



Planbureau voor de Leefomgeving

KLIMAATNEUTRALE MOBILITEIT IN 2050

ZITTEN WE OP HET GOEDE PAD OF ZIJN WE HET SPOOR BIJSTER?

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
21 en 22 november 2024, Utrecht**

Gerben Geilenkirchen, Amber Nusteling, Jordy van Meerkerk
14 februari 2024

PBL

Samenvatting

Nederland wil in 2050 klimaatneutraal zijn. Dit vereist een drastische afname van de uitstoot van broeikasgassen in alle delen van de samenleving, waaronder in de mobiliteit. Maar hoe zien paden naar klimaatneutrale mobiliteit eruit? En zitten we al op het goede spoor? Waar liggen de grote uitdagingen? In dit paper schetsen we met behulp van backcasting paden naar klimaatneutrale mobiliteit in 2050. Dat doen we voor het wegverkeer, de binnenvaart, de luchtvaart en de zeescheepvaart. Vervolgens confronteren we die paden met de huidige verwachtingen over de ontwikkeling van de uitstoot van broeikasgassen door de mobiliteit tot 2040 (forecasting). Dit geeft een beeld of we al op de goede weg zitten, of er nog ver vandaan.

Duurzame technologie speelt een cruciale rol in de transitie naar klimaatneutrale mobiliteit. Voor het wegverkeer is dit batterij-elektrische aandrijving, met mogelijk ook een rol voor waterstof in zwaar wegvervoer. Elektrisch rijden zit al in de opschalingsfase van de transitie. Met huidig beleid verwachten we een snelle groei tot 2040, min of meer in lijn met het pad naar klimaatneutraal. Het groeitempo is echter onzeker en hangt mede samen met de ontwikkeling van het aanbod, of we de groeiende vraag naar laadvoorzieningen (tijdig) kunnen accommoderen gezien de toenemende netcongestie en de nog te maken beleidskeuzes over de fiscale behandeling de verschillende typen auto's.

Bij lucht- en scheepvaart staan hernieuwbare brandstoffen centraal in de transitie naar klimaatneutraal. Voor de luchtvaart zijn dit biokerosine en synthetische kerosine. In de scheepvaart wordt nog een breed scala aan duurzame technologieën en brandstoffen ontwikkeld en is er behoefte aan meer praktijkervaringen, als opmaat naar grootschalige inzet. Voor beide sectoren is opschaling van het aanbod van hernieuwbare brandstoffen een cruciale randvoorwaarde. Huidig beleid dwingt al een zekere mate van verduurzaming af tot 2040, maar hier liggen nog grote uitdagingen om op een pad naar nul te komen.

Samengevat laat de confrontatie tussen huidige trends en de paden naar klimaatneutraal zien dat er grote stappen worden gezet in de goede richting. De uitrol van duurzame technologie zit in het wegverkeer al in een versnellingsfase en ook bij de andere toepassingen verwachten we komende jaren een versnelde verduurzaming. Tegelijkertijd liggen er nog grote uitdagingen rond de uitrol van de technologie. Gedragsverandering kan ook een cruciale rol spelen in het pad naar nul. Via ruimtelijk beleid, prijsbeleid en infrastructuurbeleid kan meer duurzaam reisgedrag worden gestimuleerd, wat de kans van slagen op klimaatneutraal 2050 vergroot.

1 Inleiding

Om klimaatverandering tegen te gaan en invulling te geven aan de afspraken uit het Parijsakkoord wil Nederland uiterlijk in 2050 klimaatneutraal zijn. Deze transitie naar een klimaatneutrale samenleving vormt één van de grote maatschappelijke uitdagingen van deze tijd. Om het belang hiervan te onderstrepen is het doel van klimaatneutraliteit in 2050 vastgelegd in de Klimaatwet. Ook de EU heeft dit doel voor 2050 wettelijk verankerd. Klimaatneutraliteit vereist dat de uitstoot van broeikasgassen in alle delen van de economie drastisch omlaag gaat. Met een aandeel van 20 procent levert de mobiliteit binnen ons land momenteel een significant aandeel aan de uitstoot van broeikasgassen in Nederland. Daar komt de uitstoot van de internationale lucht- en scheepvaart vanuit Nederland nog bij. Die is momenteel grofweg anderhalf keer zo hoog als die van de binnenlandse mobiliteit. De uitstoot van broeikasgassen door de mobiliteit in Nederland laat weliswaar een dalende trend zien in de afgelopen 15 jaar (Figuur 1), maar voor een pad naar klimaatneutraal in 2050 moet het tempo van verduurzaming omhoog. Dit brengt grote uitdagingen met zich mee. Deze opgave staat centraal in dit paper.

In dit paper schetsen we paden naar klimaatneutrale mobiliteit in 2050. Dat doen we voor het wegverkeer, de binnenvaart, de zeescheepvaart en de luchtvaart. De paden zijn geconstrueerd met behulp van backcasting: we redeneren terug vanuit het beoogde doel van klimaatneutraal in 2050. Zo laten we zien hoe dit doel kan worden behaald. Vervolgens confronteren we deze paden naar klimaatneutraal met de ontwikkelingen die we bij huidig beleid en huidige trends tot 2040 verwachten. Deze hebben we via forecasting in kaart gebracht in het kader van de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (PBL et al., 2024). Door de huidige verwachtingen te confronteren met de geschetste paden naar klimaatneutraal, krijgen we een beeld hoe de vlag er nu bijhangt. Zitten we al op het juiste spoor? Waar liggen de grote opgaven nog? En hoe zeker zijn we van deze ontwikkelingen?

2 Stand van zaken en aanpak

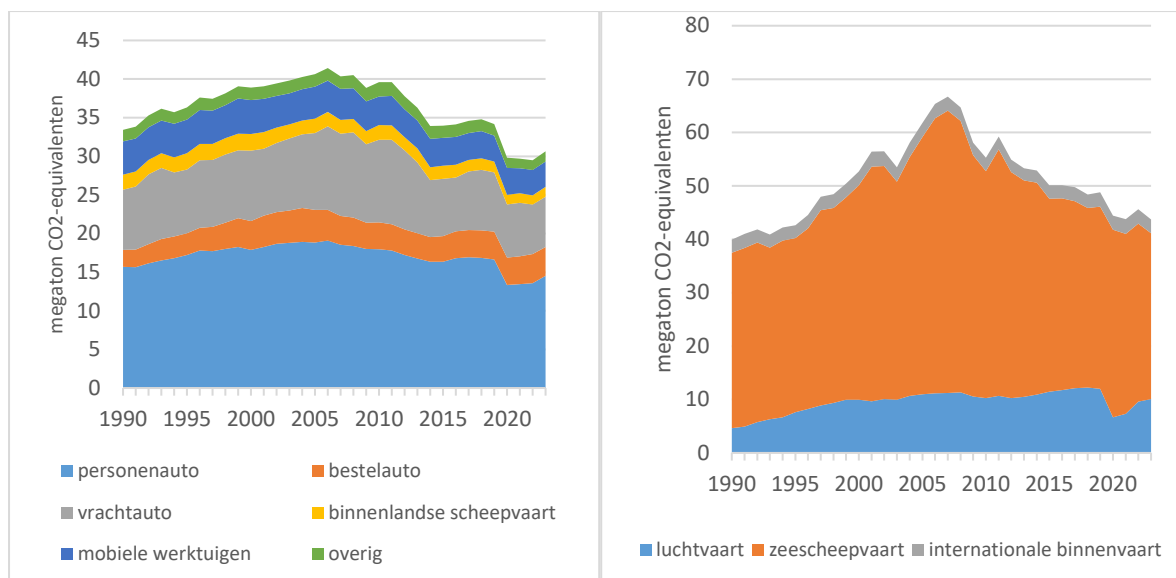
2.1 Waar staan we nu?

