingroei van nulmissievoertuigen in de nieuwverkopen en de inertie van het systeem. In de eerste jaren zijn er nog minder nulmissievoertuigen en worden er nog minder hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen bijgemengd. In de latere jaren neemt het aandeel hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen toe en groeit het aantal nulmissievoertuigen in de vloot harder. Deze reductie geeft niet het maximaal haalbare pad weer. In Paragraaf 5.3 zijn nog versnellingsopties geschetst en in Hoofdstuk 6 worden ook handelingsperspectieven genoemd om tot grotere CO₂-reductie te komen.

Figuur 5.6

CO₂-emissies door wegverkeer



Bron: PBL & TNO

De inzet van nulmissievoertuigen en het verminderen van gereden kilometers door voertuigen met een verbrandingsmotor leidt ook een verbetering van de luchtkwaliteit en tot minder geluidsoverlast. Luchtkwaliteitsverbeteringen zullen voornamelijk merkbaar zijn in de stedelijke omgeving waar wegvoertuigen een belangrijk aandeel hebben in luchtverontreiniging. Aangezien bij hoge snelheden het geluid van banden sterker is dan dat van de aandrijving, zal het effect van stillere aandrijvingen vooral merkbaar zijn bij lage snelheden en daarmee binnen de bebouwde kom. De effecten op luchtverontreinigende en geluidemissies zijn hier niet gekwantificeerd.

5.2.3 Kosten

De kosten van de gepostuleerde paden zijn niet hetzelfde. In deze verkenning zijn de totale kosten van de paden niet bepaald. Desalniettemin kunnen er wel kwalitatieve uitspraken worden gedaan. Zo zullen de kosten vanuit maatschappelijk perspectief (kosten voor eindgebruikers exclusief belastingen) van het rijden met batterij-elektrische trucks naar alle waarschijnlijkheid lager zijn dan die op andere energiedragers, zoals fossiele diesel, waterstof of hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen (TNO 2023b; TNO 2022). Een scenario met een hoger aandeel BEV zal daarom in principe leiden tot lagere maatschappelijke kosten.

Echter, het is zeer complex om te bepalen welke extra kosten er moeten worden gemaakt om het elektriciteitsnet te verzwaren om de BEVs te faciliteren. Hetzelfde geldt voor productie, opslag en transport van waterstof.

Zo zullen er extra faciliteiten moeten worden ontwikkeld om rijden op waterstof mogelijk te maken, zoals opslagcapaciteit zowel centraal als bij tankstations.

Toekomstpad 1 (zonder waterstofvoertuigen) zal daarmee naar verwachting leiden tot de laagste kosten vanuit maatschappelijk perspectief. De kosten zullen naar verwachting zelfs lager zijn dan van een pad waarbij een deel van de voertuigvloot in 2050 nog gebruik maakt van een verbrandingsmotor. Voor het realiseren van toekomstpad 1 zal het wel noodzakelijk zijn om voertuigen vervroegd te vervangen. Dit kan oplopen tot meer dan een miljoen personenauto's en ongeveer 15.000 vrachtwagens. Hoe de kosten vanuit maatschappelijk perspectief van vervroegd vervangen zich verhouden tot de inzet van hernieuwbare brandstoffen is hier niet bepaald en zou nader moeten worden onderzocht.

De kosten vanuit maatschappelijk perspectief van toekomstpad 2 zullen waarschijnlijk hoger zijn dan van pad 1 en ook hoger dan van een pad waarbij een deel van de voertuigvloot in 2050 nog rijdt op fossiele brandstoffen.

5.3 Mogelijkheden voor versnelling van CO₂-reductie

De paden die geschetst zijn in dit rapport hebben als eindbeeld nul CO₂-emissies in 2050 door wegtransport. De snelheid waarop dit eindbeeld wordt behaald heeft invloed op de cumulatieve emissies. Niet alleen het CO₂-emissieniveau in 2050, maar vooral de cumulatieve CO₂-uitstoot bepaalt het uiteindelijke effect van mitigerende maatregelen op de opwarming van de aarde. Het eindbeeld in dit rapport, van nul emissies in 2050, is daarmee een tussenstap om uiteindelijk maximaal 1,5 graad opwarming te bereiken in lijn met het Parijsakkoord. Mogelijkheden voor versnelling van de CO₂-reductie kunnen daarmee de kans om de Parijs-doelstelling te bereiken vergroten. Deze paragraaf kwantificeert voorbeelden van de mogelijkheden tot versnelling van de CO₂-reductie in het wegverkeer. Een versnelde CO₂-reductie kan in belangrijke mate behaald worden via sturing op mobiliteitsgedrag en/of de inzet van bio- of synthetische brandstoffen.

5.3.1 Versnelling CO₂-reductie door extra inzet van hernieuwbare brandstoffen

De paden houden rekening met de inzet van bio- en/of synthetische brandstoffen. De inzet van deze brandstoffen zou met name op de relatief korte termijn (2030) vergroot kunnen worden ten opzichte van huidig beleid en ten opzichte van wat nu in de paden is aangenomen, aangezien een groot deel van de voertuigen in die periode nog gebruik maakt van vloeibare brandstoffen. We rekenen daarom een voorbeeld uit waarin het bijmengpercentage geleidelijk toeneemt tot en met 2030. Gemiddeld zo'n 30% van de gebruikte brandstoffen wordt dan een bio- of synthetische brandstof. Vervolgens neemt de totaal benodigde plas geleidelijk af, terwijl het aandeel hernieuwbaar nog wel toe neemt vanwege de afname van de vraag naar brandstoffen. Dat komt in dit voorbeeld neer op zo'n 30 tot 40 PJ extra bio- en/of synthetische brandstoffen in 2030 voor het wegverkeer ten opzichte van het tweede toekomstpad (waarbij bio- of synthetische brandstoffen onderdeel van het eindbeeld zijn), zie tabel 5.5. Cumulatief komt dit neer op zo'n 200 tot 300PJ grotere inzet van hernieuwbare "drop-in" brandstoffen dan in toekomstpad 2. Het verschil met het eerste toekomstpad is nog groter.

Tabel 5.5

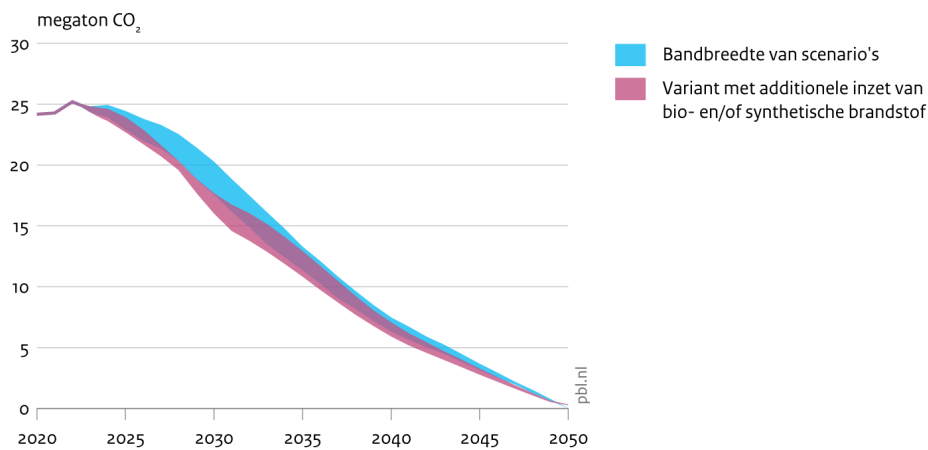
Additionele jaarlijkse inzet van bio- of synthetische brandstoffen in petajoule [PJ]

	2019	2030	2040	2050
Laag	+0	+30	+6	+0
Hoog	+0	+38	+6	+0

Deze verhoogde inzet van bio- of synthetische brandstoffen verlaagt de jaarlijkse CO₂-uitstoot met name in de periode tussen 2025 en 2035, omdat in die periode de additionele inzet het grootste is (zie Figuur 5.7). Bij elkaar opgeteld kan deze mogelijkheid leiden een reductie van de cumulatieve CO₂-uitstoot met zo'n 15 tot 25 Mton (dat is circa 5% van de cumulatieve CO₂-uitstoot van de toekomstpaden tussen 2020 en 2050).

Figuur 5.7

CO₂-uitstoot door wegverkeer bij extra inzet van bio- en/of synthetische brandstof



Bron: PBL & TNO

Binnen de huidige Europese regelgeving voor hernieuwbare energie (Renewable Energy Directive) speelt dat hernieuwbare elektriciteit en de inzet van hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen commu- nicerende vaten zijn. Een hogere inzet van (grotendeels hernieuwbare) elektriciteit als gevolg van een grotere instroom van BEVs, maakt dat er minder hernieuwbare brandstoffen nodig zijn om aan de nationale jaarverplichting voor hernieuwbare energie in vervoer te voldoen. Door aparte jaar- verplichtingen te formuleren voor het aandeel duurzame elektriciteit en het aandeel hernieuwbare 'drop-in' brandstoffen, zouden de jaarverplichtingen zo kunnen worden bepaald dat een grotere CO₂-reductie wordt gerealiseerd.

5.3.2 Versnelling CO₂-reductie door maatregelen gericht op het reduceren van gereden kilometers

De verkende paden gaan uit van business-as-usual mobiliteitsgedrag, gebaseerd op de WLO scena- rio's waarin geen sterke wijzigingen optreden. Met behulp van beleidsmaatregelen is het mogelijk om te sturen op het verkeersvolume (zie paragraaf 3.3). In relatie tot de noodzaak om naast het re- aliseren van klimaatneutraal wegverkeer in 2050 ook de cumulatieve emissies in de periode tot 2050 zo laag mogelijk te houden, liggen er kansen via beleid gericht op volumereductie. Daarbo- venop zal een afname van de energievraag, en daarmee mogelijk ook een afname van het autobezit, bijdragen aan het vergroten van de kans om het eindbeeld en tussentijdse doelen te halen.

We schatten in dat een (realistisch) maatregelenpakket dat gericht is op een vermindering van de personenautokilometers en een *modal shift* naar andere (duurzame) vervoerswijzen de toekomstige totale jaarlijks gereden personenautokilometers met ongeveer 20% à 25% kan reduceren¹⁵. Voor bestelauto's schatten we dit effect lager in tot zo'n 15%¹⁶. Deze pakketten zijn bijvoorbeeld een combinatie van maatregelen die het gebruik van wegvoertuigen ontmoedigen en maatregelen die leiden tot investeringen in infrastructuur of faciliteiten voor alternatieve vervoerswijzen. Dergelijke pakketten zouden kunnen bestaan uit Betalen naar gebruik en een vrachtwagenheffing, minder investeringen in weginfra, maar meer in ov- en fietsvoorzieningen, tariefverlagingen in ov en zoveel mogelijk inbreiden van woningbouw. Technologische en/of lifestyleveranderingen kunnen mogelijk een tegengesteld of een versterkend effect hebben.

Ook voor zwaar wegverkeer geldt dat een grotere volumereductie mogelijk is, bijvoorbeeld door hogere kilometertarieven voor de vrachtwagenheffing dan waar reeds in de paden mee rekening is gehouden. Zoals beschreven in paragraaf 3.3 zijn met hogere tarieven volumereducties denkbaar van circa 5% tot 10%. Deze reductie zal worden gerealiseerd door onder andere een hogere beladingsgraad en een toename van het aantal LZV's. De extra volumereductie ten opzichte van wat reeds op basis van voorgenomen beleid is verondersteld in de uitgewerkte paden zal naar verwachting enkele procenten zijn.

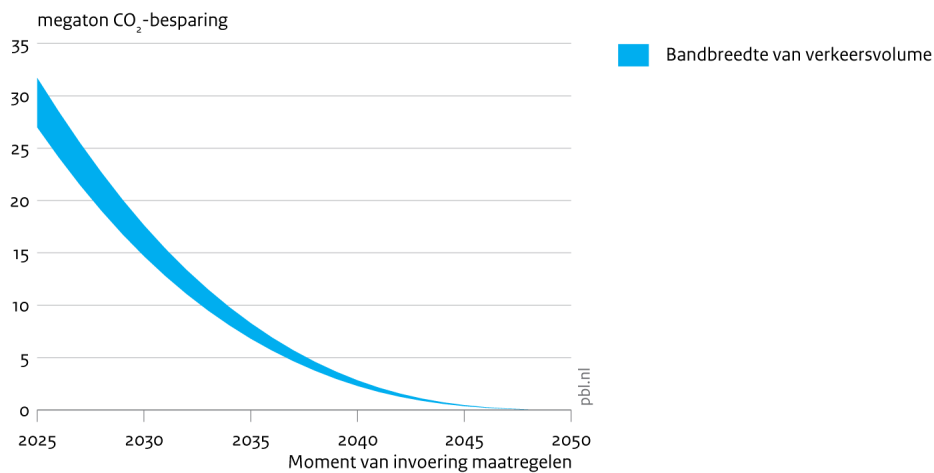
Het effect van een maatregelenpakket op de cumulatieve CO₂-uitstoot tot 2050 is sterk afhankelijk van het moment dat het wordt ingevoerd omdat het schaalte met het aandeel voertuigen dat nog op fossiele brandstoffen rijdt. Figuur 5.8 illustreert wat een reductie van het volume van wegverkeer kan doen op de cumulatieve CO₂-uitstoot van deze voertuigen, afhankelijk van het moment dat het maatregelenpakket wordt ingevoerd. Daarbij is uitgegaan van 20% reductie van de personenautokilometers, 15% reductie van de bestelautokilometers en 5% reductie van de kilometers van zwaar wegverkeer. Wanneer op korte termijn dergelijke pakketten worden ingevoerd kan het cumulatieve CO₂-effect oplopen tot ongeveer zo'n 20 tot 30 Mton extra reductie (dat is circa 6% à 7% van de cumulatieve CO₂-uitstoot van de toekomstpaden tussen 2020 en 2050).

Gedragsveranderingen kosten tijd, daarom gaan we ervanuit dat het zo'n tien jaar duurt totdat het volledige effect van de maatregelen bereikt wordt. De cijfers in de figuur zijn indicatief: de effecten van gedragsveranderingen zijn omgeven met onzekerheden en er is vanuit gegaan dat de maatregelen geen effect hebben op de samenstelling van de kilometers (naar brandstofsoort en leeftijd) ten opzichte van de reeds beschreven paden richting klimaatneutraal 2050 (waarop deze gedragseffecten zijn geprojecteerd). Een systeem van Betalen naar Gebruik kan ook zo vormgegeven worden dat de tarieven gedifferentieerd worden naar milieukeurmerken, zodat het niet alleen tot minder autokilometers leidt maar ook een bijdrage levert aan de transitie naar elektrisch rijden. Dat is hier niet verondersteld.

¹⁵Daling van kilometrage is er niet per definitie. Ook zouden er omgekeerde effecten kunnen plaatsvinden als gevolg van bijvoorbeeld zelfrijdende auto's, goedkoper worden van het gebruik van voertuigen, veranderingen in voorkeuren, etc. (MuConsult et al. 2023; Verrips & Hilbers 2021).

¹⁶ Dit betreft een expertinschatting op basis van de Analyse verkiezingsprogramma's (PBL 2023) en de effectstudie Betalen naar gebruik (MuConsult et al. 2023)

Figuur 5.8
Effect op de cumulatieve CO₂-uitstoot van het wegverkeer tot 2050 door volumebepalende maatregelen



Bron: PBL & TNO

5.3.3 Tijdig handelen vergroot de mitigerende impact op de opwarming van de aarde

De gedragsmaatregelen hebben in 2050 geen effect meer op de CO₂-uitstoot in de verschillende paden, omdat uitgegaan wordt van nul CO₂-uitstoot in het jaar 2050. Wel leiden ze tot een vermindering van de vraag naar duurzame energiedragers. Het is echter belangrijk op te merken dat des te eerder de maatregelen worden ingevoerd, des te groter de cumulatieve CO₂-besparing is. De verklaring hiervoor is tweeledig: de CO₂-besparing is groter in de eerdere jaren (omdat er dan meer voertuigen rijden op fossiele brandstoffen) en er zijn meer jaren waarin CO₂ wordt bespaard.

Er zijn meerdere mogelijkheden om de cumulatieve CO₂-uitstoot te verminderen. Deze paragraaf schetst twee voorbeelden: versneld gebruik maken van bio- of synthetische brandstoffen of een reductie van de afgelegde kilometers van wegtransport. De gemene deler van deze mogelijkheden is dat tijdig handelen de mitigerende impact op de opwarming van de aarde vergroot.

6 Uitdagingen en handelingsperspectief voor klimaatneutraal wegverkeer

Zoals in de verkennende toekomstpaden naar voren komt, speelt voor zowel voor het lichte als het zware wegverkeer de overstap naar nulmissie aandrijftechnologie en hernieuwbare ‘drop-in’ brandstoffen een hoofdrol in het behalen van het eindbeeld van klimaatneutraal wegverkeer in 2050. Deze overstap gaat niet vanzelf en brengt grote uitdagingen met zich mee. Voor een groot deel zijn deze al in de voorgaande hoofdstukken zijdelings aan bod gekomen, maar in dit hoofdstuk worden deze expliciet behandeld en gaan we in op de bijbehorende handelingsperspectieven voor beleid.

We hebben de belangrijkste uitdagingen verdeeld in zes onderdelen:

- Beschikbaarheid van benodigde grondstoffen;
- Beschikbaarheid van alternatieve aandrijftechnologieën;
- Beschikbaarheid van tank- en laadinfrastructuur;
- Beschikbaarheid van duurzame energiedragers;
- Adoptie van alternatieve aandrijftechnologieën;
- Beschikbaarheid van kennis en personeel.

Bij deze uitdagingen dient in ogenschouw genomen te worden dat de transitie naar klimaatneutraal wegverkeer onderdeel is van een systeemtransitie. Het gaat om fundamentele en samenhangende veranderingen in technologie, organisaties, instituties, kennis, vaardigheden, gedrag en cultuur. Deze veranderingen leiden uiteindelijk gezamenlijk tot een verandering in consumptie- en productieprocessen. De overheid speelt een belangrijke rol in het scheppen van de juiste randvoorwaarden en de juiste beleidsinstrumentering. Het onderzoeken van (de exacte vormgeving van) concrete beleidsinstrumenten valt buiten de reikwijdte van deze studie.

6.1 Beschikbaarheid van benodigde grondstoffen

De vraag naar grondstoffen verandert en groeit door de komst van nieuwe technieken in de route naar nul emissies. De totale vraag naar grondstoffen voor de wereldwijde economie zal naar verwachting verdubbelen tot 2060, en voor enkele metalen als grafiet, kobalt, zeldzame aardmetalen en nikkel kan de vraag in 2040 al 20-100 keer zo groot worden als in 2020 (IRP 2019; IEA 2021; Hanemaaijer et al. 2023). Onder meer de groeiende inzet van batterijen en duurzame energiebronnen voor wegverkeer draagt bij aan de sterk toenemende vraag naar grondstoffen, zowel in Nederland als wereldwijd. De (tijdige) beschikbaarheid van grondstoffen kan een mogelijke belemmering vormen in de transitie naar nulmissievoertuigen.

De aanwezige hoeveelheid van de grondstoffen in de bodem lijkt tot op heden voldoende voor de verwachte vraag naar kritieke materialen (Bosch et al. 2019; EC 2020). Toch staan materialen die nodig zijn voor de transitie naar nulmissie op de lijst met kritieke ruwe materialen van de Europese Commissie (EC 2020). Grondstoffen op deze lijst hebben een hoog korte-termijn leveringsrisico en hoge toegevoegde waarde voor de economie. Materialen hebben een korte-termijnleveringsrisico wanneer er een beperkt aantal mijnbouwlanden is, de exportbetrouwbaarheid van deze landen laag is en/of de mate van recycling laag is.

Qua gewicht hebben de kritische metalen slechts een klein aandeel in de technologieën, maar ze zijn wel essentieel voor de werking van het product. De kwetsbaarheid van de beschikbaarheid van metalen wordt vaak gelinkt aan het aanbod en de prijzen van batterijen voor onder andere BEVs. Hogere leveringsrisico's gelden bijvoorbeeld voor nikkel, niobium, kobalt, grafiet en lithium, die alle bestanddeel zijn van lithium-ion batterijen. Maar ook andere technieken die een rol spelen in de transitie naar nulmissie kunnen te maken krijgen met prijsstijgingen of leveringsrisico's van grondstoffen. Zeldzame zware of lichte aardmetalen worden bijvoorbeeld gebruikt voor generatoren in windmolens, *elektrolyzers* en elektromotoren en bijvoorbeeld germanium wordt gebruikt voor de huidige techniek van zonnepanelen. Het in kaart brengen van en anticiperen op de risico's bij producten is echter lastig omdat de ketens in een industrieel proces lang, complex en weinig transparant zijn (Bosch et al. 2019). In hoeverre de leveringsrisico's daadwerkelijk tot vertraging van de transitie leiden, is sterk afhankelijk van de ontwikkelingen in de technologie van producten, het gehanteerde beleid en in de ontwikkeling van de wereldwijde vraag naar en het aanbod van de grondstoffen, alsmede van geopolitieke ontwikkelingen.

Daarbij kost het uitbreiden van de winningscapaciteit tijd. Gemiddeld duurt het zo'n zestien jaar om een nieuwe mijnbouwlocatie te openen na het ontdekken van de winningslocatie (IEA 2021). Een groot deel van de tijd gaat naar het verkennen en onderzoeken van de haalbaarheid van de locatie, maar ook de constructiefase en de snelheid van vergunningsverlening spelen hier een rol in. De opstarttijd van de locaties verschilt per materiaal en land. De opschaling van bestaande mijnbouwlocaties gaat over het algemeen sneller. Daarnaast zijn verschillende kritieke materialen (nu nog) bijproducten van de productie van andere materialen (TNO 2021f). Bijvoorbeeld kobalt is een bijproduct van de winning van koper en nikkel. Indien de vraag naar het bijproduct de vraag naar het hoofdproduct overstijgt, zijn aanpassingen van de productieprocessen nodig. Ook deze aanpassingen kosten tijd. Deze traagheid van opschaling van capaciteit kan dus leiden tot een te klein aanbod (met als bijeffect hogere vraagprijzen) of een kwalitatief minder hoogwaardig aanbod.

Bovendien staat de reputatie van enkele grondstoffen onder druk. De winning en raffinage van materialen gaat nu gepaard met uitstoot van broeikasgassen en er kunnen stoffen vrijkomen die schadelijk zijn voor het milieu. Deze milieu-impact verschilt sterk per locatie (TNO 2021f) en is afhankelijk van het op de locatie gehanteerde beleid (IEA 2021). Een aanzienlijk deel van de milieudruk van de hoge-inkomenslanden vindt plaats in de midden-inkomenslanden (Hanemaaijer et al. 2023).

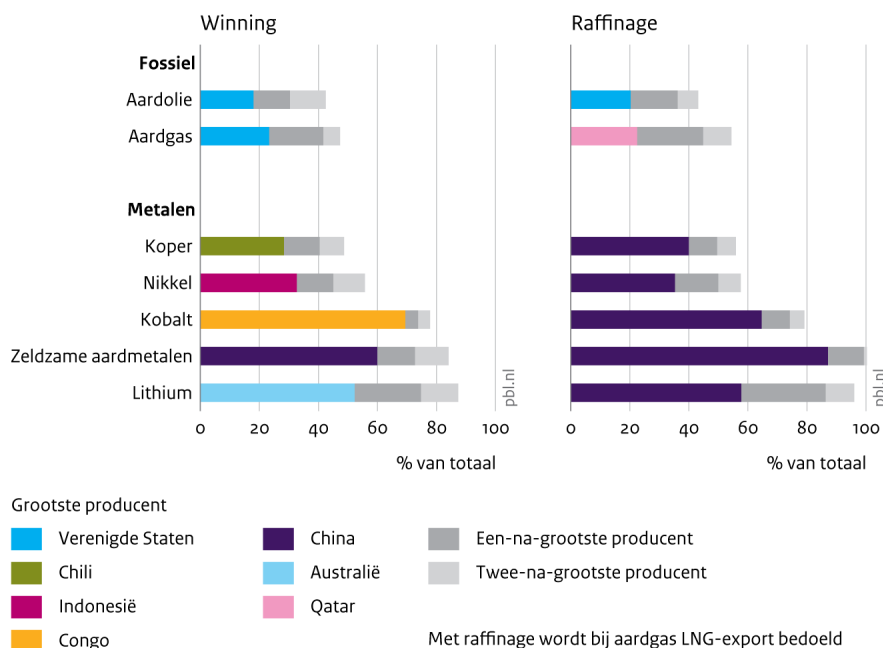
Niet alleen zijn er zorgen over de impact van de mijnbouw en fabrieken op de omgeving, maar ook over de gezondheid en werkveiligheid op deze locaties. Zo worden sommige locaties geassocieerd met corruptie, uitbuiting en kinderarbeid en zijn er werkongelukken en signalen van minder robuuste mijnconstructies (IEA 2021). Deze werkomstandigheden zijn sterk afhankelijk van het land en het schaalniveau van de werklocaties.

Een snelle groei van de vraag naar kritieke materialen zou potentieel de druk op de werk- en leefomstandigheden en het milieu verder kunnen vergroten.

Daarnaast speelt dat de winning en verwerking van materialen geografisch geconcentreerd is. Voor veel kritieke materialen geldt dat slechts een klein aantal landen verantwoordelijk is voor een groot deel van de winning of raffinage van de grondstoffen (Bosch et al. 2019; IEA 2021; EC 2020; TNO 2021f). De Europese landen zijn nu voor deze materialen sterk afhankelijk van import. Figuur 6.1 laat zien dat deze geografische concentratie momenteel voor een aantal kritieke materialen groter is dan nu het geval is bij olie en gas. Deze geografische concentratie kan nadelig zijn indien deze landen instabiel zijn of er (economisch) belang bij hebben om minder materialen te exporteren. Onder andere de oorlog van Rusland met Oekraïne vergroot de aandacht van Europa voor leveringonzekerheden van grondstoffen (Hanemaaijer et al. 2023). Nederland heeft momenteel geen winning van kritieke materialen en heeft nauwelijks of geen rol bij de raffinage en productie van kritieke materialen (Metabolic et al. 2021). Wel zijn er bedrijven in Nederland die de kritieke metalen verwerken in (componenten van) producten (Metabolic et al. 2021).

Figuur 6.1

Top-3 landen in winning en raffinage van fossiele brandstoffen en metalen, 2019



Bron: IEA 2021

Handelingsperspectief

Het handelingsperspectief voor het reduceren van onzekerheden met betrekking tot de beschikbaarheid van grondstoffen kan zowel gericht zijn op het duurzaam en verantwoord vergroten van het aanbod van grondstoffen als op het reduceren van de vraag.

Momenteel zijn er in Europees verband diverse samenwerkingsprogramma's die gericht zijn op productinnovatie en onderzoek met betrekking tot duurzame en verantwoorde grondstoffen. Een voorbeeld hiervan is de *European Battery Alliance* (EBA), met als doel de batterij-industrie in Europa op te bouwen en te versterken. Ook ligt de *Critical Raw Materials Act* (CRMA) ter formele goedkeuring bij het Europees Parlement met verschillende doelen om de winning, raffinage en recyclegraad van kritieke materialen te verhogen (EC 2023).

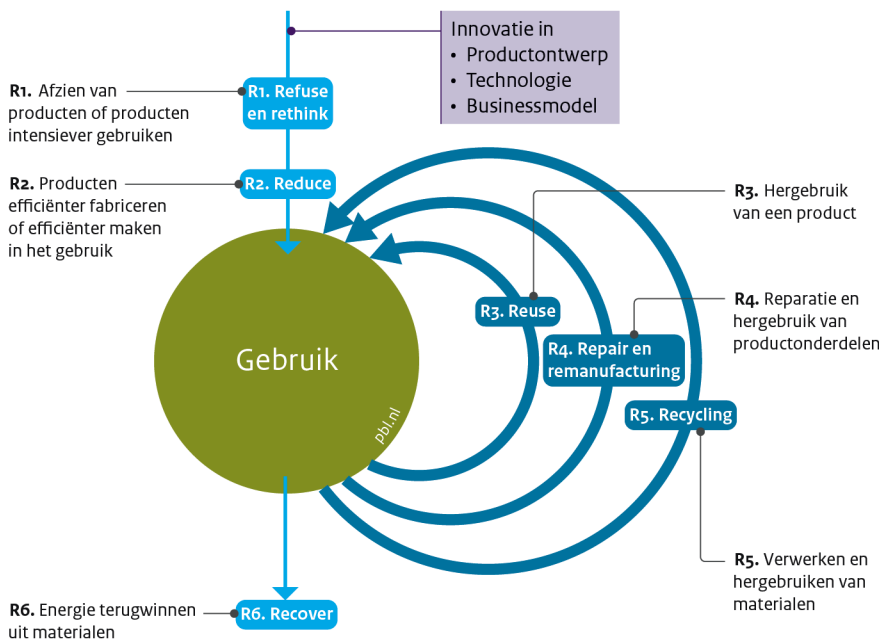
De *Battery Directive* (Batterijenverordening) regelt onder andere een verplichting van een batterijpaspoort voor een verbetering van de functionering van de markt. Om op lange termijn minder afhankelijk te zijn van import, zou Europa verder kunnen investeren in eigen winning en raffinage van de grondstoffen. Verdere oplossingsrichtingen om het aanbod te vergroten zijn kennisontwikkeling en monitoring, inzetten op ketentransparantie, het in Europese samenwerkingsverbanden meenemen van grondstoffenbeleid in investeringen en het aanscherpen van regelgeving. Op basis van recent onderzoek roepen niet-gouvernementele organisaties zoals Transport & Environment (T&E) fabrikanten op om hun betrokkenheid bij de toeleveringsketens te vergroten in mondiale samenwerkingsverbanden om veilig te stellen dat de grondstoffen verantwoord worden gewonnen (T&E 2023b).

Ook kan de druk op de materiaalvraag verlaagd worden met circulaire strategieën; deze worden ook wel R-strategieën genoemd, zie figuur 6.2 (Hanemaaijer et al. 2021). Ook hier is er een rol weggelegd voor samenwerkingen en regelgeving in Europees verband. Zo heeft de eerder genoemde *Battery Directive* ook streefcijfers (die oplopen naarmate de tijd verstrijkt) voor het recyclerendement en voor het aandeel gerecyclede materialen voor verschillende soorten batterijen in voertuigen. Daarnaast heeft Nederland een programma Circulaire Economie, een Grondstoffenscanner en zijn er diverse andere initiatieven.

De circulaire economie biedt een belangrijke oplossingsrichting voor de grondstoffenproblematiek. Er zijn verschillende manieren denkbaar om efficiënter om te gaan met materialen: minder gebruik van producten, substitutie van kwetsbare grondstoffen, hergebruik van (gedeelten van) producten en recyclen van producten en materialen (Hanemaaijer et al. 2021). Door een gecombineerde aanpak gericht op deze vier elementen kan de materiaalvraag in het hele energiesysteem flink worden verlaagd (Metabolic et al. 2021).

Figuur 6.2

R-ladder met strategieën van circulariteit



Bron: PBL

Het reduceren van materiaalgebruik kan zowel door de EU als op Nederlandse schaal worden opgepakt

Het minder gebruiken van producten verlaagt de vraag naar nieuwe grondstoffen. In de mobiliteitssector zou met behulp van gedragsmaatregelen de verkeersvraag verlaagd kunnen worden en afhankelijk van de maatregel daarmee de vraag naar voertuigen. De Nederlandse overheid kan dit bewerkstelligen met beleid dat gericht is op minder autogebruik, bijvoorbeeld beprijzen, of op meer fiets- en openbaarvervoergebruik, zoals investeringen in infrastructuur en verlagingen van tarieven. Een kanttekening hierbij is dat een verhoging van de autobelastingen mogelijk ook de aanschaf van nieuwe nulmissievoertuigen kan vertragen. Daarnaast zou bij BEVs het kritieke materiaalgebruik per voertuig verminderd kunnen worden door het gebruik van kleinere batterijen. Om toch voldoende actieradius en levensduur te behouden zouden maatregelen kunnen worden getroffen die het energiegebruik van het voertuig verlagen (de levensduur van een batterij is afhankelijk van het aantal laadcycli).

Waar de aanbodzijde van de automarkt in sterke mate wordt bepaald door het EU bronbeleid, heeft nationaal beleid juist relatief veel invloed op de vraagzijde. De Nederlandse overheid zou zich kunnen richten op het beperken van de massa (en daarmee het materiaalgebruik) van voertuigen, door bijvoorbeeld lichtere voertuigen, en daarmee ook het gebruik van kleinere batterijen, financieel relatief aantrekkelijker te maken dan zwaardere voertuigen. Daarnaast is het evident dat beleidsmaatregelen gericht op een modal shift en/of volumereductie ook kunnen bijdragen minder materiaalgebruik (zie ook hoofdstuk 7).

Met materiaalsubstitutie en productinnovatie kan ook de vraag naar specifieke grondstoffen verlaagd worden

De substitutie van materialen gaat om het herzien van het ontwerp van het product of het gebruiken van een ander product voor hetzelfde doel. Door technologische innovaties kunnen de producten dusdanig verder ontwikkeld worden dat ze geschikter voor het doel worden, maar dat ze ook minder kritieke materialen gebruiken. In Europees maar ook Nederlands verband kan daarvoor meer worden ingezet op kennisontwikkeling en innovatie. Zo zijn er bijvoorbeeld ontwikkelingen in de samenstellingen van de batterijen. Deze ontwikkelingen zijn niet alleen gericht op het verlengen van de levensduur en op verhogen van de energiedichtheid en (brand-)veiligheid, maar ook op het reduceren van kosten en materiaalgebruik. Bij de huidige batterijen zijn er al diverse materiaal-samenstellingen met verschillende eigenschappen in levensduur, veiligheid en energiedichtheid. Bijvoorbeeld de LFP-batterij (lithiumijzerfosfaatbatterij) heeft weliswaar een lagere energiedichtheid dan de (voor nu gebruikelijkere) lithium-ion batterij, maar heeft wel gunstiger eigenschappen met betrekking tot de levensduur en bevat geen kobalt en nikkel.

Op korte termijn zou het grafiet dat gebruikt wordt voor de anoden misschien (gedeeltelijk) vervangen kunnen worden door silicium. Dit verlaagt de vraag naar grafiet en verhoogt waarschijnlijk de energiedichtheid van de batterij, maar deze techniek is momenteel nog niet marktrijp. Op langere termijn zijn er ontwikkelingen mogelijk naar organisch grafiet of naar een *solid state* batterij. Organisch grafiet zou de druk kunnen verlagen op de winning van grafiet. Bij de *solid state* batterij wordt de vloeibare elektrolyt vervangen door een vaste stof. Dit heeft als voordeel dat de batterijen mogelijk minder ontvlambaar, goedkoper en energiedichter worden. Deze batterijen bevatten wel nog steeds lithium, maar geen grafiet (en ze bevatten minder koper en aluminium), en afhankelijk van het ontwerp wel andere metalen. De *solid state* batterij is momenteel nog niet klaar voor massaproductie.

Op grote schaalhergebruiken en recyclen van voertuigen, batterijen en materiaal verlicht de materiaalvraag

Met hergebruik kan de levensduur van producten verlengd worden, waardoor minder nieuwe producten nodig zijn. Anderzijds kan de levensduur van producten ook verlengd worden door ze dusdanig te ontwerpen dat ze relatief eenvoudig te repareren zijn. Bij voertuigen is er al een goed functionerende tweehandsmarkt, waardoor de levensduur van voertuigen langer is dan de gemiddelde periode dat mensen dezelfde auto in bezit hebben. Indien batterijen degraderen en aan het einde van de levensduur van het voertuig niet meer voldoen (door afname van accucapaciteit en daarmee de actieradius) om hergebruikt te worden in een nieuw of ander batterij-elektrisch voertuig, zouden de batterijen wel een tweede leven kunnen krijgen voor andere doeleinden waar het gewicht en volume van de batterijen een minder sterke rol spelen. Een voorbeeld hiervan is in stationaire opslag voor netbalancing op wijk- of gebouwniveau. Aangezien de huidige BEVs nog niet op grote schaal richting het einde van de levensduur van de batterij gaan, is er nog niet veel empirische kennis over de degradatie van batterijen.

Door recycling kunnen materialen in de producten worden teruggewonnen en daarmee kan de vraag naar nieuwe grondstofwinning worden verlaagd. Voorlopig kan met recycling van materialen maar aan een klein deel van de materiaalvraag voor duurzame aandrijftechnologie worden voldaan. De komende tijd zal de vraag naar BEVs nog groter zijn dan het aantal oude BEVs dat het einde van de levensduur heeft bereikt. Op de langere termijn zou recycling voor een groter deel de vraag naar grondstoffen kunnen invullen. Daarbij geldt wel dat niet 100% van de materialen in een voertuig gerecycled kan worden als gevolg van beschadigingen door gebruik en de vermenging van materialen. Ook zal de vraag naar materialen mogelijk veranderen door technologische innovaties waarvoor mogelijk andere grondstoffen nodig zijn.

Voor zowel hergebruik als recycling zijn de Nederlandse overheid en de EU aan zet. Beleid is naar verwachting nodig omdat in eerste instantie de verwachting is dat nieuwe producten meer geld opleveren voor de markt dan hergebruik en recycling. Daarbij kan gedacht worden aan regelgeving of normering voor de mate van hergebruik, recyclebaarheid en recyclegraad van producten. Hiervoor zijn onder andere in de Battery Directive van de EU nieuwe eisen gesteld aan de batterijen in voertuigen.

6.2 Aanbod van voertuigen met alternatieve aandrijving

Zelfs indien de materialen in voldoende mate beschikbaar zijn, is de (noodzakelijke) beschikbaarheid van voertuigen niet gegarandeerd. Bestaande voertuigfabrikanten hebben veel geïnvesteerd in de productie van conventionele voertuigen. Als gevolg van een transitie naar een andere aandrijftechniek zijn er nieuwe investeringen nodig om de voertuigproductie op gang te krijgen. Het gaat dan onder andere om R&D, productontwikkeling, productiefaciliteiten en opleiding van personeel.

Bij conventionele voertuigen is het aandrijfsysteem het meest complexe onderdeel. Hierop kunnen fabrikanten het grootste onderscheid maken ten opzichte van hun concurrenten. Een belangrijk deel van de kennis van voertuigfabrikanten is daarom ook hierop gericht.