Voordat we de paden naar klimaatneutraal schetsen, geven we eerst kort een beeld waar we nu staan en hoe we daar gekomen zijn. Figuur 2 schetst de uitstoot van broeikasgassen door de binnenlandse mobiliteit (links) en door de vanuit Nederland vertrekkende internationale lucht- en scheepvaart (rechts) sinds 1990. Beide figuren laten een trendmatige groei zien van de uitstoot tussen 1990 (het basisjaar voor veel internationale klimaatafspraken) en 2005/2006. Sindsdien is zowel bij de binnenlandse mobiliteit als voor de internationale lucht- en scheepvaart sprake van een daling (Figuur 1).

De afname van de uitstoot door de binnenlandse mobiliteit gaat tot nu toe stapsgewijs. Door de economische crisis in 2008/2009 nam de uitstoot tijdelijk af. Na een paar jaar van lichte groei is vervolgens tussen 2011 en 2015 sprake van een sterke afname, die werd veroorzaakt door een combinatie van economische krimp, groeiende inzet van biobrandstoffen en veranderend tankgedrag in het internationale transport. Transporteurs zijn meer buiten Nederland gaan tanken door gunstige fiscale regelingen in met name België (en de uitstootcijfers zijn conform internationale afspraken gebaseerd op brandstofverkoop in Nederland). Na wederom een paar jaar van lichte groei heeft de coronacrisis in 2020 tot een sterke afname van de uitstoot geleid. Het herstel hiervan lijkt zich in 2023 weer te hebben ingezet maar door een combinatie van verder stijgende inzet van biobrandstoffen en een zuiniger wordend en elektrificerend wagenpark zaten we in 2023 nog ruim onder het niveau van voor de coronacrisis.

Bij de internationale lucht- en scheepvaart is de daling van de uitstoot sinds 2007 het gevolg van een afnemende bunkervraag bij de internationale zeescheepvaart. Ook hier geldt dat de uitstootcijfers gebaseerd zijn op brandstofverkoop in Nederland. Ondanks een stijgende op- en overslag van goederen in de Nederlandse zeehavens is de afzet van bunkerbrandstoffen sterk afgenomen tussen 2008 en 2023. Deze daling is deels het gevolg van een zuiniger wordende zeevaartvloot, onder invloed van mondiale regelgeving voor verbeterde energie-efficiëntie. Maar ook bij de zeevaart is sprake van veranderend tankgedrag. De positie van de Nederlandse zeehavens in de mondiale bunkermarkt is de afgelopen 15 jaar trendmatig afgenomen, wat ten gunste komt van de Nederlandse uitstootcijfers maar op mondiale schaal niet tot verbetering voor het klimaat leidt. De uitstoot van de luchtvaart is tot 2020 trendmatig toegenomen. Door de coronacrisis is die vervolgens sterk gedaald maar het herstel hiervan is inmiddels ingezet.

Als we de balans opmaken over de afgelopen 33 jaar, dan ontstaat een gemengd beeld. De stijgende trend in de uitstoot van de eerste 15 jaar is omgebogen. Daar staat tegenover dat die ombuiging maar deels het gevolg is van structurele trends die het klimaat daadwerkelijk ten goede komen. Verschuiving van de brandstofvraag in de zeevaart en in het wegvervoer speelt hier ook een belangrijke rol in. Bovendien ligt de uitstoot momenteel nog maar net onder het niveau van 1990 (binnenlandse mobiliteit) of daar nog steeds boven (internationale lucht- en scheepvaart). En dat terwijl we voor de hele samenleving het doel hebben om de uitstoot over 6 jaar (in 2030) 55% te hebben teruggebracht ten opzichte van 1990. Er zijn dus nog grote stappen te zetten.



Figuur 1 Uitstoot van broeikasgassen door binnenlandse mobiliteit (links) en internationale lucht- en scheepvaart vanuit Nederland (rechts) Bron: Emissieregistratie (2024).

2.2 Waar willen we heen?

Het doel van klimaatneutraal 2050 vereist grote veranderingen in onze economie en onze samenleving. De uitstoot van verkeer en vervoer zal drastisch teruggebracht moeten worden. Om een beeld te schetsen hoe dat zou kunnen en welke uitdagingen dat met zich meebrengt hebben PBL en TNO verschillende paden geschetst naar klimaatneutrale mobiliteit in en vanuit Nederland in 2050. De paden zijn opgesteld door middel van *backcasting*: we starten vanuit het doel van klimaatneutraliteit in 2050 en verkennen hoe we daar kunnen komen. Dit doen we in 4 stappen:

1. We schetsen de trendmatige ontwikkeling van de energievraag per vervoerswijze, als resultante van de ontwikkeling van de vervoersvolumes en de energie-efficiëntie.
2. We brengen in kaart welke technologieën in beeld zijn voor verduurzaming van die vervoerswijze, waar de technologieontwikkeling nu staat en welke technieken op welke termijn kansrijk kunnen zijn.
3. We schetsen per vervoerswijze 2 paden naar klimaatneutraal met verschillende technologische invulling:
 - a. Een behoudend pad: met focus op bestaande aandrijftechnologie en inzet van biobrandstoffen
 - b. Een innovatief pad: met focus op nieuwe aandrijftechnologie.
4. We verkennen welke rol gedragsverandering kan spelen in het pad naar klimaatneutraal en hoe beleid hierop van invloed is of kan zijn. De trendmatige ontwikkeling van de vervoersvolumes die we in stap 1 in kaart hebben gebracht is immers geen gegeven.