Door de transitie naar batterij-elektrische voertuigen en in mindere mate brandstofcelvoertuigen, zullen bedrijven moeten afwegen of zij de belangrijkste onderdelen van de voertuigen (zoals batterijen) zelf gaan produceren of gaan inkopen. Zeker in het geval van een fabrikant met beperkte

productievolumes zal eigen productie leiden tot relatief hoge kosten. Het inkopen zal er echter toe leiden dat het moeilijker wordt om onderscheidend te zijn. Bovendien kan het onwenselijk zijn om voor het belangrijkste onderdeel van het voertuig afhankelijk te zijn van een externe partij. Voor een deel van de voertuigfabrikanten zou de productie van nulmissievoertuigen daardoor langzamer kunnen groeien dan technisch mogelijk.

Zoals eerder beschreven vormt het Europees bronbeleid voor fabrikanten een belangrijke drijfveer voor het produceren van (volledig) elektrische wegvoertuigen en op termijn mogelijk ook van waterstofauto's. De beleidsvoorstellen die recent zijn aangenomen (voor personenauto's) en die momenteel voorliggen (voor vrachtauto's) bij het Europees Parlement zullen leiden tot een aanzienlijke opschaling van de productiecapaciteit bij fabrikanten, waardoor dit op zichzelf op langere termijn geen barrière meer zal zijn. Ook uit de ambities en doelen, die voertuigfabrikanten zelf hebben uitgesproken, is op te maken dat fabrikanten het mogelijk achten om de productiecapaciteit tijdig op te schalen.

Om grote aandelen nieuwverkoop te kunnen halen, zullen er bovendien voertuigen moeten worden aangeboden in alle marktsegmenten. Momenteel worden door fabrikanten van personenauto's voornamelijk batterij-elektrische modellen geproduceerd in het hogere segment omdat de kosten van de aandrijving een kleiner aandeel vormen dan bij kleinere, minder luxe modellen en omdat grote nulmissievoertuigen de grootste hefboom opleveren voor de Europese CO₂-normen die gelden voor voertuigfabrikanten. Hierdoor kan makkelijker worden geconcurrereerd met conventionele voertuigen. Bovendien zijn de winstmarges in hogere segmenten over het algemeen groter. Als gevolg hiervan is de keuze voor consumenten die op zoek zijn naar een kleiner voertuig naar verhouding nog relatief beperkt. De verkopen in die segmenten blijven dan ook naar verhouding nog achter, al is er de laatste jaren al wel een verschuiving naar de kleinere segmenten waarneembaar in de nieuwverkoopcijfers (RVO 2023c). Voor het behoud van BEVs op de binnenlandse automarkt is het van belang dat er voldoende aansluiting is met de wensen die er bestaan op de tweedehandsmarkt, waar juist vraag is naar betaalbare (kleinere) voertuigen (KiM 2023b). In paragraaf 6.5 wordt hier verder op ingegaan.

Het aanbod van voertuigen kan op korte termijn volatiel zijn als gevolg van materiaalprijzen en geopolitieke spanningen. Zo onderzoekt bijvoorbeeld de Europese Commissie (EC) momenteel de import van Chinese BEVs. Hierbij kijkt de EC of de industrie keten profiteert van Chinese staatsubsidie (EC 2023b). Dit zou, indien bewezen, negatieve gevolgen kunnen hebben voor de aanschafprijzen (op korte termijn) van Chinese BEVs op de Europese markt. Deze volatiliteit zou de ingroei van nieuwe nulmissievoertuigen kunnen vertragen.

Ook voor vrachtwagens zal de productiecapaciteit in het komende decennium flink toenemen. Dat neemt niet weg dat het aanbod in de komende jaren naar verwachting nog beperkt zal zijn. Bovendien is het onzeker of er ook aanbod zal ontstaan van waterstofvoertuigen omdat de vraagontwikkeling voor deze technologie onzekerder is dan die voor batterij-elektrisch.

Uiteraard moet er voldoende vraag zijn om de productie kosteneffectief te kunnen opbouwen en in stand te kunnen houden. Hiervoor zijn andere drijfveren van belang zoals de beschikbaarheid van (betaalbare) energiedragers en de beschikbaarheid van tank- en laadinfrastructuur. Deze worden hieronder besproken.

Indien naast batterij-elektrische voertuigen ook waterstofvoertuigen een rol gaan spelen, zullen er (tijdelijk) drie verschillende aandrijftechnieken tegelijk worden gebruikt (diesel, elektrisch en waterstof). Hierdoor moeten onderzoeksbudgetten en schaarse menskracht worden verdeeld over de ontwikkeling en uitrol van meer technologieën. Echter, dit kan ook uitwerken als voordeel omdat

het flexibeler is. Immers wanneer één technologie niet snel genoeg kan worden opgeschaald, kan meer inzet worden gezet op de andere klimaatneutrale technologie.

Handelingsperspectief

Stimuleer de vraag naar voertuigen die aansluiten bij de wensen van de tweedehandsmarkt om zo productie van voertuigen in deze segmenten interessant te maken voor fabrikanten.

Op korte termijn kunnen nationale overheden gericht beleid voeren om de verkoop van personenauto's in de lagere marktsegmenten te stimuleren door fiscale sturing. Door dergelijk beleid verder af te stemmen met andere Europese landen, is de verwachting dat dit zal leiden tot een groter aanbod in deze segmenten. Aanbod van nulmissievoertuigen op lange termijn lijkt met het voorgestelde Europese CO₂-normenbeleid voldoende te worden te worden gerealiseerd. De verwachting is dat op termijn voldoende modellen beschikbaar zullen zijn in alle marktsegmenten.

Blijf de ontwikkeling van meerdere klimaatneutrale aandrijftechnieken stimuleren

Zoals hierboven beschreven, zijn er naast batterij-elektrisch op termijn nog andere technologieën nodig voor het halen van de overeengekomen klimaatdoelen. Dit geldt vooral voor waterstofvoertuigen. Indien de inzet van deze technologie op termijn nodig zou blijken, dient de productie van deze voertuigen snel te kunnen worden opgeschaald. Dit vereist dat de technologie op dat moment ver genoeg ontwikkeld is en dat productie reeds op kleine schaal plaatsvindt. Investerings in deze technologieën zijn daarom geoorloofd, zelfs als de toepassing op langere termijn onzeker is.

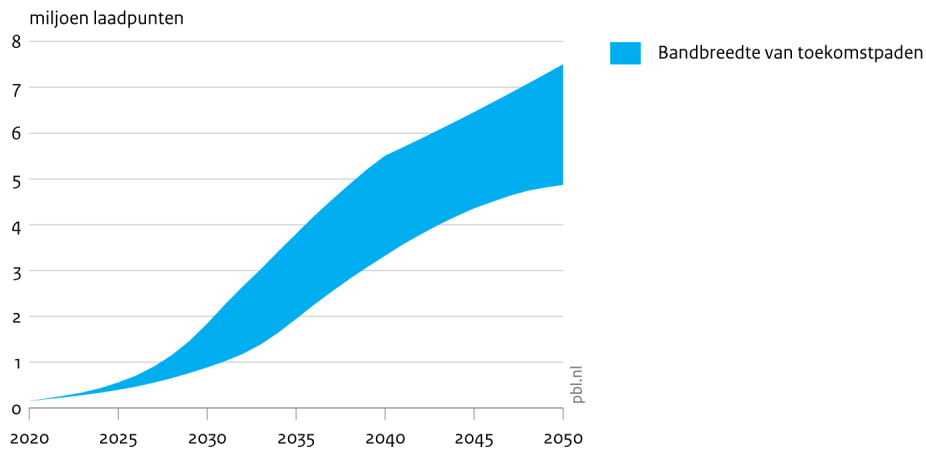
6.3 Beschikbaarheid van (betaalbare) tank- en laadinfrastructuur en distributie van energiedragers

6.3.1 Voldoende en betaalbare laadinfrastructuur

Snelle uitrol van laadpunten is nodig, maar vergroot risico op 'lock-in'

In beide paden, zoals geschetst in hoofdstuk 5, maken batterij-elektrische voertuigen een groot deel uit van de voertuigvloot. Om deze voertuigen goed te faciliteren dient er een goed netwerk te zijn met voldoende betaalbare en toegankelijke laadpunten op de juiste locaties en met voldoende vermogen. Om enig inzicht te geven in de resulterende opgave is een gesimplificeerde berekening uitgevoerd. Op basis van de outlooks van ElaadNL kan worden bepaald wat een geschikte verhouding is tussen het aantal BEVs en het aantal benodigde laadpunten per voertuigcategorie voor verschillende zichtjaren. Voor personenauto's ligt die ratio momenteel op ongeveer 0,9, maar die zal naar verwachting afnemen tot ongeveer 0,5 (ElaadNL 2021a). Dit komt doordat de actieradius van voertuigen zal toenemen en omdat de groep gebruikers die relatief weinig kilometers rijdt groter wordt. Voor bestelauto's en vrachtwagens zal naar verwachting ongeveer één laadpunt nodig zijn per voertuig (ElaadNL 2020a; ElaadNL 2020b). Dit is aanzienlijk hoger dan voor personenauto's omdat een groot deel van deze voertuigen voor commerciële toepassingen dagelijks wordt ingezet. Bovendien is de TCO het laagst als de batterij elke dag wordt leeggereden.

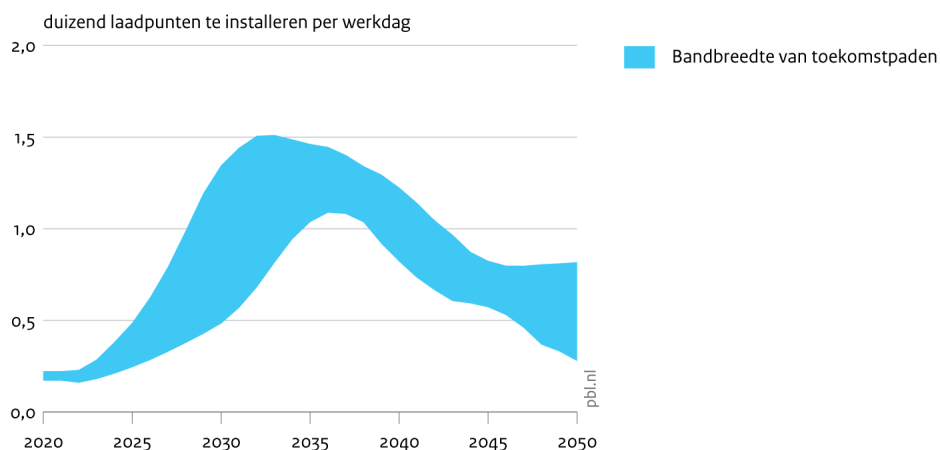
Figuur 6.3
Indicatieve schatting van aantal benodigde laadpunten (publiek en privaat) uitgaande van de bestaande technologie



Bron: PBL & TNO

Op basis van deze verhoudingen en de groei van de vloot BEVs kan worden bepaald dat er op termijn 4,9 tot 7,5 miljoen laadpunten nodig zullen zijn (zie Figuur 6.3). Dit is een optelsom van publieke en private laadinfrastructuur en laadpunten voor zowel normaal als voor snelladen. Bij ongeveer 260 werkdagen per jaar betekent dit dat er op het hoogtepunt tussen 2030 en 2035, 1.000 tot 1.600 laadpunten¹⁷ per werkdag moeten worden gerealiseerd (zie Figuur 6.4). Dit zijn enorme aantallen die een grote hoeveelheid arbeid vereisen en een extra druk zullen geven op een toch al zwaar belast elektriciteitsnetwerk. Dit laatste wordt verder behandeld in paragraaf 6.3.2. Bovendien dienen deze grote aantallen te worden ingepast in de openbare ruimte, waar fysieke ruimte vaak al schaars is, waardoor deze efficiënt benut moeten worden.

Figuur 6.4
Indicatieve schatting van het aantal te realiseren laadpunten per werkdag (publiek en privaat) uitgaande van bestaande technologie



Bron: PBL & TNO

¹⁷ Een laadpunt is een verbinding tussen het voertuigen en de lader. Indien laders meerdere aansluitingen (ofwel laadpunten) hebben, zijn er minder laders nodig dan laadpunten.

De piek in het aantal per dag te realiseren laadpunten kan worden verlaagd door het tempo van aanleg al op korte termijn te versnellen. Terwijl deze uitrol plaatsvindt, worden echter verschillende laadtechnologieën verder ontwikkeld, zoals batterijwisselstations, *electric road systems*, *vehicle-2-grid*, inductief laden en laden op zeer hoog vermogen. Door een versnelling in de aanleg van laadinfra bestaat het risico op een 'lock-in' omdat de uitgerolde technologie gedateerd is kort nadat deze is uitgerold. Ook leidt versnelde aanleg tot hogere aanloopkosten omdat de extra laadpunten tot een lagere gebruiksgraad en dus hogere kosten per geleverde kWh leiden.

Daarnaast zijn er ook andere trends die een effect zullen hebben op de wijze waarop voertuigen worden ingezet, zoals autonoom rijden en deelmobiliteit. Door andere gebruikspatronen van voertuigen veranderen ook de locatie waar en het moment waarop bij voorkeur geladen zou worden. Zo zouden deelvoertuigen een hogere benuttingsgraad moeten hebben dan voertuigen in privébezit. Er zullen in dat geval minder voertuigen zijn die per stuk meer moeten laden. Indien deze voertuigen ook nog autonoom zouden kunnen rijden, zouden ze zelf naar een laadpunt kunnen rijden. Dit laadpunt zou dan buiten de bebouwde kom kunnen liggen, bijvoorbeeld op een plek waar nog voldoende netcapaciteit is. Indien deze technologieën massaal worden geadopteerd kan dit een aanzienlijk effect hebben op de uitrolstrategie van laadpunten. Hoe groot dit effect in werkelijkheid zal zijn vereist meer onderzoek naar de haalbaarheid van de inzet deze alternatieve laadtechnologieën en de kansen van autonoom rijden en deelvoertuigen.

Incentives voor marktpartijen zijn niet per definitie in lijn met maatschappelijk wenselijke oplossingen

CPOs (Charge Point Operators) verdienen hun investeringen terug via de afzet van elektriciteit. Voor deze partijen is er daarom een incentive om elektriciteit te verkopen voor de hoogste prijs waarmee ze competitief zijn. Om het kostenverschil voor elektrisch rijden te beperken tussen mensen die gebruik kunnen maken van zelf opgewekte elektriciteit en mensen die afhankelijk zijn van openbare laadpunten, is het juist van belang om de elektriciteitsprijs bij openbare laadpunten te drukken.

Ook zullen CPOs vooral geïnteresseerd zijn om laadpunten te realiseren waar de elektriciteitsafzet hoog zal zijn. Voor een succesvolle uitrol van elektrisch rijden, is het echter van belang dat gebruikers van BEVs niet ver om hoeven te rijden voor laadpunten en dat er ook laadinfrastructuur beschikbaar is in dunbevolkte gebieden zodat ook daar gebruik kan worden gemaakt van BEVs. Dit betekent dat er ook laadinfrastructuur beschikbaar moet zijn op locaties met lagere verkeersintensiteiten of dichtheden (batterij-elektrische) voertuigen.

Handelingsperspectief

Opstellen van adaptieve uitrolstrategieën voor publieke laadinfra met oog voor maatschappelijke belangen en een regierol voor overheden

Er zijn verschillende vormen van handelingsperspectief om voldoende laadinfrastructuur te realiseren om de groeiende vloot BEVs te faciliteren. Zo kunnen overheden nu al versneld beginnen met de uitrol van laadinfrastructuur. Hierdoor zou het mogelijk zijn om de verwachte uitrolpiek tussen 2030 en 2035 enigszins te verlagen van 1.600 tot 1.100 laadpunten per werkdag. Dat zou wel vereisen dat er vanaf nu dagelijks al ruim 700 laadpunten opgeleverd worden.

Voor een snelle uitrol van publieke laadinfrastructuur dienen lokale en nationale overheden verschillende acties te nemen:

- Het identificeren van geschikte laadlocaties waarbij rekening wordt gehouden met beschikbare fysieke ruimte en (op termijn voldoende) capaciteit op het elektriciteitsnetwerk;

- Het regelen van benodigde vergunningen;
- Het uitzetten van aanbestedingen.

Bij deze uitrol is het van belang dat er duidelijke afspraken worden gemaakt met CPOs om zeker te stellen dat elektriciteit wordt geleverd tegen een acceptabele prijs en dat er een dekkend netwerk van laadpunten wordt gerealiseerd, ook op minder rendabele locaties.

Daarnaast verdient het aanbeveling om op korte termijn te bepalen wat de potentie is van verschillende alternatieve laadtechnologieën en welke effecten andere mobiliteitstrends zoals autonoom rijden en deelmobiliteit zullen hebben op vereiste laadinfrastructuur.

Voor een toekomstbestendige laadinfrastructuur is het daarom van belang dat de strategieën van verschillende stakeholders (rijksoverheid, lokale overheden, netbeheerders, CPOs en mobiliteitsgebruikers) op elkaar aansluiten en uiteindelijk optellen tot een goed laadinfrastructuurnetwerk. Vanwege ontwikkelingen in technologie, kosten en mobiliteitstrends als deelrijden en autonoom rijden, dienen de strategieën adaptief te worden vormgegeven om de kans op een ‘lock-in’ te verkleinen. Om ervoor te zorgen dat de adaptieve strategieën op elkaar blijven aansluiten, is onderlinge communicatie van groot belang. Zo dienen de verschillende stakeholders allen op de hoogte zijn van deze adaptieve aanpak en dienen anderen te worden geïnformeerd indien een van de strategieën wijzigt. Hiervoor is een belangrijke regierol weggelegd voor de rijksoverheid.

Informereren van individuen en bedrijven voor de opbouw van private laadinfrastructuur

Voor de opbouw van private laadinfrastructuur is het van belang om individuen en bedrijven goed te informeren. Bij logistieke bedrijven gaat dit bijvoorbeeld om het duidelijk maken wat de invoer van de zero-emissiezones zal betekenen voor deze bedrijven en welke stappen ze moeten doorlopen om de laadpalen geïnstalleerd te krijgen.

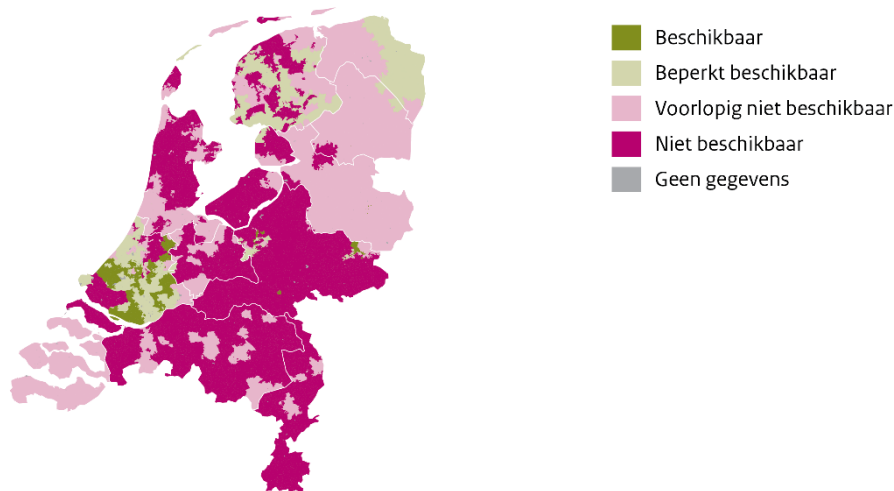
6.3.2 Netcongestie

De verzwaring van het elektriciteitsnetwerk is tijdrovend, kostenintensief en legt beslag op fysieke ruimte

In dezelfde periode waarin de groei van het aantal BEVs wordt verwacht, zal ook de vraag naar elektriciteit in andere sectoren toenemen, bijvoorbeeld in de gebouwde omgeving (o.a. door gebruik van warmtepompen) en in de industrie (door elektrificatie van industriële processen). Netverzwaring is het belangrijkste middel om het elektriciteitsnetwerk toekomstbestendig te maken voor het laden van BEVs. Op een aantal plekken in Nederland is de grens van de capaciteit al bereikt, waardoor er (voorlopig) geen nieuwe grootverbruikersaansluitingen kunnen worden gerealiseerd, zie Figuur 6.5. Voor zware vrachtvoertuigen geldt dat ongeveer 20% van de laadvraag zal ontstaan op locaties waar volgens netbeheerders nog wel transportcapaciteit beschikbaar is. Voor de overige 80% is dat momenteel niet of beperkt het geval (TNO 2023c).

In sommige gebieden is de wachttijd voor een dergelijke aansluiting al opgelopen tot meerdere jaren (TenneT 2023). Het toekomstbestendig maken van het netwerk is een zeer grote opgave die veel organisatie en arbeidskrachten vergt. Bovendien legt deze ontwikkeling ook beslag op fysieke ruimte, bijvoorbeeld voor het plaatsen van nieuwe transformatorstations. Het vinden van geschikte ruimte is complex, en het vergunningstraject lang, waardoor de doorlooptijd voor het verzwaren van het elektriciteitsnet lang is. Deze lange doorlooptijden zijn een groot risico voor de ingroei van BEVs. Dit geldt niet alleen voor personenauto's maar zeker ook voor de vrachtwagensector.

Figuur 6.5
Netcapaciteit voor afname elektriciteit in Nederland, januari 2024



Bron: Netbeheer Nederland

Netverzwaring en -flexibilisering zijn de belangrijkste oplossingen voor congestie en vereisen overheidsregie

Een goede weging van belangen, prioritering en regie vanuit de overheid is nodig om het capaciteitsstekort op het elektriciteitsnet op te lossen (PBL & TNO 2022). Zo moet duidelijk worden welke netverzwarringsactiviteiten prioriteit krijgen in het geval er onvoldoende middelen, tijd of arbeidskrachten beschikbaar zijn om alle benodigde netverzwaring te realiseren. Daarnaast moet duidelijk worden vastgelegd welke partij welk mandaat krijgt binnen deze opgave en welke budgetten daarbij horen.

Bij netverzwaring is het verstandig te starten op locaties waar de kans zeer groot is dat de elektriciteitsvraag zal toenemen. Bedrijventerreinen met veel vrachtverkeer zijn belangrijke locaties, omdat de verwachting is dat vrachtwagens daar veelal zullen laden. Ondanks dat zij dat voornamelijk in de nacht zullen willen doen, is de verwachting dat de netcapaciteit op bedrijventerreinen met (logistieke) bedrijven met aanzienlijke voertuigvloeden veelal onvoldoende zal zijn. Dit wordt versterkt wanneer er bedrijven zijn waarvan de elektriciteitsvraag zal toenemen door een energietransitie in andere (productie)processen.

Gestuurd laden kan verlichting brengen, maar potentie is onzeker

Zoals besproken in hoofdstuk 4, kan gestuurd laden of slim laden worden toegepast om pieken bij het laden van BEVs te verlagen. Bi-directioneel laden, ook wel *vehicle-to-Grid* of *V2G*, gaat nog een stap verder en kan worden ingezet om voertuigen elektriciteit te laten terugleveren aan het elektriciteitsnetwerk wanneer er onvoldoende elektriciteitsaanbod is. Echter, om een aanzienlijk deel van deze buffercapaciteit te benutten zal extra laadinfrastructuur nodig zijn.

Dit betekent ook een groter beslag op ruimte en extra straatmeubilair. Bovendien, moeten voertuigeigenaren bereid zijn om (tegen betaling) hun accucapaciteit ter beschikking te stellen. Of men hiertoe bereid is, is onzeker omdat bij situaties waarin het voertuig onverwacht nodig is, de *state of charge* wel eens onvoldoende zou kunnen zijn. Er zijn technische oplossingen denkbaar waardoor deze situaties in de praktijk maar beperkt voor zullen komen, bijvoorbeeld door de gebruiker te laten bepalen wat de minimale *state of charge* mag zijn op elk moment. Desalniettemin, zou het gevoel van onzekerheid wel eens zwaar kunnen wegen bij voertuigeigenaren. Bovendien beperken zulke oplossingen de potentie van bi-directioneel laden. Daarnaast kan het vaker ontladen en opladen

leiden tot snellere veroudering van de batterij. Ook hiervoor geldt dat er technische oplossingen zijn om dit te beperken of waardoor V2G-technologie de levensduur van de batterij zelfs ten goede zou kunnen komen (Uddin 2017). Ook deze technische oplossingen beperken de buffercapaciteit en daarmee de potentie van V2G-technologie. Daarnaast is het onzeker of voertuigeigenaren bereid zullen zijn om dit (mogelijk beperkte) risico van versnelde veroudering te nemen. In welke mate bi-directioneel laden op termijn een belangrijke rol zal spelen in het balanceren van vraag en aanbod van elektriciteit is daarom nog niet te zeggen.

De ambitie van de NAL is dat in 2025 gebruik wordt gemaakt van slim laden bij minimaal 60% van de laadsessies (NAL, 2022). Om dat te bereiken is er binnen de NAL een programma opgezet met als doel om in 2025 elke laadsessie op een bestemmingslocatie standaard slim te maken. Hiertoe is een landelijke programmatische samenwerking met alle stakeholders gecreëerd. Samen werken zij aan het realiseren van een aantrekkelijk (slim) laaदानbod door marktpartijen, landelijke uitrol van netvriendelijk laden en het coachen van gebruikers bij de adoptie van (slim) laden.

Netbeheerders hebben daarnaast nog andere manieren om slim laden en bi-directioneel laden te stimuleren. Dat kan via netwerktarieven, markt-gebaseerd congestiemanagement (*redispatching*) en/of verplicht congestiemanagement (*grid shield*) (Elaad 2021). In tegenstelling tot de tweede optie krijgt slim laden in het laatste geval tijdelijk een verplicht karakter, ongeacht de laadprofielen die op vrijwillige basis tot stand zijn gekomen. In het geval slim laden wordt gestimuleerd via netwerktarieven, wordt in generieke zin met een variabel netwerktarief gestimuleerd dat afnemers, naast hun reguliere gebruik, gaan laden op rustige momenten. De huidige netwerktarieven bevatten namelijk nog geen prikkels om te stimuleren dat geladen wordt als er veel ruimte is op het stroomnet.

Om gestuurd bi-directioneel laden nuttig in te zetten is het van belang om per gebied afspraken te maken over de hoeveelheid elektriciteit die op elk moment terug geleverd mag worden aan het netwerk. De incentives van degenen die elektriciteit terug leveren aan het netwerk (voertuiggebruikers en CPOs) zijn namelijk niet per definitie in lijn met wat maatschappelijk het meest wenselijk is. Zo zullen zij elektriciteit willen terug leveren op het moment dat dit voor hen financieel gunstig is, namelijk wanneer de elektriciteitsprijs hoog is. Op dat moment krijgen zij immers het meest betaald voor de terug geleverde elektriciteit. De elektriciteitsprijs wordt echter op landelijke schaal bepaald, terwijl congestieproblematiek op het elektriciteitsnetwerk een lokaal probleem is. Zonder specifieke afspraken met bijvoorbeeld de CPO, zal deze dus energie terug leveren op momenten dat de elektriciteitsprijs hoog is, ook op locaties waar dat op dat moment niet wenselijk is vanwege netcongestie. Andersom kan het zijn dat er via bi-directioneel laden geen elektriciteit wordt terug geleverd op locaties waar dat wel wenselijk is, wanneer de elektriciteitsprijs niet gunstig genoeg wordt geacht door de CPO.

Inzicht creëren in en faciliteren van de mogelijkheden om het elektriciteitsnetwerk efficiënter te gebruiken

Naast gestuurd laden zijn er andere methoden om het bestaande elektriciteitsnetwerk efficiënter te gebruiken, zoals load management bij andere energievragers op het net, (tijdelijke) stationaire buffercapaciteit of buiten de piekuren beschikbare transportcapaciteit ter beschikking te stellen aan andere partijen die zijn aangesloten op hetzelfde netwerk.

Bij *load management* wordt de mogelijkheid gecreëerd om de energielevering aan gebruikers op bepaalde momenten te beperken. Dit is vergelijkbaar met gestuurd laden, maar heeft in dit geval betrekking op energiegebruikers anders dan voertuiggebruikers.

Een tweede manier om laden mogelijk te maken bij beperkte netcapaciteit is het toevoegen van (tijdelijke) stationaire buffercapaciteit aan lokale energienetwerken in de vorm van stationaire batterijen. Dit is een relatief dure oplossing omdat er aanzienlijk meer batterijen voor nodig zijn dan in een systeem waar geen buffercapaciteit nodig is, bijvoorbeeld omdat er voldoende netcapaciteit is. Het kan echter wel een manier zijn om de periode te overbruggen tot het netwerk verzwaard is. Of dit een geschikte oplossing is, hangt sterk af van locatiespecifieke kenmerken, zoals de plannen voor netverzwaring.

Een derde oplossing is het efficiënter benutten van bestaande netwerkcapaciteit. Dit kan door elektriciteitsvraag van piekmomenten naar dalmomenten te verplaatsen bijvoorbeeld door transportcapaciteit ter beschikking te stellen aan andere partijen die zijn aangesloten op hetzelfde netwerk op momenten dat niet de volledige capaciteit wordt gebruikt. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd middels zogeheten non-firm ATO's (aansluit- en transportovereenkomst). Het mogelijk maken hiervan stelt netbeheerders in staat om contracten aan te bieden zonder een vaste transportcapaciteit. In september heeft de Autoriteit Consument & Markt (ACM) een 'Ontwerp codebesluit non-firm ATO' opgesteld naar aanleiding van een voorstel van Netbeheer Nederland. Net als bij buffercapaciteit geldt dat het zeer afhankelijk is van de locatiespecifieke omstandigheden in welke mate dit een bijdrage kan leveren aan de beschikbaarheid van netcapaciteit voor het laden van BEVs.

6.3.3 Waterstofinfrastructuur

Waterstofdistributie is kostenintensief

In Europese regelgeving vastgelegd dat er in Nederland minimaal ongeveer 15 waterstoftankstations beschikbaar zullen moeten zijn in 2030 (TNO 2021a). Zoals bepaald in hoofdstuk 5, is er in 2050 16 tot 28 PJ waterstof nodig indien waterstofaandrijvingen een structurele rol spelen in het zware vrachtverkeer. Om deze hoeveelheid waterstof te kunnen tanken, zouden er ongeveer 66 tot 115 waterstoftankstations nodig zijn met een capaciteit van twee ton per dag.

Om deze hoeveelheid waterstof naar de tankstations te vervoeren zouden 132 tot 229 leveringen per dag nodig zijn met tube trailers van 1.000 kg. Bij een retourritlengte van 150 km betekent dit een totale gereden afstand van 20.000 km tot 34.000 km per dag door deze tube trailers. Ter referentie, dit is 0,07% tot 0,13% van alle kilometers gereden door zware vrachtvoertuigen in Nederland in 2020.

Tot 2030 lijkt transport via tankwagens de belangrijkste transportmethode. Op lange termijn zal er mogelijk een waterstofleidingnetwerk worden aangelegd in Nederland, vooral bedoeld voor toevoer naar industriële clusters. Het is echter de vraag of er aftakkingen kunnen worden gemaakt van dit netwerk, mogelijk gebruikmakend van het bestaande aardgasleidingennetwerk, om kleinere vragers zoals tankstations te voorzien. Waterstof uit het pijpleidingennetwerk is niet zuiver genoeg om te kunnen gebruiken in brandstofcellen. Deze zal dan moeten worden gezuiverd bij het tankstation of op een centrale locatie en van daaruit alsnog met *tube-trailers* moeten worden vervoerd.

Ook is het mogelijk om waterstof lokaal te produceren bij het tankstation door middel van elektrolyse. Dit vereist een voldoende zware aansluiting op het elektriciteitsnetwerk en zuiver water. In deze vorm is de distributie niet meer de uitdaging, maar de opslag van waterstof. Om de elektrolyser nuttig te gebruiken, zal deze zoveel mogelijk moeten draaien. Dit betekent dat er ook waterstof wordt geproduceerd op momenten dat de vraag laag is, voornamelijk in de nacht. Deze waterstof

zal dan moeten worden opgeslagen. Echter, door de lage energiedichtheid van waterstof, is opslag relatief kostbaar.

Elke vorm van waterstoftransport of productie heeft zijn eigen nadelen. Als gevolg hiervan zullen de kosten voor waterstofinfrastructuur aanzienlijk zijn. Welke toevoermethode op termijn het meest gebruikt zal worden hangt af van onder meer kosten en veiligheid van deze mogelijkheden. Deze zijn nog onvoldoende onderzocht om concrete uitspraken te kunnen doen over de voorkeursoptie.

Aangezien personen- en bestelauto's naar verwachting niet of zeer beperkt op waterstof zullen rijden, zal de waterstoftankinfrastructuur naar verwachting enkel worden gebruikt door een deel van de zware vrachtvoertuigen. Hierdoor zijn er geen synergievoordelen op infrastructuur zoals die er momenteel bij diesel en op termijn waarschijnlijk bij elektriciteit wel zijn. Hierdoor bestaat de kans dat de schaalgrootte van waterstof-tankinfrastructuur beperkt blijft. Dit verhoogt het risico dat de kosten voor het realiseren en in stand houden van de waterstoftankinfrastructuur relatief hoog blijven.

Vanwege de benodigde investeringen in geld en ruimte) en het feit dat waterstofafname door wegtransport ook op langere termijn niet zeker is, is het investeren in waterstofinfrastructuur op dit moment risicovoller dan investeren in oplaadlaadinfrastructuur.

Handelingsperspectief

Ervaring opdoen met rijden op waterstof en investering in waterstofinfrastructuur voorbereiden

Ondanks het risico, is het toch raadzaam om een beperkte hoeveelheid waterstofinfrastructuur op te bouwen. Immers, indien waterstofvoertuigen op termijn een bijdrage moeten gaan leveren aan het halen van de klimaatdoelen, moet de infrastructuur tijdig op orde zijn. Dit kan bijvoorbeeld door nu al te bepalen waar de tankinfrastructuur zou kunnen worden gerealiseerd waarbij rekening wordt gehouden met de wijze waarop de waterstof naar deze locaties kan worden getransporteerd. Daarnaast kan al worden gestart met de vergunningsaanvragen. Ook is het zinvol dat op beperkte schaal ervaring wordt opgedaan om een mogelijke snelle opschaling op termijn succesvol te laten verlopen. Een optie is om te beginnen met infrastructuur op een beperkt aantal corridors en bij logistieke knooppunten en daar een vloot voertuigen bij te regelen die grotendeels op die corridor / vanuit dat knooppunt rijden.

6.4 Beschikbaarheid van duurzame energiedragers

Het is onzeker wanneer en in welke mate waterstof en duurzame brandstoffen beschikbaar zullen zijn voor het wegverkeer

Onafhankelijk van het in hoofdstuk 5 geschetste toekomstpad, zal de hoeveelheid benodigde duurzame energie voor wegverkeer aanzienlijk toenemen. Dit geldt voor alle vormen van duurzame energie. Zo zal de hoeveelheid in Nederland opgewekte duurzame elektriciteit moeten toenemen tot ruim 190 TWh in 2030 om de klimaatdoelen te halen (Uitvoeringsoverleg Elektriciteit 2022). Er zijn verschillende barrières die de haalbaarheid van de gewenste opschaalsnelheid voor de productie van duurzame energie en energiedragers onzeker maken. Voorbeelden hiervan zijn

beschikbaarheid van ruimte op de Noordzee en de snelheid waarmee technologieën zoals elektrolyse en *Direct Air Capture* (DAC) worden doorontwikkeld.

Daarnaast wordt er momenteel amper blauwe of groene waterstof geproduceerd. Zoals toegelicht in hoofdstuk 4 zijn er wel plannen voor grootschalige duurzame waterstofproductie. De vraag naar waterstof in andere sectoren dan wegmobiliteit zal naar verwachting groot worden en er zijn vaak geen alternatieven beschikbaar. Deze vraag komt bijvoorbeeld uit de industrie, waar waterstof nodig is als energiedrager of als grondstof in productieprocessen. Daarnaast zal er ook veel waterstof nodig zijn voor de productie van hernieuwbare synthetische brandstoffen voor de lucht- en scheepvaart (zie Davydenko et al. 2024; Geilenkirchen et al. 2024b; Traa et al. 2024). Het is daardoor onzeker hoeveel waterstof er beschikbaar zal zijn voor wegvervoer. Bovendien is ook de prijs waarvoor de (groene) waterstof beschikbaar zal komen erg onzeker door de betalingsbereidheid in deze andere sectoren. Immers, zelfs bij een aanzienlijke daling van productiekosten, zou een grote vraag kunnen leiden tot een hoge prijs.

Biobrandstoffen zijn momenteel al beschikbaar en ook de duurzaamheid van deze brandstoffen neemt toe door strengere Europese regelgeving¹⁸. Deze regelgeving is nodig om ervoor te zorgen dat biomassa die wordt gebruikt voor de productie van biobrandstoffen op een duurzame wijze is geproduceerd. Het gevolg hiervan is dat er steeds minder grondstoffen en productiemethoden worden toegestaan voor de productie van biobrandstoffen, waardoor ook de productiepotentie wordt beperkt. Tegelijkertijd neemt de vraag naar biomassa (en duurzame koolstof) toe in andere toepassingsgebieden, zoals de bouw en de industrie, maar ook in de lucht- en scheepvaart. Bepaalde reststromen lenen zich goed voor het maken van brandstof en minder voor toepassingen in andere sectoren, zoals reststromen van plantaardige en dierlijke vetten (bijvoorbeeld gebruikte bakolie). Ook voor deze stromen geldt echter dat de betalingsbereidheid in de lucht- en scheepvaart aanzienlijk zal zijn vanwege het gebrek aan alternatieven. Hoeveel van deze stromen op lange termijn beschikbaar zal zijn ten behoeve van de productie van biobrandstoffen voor wegtransport is daarom erg onzeker.

E-fuels zullen noodzakelijk zijn voor de lucht- en scheepvaart. Voor de luchtvaart zal dat waarschijnlijk e-kerosine zijn en voor de scheepvaart zijn verschillende opties in beeld zoals e-methanol, e-diesel en e-ammoniak. De stap van e-methanol naar e-diesel is niet complex en e-diesel is een bijproduct tijdens de productie van e-kerosine. Ook in het geval dat e-diesel voor andere modaliteiten niet gebruikt gaat worden, zou e-diesel zonder technische problemen geproduceerd moeten kunnen worden. Door de aanzienlijke energieverliezen tijdens de productie, zijn de productiekosten van hernieuwbare synthetische brandstoffen aanzienlijk hoger dan die van bijvoorbeeld elektriciteit of fossiele brandstoffen.

Handelingsperspectieven

De handelingsperspectieven voor het beschikbaar krijgen van voldoende duurzame energie voor het wegverkeer zijn hetzelfde als die voor andere vormen van mobiliteit en zelfs voor alle energiegebruikende sectoren. Om die reden wordt er in deze studie niet diep ingegaan op handelingsperspectieven voor deze uitdaging.