3 Paden naar klimaatneutrale mobiliteit in 2050

In deze paragraaf schetsen we kort de paden naar klimaatneutraal die we per vervoerswijze hebben geschetst. Voor een uitgebreide beschrijving per vervoerswijze verwijzen we naar de onderliggende rapportages voor het wegverkeer (Van Meerkerk et al., 2024), de binnenvaart (Traa et al., 2024), de luchtvaart (Davydenko et al., 2024) en de zeescheepvaart (Geilenkirchen et al., 2024a). Deze bevatten ook een overzicht van de uitgangspunten die zijn gebruikt bij het opstellen van de paden en de bronnen.

3.1 Paden naar klimaatneutraal wegverkeer

In beide paden naar klimaatneutraal wegverkeer in 2050 (Figuur 1) speelt batterij-elektrische aandrijving de hoofdrol. Voor het personen- en bestelautoverkeer is dit veruit de meest kansrijke technologie. Ook voor het zware wegverkeer lijkt deze technologie kansrijk: vanuit kosten en energie-efficiëntie is die aantrekkelijker dan alternatieven zoals waterstof en e-brandstof. Het is echter nog onzeker of het lukt om (tijdig) het volledige zware wegvervoer te elektrificeren, onder andere vanwege uitdagingen rond de uitrol van laadinfrastructuur. Waterstofaandrijving kan ook een rol gaan spelen. We schetsten daarom per pad een variant mét waterstof (20 procent van het vervoer in 2050) en een variant zonder waterstof.

Het verschil tussen het behoudende en innovatieve pad voor wegverkeer zit in het tempo waarin de wagenparken elektrificeren. In het behoudende pad is dat grofweg in lijn met het huidige Europese beleid en het huidige verjongingstempo van de autoparken. In het innovatieve pad is een versnelde instroom van nulmissie technologie verondersteld, zodanig dat in 2050 een volledig nulmissie aangedreven wagenpark resulteert. Zo'n versnelde instroom (en uitstroom van auto's met een verbrandingsmotor) kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van gerichte beleidsprikkel en/of veranderende voorkeuren van automobilisten. Om ook in het behoudende pad in 2050 op klimaatneutraliteit uit te komen, is verondersteld dat de resulterende energievraag van auto's met verbrandingsmotor wordt ingevuld met hernieuwbare brandstoffen.

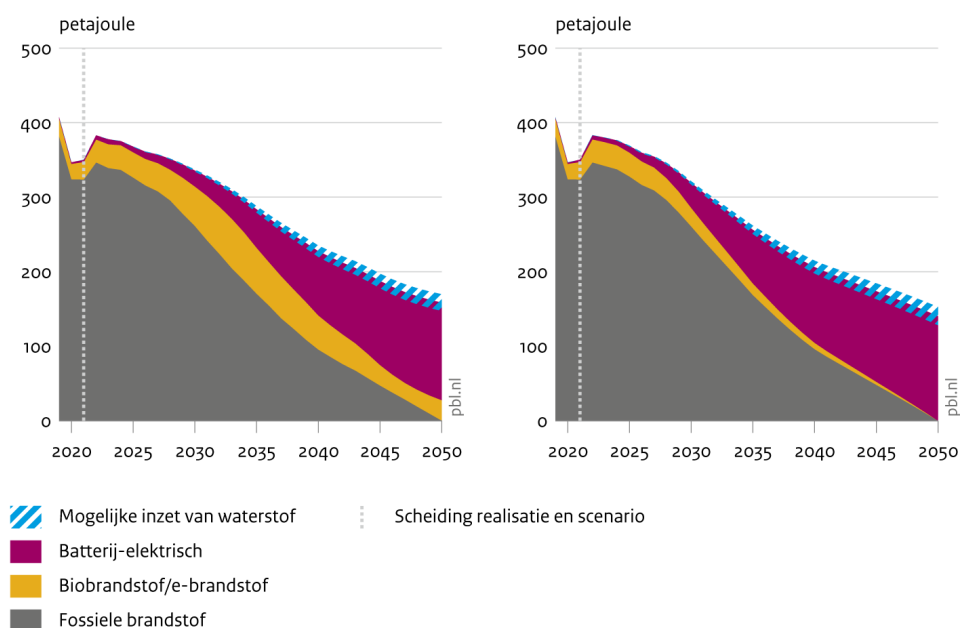
Belangrijke uitdagingen bij de verduurzaming van het wegverkeer liggen rond de uitrol van de benodigde laadinfrastructuur (in de context van een overvol elektriciteitsnet op veel plekken), de beschikbaarheid van nieuwe voertuigen (en de daarvoor benodigde kritieke grondstoffen en materialen), het ontstaan van een volwassen tweedehandsmarkt en de verdelingseffecten die met de transitie naar elektrisch rijden gepaard kunnen gaan en die het draagvlak mogelijk kunnen ondermijnen.

Trajecten richting klimaatneutraal wegverkeer

Energievraag van wegverkeer in Nederland

Behoudend (trendmatige groei nulemissievloot)

Innovatief (ambitieuze groei nulemissievloot)



Bron: RIVM/Emissieregistratie 2022 (realisatie); PBL & TNO (scenario)

Figuur 2 energievraag van wegverkeer in Nederland

3.2 Paden naar klimaatneutrale luchtvaart

De beide paden naar een klimaatneutrale luchtvaart vanuit Nederland in 2050 worden uitgebreid toegelicht in een andere CVS-bijdrage (Hilbers & Davydenko, 2024). We volstaan daarom hier met een korte duiding. Bij luchtvaart verwachten we een groei van de energievraag. In het behoudende pad speelt biokerosine de hoofdrol in de verduurzaming, in het innovatieve pad is een grote rol weggelegd voor synthetische kerosine. Ook speelt waterstof in dat pad een bescheiden rol. Deze technologie is nog in ontwikkeling, maar kan op de termijn tot 2050 een rol spelen in de verduurzaming van het vliegverkeer op de korte en middellange afstanden.

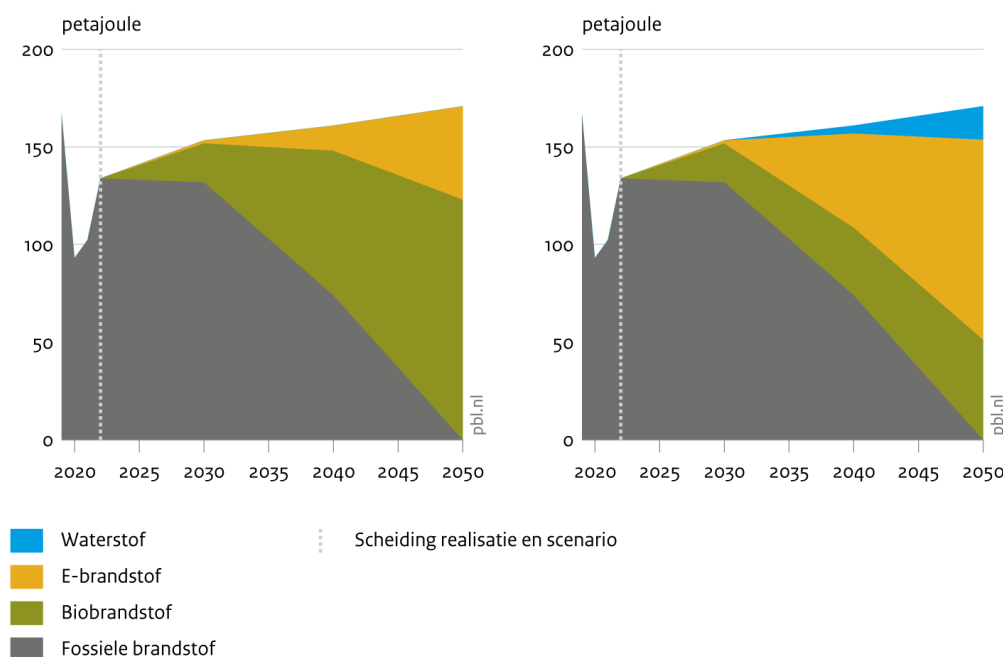
De tijdige opschaling van het aanbod van hernieuwbare kerosine is een cruciale randvoorwaarde voor de transitie naar klimaatneutraal. Ook ligt er nog een uitdaging bij de aanpak van de zogeheten 'niet-CO₂-klimaat effecten'. Met de geschetste paden wordt de luchtvaart wel CO₂-neutraal, maar niet klimaatneutraal. De luchtvaart draagt namelijk ook met de uitstoot van waterdamp en andere emissies dan die van broeikasgassen (zoals stikstof) bij aan klimaatverandering. De uitstoot van deze andere stoffen blijft in beide paden bestaan. Wel zijn er mogelijkheden om deze impact te verkleinen. Dit wordt toegelicht in het paper van Hilbers & Davydenko (2024).

Trajecten richting klimaatneutrale luchtvaart

Energievraag van vertrekkende vluchten vanuit Nederland

Behoudend (accent op biobrandstoffen)

Innovatief (accent op e-fuel en waterstof)



Bron: RIVM/Emissieregistratie 2024 (realisatie); PBL & TNO (scenario)

Figuur 3 energievrage van vertrekkende vluchten vanuit Nederland

3.3 Paden naar klimaatneutrale binnenvaart

De verduurzaming van de binnenvaartsector staat nog in de kinderschoenen. Er zijn meerdere technologieën in ontwikkeling. Gebruik van batterij-elektrische aandrijving met verwisselbare batterijcontainers lijkt kansrijk in specifieke deelmarkten en wordt momenteel getest in proeftoepassingen. Ook methanol en waterstof in combinatie met verbrandingsmotoren of in brandstofcellen is een route om de vloot te verduurzamen. Een andere optie is de toepassing van *drop-in* hernieuwbare biobrandstoffen (zoals biodiesel) in bestaande motoren, met als voordeel dat deze met beperkte investeringen in de bestaande vloot kunnen worden toegepast.

In het behoudende pad wordt er met name gebruik gemaakt van de drop-in biobrandstoffen, met een kleine rol voor batterij-elektrisch varen. De aandrijftechnologie in schepen hoeft grotendeels niet te worden aangepast. In het innovatieve pad is meer aandacht voor nieuwe technologie, met een kleine bijdrage van biobrandstoffen. Batterij-elektrisch varen is hier belangrijk, maar voor sommige marktsegmenten zullen waterstof of e-brandstoffen met verbrandingsmotoren of brandstofcellen ook een rol spelen. In Figuur 4 is in de grafiek de rol van waterstof geïllustreerd, maar deze zou dus ook kunnen worden ingevuld door methanol, methaan, e-diesel of wellicht ammoniak.

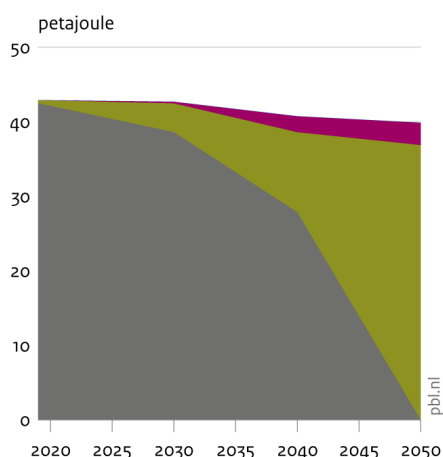
De uitdagingen voor verduurzaming in de binnenvaart liggen in de opbouw van de vloot, de ontwikkeling van technologie en het ontbreken van beleidskaders. Er zijn

grote verschillen in de binnenvaartvloot, die maken dat verschillende technologie geschikt zal zijn voor elk segment. Proeftoepassingen zijn noodzakelijk om inzicht te krijgen in de potentie van duurzame oplossingen in de praktijk. Binnenvaartschepen gaan bovendien lang mee, dus voor tijdige verduurzaming dient er ook naar de bestaande schepen te worden gekeken. Ten slotte moeten er ook doelstellingen en bijbehorende beleidsinstrumenten worden opgesteld, om te zorgen dat de juiste investeringen voor verduurzaming los kunnen komen.

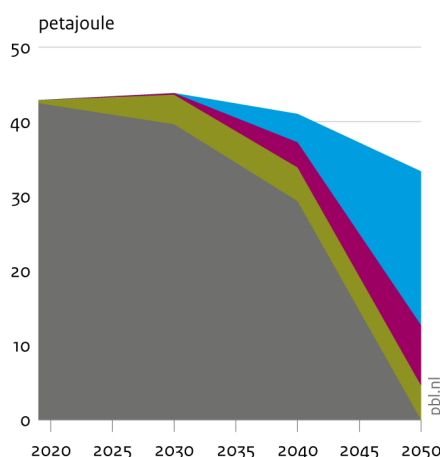
Trajecten richting klimaatneutrale binnenvaart

Energievraag van binnenvaart in Nederland

Behoudend (conservatief)



Innovatief



Bron: RIVM/Emissieregistratie 2021 (basisjaar); PBL & TNO (scenario)

Figuur 4 energievrage van binnenvaart in Nederland

3.4 Paden naar klimaatneutrale zeescheepvaart

In de verduurzaming van de zeevaart kunnen veel verschillende hernieuwbare brandstoffen een rol spelen. Het is nog niet duidelijk welke brandstoffen de bovenaan zullen voeren. Wat betreft biobrandstoffen zijn biodiesel, bio-LNG en biomethanol mogelijke opties, waarbij biodiesel en bio-LNG (deels) kunnen worden toegepast in de bestaande vloot. Vanaf 2030/2035 kunnen ook e-brandstoffen zoals e-diesel en e-methanol een bijdrage gaan leveren. Ammoniakmotoren zijn nog niet klaar voor de markt. Batterij-elektrische aandrijving heeft een kleinere rol, maar kan wel worden toegepast in de verduurzaming van de kustvaart.