¹⁸ Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees parlement en de raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen.

Voor elektriciteit is het van belang om productie snel op te schalen. Hier kan de overheid zelf invloed op uit oefenen, bijvoorbeeld door het aanbesteden van nieuwe projecten voor de opwek van duurzame elektriciteit. Ook kunnen er subsidies worden verstrekt om duurzame elektriciteitsproductie aantrekkelijk te maken. Hiertoe is recent bijvoorbeeld besloten door de Rijksoverheid om het eerder aangekondigde plafond voor zon- en windenergie in de Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) voorlopig los te laten (Jetten 2023b).

Ook voor waterstof geldt dat de overheid zelf invloed kan uitoefenen op het opschalen van productie. Zo is recent bijna €800 miljoen subsidie ter beschikking gesteld aan zeven Nederlandse projecten voor waterstofproductie (Rijksoverheid 2022).

Op de productie van hernieuwbare brandstoffen heeft de Nederlandse overheid minder invloed omdat deze niet of slechts beperkt in Nederland zullen worden geproduceerd. Dit komt doordat er in andere landen en regio's tegen lagere kosten grotere hoeveelheden geproduceerd kunnen worden. Het belangrijkste handelingsperspectief is daarom zorgen dat:

- er zicht is op de locaties en contact hebben met partijen die deze brandstoffen gaan produceren;
- deze brandstoffen geïmporteerd kunnen worden: geschikte opslag beschikbaar;
- deze brandstoffen getransporteerd en gebruikt mogen worden: regelgeving gereed gemaakt, bijvoorbeeld accijnzen;
- beleid adaptief is vormgegeven zodat er kan worden omgegaan met de onzekerheid van het aanbod.

6.5 Adoptie van alternatieve aandrijftechnologieën

Zoals eerder beschreven vormt het Europees bronbeleid een belangrijke aanjager voor het realiseren van aanbod van duurzame voertuigen, maar dat alleen biedt nog geen garantie dat eindgebruikers op korte termijn de overstap maken. Voor eindgebruikers is er namelijk nog wel sprake van onzekerheid bij de overstap naar nieuwe aandrijftechnologieën.

De keuze, of het moment voor de keuze, voor een nieuwe aandrijftechnologie verschilt sterk onder de verschillende voertuigkopers. De verspreiding van een nieuwe technologie onder de bevolking wordt in de literatuur veelal beschreven met de *diffusion curve* van Rogers (Rogers 1962). Deze curve beschrijft de heterogeniteit in de bereidheid van consumenten om de nieuwe techniek aan te schaffen. Deze theorie maakt onderscheid tussen verschillende groepen gebruikers van wie de eigenschappen, groepsgrootte en momenten van adoptie variëren (*innovators, early adopters, early/late majority, laggards*). De snelheid van de verspreiding van de techniek is voor een belangrijk deel afhankelijk van de mate waarin de nieuwe technologie een meerwaarde heeft ten opzichte van de bestaande technologie, maar is ook afhankelijk van andere factoren die de bereidheid van consumenten en bedrijven bepalen.

Personenauto's

De bereidheid van consumenten tot aanschaffen van een voertuig met alternatieve aandrijftechnologie is niet alleen afhankelijk van de eigenschappen van de technologie zelf. Een review van de invloedsfactoren van de adoptie van BEVs (Li 2017) onderscheidt drie categorieën factoren:

demografische, situationele en psychologische. **Demografische** factoren als inkomen, leeftijd, geslacht, opleidingsniveau, maatschappelijke participatie, maar ook de woonlocatie spelen een rol in de keuze. Zo bestaat een groot deel van de eerste groep batterij-elektrische autokopers uit hoger opgeleide mannen van jonge tot middelbare leeftijd. Maar ook **psychologische** factoren zijn belangrijk. Voorbeelden hiervan zijn de ervaring met de technologie, de attitude en voorkeuren van de persoon. Bijvoorbeeld door gebrek aan tijd, informatie, overzicht of interesse kunnen mensen bij de aanschaf van een nieuwe auto terugvallen op bestaande gewoonten (autobezit, energiedrager, automerk). Ook heeft het gevoel bij een voertuig (bv. reputatie, status, merk) invloed op de voertuigkeuze. De individuele keuze kan bovendien beïnvloed worden door interactie met de omgeving. Een voorbeeld hiervan is het bureneffect, waarbij mensen eerder geneigd zijn over te stappen op een nieuwe technologie wanneer ze zien dat anderen deze reeds in bezit hebben (zoals de burenen) (KiM 2020a). Onder de **situationele** factoren worden de technische en praktische eigenschappen van het voertuig verstaan: voorbeelden zijn de laadtijd, laadlocatie, actieradius, gebruiksgemak en kosten van het voertuig (zie hoofdstuk 4).

Waar bij de eerste groep consumenten (*innovators*) psychologische factoren als het imago, het pionieren of de milieuoverweging voldoende doorslaggevend kunnen zijn voor de aanschaf van een batterij-elektrische auto, wegen voor de volgende groepen (*early adopters* en *majority*) de praktische eigenschappen van het voertuig zwaarder om de gewoonte te doorbreken. Terwijl bij de laatste groep (*laggards*) pas overgegaan wordt naar de alternatieve keuze, indien de conventionele optie niet meer voor handen is. Het meenemen van deze laatste groepen in de transitie is van belang om het doel van nul CO₂-emissies in 2050 voor wegverkeer te bereiken.

Nationaal stimuleringsbeleid heeft de bereidheid van automobilisten de afgelopen jaren vergroot om van het aanbod aan duurzame voertuigen gebruik te maken en versnelt daarmee het tempo van de transitie. Op de personenautomarkt zijn de eerste groepen autokopers daarmee over de streep, voornamelijk ten aanzien van batterij-elektrische voertuigen. Vanwege de afbouw van de (fiscale) prikkels dreigt de adoptie van BEVs in Nederland echter op de korte termijn geremd te worden. Temeer omdat door het vervallen van de korting op de mrb, BEVs als gevolg van het hogere gewicht (accu) te maken krijgen met een hogere mrb in vergelijking met conventionele auto's. Tegelijkertijd vereist het Europees bronbeleid dat op termijn een steeds groter deel van nieuwverkopende nulemissie is om aan de normen te kunnen voldoen. Dit houdt in dat ook kopersgroepen dienen te worden overgehaald die op dit moment nog terughoudend zijn (*majority*, *late majority* en *laggards*). Grote volumes van BEVs zijn niet alleen nodig voor een significant effect op de CO₂-uistoot maar ook om kosten verder te kunnen verlagen.

Voertuigen voor goederentransport

Voor bedrijven die voertuigen inzetten voor goederentransport spelen demografische en psychologische factoren een minder belangrijke rol dan voor consumenten. Voor hen bepalen de voertuigkosten in belangrijke mate hun concurrentiepositie. Situationele factoren, zoals kosten en de mogelijkheid om nieuwe aandrijftechnieken in te passen in de logistieke operatie (door beperkte actieradius en laadtijden en -locaties) zijn juist des te belangrijker. Voor een beperkte groep geldt dat zij de overstap naar batterij-elektrische bestel- en vrachtwagens al hebben gemaakt, waarbij men de extra kosten heeft gedekt door subsidies of vergoedingen in pilots of door deze (gedeeltelijk) door te belasten aan klanten die hun goederen graag klimaatneutraal vervoerd willen hebben.

Voor de overgrote meerderheid geldt echter dat de situationele factoren zo moeten zijn dat de logistieke operatie kan worden uitgevoerd tegen beperkte kosten, niet hoger dan de kosten van de concurrentie. Voor de transitie naar batterij-elektrische voertuigen betekent dit dat een gunstige

TCO nodig is, dat de actieradius voldoende is en dat er geschikte laadinfrastructuur beschikbaar is. Voor waterstofvoertuigen zal de actieradius en benodigde tijd om te tanken minder bepalend zijn, maar TCO en de locaties van de waterstoftankstations zijn evenwel belangrijk.

De invoering van de vrachtwagenheffing met CO₂-differentiatie zal leiden tot TCO-voordeel voor aandrijvingen met lage CO₂-emissies, wat de adoptie zal vergroten. Dit geldt ook voor de invoering van de aangekondigde ZE-zones, aangezien het vervoerders en verladers noopt tot de aanschaf van nulmissievoertuigen om een deel van hun logistieke operatie uit te kunnen blijven voeren.

Net als voor personenauto's geldt ook voor vrachtvoertuigen dat er naar verwachting een groep zal overblijven die de overstap naar nulmissievoertuigen in 2050 niet zal hebben gemaakt zonder aanvullend beleid.

Handelingsperspectief

Aandacht voor kleinere segmenten en tweedehandsmarkt voor personenauto's kan transitie versnellen

Met de verwachting dat het aantal beschikbare modellen van BEVs binnen de kleinere auto-segmenten de komende jaren verder toeneemt, zal aanvullend beleid, bijvoorbeeld via gerichte prijsprikkels, zinvol zijn om de overstap ook in die segmenten te vergroten zolang deze qua aanschafprijs nog onvoldoende concurrerend zijn. Ook het bedienen van de tweedehandsmarkt is van cruciaal belang om grotere aandelen in de vloot te kunnen realiseren. De meeste autobezitters kopen namelijk zelden of nooit een nieuwe auto.

Kopers van occasions hebben een voorkeur voor compacte, middensegment auto's (KiM 2023b). Dergelijke auto's zijn nog weinig voorhanden als batterij-elektrische occasion. Via de nieuwmarkt kan de overheid de groei van geschikte batterij-elektrische occasions in het autopark gericht blijven faciliteren, bijvoorbeeld door bij financiële prikkels de focus te (blijven) leggen op compacte, middensegment auto's, niet alleen via de particuliere markt maar ook via de zakelijke markt. Nieuwe leaseauto's bepalen namelijk (na afloop van de leasecontracten) voor een belangrijk deel het aanbod op de tweedehandsmarkt.

Door het prijsplafond (cap) voor nulmissievoertuigen die in aanmerking komen voor de aanschafsubsidie of het gereduceerde bijtellingstarief (verder) te verlagen zou hier op ingespeeld kunnen worden. Dit beleid wordt echter de komende jaren verder afgebouwd. Gelet op het naar verwachting verder toenemende aanbod van BEVs in de kleinere autosegmenten zou het een denkbare optie zijn dit beleid te verlengen. Zodra de markt voor BEVs meer volwassen wordt kan ook de import van gebruikte auto's uit deze segmenten hier mogelijk meer balans in brengen. Ook op de tweedehandsmarkt zou de aanschaf van deze auto's gestimuleerd kunnen (blijven) worden via differentiaties in de mrb. Qua kosten is het procentuele aandeel mrb bij een occasion namelijk groter dan bij een nieuwe auto.

Voor de Nederlandse vrachtwagenvloot is het creëren van een gebalanceerde tweedehandsmarkt van minder belang omdat deze vloot grotendeels bestaat uit voertuigen die nieuw zijn aangeschaft. Aangezien voor deze markt (tot 2030) nog grotendeels geldt dat er een onrendabele top is, is het subsidiëren van nieuwe voertuigen hier een geschikte maatregel om de transitie te versnellen.

Onzekerheden vragen om adaptief beleid

De toekomstige (kosten)ontwikkelingen rond elektrisch rijden zijn onzeker. Voor de grootschalige adoptie is het daarom verstandig om beleid adaptief vorm te geven. Daarmee kan de overheid

inspelen op de grote dynamiek in de markt door bijvoorbeeld financiële prikkels op de nieuwmarkt te laten afhangen van kostenontwikkelingen en vraag naar voertuigen. Dit kan er bovendien toe bijdragen dat een prijsopdrijvend effect wordt voorkomen. Een dergelijk effect kan ontstaan wanneer de vraag groot is en er bereidheid is om een hogere prijs te betalen dan een fabrikant nodig heeft om zijn kosten (inclusief winst) te dekken.

Aan de andere kant is het van belang beleidswijzigingen goed te communiceren en duidelijkheid te verschaffen over toekomstige wijzigingen in het fiscale beleid, zodat kopers en eigenaren van nulemissievoertuigen niet onverwacht worden geconfronteerd met veranderingen in fiscale lasten. Adaptief beleid ten aanzien van de hoogte van prijsprikkels leent zich daarom meer voor (eenmalige) aanschafbelastingen of -subsidies en minder voor periodieke belastingen. Zo leidt een abrupte verhoging van de mrv of vrachtwagenheffing er toe dat de TCO negatief wordt beïnvloed, waardoor deze hoger uitpakt dan waar op het moment van de aanschafbeslissing rekening mee was gehouden.

Gegeven de context waarin het marktaandeel van nulemissievoertuigen zich gaandeweg richting 100% in 2035 begeeft, en deze voertuigen mede daardoor in toenemende mate ook qua aanschafprijs concurrerend worden, is adaptief beleid ook zinvol met betrekking tot het type instrument dat wordt ingezet: het gaat om een goede verhouding tussen beprijzen, normeren en subsidiëren. Mits de randvoorwaarden (laadinfrastructuur en netcapaciteit) voldoende op orde zijn, is het goed denkbaar om het accent gaandeweg te leggen op normeren en beprijzen. Daarbij is voldoende draagvlak cruciaal. Voor vrachtvoertuigen zal dat al het geval zijn bij de introductie van de ZE-zones. Normerende/dwingende maatregelen voor personenauto's zouden eerder voor de hand liggen zodra BEVs ook in de kleinere segmenten zowel vanuit kostenooptpunt als inzetbaarheid concurrerend worden.

Bij een groeiende adoptie van BEVs zullen aanschafsubsidies op de nieuwmarkt (en gaandeweg ook op de tweedehandsmarkt) steeds minder kosteneffectief zijn. Een deel van de subsidies gaat naar mensen of bedrijven die ook zonder subsidie een dergelijk voertuig hadden aangeschaft. Deze worden ook wel *free riders* genoemd. Deze groep zal groter worden naarmate BEVs ook zonder de (fiscale) stimuleringsmaatregelen betaalbaarder worden.

Hoe groter de groep *free riders*, hoe lager de kosteneffectiviteit van het gevoerde subsidiebeleid. Een sterke focus op de onderkant van de markt waar de betaalbaarheid nog onder druk lijkt te staan en kopers niet over de (financiële) mogelijkheid beschikken om de overstap te maken, zou het risico van *free riders* kunnen beperken en daarmee de effectiviteit van het beleid vergroten. Ook bij flankerend beleid speelt overigens dat de effectiviteit van het initiële beleid (bijvoorbeeld een vrije rijbaan of toegang tot een autoluw gebied) erodeert als gevolg van de (autonome) adoptie van BEVs.

Leveranciers van producten voor duurzame mobiliteit kunnen worden gestimuleerd om oplossingen versneld in de markt te zetten.

Naast prijsprikkels voor eindgebruikers via het fiscale systeem is het ook mogelijk om leveranciers te stimuleren om oplossingen voor duurzame mobiliteit, zoals voertuigen en energie / brandstoffen, in de markt te zetten. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door leveranciers te laten concurreren om de subsidie, door subsidie in kavels uit te geven. Marktpartijen kunnen inschrijven op deze kavels en daarmee de verantwoordelijkheid op zich nemen om de in de kavel gevraagde hoeveelheid duurzame voertuigen, duurzame brandstof of andere duurzame mobiliteitsproducten in de markt te zetten in ruil voor de financiering door de overheid van een niet rendabele top. De kavels kunnen zo worden uitgevraagd dat de producten specifieke kenmerken hebben waarmee ze bijdragen aan het halen van bepaalde (sub)doelen, zoals voertuigen waar veel vraag naar is op de tweedehands

markt. Ook kunnen de kavels worden afgestemd op de ontwikkelingsfase van technologieën, zodat de voorlopers niet alle anderen opties wegdrücken. De kavels kunnen bovendien zo worden vormgegeven dat partijen uit verschillende onderdelen van de keten (bijvoorbeeld laadpalen, voertuigen, voertuiggebruikers) genoodzaakt zijn om als consortium in te schrijven waardoor de samenwerking binnen de keten wordt bevorderd. Naast kavels voor implementatie kunnen er ook kavels voor proeftuinen en R&D worden uitgezet.

Deze aanpak heeft gelijkenissen met de vormgeving van de SDE-subsidies. Zo kan de concurrentie worden bevorderd door de regeling op te delen in tranches / fasen met oplopende vergoeding per eenheid die na elkaar worden uitgegeven maar met een in totaal vaststaand budget. Ook kan de hoogte van de subsidie worden bepaald op basis van een onafhankelijke inschatting van de onrendabele top. Dit kan jaarlijks worden bijgesteld op basis van monitoring van kostenontwikkelingen.

Voordelen van deze vormgeving ten opzichte van fiscale stimulering zijn:

- Minder stakeholders en daardoor kleinere (administratieve) last voor de rijksoverheid
- Meer concurrentie tussen aanbieders van vergelijkbare producten en daardoor geen risico op prijsopdrijvende werking die kan plaatsvinden als gevolg van fiscale stimulering.
- Door gefaseerde uitgifte is eenvoudige afstemming op de onrendabele top en het gewenste volume mogelijk, zodat de aanpak geruime tijd toekomstbestendig is.

Europese afstemming over nationale maatregelen zinvol

Zolang de Europese normen nog niet volledig tot 0 g/km zijn aangescherpt kan de brandstofmix van nieuw aangeboden auto's per lidstaat anders uitpakken. Dit bronbeleid reguleert op Europese schaal de gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuwe voertuigen, maar bepaalt niet in welke landen welke auto's verkocht moeten worden. Daardoor spelen nationale omstandigheden een belangrijke rol. Zo creëren sommige landen gunstiger (fiscale) omstandigheden om nulmissievoertuigen te verkopen dan andere (FIER 2023), waardoor fabrikanten eerder in die landen batterij-elektrische auto's zullen verkopen, onder meer vanwege het kunnen realiseren van grotere winstmarges, ten koste van de verkoop in andere landen (waterbedeffect). Zo leidde de stimulering van BEVs in Nederland in de periode 2015-2019 tot een groot aandeel in de totale Europese markt, maar sinds 2019 de Nederlandse stimulering wordt afgebouwd en grote Europese landen ook stimuleringsbeleid voeren, slinkt dat aandeel (RVO 2023c). Dit pleit voor enige Europese afstemming in de mate van subsidiëring zodat er geen belastingconcurrentie ontstaat tussen landen.

Bepaal op termijn of het waardevol is om voertuigen met klimaatneutrale aandrijftechnieken anders dan batterij-elektrisch langer te stimuleren

Zoals beschreven in paragraaf 6.2, is de rol van waterstof in wegtransport onzekerder dan die van batterij-elektrisch, maar zijn investeringen in technologieontwikkeling geoorloofd om te waarborgen dat de technologie tijdig beschikbaar is wanneer deze nodig blijkt om de klimaatdoelen te halen. Om snel te kunnen opschalen zal ook een beperkte voertuigproductie nodig zijn. Deze voertuigen zullen echter duurder zijn dan bijvoorbeeld meer volwassen BEVs. Het valt daarom te overwegen om de aanschaf van deze voertuigen te blijven stimuleren, mogelijk voor een langere periode dan voor BEVs.

6.6 Beschikbaarheid van kennis en personeel

De transitie naar klimaatneutraal vereist een grote hoeveelheid kennis en gekwalificeerde arbeidskrachten. Zo zijn arbeidskrachten en kennis nodig voor het verduurzamen van de gebouwde omgeving en de energiesector, maar bijvoorbeeld ook voor verduurzamen van mobiliteit. Bij de energietransitie bij mobiliteit ligt er in Nederland een uitdaging om voldoende arbeidskrachten te hebben voor het aanleggen van het laadnetwerk en voor het onderhoud van voertuigen die aangedreven worden door nieuwe technologieën.