In beide paden voor de zeevaart zijn biobrandstoffen het belangrijkste tot 2030. In het behoudende pad blijft daarna biobrandstof het grootste aandeel in het energieverbruik houden. In het innovatieve pad wordt na 2030 juist meer e-brandstof toegepast.

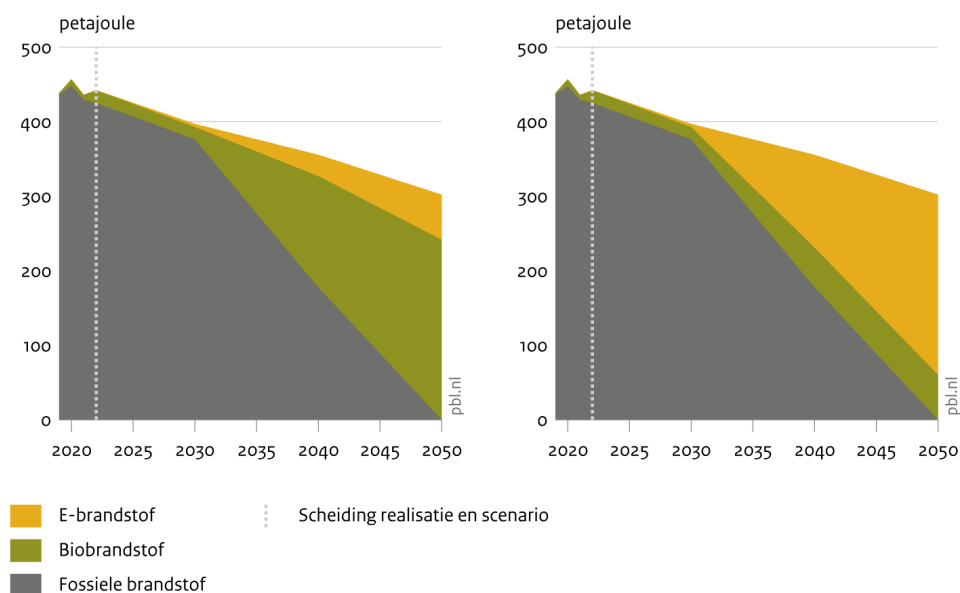
Net als bij de binnenvaart liggen de uitdagingen in de zeevaart in het ontwikkelen van de technologieën en het vaststellen van beleidskaders. Pilottoepassingen zijn waardevol om meer ervaring te krijgen met verschillende technologie in de praktijk. De uitwerking van de doelstelling van klimaatneutraliteit en bijbehorende beleidsinstrumenten stimuleert investeringen in verduurzaming. Daarnaast is de beschikbaarheid en betaalbaarheid van hernieuwbare brandstoffen een belangrijke randvoorwaarde voor de zeevaart. Voor nieuwe energiedragers zoals methanol of ammoniak zal ook nieuwe bunkerinfrastructuur nodig zijn.

Trajecten richting klimaatneutrale zeescheepvaart

Energievraag van zeescheepvaart in Nederland

Behoudend (hoofddrol voor biobrandstof)

Innovatief (hoofddrol voor e-brandstof)

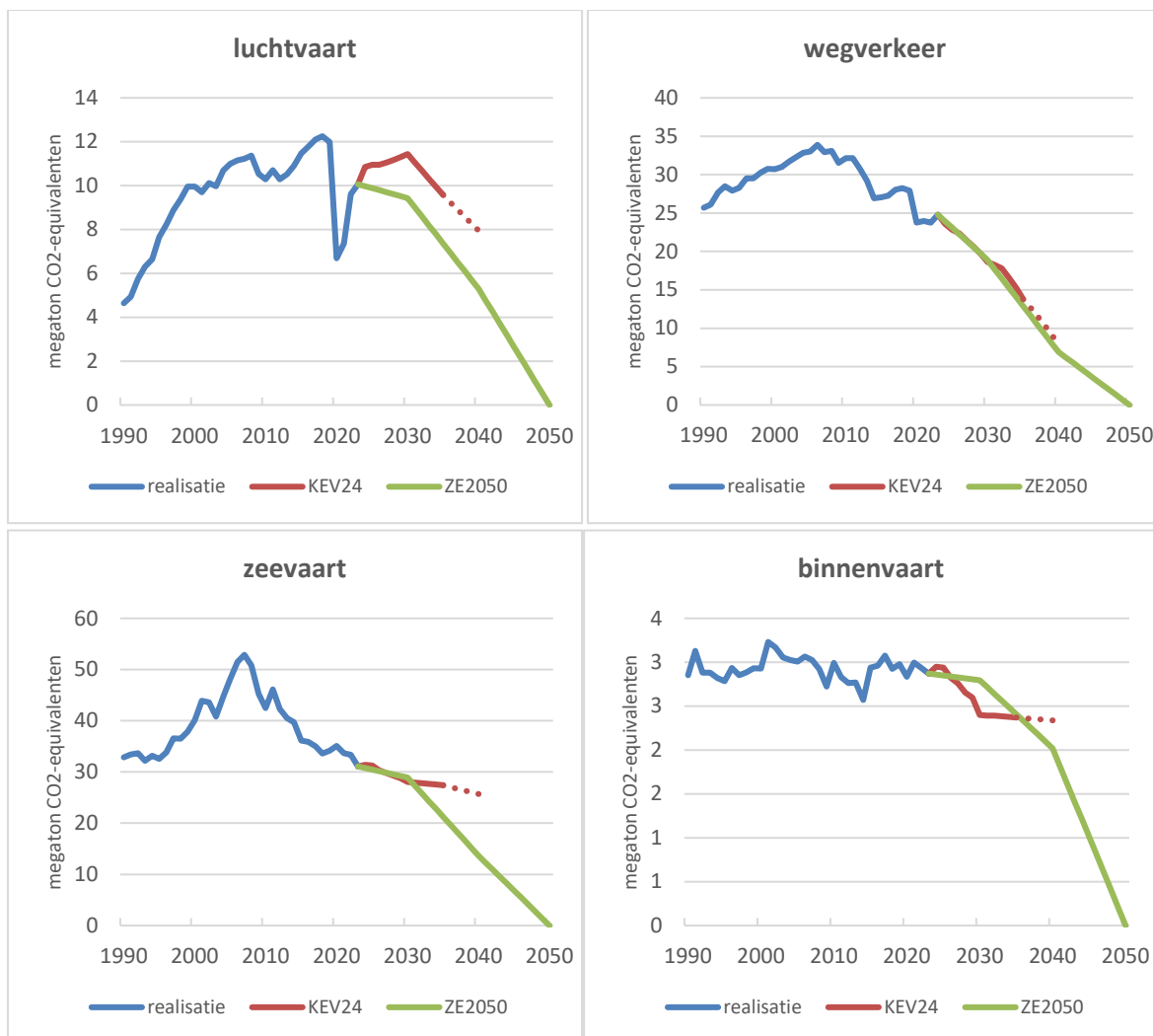


Bron: RIVM/Emissieregistratie 2024 (realisatie); PBL & TNO (scenario)

Figuur 5 energievrage van zeescheepvaart in Nederland

4 Liggen we op schema?

De paden naar klimaatneutrale mobiliteit uit de vorige paragraaf redeneren terug vanuit het gewenste einddoel in 2050. Het is vervolgens interessant om in beeld te brengen waar we met huidige trends en huidig beleid op afkoersen. Liggen we al goed op schema? Waar moet nog stappen gezet worden? De Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2024 (PBL et al., 2024) schetst de verwachte ontwikkeling van de uitstoot van broeikasgassen door (onder andere) de mobiliteit in en vanuit Nederland in de periode tot 2035, met een doorkijk naar 2040. Uitgangspunt is het klimaatbeleid per 1 mei 2024 (inclusief concreet uitgewerkte beleidsvoornemens). Figuur 6 schetst voor de vier vervoerswijzen de ontwikkeling van de uitstoot van broeikasgassen conform de KEV2024 en de uitstoot zoals die voortvloeit uit de geschetste transitiepaden.



Figuur 6: Uitstoot broeikasgassen door mobiliteit conform de KEV2024 (beleidsvariant inclusief voorgenomen beleid) en conform de transitiepaden naar klimaatneutraal (ZE2050).

Wegverkeer: de juiste weg gevonden?

Voor het wegverkeer ligt het emissiepad uit de KEV2024 goed in lijn met het pad naar klimaatneutraal. Met het huidige beleid zitten we goed op koers. Dit is verklaarbaar als we kijken naar het beleid voor verduurzaming van het wagenpark. In de EU-regelgeving voor nieuwe wegvoertuigen is vastgelegd dat vanaf 2035 alleen nog nul-emissie personen- en bestelauto's mogen worden verkocht. Ook nieuwe vrachtauto's en bussen moeten tussen 2030 en 2040 voor het overgrote deel nul-emissie worden aan de uitlaat. Nederland stimuleert de elektrificatie van het wagenpark via subsidie-regelingen en fiscale regelingen, bijvoorbeeld via de lage aanschafbelasting (bpm) op nul-emissie personen- en bestelauto's en het verlaagde kilometertarief voor nul-emissie voertuigen in de vrachtautoheffing. Ook de invoering van nul-emissiezones voor stads-logistiek in veel binnensteden draagt hieraan bij. Door die gunstige fiscale behandeling in combinatie met de dalende kosten van de technologie zelf, wordt elektrisch rijden vanuit kosten oogpunt steeds aantrekkelijker. Daarbovenop leidt de beoogde implementatie van de nieuwe Europese regelgeving voor gebruik van hernieuwbare energie

in vervoer (de RED-III) tot een toenemend gebruik van hernieuwbare brandstoffen in het wegverkeer tot 2030.

Bij deze projecties passen een aantal kanttekeningen. De modellen die we gebruiken om de instroom van elektrische auto's te voorspellen, hebben een sterke focus op kosten. Maar bij de keuzes van autokopers komen meer factoren kijken. Factoren die zich soms minder makkelijk laten vangen in modellen. Want gaan we inderdaad tijdig kunnen voorzien in de benodigde laadinfrastructuur? Of gaan de problemen met het overvolle elektriciteitsnet voor vertraging zorgen in de uitrol van laadinfra en daarmee een rem zetten op de elektrificatie van het (vracht)autopark? Willen consumenten en ondernemers inderdaad massaal een elektrische auto kopen omdat die goedkoper is in gebruik? Hoe sterk wegen andere factoren mee in hun keuze, zoals (gepercipieerde) problemen rond het kunnen laden of de 'gedoe-factor'? Gaan de kosten wel zo snel dalen als we nu verwachten? Dat laatste hangt ook samen met nog te maken beleidskeuzes over wat een 'eerlijke bijdrage' van de elektrische rijder aan de autobelastingen is (zoals aangekondigd in het Hoofdlijnenakkoord). Hierover moeten nog knopen worden doorgehakt. Gaan tekorten aan kritieke grondstoffen en materialen of geopolitieke ontwikkelingen, zoals we die dit jaar zagen in de vorm van de importheffingen voor elektrische auto's uit China, de verwachte groei van het aanbod van goedkope(re) modellen remmen? En blijft een deel van de automobilisten daardoor langer rondrijden met gebruikte benzine- en dieselauto's, ook als nieuwe auto's allemaal elektrisch moeten zijn? Ontstaan er importstromen op de tweedehandsmarkt van gebruikte benzine- en dieselauto's? Of wordt elektrisch rijden straks zo aantrekkelijk dat we massaal onze gebruikte benzine- en dieselauto's van de hand doen en de instroom nog harder gaat dan nu wordt verwacht? Deze ontwikkelingen zijn onzeker en laten zich niet zomaar vangen in onze projecties. De verwachtingen zijn op dit moment gunstig, maar de uitdagingen om die waar te maken zijn nog steeds groot.

Luchtvaart: ready for take-off?

Het emissiepad voor de luchtvaart in de KEV2024 blijft tot 2030 achter bij het transitiepad naar klimaatneutraal. Dit komt omdat in het pad naar nul in 2030 is uitgegaan van het nationale doel van 14% bijmenging van hernieuwbare brandstoffen in 2030. Dat doel is niet vastgelegd in concrete beleidsinstrumenten en zit daarom niet in de KEV. Wel zit in de KEV de Europese verplichting voor inzet van hernieuwbare brandstoffen op alle vanuit de EU vertrekkende vluchten, die oploopt van 6% in 2030 tot 70% in 2050. Deze verplichting verklaart primair de daling van de uitstoot die in de KEV wordt verwacht in de periode 2030-2040. Met die verplichting wordt een grote stap gezet in het terugdringen van de klimaatimpact van de luchtvaart, maar klimaatneutraliteit in 2050 is nog niet in beeld. Het merendeel van de uitstoot van broeikasgassen door vertrekkende vluchten vanuit de EU valt nog niet onder het EU-ETS en is daarmee ook nog niet begrensd, terwijl het mondiale beleidskader van de ICAO (burgerluchtvaartorganisatie van de VN) alleen ambitieuze doelen kent maar nog geen beleidsinstrumenten die daarmee in lijn zijn. Hier ligt nog een opgave, die primair op internationaal niveau moeten worden geklaard. Juist vanwege de benodigde internationale afstemming is dit niet eenvoudig te bewerkstelligen. De KEV brengt alleen de uitstoot van broeikasgassen in beeld en daarmee niet de hele klimaatimpact van de luchtvaart (zie ook paragraaf 3.2). Aan de 'niet-CO2-

klimaateffecten wordt momenteel nog niets gedaan. Ook daar ligt dus nog een opgave voor beleid.