Indien een groot deel van het voertuigenpark zal gaan rijden op elektriciteit, zoals in de toekomstpaden, dan zal het huidige laadnetwerk flink moeten worden uitgebreid. Het gaat dan bijvoorbeeld om de uitrol van laadpunten en de benodigde verzwaring van het elektriciteitsnetwerk. Paragraaf 6.3 schetst dat er ongeveer 1.000 tot 1.600 laadpunten per werkdag moeten worden gerealiseerd om voldoende laadcapaciteit te hebben voor de vraag naar BEVs in toekomstpaden. Ook het onderhoud van voertuigen vereist personeel en kennis. Wanneer er zowel voertuigen op elektriciteit als op waterstof worden gebruikt, zal onderhoudspersoneel bijgeschoold moeten worden. Bovendien is er meer onderhoudsapparatuur nodig en is meer ruimte nodig om deze op te slaan. Met name in de eerste periode zal het onderhoud bovendien langer duren vanwege een gebrek aan ervaring. Bovendien is het mogelijk dat er kinderziektes zullen zitten in de eerste generatie voertuigen met deze nieuwe aandrijftechnologieën. Dit kan leiden tot een lagere inzetbaarheid van voertuigen waardoor er meer voertuigen nodig zijn om aan dezelfde vervoersvraag te voldoen en daardoor tot hogere kosten.

Verschillende sectoren vissen uit dezelfde vijver voor arbeidskrachten. Weterings et al. (2022) laat zien dat voor de verschillende typen investeringen in de energietransitie (zoals gebouwde omgeving, zonne-energie, duurzame mobiliteit etc.) veelal werknemers uit dezelfde beroepsgroepen nodig zijn. Dit betreft met name ambachtsberoepen als metaalbewerkers, machinemonteurs en elektriciens en elektromonteurs. In deze beroepen worden ook zonder investeringen in de energietransitie al tekorten verwacht in de komende jaren.

Wanneer onvoldoende arbeidskrachten beschikbaar zijn voor de aanleg van het laadnetwerk en onderhoud van voertuigen kan dat mogelijk de overgang naar nulmissievoertuigen vertragen, de kosten verhogen en de acceptatie voor de energietransitie ondergraven.

Handelingsperspectief

De krapte op de arbeidsmarkt, en in het bijzonder in de techniek, is een probleem dat zich niet eenvoudig laat oplossen. Verschillende oorzaken liggen hieraan ten grondslag, zoals vergrijzing, baanwisselingen en hoge werkdruk. Oplossingsrichtingen kunnen gezocht worden in het verkleinen van de arbeidsvraag, het vergroten van arbeidsaanbod en het in overeenstemming brengen van de twee (Weterings et al. 2019).

Wanneer het gaat om het verminderen van de arbeidsvraag gaat het vooral verder automatiseren van de werkzaamheden en efficiënter maken van werkprocessen. Dit kan in door bedrijven zelf worden opgepakt, maar ook gestimuleerd worden door de overheid met subsidieregelingen of fiscale stimulansen (Weterings et al. 2019).

Ook het vergroten van het arbeidsaanbod kan aangepakt worden door bedrijven zelf via aantrekkelijke lonen en arbeidsomstandigheden waardoor mensen binnen de sector blijven werken. Voor de

overheid liggen sturingsopties in aanpassingen van regelgeving (bijv. kinderopvang, werken naast werkloosheidsuitkering), of bijvoorbeeld het fiscaal stimuleren van het inzetten van mensen met een afstand tot de arbeidsmarkt (Weterings et al. 2019).

Tot slot zou ook de afstemming tussen arbeidsvraag en -aanbod vergroot kunnen worden door opleiding en omscholing. Hier kunnen zowel onderwijsorganisaties, bedrijven als de overheid maatregelen treffen (Weterings et al. 2019).

Het *Actieplan Groene en Digitale Banen*, dat in 2023 is aangeboden aan de Tweede Kamer, beschrijft vier verschillende pijlers als oplossingsrichtingen voor de krapte in de arbeidsmarkt van technici en ICT-ers (Adriaansens et al. 2023). Het gaat dan om 1) het verhogen van de instroom bij bèta technische opleidingen, 2) het behouden van werknemers binnen de markt, 3) arbeidsproductiviteitsgroei en 4) het versterken governance en tegengaan van versnippering.

De oplossingsrichtingen draaien dus niet alleen om het genereren van meer en passend aanbod van arbeidskrachten, maar ook om het verlagen van de vraag naar technisch personeel door waar mogelijk meer te automatiseren.

7 Slotbeschouwing op de handelingsperspectieven

Dit hoofdstuk vormt een slotbeschouwing op de handelingsperspectieven voor nationaal beleid en gaat daarbij tevens in op de bredere (maatschappelijke) effecten die gepaard kunnen gaan bij de transitie naar klimaatneutraal wegverkeer.

Groot belang van nationaal beleid gericht op (versnelde) adoptie en het faciliteren van nulemissievoertuigen

Ondanks dat voor het wegverkeer het regelgevende kader al vergaand is uitgewerkt (par. 2.2), ligt het eindbeeld van emissievrij wegverkeer in 2050 nog niet volledig binnen bereik wanneer dat via autonome vlootvervangings tot stand moet komen. Om te komen tot het toekomstpad waarin het eindbeeld van klimaatneutraal wegverkeer volledig via de overstap naar nulemissievoertuigen behaald wordt, is aanvullend nationaal beleid noodzakelijk gericht op het versnellen van de instroom van nulemissievoertuigen in het wagenpark in combinatie met het uitfasen van auto's met fossiele brandstofmotoren (voor hun natuurlijke vervangingsmoment). Met het gegeven dat het aanbod van nulemissievoertuigen door Europees bronbeleid verder op gang komt is het zinvol om het accent van nationaal beleid meer te (blijven) leggen op het vergroten van de adoptie van deze voertuigen en het scheppen van de juiste randvoorwaarden, zoals voldoende en betaalbare laad- en tankinfrastructuur.

De afgelopen jaren heeft vooral de aanschaf van nieuwe nulemissievoertuigen veel aandacht gehad in het (fiscaal) stimuleringsbeleid. Aangezien veel particuliere autokopers aangewezen zijn op de tweedehandsmarkt verdient de doorstroom van deze voertuigen naar de tweedehandsmarkt in toenemende mate de aandacht. De doorstroom van deze voertuigen naar de tweedehandsmarkt verdient in toenemende mate de aandacht. De kenmerken van de batterij-elektrische personenauto's die tot op heden zijn verkocht sluiten voor een groot deel onvoldoende aan bij de vraag op de tweedehandsmarkt (zie 6.5). De laatste jaren is daar bij de vormgeving van het (fiscaal) stimuleringsbeleid al meer de focus op komen te liggen. Tegelijkertijd is er nog sprake van onzekerheid over de wijze waarop BEVs in de toekomst worden belast en dreigt de adoptie op basis van huidig vastgesteld beleid (conform najaar 2023) geremd te worden door met name de hogere mrb-tarieven voor batterij-elektrische voertuigen vanaf die vanaf 2026 kunnen gaan gelden als gevolg van het hogere (accu)gewicht en het aflopen van de tijdelijke kortingsregeling voor nulemissie auto's.

Onzekerheid rond ontwikkelingen van kosten en technologieën pleit voor adaptief beleid

Zoals beschreven in voorgaande hoofdstukken, zijn ontwikkelingen van kosten en technologieën onzeker. Als gevolg hiervan is het moeilijk om beleid te ontwikkelen voor de langere termijn. Immers, in het geval dat de ontwikkelingen anders verlopen dan waar rekening mee was gehouden bij het ontwerpen van het beleid, zal ook het effect anders zijn dan beoogd. Enerzijds is er behoefte om ver vooruit te kijken om duidelijke doelen te stellen en richting te geven en op basis daarvan pro-actief te handelen, maar anderzijds is er nog dermate veel onzekerheid dat ook tijdig bijgestuurd moet kunnen worden in termen van oplossingsrichtingen dan wel beleidskeuzes. Beleid dat tijdens de uitvoering wordt bijgesteld om in te spelen op (onvoorziene of van tevoren slecht te voorspellen) ontwikkelingen wordt ook wel aangeduid als adaptief beleid.

Adaptief beleid is bijvoorbeeld van belang in het geval van subsidies, prijsbeleid of (auto)belastingen. Hier bestaat namelijk het risico dat een andere ontwikkeling van kosten en prijzen dan verwacht kan leiden tot een afwijking van het effect dan met het beleid was beoogd. Daarom is het verstandig de hoogte van prijsprikkels, maar ook de inzet van het type beleidsinstrument te laten afhangen van prijsontwikkelingen en consumentenvraag (zie ook paragraaf 6.5).

Ook voor de uitrol van tank- en laadinfrastructuur is adaptief vormgeven van beleid van belang, aangezien de ontwikkeling van nieuwe (laad)technologieën ertoe kan leiden dat de laadtechnologie die op hoge snelheid wordt uitgerold (gedeeltelijk) overbodig of achterhaald blijkt (zie paragraaf 6.3). Dit kan worden bereikt door tijdens de uitrol zicht te blijven houden op de potentie van deze nieuwe (laad)technologieën en de uitrolstrategieën hierop aan te passen. Specifiek voor waterstof-tankinfrastructuur kan adaptief beleid worden ingezet om de snelheid van de opbouw aan te passen aan de onzekere ontwikkeling van de vraag naar waterstof in wegmobiliteit (zie paragraaf 6.3.3).

Belangrijke regierol voor de overheid

Zoals toegelicht in paragraaf 6.3.1 is er een belangrijke regierol weggelegd voor de rijksoverheid om te zorgen dat de adaptieve strategieën van verschillende stakeholders op elkaar aangesloten blijven zodat ze uiteindelijk leiden tot een goed werkend laadinfrastructuurnetwerk. Deze rol dient ook te worden ingevuld in het kader van netverzwaring.

Door de opschaling van nieuwe energiedragers, zal op langere termijn de behoefte aan tankstations voor koolstofhoudende brandstoffen afnemen. Ook voor de afbouw hiervan is een regierol voor de overheid weggelegd. Hiermee zou bijvoorbeeld voorkomen kunnen worden dat de minst rendabele tankstations als eerste verdwijnen, waardoor het risico bestaat dat bepaalde regio's zonder conventioneel tankstation komen te zitten. Dit zou er namelijk toe kunnen leiden dat de mobiliteitsmogelijkheden voor de bewoners van deze regio's relatief sterk worden beperkt.

Zoals in voorgaande paragrafen beschreven vormen autobatterijen een belangrijke rol in de transitie. Bepaalde potentiële belemmeringen die daarbij spelen, zoals materiaaltekorten, zijn mondiaal van karakter (paragraaf 6.1). Op Europees niveau wordt inmiddels beleid gemaakt om onder meer de afhankelijkheid van externe economieën te verkleinen. Onder meer de circulariteit van de keten vormt daarbij een belangrijke oplossingsrichting. Hier kan ook nationaal verder op gestuurd worden. Samenwerking in Europese context is van belang om waardeketens voor kritische materialen en goederen op te bouwen. Het is hierbij belangrijk om strategische allianties te bouwen.

Het bevorderen van energiezekerheid is een belangrijke rol van de rijksoverheid. Zo heeft de overheid zich in 2023 nadrukkelijk bezig gehouden met de import van (vloeibaar) aardgas vanwege een risico op onvoldoende voorraden. Ook in de energietransitie zou de voorziening onder druk kunnen komen te staan. Dit kan bijvoorbeeld spelen wanneer hernieuwbare synthetische brandstoffen niet tijdig in voldoende volumes worden geproduceerd om in de mondiale behoefte te voorzien. De overheid zou ook dan een rol kunnen spelen om de kans op tekorten te verkleinen. Tegelijkertijd biedt de transitie naar elektriciteit en daarvan afgeleide energiedragers zoals waterstof ook een kans tot minder energieafhankelijkheid. Waar Nederland voor de energievoorziening van het wegverkeer momenteel volledig afhankelijk is van de import van olie, zal het op termijn mogelijk zijn om zelf (een deel van) de energie ten behoeve van wegmobiliteit te genereren. Daarentegen is er bij elektrificatie van de voertuigen, en van andere sectoren die ook overgaan naar elektriciteit, een grotere afhankelijkheid van elektriciteit. Dat maakt de samenleving mogelijk gevoeliger voor

problemen met het elektriciteitsnet. Bovendien is elektrisch rijden bij calamiteiten minder robuust dan rijden op brandstoffen.

Volumereductie en efficiëntieverbeteringen kunnen de opgave verkleinen en bijdragen aan het behalen van tussentijdse klimaatdoelen

Vanwege de lange levensduur van voertuigen laten de toekomstpaden in hoofdstuk 5 zien dat voertuigen met verbrandingsmotor voorlopig nog een groot aandeel vormen binnen het wegverkeer. In relatie tot de noodzaak om naast het realiseren van nul emissies in 2050 ook de cumulatieve emissies in de periode tot 2050 zo laag mogelijk te houden, liggen er kansen via beleid gericht op volumereductie, efficiëntie verbetering, en/of de extra inzet van bio- of synthetische brandstoffen. Daarbovenop zal het verlagen van de energievraag bijdragen aan het vergroten van de kans om de doelen te halen. Het draagt dan rechtstreeks bij aan het verlagen van de druk op het systeem dat de technologische omslag faciliteert. Maar het zou ook baat hebben voor het behalen van CO₂-neutraliteit voor andere sectoren, circulaire economie bevorderen en het zou, afhankelijk van hoe deze maatregelen worden vormgegeven, ook de leefomgeving positief kunnen beïnvloeden. Zo zal een kleiner aantal voertuigen met een verbrandingsmotor leiden tot minder luchtverontreinigende en geluidemissies.

Volumereductie kan gerealiseerd worden door een vorm van Betalen naar gebruik. Het reduceren van de CO₂-uitstoot zou verder versterkt kunnen worden als bij de vormgeving de tarieven gedifferentieerd worden naar gewicht en/of milieukeurmerken. Dan kan het ook een bijdrage leveren aan de transitie naar nulmissievoertuigen. Om een effectieve tariefstelling te bepalen, is het belangrijk goed te overwegen welke doelen dienen te worden bereikt met een dergelijk systeem. Ook moet er voor automobilisten voldoende handelingsperspectief zijn om te kunnen reageren op de prikkel die van de beprijzing uit gaat. Bij dergelijke maatregelen is het van belang om de juiste voorwaarden te scheppen, die niet alleen een groei in autogebruik afremmen, maar ook een verschuiving van de vraag kunnen accommoderen richting (meer) duurzame vervoersalternatieven, ook op locaties en trajecten met relatief lage vervoersbehoefte. Volumereductie door prijsbeleid is moeilijker te realiseren bij vrachtvervoer dan bij personenvervoer omdat transportkosten in veel gevallen slechts een klein deel uitmaken van de prijs van de vervoerde goederen.

De invoering van CO₂-prestatienormen voor bedrijven is een andere mogelijkheid om volumevermindering te realiseren. Bovendien kan dit beleid bijdragen aan het stimuleren van de vraag naar voertuigen met een lage CO₂-uitstoot, zoals nulmissievoertuigen. De intentie voor de invoering van dergelijk beleid is opgenomen in het Klimaatakkoord en recenter in de Voorjaarsnota 2023. Het beleid zou zowel betrekking kunnen hebben op commercieel personenvervoer als op goederenvervoer. Door de grote diversiteit van partijen die logistiek bedrijven is het complex om het beleid zo vorm te geven dat de marktverstoring en administratieve last beperkt blijven. Het is daarom van belang om het beleidsvormingsproces aandachtig te doorlopen en zicht te hebben op potentiële marktverstoring die kan optreden als gevolg van verschillende beleidsopties.

Voor het realiseren van technische efficiëntieverbeteringen bij conventionele voertuigen zijn de Europese CO₂-normen momenteel de belangrijkste drijfveer. Fabrikanten kunnen aan de norm voldoen door conventionele voertuigen energie-efficiënter te maken en/of door meer nulmissievoertuigen te verkopen. De verkoop van nulmissievoertuigen zal naar verwachting zo snel stijgen, dat het beschikbare potentieel voor efficiëntieverbeteringen bij conventionele voertuigen maar in beperkte mate zal worden gerealiseerd. In theorie is het nog mogelijk om de normen verder aan te scherpen of een specifieke CO₂-norm voor ICEVs in te voeren waardoor meer

efficiëntieverbetering van deze voertuigen te verwachten is. Door het afnemende marktaandeel van personen en bestelauto's met een verbrandingsmotor wordt het CO₂-reductiepotentieel in de loop der jaren steeds kleiner. Voor vrachtauto's zal het potentieel hiervan wel langer aanhouden. Echter, de doorlooptijd voor de introductie van dergelijke (aanpassingen aan de) regelgeving is meerdere jaren. Het is daarom wel de vraag of de benodigde inspanningen de moeite waard zijn.

Met het beïnvloeden van de aanschaf van (zuinige) conventionele voertuigen middels nationaal beleid zou er wel op kortere termijn CO₂-reductie gerealiseerd kunnen worden. In de huidige tariefstelling van de bpm en de mrb bestaat er reeds een fiscale prikkel om de aanschaf van zuinige auto's te bevorderen en die van onzuinige te ontmoedigen. Ook in de voorgenomen tariefstelling van de vrachtwagenheffing zal daar sprake van zijn. Deze (fiscale) prijsprikkels zouden verder vergroot kunnen worden. Zoals ook beschreven in paragraaf 2.1. is er op het moment een trend gaande van de aanschaf van grotere en zwaardere conventionele voertuigen, wat voor een belangrijk deel het gevolg is van een toename in het aandeel SUV/MPV in de nieuwverkopen. Deze auto's hebben een hoger gemiddeld brandstofverbruik dan lichtere auto's. Een verhoging van de bpm, de brandstofaccijns en/of een verhoging van de mrb voor zwaardere auto's zou daarmee een extra bijdrage kunnen leveren aan CO₂-reductie. Naast deze (fiscale) prijsprikkels, kan ook de RBSW verder worden aangescherpt waardoor aanbestedende diensten worden verplicht om nog zuinigere voertuigen aan te schaffen.

Voor BEVs liggen er nog wel kansen om technische efficiëntieverbetering te realiseren. Dit zou de opgave voor de benodigde materialen, laadpunten, netcapaciteit en duurzame energie kunnen verkleinen. De meest effectieve manier om dit te bereiken is via Europees bronbeleid. De huidige CO₂-normen zijn enkel gebaseerd op de CO₂-uitstoot aan de uitlaat waardoor het de energie-efficiëntie van nulmissievoertuigen niet stimuleert. Door bijvoorbeeld Europese energie-efficiëntienormen te introduceren voor alle nieuw verkochte voertuigen of specifiek voor nulmissievoertuigen kan de verkoop van meer energiezuinige voertuigen gestimuleerd worden. Ook nationaal zou beleid hierop gericht kunnen worden door bijvoorbeeld het introduceren van naar energiegebruik gedifferentieerde (fiscale) prijsprikkels.