Binnenvaart: tussen wal en schip

De uitstoot van broeikasgassen door de binnenvaart daalt bij huidig beleid substantieel tot 2030, maar blijft daarna min of meer stabiel. De daling tot 2030 is het gevolg van de voorgenomen verplichting voor inzet van hernieuwbare energie in de binnenvaart die voortvloeit uit de eerder genoemde REDIII-implementatie in combinatie met de voorgenomen opname van de binnenvaart in het nieuwe emissiehandelsstelsel voor verkeer en de gebouwde omgeving (ETS-2), waarmee de uitstoot van broeikasgassen door de binnenvaart voor het eerst een prijs krijgt. Als gevolg van dit nieuwe beleid neemt het gebruik van hernieuwbare energie in de binnenvaart toe tot 2030, terwijl het vervoersvolume waarschijnlijk iets afneemt door de hogere brandstofkosten als gevolg van het ETS-2. De huidige beleidsplannen focussen echter primair op de periode tot 2030, waardoor in de KEV na 2030 nauwelijks verdere reductie wordt verwacht bij huidig beleid. De EU heeft geen concrete beleidsplannen voor verduurzaming van de binnenvaart. Het vorige kabinet heeft weliswaar de ambitie van een klimaatneutrale binnenvaart in 2050 uitgesproken, maar ook die is nog niet omgezet in concreet beleid. Dat maakt dat er bij de binnenvaart nog grote stappen nodig zijn in een pad naar klimaatneutraal. In de beleidsvorming is hier wel steeds meer aandacht voor, maar concreet uitgewerkte plannen voor de langere termijn ontbreken nog.

Zeescheepvaart: moeilijk van koers te veranderen

De verduurzaming van de zeescheepvaart loopt in de KEV2024 tot 2030 ongeveer gelijk op het met transitiepad naar klimaatneutraal. Waar de uitstoot in dat transitiepad na 2030 versneld afneemt, blijft de afname volgens de KEV bescheiden bij huidig beleid. Net als voor de luchtvaart geldt ook voor de zeevaart dat de EU al wel beleid voor verduurzaming heeft geïntroduceerd, maar dat mondiale maatregelen nog uitblijven. De IMO (zeevaartorganisatie van de VN) heeft wel het doel vastgelegd van een klimaatneutrale mondiale zeescheepvaart om en nabij 2050, maar dat doel moet nog worden uitgewerkt in concrete beleidsinstrumenten. De EU heeft wel concrete instrumenten geïntroduceerd, die betrekking hebben op de zeevaart binnen de EU en op de helft van de vaarten van en naar de EU. De uitstoot van dit deel van de vaarten komt onder het EU-ETS te hangen en wordt via die route dus geprijsd. Ook geldt voor dit deel van de vaarten een verplichting om de koolstofinhoud van de brandstoffen tot 80% terug te brengen in 2050. Daarmee worden grote stappen gezet in de verduurzaming van een deel van de vaarten. Voor het resterende deel is aanvullend mondiaal beleid nodig. De IMO heeft aangekondigd in 2025 met concreet beleid te komen om de doelen voor 2050 binnen bereik te brengen.

5 Waar zitten de grote uitdagingen

Als we de balans opmaken, dan ontstaat een gemengd beeld. Enerzijds worden met het huidige EU- en Nederlandse beleid grote stappen gezet in de verduurzaming van met name het wegverkeer maar ook van de lucht- en scheepvaart in en rond Europa. Anderzijds zijn de uitdagingen om dat waar te maken en om de volgende stappen te zetten richting een daadwerkelijk klimaatneutrale mobiliteit in 2050 nog groot. In deze paragraaf schetsen we een aantal belangrijke uitdagingen die voortvloeien uit de transitiepaden naar klimaatneutraal die we in paragraaf 3 hebben gepresenteerd.

5.1 Beleidskader

Voor de transitie naar klimaatneutrale mobiliteit is regelgeving van cruciaal belang. Door heldere en ambitieuze doelen te stellen, kunnen beleidsmakers sturen op de richting en toepassing van innovaties (Hekkert et al. 2020). Normering en beprijzing van de klimaatimpact van mobiliteit verlopen primair via internationale gremia, zoals de EU, IMO en ICAO, maar ook nationaal beleid speelt een rol, bijvoorbeeld in de vorm van subsidies en gedragscampagnes.

Voor het wegverkeer, dat primair vanuit de EU en vanuit Nederland wordt gereguleerd, is het beleidskader al vergaand uitgewerkt. Doelstellingen en bijbehorende instrumenten zijn vastgelegd in het Fit-for-55 pakket dat inmiddels grotendeels is aangenomen. Belangrijke vraagstukken liggen er nog rond de uitwerking van het ETS-2 en het nationale beleid voor met name de fiscale behandeling van de verschillende typen voertuigen. Voor de lucht- en zeescheepvaart zijn er in mondiaal kader wel klimaatdoelstellingen vastgelegd, maar die zijn nog niet uitgewerkt in concrete instrumenten. De EU heeft haar doelen wel vertaald naar concrete instrumenten, waardoor de uitstoot op de vaarten en vluchten binnen en rond de EU gaat afnemen. Voor de binnenvaart is nog geen eenduidige doelstelling op Europees niveau geformuleerd. Alleen de Centrale Commissie voor de Rijnvaart heeft een strategisch doel vastgesteld. Ook is er nog geen duidelijkheid over de te nemen beleidsmaatregelen. Gezien het internationale karakter van de binnenvaart verdient het de voorkeur hier op (Noordwest-)Europese schaal afspraken over te maken.

5.2 Technologieontwikkeling

Duurzame technologie speelt een centrale rol in de transitie naar klimaatneutrale mobiliteit. De nieuwe aandrijftechnologieën die in de transitiepaden centraal staan zijn veelal al vergaand ontwikkeld of worden al uitgerold in de parken en vloten. Vooral bij de scheepvaart liggen hier nog uitdagingen. Momenteel is nog niet duidelijk welke energiedragers dominant zullen worden bij de verduurzaming van de binnenvaart en zeevaart. Hiervoor is de technologie nog niet ver genoeg uitontwikkeld. Waarschijnlijk zullen er verschillende energiedragers worden ingezet in verschillende marktsegmenten. Schepen gaan bovendien lang mee, dus de ontwikkeling van retrofit- en drop-in-oplossingen is ook belangrijk. Op korte termijn is het belangrijk om

voor de binnen- en zeescheepvaart pilottoepassingen te realiseren in verschillende segmenten, om meer duidelijkheid te krijgen over de toepasbaarheid van nieuwe technologieën en om te bezien waar kostenbesparingen te halen zijn in het ontwerp. Vanuit deze pilots zou een stap naar de opschalingsfase moeten worden gezet.

Om voldoende hernieuwbare energiedragers beschikbaar te hebben voor de mobiliteit, is het cruciaal dat er opschaling plaatsvindt van de productiecapaciteit van hernieuwbare elektriciteit, duurzame koolstof (bijvoorbeeld door Direct Air Capture), waterstof (elektrolyzers) en biobrandstoffen. De ontwikkeling van het aanbod van deze bronnen en de daarbij behorende prijs zijn mede bepalend voor het tempo waarin de verduurzaming plaats kan vinden en voor het uiteindelijke marktaandeel van de energiedragers. Een belangrijk vraagstuk hierbij is ook in welke mate we zelfvoorzienend willen zijn in de productie van deze brandstoffen en in welke mate we afhankelijk willen zijn/blijven van import.

5.3 Energie-efficiëntie

Ons onderzoek laat zien dat er bij alle vervoerswijzen potentieel is voor verdere verbetering van de energie-efficiëntie. We schatten dit potentieel op zo'n 15 tot 30 procent tot 2050, al is er bij alle vervoerswijzen nog potentieel voor verdere verbetering. Dit potentieel zit zowel in technische verbeteringen aan het ontwerp, bijvoorbeeld door een verbeterde aerodynamica of hybride aandrijving, als in operationele verbeteringen, zoals hogere beladingsgraden of lagere vaarsnelheden. Verbetering van de energie-efficiëntie vermindert het beslag dat de mobiliteitssector legt op schaarse energiebronnen en materialen en vergroot de kans dat de mobiliteit in 2050 klimaatneutraal is. Ook verkleint het de klimaatimpact in de periode dat de sector nog niet klimaatneutraal is en draagt het daarmee bij aan het halen van de Parijsafspraken. Inzet op energiebesparing is daarmee een relevant onderdeel van de klimaatstrategie voor mobiliteit.

Of dit potentieel ook kan worden ontsloten, is niet evident. De energie-efficiëntie van nieuwe vervoersmiddelen wordt internationaal gereguleerd. Normen voor wegvoertuigen, zeeschepen en vliegtuigen zijn recent vastgesteld of aangescherpt. Dit is verwerkt in de hier gehanteerde transitiepaden. Inzet op aanscherping of verbetering van die normering kan op termijn de klimaatimpact van mobiliteit helpen verminderen, maar dit zijn langdurige beleidsprocessen. Bij de binnenvaart zijn er nog geen normen voor technische of operationele energie-efficiëntie. Hier ligt een kans voor Nederland om een voortrekkersrol te spelen bij het formuleren van nieuw beleid.

De operationele energie-efficiëntie van het wegverkeer en de binnenvaart kan met nationaal beleid worden beïnvloed. Historische trends duiden echter op een steeds minder goede benutting en belading van wegvoertuigen. Ook de trend naar steeds zuinigere auto's is de laatste jaren gestagneerd met de toegenomen populariteit van SUVs. Die trends doorbreken blijkt weerbarstig en is een proces van de lange adem. Veranderingen komen niet vanzelf tot stand. Met een combinatie van gedragscampagnes en gerichte prijsprikkels of normering is hier waarschijnlijk meer haalbaar. Hoe groot dit potentieel is in het licht van de transitie naar nulemissie technologie en

hoe dat effectief kan worden ontsloten is onzeker en kan onderwerp zijn voor vervolgonderzoek.

5.4 Minder en Anders?

Alle transitiepaden uit paragraaf 3 veronderstellen verdere groei van de vervoersvolumes tot 2050. De groeiverwachtingen zijn gebaseerd op continuering van huidige trends en voorkeuren en het huidige mobiliteitsgedrag. Veranderingen in het mobiliteitsgedrag, al dan niet in reactie op beleidsingrepen, kunnen een belangrijke rol spelen in de transitie naar klimaatneutraal. Het mobiliteitsgedrag van consumenten wordt beïnvloed door de economische (kosten, belastingstructuur), fysieke (ruimtelijke inrichting, infrastructuur) en sociale (sociale normen en gedrag van anderen) omgeving (Paradijs & Van den Brink 2023). Allen factoren die (kunnen) worden beïnvloed door overheidsbeleid. Ook de omvang van het goederenvervoer is mede een afgeleide van de economische en fysieke omgeving en van beleidskeuzes op dit gebied.

Met samengestelde beleidspakketten die enerzijds het autogebruik ontmoedigen via infrastructurele maatregelen en prijsbeleid en anderzijds het gebruik van andere vervoerswijzen stimuleren, kan de overheid consumenten en bedrijven verleiden tot een duurzamer mobiliteitsgedrag, in de vorm van een modal shift van auto naar OV en fiets en een afname van het aantal trips en de reisafstanden. Bij het wegverkeer is de verwachting dat zo'n beleidsstrategie het personenautogebruik kan laten afnemen met zo'n 20 à 30 procent en het bestelautoverkeer met zo'n 15 procent. Ook de groei van de luchtvaart kan worden bijgestuurd, en gezien de van oudsher lage belastingdruk (geen accijns, geen btw op vliegtickets) en hoge kostenelasticiteit is het prijsinstrument een logisch middel. Deels is dit al opgepakt, met de verhoging van de vliegbelasting, ook naar afstand, en ook de meerkosten van duurzame brandstoffen dempen via hogere ticketprijzen de groei van de luchtvaart.

Beleidsinstrumenten gericht op het vervoersvolume en het gebruik van klimaatvriendelijke vervoerswijzen hebben vaak meerdere baten. Zo heeft fietsen en wandelen voordelen voor de gezondheid (iedere minuut die je fietst leef je langer) en leidt minder autogebruik tot minder lokale luchtverontreiniging en minder geluidsoverlast. Herinrichting van de stedelijke infrastructuur kan de lokale verblijfskwaliteit aanzienlijk verbeteren. Aan dit type beleidsinstrumenten zijn ook maatschappelijke kosten verbonden. Vanwege de verschillende kosten en baten die een rol spelen, verdient het aanbeveling om nut en noodzaak voor dit type maatregelen te beschouwen in een bredere context waarin de verschillende doelen van het mobiliteitsbeleid in ogenschouw worden genomen. Het ontwikkelen van een brede visie op de toekomstige mobiliteit in