Maatregelen gericht op efficiënt rijgedrag kunnen al op korte termijn een bijdrage leveren

Het energiegebruik van voertuigen kan op korte termijn worden verlaagd door maatregelen gericht op efficiënter rijgedrag, zoals beschreven in paragraaf 3.2. Deze kunnen in een relatief kort tijdsbestek worden ingevoerd en indien nodig worden uitgefaseerd, in tegenstelling tot maatregelen die een relatief lange doorlooptijd kennen zoals investeringen in nieuwe ov-infrastructuur of ruimtelijke ordeningsbeleid.

Maatregelen die gericht zijn op efficiënter rijgedrag hebben bij BEVs geen effect op de directe CO₂-emissies en minder effect op het energiegebruik (vanwege regeneratief remmen). Daarom heeft beïnvloeding van rijgedrag het grootste effect op de kortere termijn zo lang nog een groot deel van de voertuigvloot gebruik maakt van verbrandingsmotoren ('window of opportunity'). Daarnaast leiden ook andere maatregelen als lage maximumsnelheden, in combinatie met handhaving, in veel gevallen ook tot een lager energiegebruik. Voor deze maatregelen geldt eveneens dat ze in termen van CO₂-reductie het grootste effect hebben op de korte termijn, maar dat ze ook op de lange termijn effectief kunnen zijn om het energiegebruik van BEVs te verlagen. De omvang van dat potentieel is niet goed bekend.

Stapsgewijze wijzigingen in autobelastingen kunnen de balans houden tussen het realiseren van CO₂-reductie en stabiele overheidsinkomsten

Het stimuleren van de aanschaf van nulmissievoertuigen middels fiscale prikkels staat op gespannen voet met het andere doel van de autobelastingen om robuuste overheidsinkomsten te realiseren. Zonder wijzigingen in autobelastingen, zullen de inkomsten uit de brandstofaccijnzen en de bpm op termijn vrijwel geheel verdwijnen door de ingroei van batterij-elektrische voertuigen (grondslagerosie). Daar tegenover staat weliswaar dat de opbrengst uit de energiebelasting door het stroomgebruik van batterij-elektrische auto's zal toenemen, maar die is aanzienlijk minder groot dan de accijnsderving. Vanuit het rechtvaardigheidsprincipe "de vervuiler betaalt" zou een zekere mate van grondslagerosie mogelijk zijn. Als juist het streven is de overheidsinkomsten op pijl te houden zijn beprijzen (o.a. Betalen naar gebruik) en/of het hanteren van een andere differentiërende parameter in de huidige autobelastingen dan CO₂ denkbare manieren. Deze differentiatie zou bijvoorbeeld naar gewicht of energiegebruik van het voertuig kunnen zijn. Een verhoging van de belasting op nulmissievoertuigen leidt er echter ook toe dat de relatieve aantrekkelijkheid van nulmissievoertuigen af zal nemen. Om ervoor te zorgen dat de adoptie van nulmissievoertuigen hierdoor niet geremd wordt verdient het aanbeveling een dergelijke wijziging stapsgewijs door te voeren afhankelijk van de kostenontwikkelingen van nulmissievoertuigen.

Beprijzing en normering als mogelijke instrumenten voor het reduceren van reboundeffecten

Door afnemende gebruikskosten (marginale kosten) voor wegmobiliteit in combinatie met de verwachting dat de actieradius een steeds minder grote belemmering vormt neemt het autogebruik naar verwachting toe. Deze toename resulteert in een toename van de energievraag en de verkeersdruk, waardoor de autobereikbaarheid naar verwachting zal afnemen (indien er geen flankerend beleid wordt gevoerd). Met de invoering van een systeem van Betalen naar gebruik (prijsbeleid) zou dat ondervangen kunnen worden en blijft het principe van de 'gebruiker betaalt' gehandhaafd.

In de logistieke sector wordt al langere tijd gewerkt aan betere plannings- en nieuwe vervoersvormen (zoals containers) waardoor minder transport nodig is om dezelfde hoeveelheid goederen te vervoeren. Doordat deze efficiëntieverbeteringen over het algemeen ook leiden tot lagere transportkosten, kan een reboundeffect optreden. De mate waarin dit optreedt onder welke omstandigheden is niet bekend. Beprijzing kan een effectief instrument zijn om deze reboundeffecten in te dammen. Echter, er is ook een kans dat de hogere transportkosten als gevolg van beprijzing (deels) worden doorgerekend aan klanten, wat de stimulans voor volumevermindering zou beperken.

Draagvlak en verdelingsaspecten belangrijk aandachtspunt bij transitie

De transitie naar klimaatneutraal wegverkeer heeft verre gaande gevolgen voor de samenleving. Voor burgers en ondernemers vraagt het om aanpassingen wanneer ze overstappen naar nulmissievoertuigen en voor ondernemers kan gelden dat ze hiervoor benodigde investeringen moeten doen. Anderzijds kan autorijden met conventionele voertuigen duurder worden door hogere kosten van hernieuwbare brandstoffen, de CO₂-heffing op fossiele brandstof of ander klimaatbeleid. De afgelopen jaren is er meer aandacht voor het bekijken van mobiliteitsbeleid vanuit een brede-welvaartsperspectief (KiM 2021b; Snellen et al. 2021), waarbij meer rekening wordt gehouden met de effecten op verschillende groepen in de samenleving. Vanuit brede-welvaartsperspectief is het belangrijk om oog te hebben voor verdelingseffecten, bijvoorbeeld tussen verschillende inkomensgroepen of regio's, en een inclusieve transitie naar klimaatneutraal wegverkeer. Hieronder gaan we dieper in op verschillende herverdelingseffecten die kunnen ontstaan bij de transitie (en beleid) naar klimaatneutraal wegverkeer.

Elektrisch rijden wordt naar verwachting goedkoper dan het rijden met voertuigen op fossiele brandstoffen, maar is nog niet voor iedereen bereikbaar. Zolang de tweedehandsmarkt nog niet toereikend is, zijn nulmissievoertuigen (nog) niet bereikbaar voor personen met minder financiële middelen (TNO 2024a) of die niet bereid zijn om een duurdere auto te kopen bijvoorbeeld vanwege beperkt gebruik daarvan. Dat batterij-elektrische voertuigen binnen afzienbare tijd op TCO-niveau goedkoper worden dan conventionele voertuigen is vanuit brede-welvaartspectief een gunstige ontwikkeling. De (voorlopig) hogere aanschafprijs blijft voor lagere inkomensgroepen echter wel een belemmering. Ook op de langere termijn is het mogelijk dat de aanschaf van een nulmissievoertuig nog niet voor iedereen is weggelegd. De groepen waarvoor dat geldt zijn kwetsbaar met betrekking tot verschillende vormen van beleid voor duurzame mobiliteit, vooral als zij in buitenstedelijke gebieden wonen met beperkt OV-aanbod. Voor deze groep kan het belangrijk zijn dat er voldoende alternatieven voor de auto aanwezig zijn om wel hun bestemmingen te bereiken.

De groep die de overstap om diverse redenen (nog) niet kan maken, en daardoor aangewezen is op het gebruik van een auto op fossiele brandstof kan met prijsstijgingen worden geconfronteerd als gevolg van nieuw beleid zoals het ETS-2 en de oplopende eisen voor inzet van hernieuwbare energie in verkeer en vervoer. De (extra) inzet van hernieuwbare brandstoffen zal – wanneer de meerkosten daarvan aan de pomp worden doorberekend – voor de eigenaren van conventionele voertuigen leiden tot een toename van de gebruikskosten. Dit maakt het gebruik van voertuigen met verbrandingstechnologie minder aantrekkelijk. Dit kan de transitie naar klimaatneutraal versnellen maar tegelijkertijd het draagvlak voor de transitie ondermijnen zolang elektrisch rijden niet voor iedereen toegankelijk is.

Het toepassen van andere mitigatiestrategieën, zoals overstappen op het OV of de fiets is niet altijd een optie. Met name in de stadsranden, suburbane kernen en het landelijk gebied is de bereikbaarheid per OV en fiets op dit moment beperkt (Bastiaanssen & Breedijk 2022). Het verdient aanbeveling om bij de vormgeving van beleid hier aandacht voor te hebben. Bijvoorbeeld als het gaat om volumebeleid (prijsbeleid) of bijvoorbeeld als lokale overheden overwegen om ZE-zones voor personenvervoer in te stellen of andere maatregelen in te voeren om het gebruik van conventionele voertuigen te ontmoedigen. Er zijn groepen die wel door dat beleid worden beïnvloed maar die, door bijvoorbeeld (een combinatie van) een laag inkomen, een ongunstige woon- of werklocatie ten opzichte van laadpunten voor BEVs of OV-opstappunten, of niet op OV afgestemde werktijden, onvoldoende handelingsperspectief hebben om op de gewenste manier te reageren op de prikkels die van het ingestelde beleid uitgaan. Naast het faciliteren van een betaalbaar aanbod van batterij-elektrische auto's zijn het inzetten op een beter aanbod van alternatieven en vergroten van de nabijheid van bestemmingen dan ook denkbare oplossingsrichtingen.

Tot nu toe zijn aanschafsubsidies en belastingkortingen voornamelijk beschikbaar geweest voor de aanschaf voor nieuwe auto's. Deze subsidies komen daardoor voor een groot deel terecht bij mensen met meer financiële mogelijkheden die gemiddeld al een lagere totale belastingdruk hebben (CPB 2022). Naarmate BEVs vanuit kostenopgumpunt steeds concurrerder worden neemt de effectiviteit van (fiscale) stimuleringsmaatregelen gaandeweg af als gevolg van het oplopend aantal freeriders (zie ook paragraaf 6.5). Dit geldt bijvoorbeeld extra snel voor mensen met de mogelijkheid om hun batterij-elektrische voertuig op te laden met zelf opgewekte elektriciteit. Dit leidt namelijk tot lagere gebruikskosten dan wanneer gebruik wordt gemaakt van openbare laadinfrastructuur. Deze groep heeft typisch ook meer financiële ruimte. Als gevolg van deze omstandigheden en specifiek de stapeling van subsidies (bijvoorbeeld op elektrische voertuigen en

zonnepanelen) zullen mensen met meer financiële draagkracht, een relatief groot voordeel hebben van de transitie naar batterij-elektrische auto's.

Naast de mogelijke toename van het verschil in mobiliteitskosten tussen mensen met conventionele voertuigen en mensen met BEVs, bestaat ook de kans dat mensen met minder financiële draagkracht ook op andere vlakken minder baat zullen hebben van de lagere emissies van BEVs. Het is namelijk te verwachten dat de eerste nieuwe en schonere aandrijftechnieken vooral zullen penetreren in woonwijken met bewoners met relatief veel financiële draagkracht. Dit betekent dat inwoners van dergelijke gebieden eerder voordelen hebben als schone lucht en minder geluidemissies.

Het verdient aanbeveling om zicht te krijgen en houden in de mate waarin bepaalde kosten en baten (zoals de stapeling van subsidies) bij verschillende groepen neerslaan: wie heeft er profijt van en wie betaalt de rekening? De afgelopen jaren wordt in Nederland reeds de overstap naar BEVs in bepaalde mate betaalbaarder gemaakt voor mensen in lagere inkomensgroepen. Hoewel het huidige stimuleringsbeleid in Nederland niet direct op het inkomen inspeelt, wordt hiermee wel op een indirecte wijze de aanschaf van BEVs voor lagere inkomensgroepen gestimuleerd. Zo is er conform het huidige beleid sprake van een (verlaagd) prijsplafond voor nulmissievoertuigen die in aanmerking komen voor een aanschafsubsidie of een verlaagd bijtellingstarief, en geldt er (ook) een aanschafsubsidie voor tweedehands auto's. Om meer tegemoet te komen aan lagere inkomensgroepen zou dit beleid geïntensiveerd kunnen worden of gedacht kunnen worden aan een inkomensafhankelijke subsidie zoals dat bijvoorbeeld in Frankrijk het geval is (EC 2024b). Ook is Frankrijk voornemens een nieuw "sociaal BEV-leaseprogramma" te introduceren, waarbij in de aankondiging wordt gesteld dat "degenen die dit het meest nodig hebben" een BEV moeten kunnen leasen voor € 100 per maand (Moriscot 2023). Ook voor Nederland zou onderzocht kunnen worden of en hoe een dergelijke regeling zou kunnen worden vormgegeven en wat de te verwachten effecten hiervan zijn.

Een ander aandachtspunt is de uitfasering van tankstations. Met een toenemend aandeel nulmissievoertuigen in de vloot zal de rentabiliteit van de bestaande tankinfrastructuur afnemen. Als de uitfasering van deze infrastructuur aan de markt wordt overgelaten, kan het gebeuren dat de beschikbaarheid en nabijheid van tankstations sneller achteruit gaat in dunner bevolkte regio's waar mensen juist meer afhankelijk zijn van de auto.

Door verdere digitalisering van het mobiliteitssysteem ontstaan nieuwe kansen (zoals het reserveren van laadinfrastructuur en bij *smart grids*), maar ook nieuwe uitdagingen. Eén van deze uitdagingen is het behouden van reismogelijkheden voor mensen die minder digitaal vaardig zijn of minder op hun gemak zijn bij (het tempo van) digitale transformaties (KiM 2020c).

Ook bij goederenvervoer kunnen er herverdelingseffecten optreden. Zo zullen grote vervoerders de overstap naar zero emissievoertuigen makkelijker kunnen maken dan kleinere vervoerders. Grotere vervoerders hebben elke dag een combinatie van kortere en langere ritten. Voor de kortere ritten kunnen zij vrachtwagens inzetten met een kleinere batterij die daardoor goedkoper zijn. Kleinere bedrijven moeten de batterijcapaciteit afstemmen op de moeilijkste rit en zullen daardoor relatief veel rijden met een overgedimensioneerde en daardoor dure batterij. Bovendien zullen grotere bedrijven een grotere elektriciteitsaansluiting hebben en daardoor minder betalen voor hun energie. Ten derde hebben grotere bedrijven meer optimalisatierruimte ten aanzien van het aantal benodigde laders op hun depot. Vrachtauto's en vooral bestelauto's worden veelal gebruikt door kleine bedrijven. Doordat kleine bedrijven in verhouding minder investeringsruimte hebben, rijden deze

langer door met hun voertuigen (Topsector Logistiek & Connekt 2017). Dit speelt een rol in de zorgen die ondernemers hebben bij de invoering van ZE-zones voor stadslogistiek (zie bijvoorbeeld Nieuwsblad Transport 2023). Het verdient daarom aanbeveling om expliciet rekening te houden met deze kleinere ondernemingen om draagvlak voor het beleid te vergroten, zoals dat bijvoorbeeld al is gedaan bij de differentiatie van de AanZET subsidiebedragen afhankelijk van de grootte van de onderneming.

Herverdelingseffecten zijn in een transitie naar klimaatneutraal wegverkeer vrijwel onvermijdelijk. Een groeiende ongelijkheid tussen diverse groepen brengt het risico met zich mee dat het vertrouwen in de transitie en het gevoerde beleid afneemt. Het verdient aanbeveling dat de overheid stuurt op de rechtvaardigheid van deze verdelingseffecten. Er zijn verschillende perspectieven voor een rechtvaardige invulling van beleid, bijvoorbeeld volgens de ethische stromen *utilitarisme*, *egalitarisme* en *sufficiëntarisme* (Snellen et al. 2021). Hierbij is het verdelingsprincipe respectievelijk een maximalisatie van het nut voor een zo groot mogelijke groep, gelijke uitkomsten voor iedereen of voor iedereen minimaal voldoende. Ook de Wetenschappelijke Raad voor Regeringsbeleid (WRR) hanteert verschillende verdelingsprincipes die zij hebben gekoppeld aan klimaatbeleid. Voorbeelden zijn *grootste nut*, *de vervuiler betaalt* of *de sterkste schouders dragen de zwaarste lasten*.

Als het Rijk verschillen in wie de kosten draagt en/of de baten heeft ongewenst vindt, is het van belang om deze verdelingsprincipes een expliciete plek te geven in het evalueren en afwegen van (nieuw) mobiliteitsbeleid en een visie te vormen op de toekomstige beprijzing én betaalbaarheid van mobiliteit. Daarbij is niet alleen een visie over een rechtvaardige verdeling van de effecten van belang, maar verdient het ook aanbeveling aandacht te hebben voor een procedurele rechtvaardigheid (proces van totstandkoming van beleid) en rechtvaardigheid van erkenning (aandacht voor verschillen in de bevolking en aandacht voor wie kwetsbaar is). Zo beveelt WRR aan om zorg te dragen bij klimaatbeleid voor (1) inhoudelijke verbreding, (2) procedurele verankering en (3) institutionele borging (WRR 2023). Als het Rijk duidelijkheid biedt over de keuzes die gemaakt worden over de verdeling van kosten en baten en actief burgers betreft om de gevolgen van deze keuzes in kaart te brengen, kan dit helpen om draagvlak te vergroten.

Referenties

- Adriaansens M.A.M., Jetten R.A.A., Gennip C.E.G., Dijkgraaf R., Wiersma A.D., Schouten C.J. (2023), *Inzet op arbeidsmarktkrapte in de klimaat- en digitale transitie: Het Actieplan Groene en Digitale Banen*. [kamerbrief] <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/02/03/inzet-op-arbeidsmarktkrapte-in-de-klimaat-en-digitale-transitie-het-actieplan-groene-en-digitale-banen>.
- Bastiaanssen, J. en M. Breedijk (2022), *Toegang voor iedereen? Een analyse van de (on)bereikbaarheid van voorzieningen en banen in Nederland*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Berveling, Knoope & Moorman (2020), *Met de stroom mee. Het stimuleren van elektrisch rijden*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
- Bosch S., Van Exter P., Sprecher B., De Vries H. & Bonenkamp N. (2019), *Metaalvraag van elektrisch vervoer. Op weg naar duurzaam, eerlijk en toekomstbestendig personenvervoer*. Copper8, Metabolic, Universiteit Leiden, Amsterdam, Leiden.
- CE Delft. (2006), *Energiebesparingsgedrag: Verkenning t.b.v. Algemene Energie Raad*. Delft: CE Delft
- CE Delft. (2021), *Nationaal ETS voor gebouwen en transport*. Delft: CE Delft.
- CPB & PBL (2015), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Cahier Mobiliteit*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- CPB & PBL (2020), *Kansrijk mobiliteitsbeleid 2020*. Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.
- CPB (2022), *Ongelijkheid en Herverdeling*. Den Haag: Centraal Planbureau.
- Davydenko, I., H. Hilbers & H. de Wilde (2024), *Klimaatneutrale Luchtvaart in 2050, verkenning van beelden en paden ernaartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Dimitropoulos, A., Oueslati, W., & Sintek, C. (2018), *The rebound effect in road transport: A meta-analysis of empirical studies*. *Energy Economics*, 75, 163-179.
- Dong H, et al. (2022), *A comparative study of energy-efficient driving strategy for connected internal combustion engine and electric vehicles at signalized intersections*. *Appl Energy*. 310.
- EC (2020), *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU* https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf
- EC (2023a), *Reducing CO₂ emissions from heavy-duty vehicles* https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/reducing-co2-emissions-heavy-duty-vehicles_en
- EC (2023b), *Commission launches investigation on 107 digitalized electric cars from China* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4752
- EC (2024a), *Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Securing our future Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2024:63:FIN>
- EC (2024b), *European Alternative Fuels Observatory – France* <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/france/incentives-legislations>
- ElaadNL. (2020a), *Elektrisch op bestelling. De ontwikkeling van elektrische bestelvoertuigen in Nederland t/m 2035*.
- ElaadNL. (2020b), *Truckers komen op stroom*.

- ElaadNL. (2021a), *Elektrisch rijden in stroomversnelling. Elektrificatie van personenauto's tot en met 2050*.
- ElaadNL. (2021b), *Smart Charging Factsheets*.
- ESABCC, (2023), *Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050*
- European Commission. Directorate-General for Mobility and Transport. (2011), *White Paper on Transport: Roadmap to a Single European Transport Area: Towards a Competitive and Resource-Efficient Transport System*. Publications Office of the European Union.
- European Commission (2020), *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability*
- European Commission (2023), *Commission welcomes political agreement on the Critical Raw Materials Act* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_5733
- EZK (2022), *Klimaatnota 2022*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- EZK (2023), *Scherpe doelen, scherpe keuzes. IBO aanvullend normerend en beprijzend nationaal klimaatbeleid voor 2030 en 2050*, 13 maart 2023, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- FIER (2023), *Dutch BEV policy in an international perspective*.
- Fujii, S., Gärling, T., Kitamura, R. (2001), *Breaking habitual defecting by a temporary structural change*. In: Presented at Ninth International Conference on Social Dilemmas, June 29–July 3 2001, Chicago.
- Gärling, T., & Schuitema, G. (2007), *Travel demand management targeting reduced private car use: effectiveness, public acceptability and political feasibility*. *Journal of social issues*, 63(1), 139-153.
- Geilenkirchen, G.P., J. Harmsen & A.W.H. Nusteling (2024a), *Klimaatneutrale mobiliteit 2050. Een verkenning van beelden en paden daarnaartoe*, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Geilenkirchen, G.P., J. Harmsen, R. Verbeek, J. Faber & E. van der Toorn (2024b), *Klimaatneutrale zeescheepvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Graham-Rowe, E., Skippon, S., Gardner, B., & Abraham, C. (2011), *Can we reduce car use and, if so, how? A review of available evidence*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(5), 401-418.
- Hanemaaijer, A. et al. (2021), *Integrale Circulaire Economie Rapportage 2021*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Hanemaaijer, A. et al. (2023), *Integrale Circulaire Economie Rapportage 2023*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Harbers M.G.J. (2023), *Regels voor het in rekening brengen van een vrachtwagenheffing voor het rijden met een vrachtwagen op aangewezen wegvakken (Wet vrachtwagenheffing)* Kamerstuk 31 305, nr. 411. <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D32870>
- He, Xiaozheng & Wu, Xinkai. (2018), *Eco-driving advisory strategies for a platoon of mixed gasoline and electric vehicles in a connected vehicle system*. *Transportation Research Part D Transport and Environment*. 63. 907-922.
- Heijnen V.L.W.A. (2023), *Antwoorden Kamervragen over de ingroei van elektrische auto's* <https://www.rijks-overheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/08/17/beantwoording-kamervragen-d66-over-de-ingroei-van-elektrische-auto-s>
- Hekkenberg M. & Koelemeijer R. (2018), *Analyse van het voorstel voor hoofdlijnen van het klimaatakkoord*, Den Haag: PBL.

- Hendrich, T. Michielsen, P. Zwaneveld en G. Verweij (2018), *Vrijwillig uit de auto: gedragsbeïnvloeding in de werkgerelateerde mobiliteit*. CPB Notitie.
- IEA (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.
- Jetten (2023a), *Tabel Klimaatpakket voorjaarsbesluitvorming* <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/04/26/bijlage-1a-exceltabel-klimaatpakket>
- Jetten (2023b), *Kamerbrief over voortgang RES 2023* <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/12/21/kamerbrief-voortgang-res-2023>
- JRC (2017), *Light Duty Vehicle CO₂ Emission Reduction Cost Curves and Cost Assessment – the DIONE Model*.
- JRC (2020), *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – A Foresight Study*.
- KiM (2013), *Mobiliteitsbalans 2013*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
- KiM (2015), *Effecten van veranderingen in reistijd en daaraan gerelateerde kwaliteitsaspecten in het openbaar vervoer*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2018), *Effecten van vrachtwagenheffing: Literatuuranalyse en conceptueel denkkader*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2020a), *Met de stroom mee: het stimuleren van elektrisch rijden*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2020b), *Kansrijke verplaatsingen met Mobility-as-a-Service*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2020c), *The impact of digitalization on the access to transport services: a literature review*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2021a), *Verkenning Ruimte in het systeem*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2021b), *Uitwerking van brede welvaart voor de monitoring en evaluatie van mobiliteitsbeleid*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2022a), *Energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit. Efficiëntie, kosten en ruimtegebruik in beeld. Achtergrondrapport*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2022b), *Kerncijfers Mobiliteit 2022*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2023a), *Autoluw beleid gemeenten; Doelen, effecten en rollen*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2023b), *De tweedehandsmarkt voor elektrische personenauto's*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- Logistiek Makelaars (2023), *Modal shift programma* <https://modalshiftprogramma.nl/>
- Meerkerk, J. van, G. Renes & G. Ridder (2014), *Greening the Dutch car fleet: the role of differentiated sales taxes*, PBL Working Paper 18, The Hague: PBL.
- Meerkerk, J. van, H. Vrijburg, J. Dijk & G. Uitbeijerse (2018), *Fiscale vergroening en de auto van de zaak. Ex-postanalyse van een vergroening van de fiscale bijtelling en een verkenning van ontwikkelingen binnen de zakelijke mobiliteit*, Den Haag: PBL Planbureau voor de Leefomgeving.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019), *Goederenvervoeragenda, Agenda voor een robuust, efficiënt en duurzaam transportsysteem*. Den Haag.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021), *Integrale Mobiliteitsanalyse (IMA)*.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2023), *Plan en tijdsplan voor verduurzaming van vrachtwagens*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

- Mauler, L., Duffner, F., Zeier, W. G., & Leker, J. (2021), *Battery cost forecasting: a review of methods and results with an outlook to 2050*. Energy & Environmental Science.
- Metabolic, Copper8, Polaris, Quintel, CML (2021), *Een circulaire energietransitie. Verkenning naar de metaalvraag van het Nederlandse energiesysteem en kansen voor de industrie*
- Moriscot, A (2023), *Leasing social : « Le dispositif sera lancé à l'automne », confirme Élisabeth Borne*
<https://www.auto-infos.fr/article/leasing-social-le-dispositif-sera-lance-a-l-automne-confirme-elisabeth-borne.266336>
- MuConsult, Revnext, Significance en 4Cast (2020), *Effecten varianten Betalen naar Gebruik*. Amersfoort: In opdracht van Ministerie van Financiën.
- MuConsult, Revnext & 4Cast (2023), *Effectstudie Betalen naar Gebruik fase 2*. Amersfoort: In opdracht van Ministeries van Infrastructuur en Waterstaat en Financiën.
- NAL (2022), *Slim laden voor iedereen 2022 – 2025*.
- Netbeheer Nederland (2023), *Het energiesysteem van de toekomst: de H3050-scenario's*.
- Nieuwsblad Transport (2023), 'Zero-emissiezones funest voor kleine ondernemers', nt.nl,
<https://www.nt.nl/wegvervoer/2023/06/09/zero-emissie-zones-funest-voor-kleine-ondernemers/?gdpr=deny>
- PBL (2019), *Scenario's voor stedelijke ontwikkeling, infrastructuur en mobiliteit. Verdieping bij Oefenen met de toekomst. Ruimtelijke Verkenning 2019*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2020) *Actualisatie invoer WLO autopark mobiliteitsmodellen 2020*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2023), *Analyse Leefomgevingseffecten verkiezingsprogramma's 2023-2027*, VVD, D66, GroenLinks-PvdA, ChristenUnie en Volt, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL et al. (2022), *Klimaat- en Energieverkenning 2022*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL et al. (2023), *Klimaat- en Energieverkenning 2023*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2024, in voorbereiding), *Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050. Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Revnext (2023), *Varianten voor tariefstructuur vrachtwagenheffing bij implementatie herziene Eurovignet-richtlijn*. Rotterdam: Revnext.
- Ricardo. (2016), *Improving understanding of technology and costs for CO2 reductions from cars and LCVs in the period to 2030 and development of cost curves*.
- Rijksoverheid (2022), *Zeven grote waterstofprojecten in Nederland krijgen subsidie voor elektrolyse*
<https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/12/20/zeven-grote-waterstofprojecten-in-nederland-krijgen-subsidie-voor-elektrolyse>
- RIVM (2024), *Emissieregistratie*. Zie: <https://www.emissieregistratie.nl/data/overzichtstabellen-lucht/broeikasgassen>.
- Rozendaal, R.L. en H.R.J. Vollebergh (2021) *Policy-induced innovation in clean technologies: Evidence from the car market*. CESifo Working Paper, 9422.
- RVO (2023a) *Stand van zaken elektrisch vervoer en laadpunten* <https://www.rvo.nl/onderwerpen/elektrisch-vervoer/stand-van-zaken>
- RVO (2023b) *Handreiking Total cost of ownership (TCO)-berekening voor personenauto's*. Editie 23 juni 2023.
- RVO (2023c) *Trendrapport Nederlandse markt personenauto's Feiten, cijfers en ontwikkelingen Editie 2023*
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/08/17/bijlage-3-trendrapport-nederlandse-markt-personenauto-s-editie-2023-geredigeerd>

- SER (2020), *Advies biomassa in balans: een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen*, Den Haag: Sociaal Economische Raad.
- Snellen, D., J. Bastiaanssen & M. 't Hoen (2021), *Brede welvaart en mobiliteit*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- TenneT. (2023), *Flevopolder, Gelderland en Utrecht: Geen ruimte voor nieuwe grootverbruikers*. Netcapaciteit Nieuws Oktober 2023.
- The ICCT. (2022a), *A meta-study of purchase costs for zero-emission trucks*.
- The ICCT. (2022b), *Cost of renewable hydrogen produced onsite at hydrogen refueling stations in Europe*.
- TNO. (2020a), *Real-world fuel consumption of passenger cars and light commercial vehicles*. TNO 2020 R11664.
- TNO. (2020b), *Policy options to steer mobility as a service: international case studies*. 2020
- TNO. (2020c), *Outlook Hinterland and Continental Freight 2020*.
- TNO. (2020d), *CO₂ -besparing ten gevolge van modal shift op de corridors Oost en Zuid in Nederland*.
- TNO. (2021a), *Duiding van het AFIR-voorstel op de benodigde opbouw van tank- en laadinfrastructuur in Nederland*. TNO 2021 R12693.
- TNO. (2021b), *Transition to e-fuels: a strategy for the Harbour Industrial Cluster Rotterdam*. SmartPort 2021
- TNO. (2021c), *Factsheet: vergelijking personenwagens op verschillende energiedragers*. TNO 2021 R10784V2 - 19.
- TNO. (2021d), *Factsheet vergelijking vrachtwagens op verschillende energiedragers*. TNO 2021 R10784V2 - 21.
- TNO. (2021e), *Ontwikkeling productiekosten klimaatvriendelijke waterstof*. TNO 2022 P10332.
- TNO (2021f) *Kritikaliteit van grondstoffen - ontwikkeling en operationalisatie*. TNO 2021 R10515.
- TNO. (2022), *Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe*. TNO 2022 R11862.
- TNO. (2023b), *The potential for e-fuels in heavy duty road transport in the Netherlands*. TNO 2023 R10213.
- TNO. (2023c), *Effecten van additionele middelen voor laadinfrastructuur vrachtwagens*. 2023.
- TNO (2024a), *De energietransitie en het risico op vervoersarmoede. Een microdata-analyse van huishoudens met laag inkomen en hoge brandstofkosten*. TNO 2024 P12018.
- TNO. (2024b), *Techno-economic uptake potential of zero emission trucks in Europe from a societal perspective*. TNO 2022 R11862
- TNO. (2024c), *Real-world fuel consumption and electricity consumption of passenger cars and light commercial vehicles*. TBD
- T&E. (2021), *Promises but no plans. How the EU can make or break the transition to zero emission cars*.
- T&E. (2023a), *Ready or Not. Who are the frontrunners in the global race to clean up trucks and gain technology leadership?*
- T&E (2023b) *Pedal to the metal*.
- Topsector Logistiek & Connekt (2017), *Gebruikers en inzet van bestelauto's in Nederland*, Delft: Topsector Logistiek & Connekt.
- Traa, M., R. Verbeek, G. Geilenkirchen & J. Harmsen (2024), *Klimaatneutrale binnenvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Uddin. (2017), *On the possibility of extending the lifetime of lithium-ion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system*. Elsevier.
- Uitvoeringsoverleg Elektriciteit. (2022), *Alles uit de kast. Een verkenning naar de opgaven voor het Nederlandse elektriciteitssysteem van 2030*.

- Verrips, A.S. & H.D. Hilbers (2020), *Kansrijk mobiliteitsbeleid 2020*, Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.
- VNG (2019) *Regionale mobiliteitsprogramma's*. Handreiking. Versie 1.0
- Weiss, M., Cloos, K.C. & Helmers, E. (2020), *Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles*. *Environ Sci Eur* 32, 46.
- Weterings, A. et al. (2019), *Frictie op de arbeidsmarkt door de energietransitie: een modelverkenning*, Den Haag: PBL/Maastricht: ROA.
- Weterings, A. et al. (2022), *Inzicht in arbeidsmarktknelpunten voor de uitvoering van het klimaatbeleid. Opzet en uitkomsten van het PBL-ROA-model*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving/Maastricht ROA.
- WKR (2023), *Met iedereen de transities in. Richtinggevende keuzes voor een klimaatneutraal en klimaatbestendig Nederland. Advies ten behoeve van het Klimaatplan 2025-2035*.
- WRR (2023), *Rechtvaardigheid in klimaatbeleid. Over de verdeling van klimaatkosten*. WRR-Rapport 106, Den Haag: WRR.

Bijlage A: Ambities voertuigfabrikanten

Mede in reactie op de (plannen voor) aanscherping van het Europese bronbeleid zijn autofabrikanten hun strategische productplannen aan het aanpassen. Zo heeft een aantal fabrikanten al publiekelijk bekendgemaakt wat hun plannen zijn voor het marktaandeel van volledig elektrische voertuigen in de komende jaren¹⁹. Voor personenauto's komt dat in het totaal neer op ongeveer 21% nieuw verkochte elektrische voertuigen in 2025 en 58% in 2030. Voor vrachtwagenfabrikanten geldt dat zij verwachten dat 45% van hun nieuwverkopen in 2030 zullen bestaan uit nulemissie-voertuigen (BEV en FCEV) en ongeveer 91% in 2040.

Tabel A.1

Marktaandeel en verwachte aandelen elektrisch in nieuwverkopen voor de grootste personenautofabrikanten (T&E 2021)

Fabrikant	Marktaandeel in 2022 (%)	Aandeel elektrisch nieuwverkopen in 2025 (%) (data van IHS Markit)	Aandeel elektrisch nieuwverkopen in 2030 (%)
VW	24,7%	21%	60%*
Stellantis	18,2%	19%	58%**
Renault / Nissan	11,5%	35%	55%**
Hyundai-Kia	9,4%	18%	49%
BMW	7,2%	25%	50%*
Toyota	7,1%	7%	49%
Daimler	5,8%	16%	34%
Ford	4,6%	13%	100%*
Volvo Cars	2,2%	57%	100%*
JLR	1,1%	11%	64%**
Totaal	91,8%	21%	58%

* Publieke toezegging van fabrikant

** Afgeleid van toezeggingen van fabrikant

¹⁹ Zie bijvoorbeeld: [Ford: vanaf 2030 alleen elektrische auto's in Europa \(autoweek.nl\)](#) en [Volkswagen wil marktleider elektrisch rijden worden \(autoweek.nl\)](#)

Tabel A.2

Marktaandeel en verwachte aandelen elektrisch in nieuwverkopen voor de grootste vrachtautofabrikanten (T&E 2023a)

Fabrikant	Marktaandeel in 2020 (%)	Aandeel nulemissie nieuwverkopen in 2030 (%)	Aandeel nulemissie nieuwverkopen in 2040 (%)*
Mercedes-Benz	18,1%	60%	100%
Scania	16,7%	50%	100%
DAF	16,5%	niet gecommuniceerd	80%
Volvo	15,8%	70%	80%
MAN	14,7%	44%	100%
Renault	8,8%	50%	80%
IVECO	8,6%	50%	80%
Totaal	99,2%	45%	91%

* T&E neemt aan dat de ambitie "100% fossiel vrij in 2040" 80% **nulemissie** voertuigen zal betekenen

Bijlage B: Afkortingen

AanZET	Aanschafsubsidie voor Zero Emissie Trucks
ACM	Autoriteit Consument & Markt
AFID	Alternative Fuels Infrastructure Directive
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation
ATO	Aansluit- en Transportovereenkomst
BEV	voertuig met batterij-elektrische aandrijving
bpm	aanschafbelasting; belasting personenauto's en motorrijwielen
btw	omzetbelasting; belasting over toegevoegde waarde
CO ₂	koolstofdioxide
CPB	Centraal Planbureau
CPO	Charge Point Operators
CRMA	Critical Raw Materials Act
CVD	Clean Vehicles Directive
DAC	Direct Air Capture
DME	Dimethyl ether
EBA	European Battery Alliance
EC	Europese Commissie
e-fuels	synthetische brandstoffen die zijn geproduceerd met elektriciteit
ERS	Electric Road System
ETS	Europees emissiehandelssysteem; Emission Trade System
ETS-BRT	Europees emissiehandelssysteem voor gebouwen en wegtransport; Emission Trading System for Buildings and Road Transport
EU	Europese Unie
FAME	biobrandstof van dierlijke vetten; fatty acid methyl ester
FCEV	voertuig met waterstofaandrijving
H ₂	waterstof
H ₂ -ICE	voertuig met waterstofaandrijving; Hydrogen Internal Combustion Engine
H ₂ -SMR-CCS	waterstof van stoomreforming en ondergrondse CO ₂ -opslag
HNR	programma Het Nieuwe Rijden
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicles
ICT	Informatie- en communicatietechnologie
IMA	Integrale Mobiliteitsanalyse
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KEV	Klimaat- en Energieverkenning
KiM	Kennisinstituut Mobiliteit
km	kilometer
Ica	levenscyclusanalyse
LCD	Low Car Diet
LFP-batterij	Lithiumijzerfosfaatbatterij
LZV	Langere en Zwaardere Vrachtautocombinatie
MaaS	Mobility as a Service
MIA	Milieu-Investeringsaftrek

mld	miljard
Mln	miljoen
MPV	Voertuigtype van grote personenauto's; Multi-Purpose Vehicle
mrB	motorrijtuigenbelasting
Mton	megaton
NAL	Nationale Agenda Laadinfrastructuur
NL	Nederland
ODiN	Onderweg in Nederland
ov	openbaar vervoer
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PJ	petajoule
R&D	Onderzoek en Ontwikkeling
RBSW	Regeling Bevordering Schone Wegvoertuigen
RED	Europese richtlijn Hernieuwbare Energie; Renewable Energy Directive
RFNBO	hernieuwbare brandstoffen van niet biologische oorsprong
SDE++	Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie
SEBA	Subsidieregeling voor Emissieloze Bestelauto's
SEPP	Subsidieregeling Elektrische Personenauto's Particulieren
SER	Sociaal-Economische Raad
SUV	Voertuigtype van grote personenauto's; Sport Utility Vehicle
T&E	Transport & Environment
TTW	tank-to-wheel
V2G	Vehicle-2-Grid
VAMIL	Vrije Afschrijving milieu-investeringen
WLO	Welvaart en Leefomgeving
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure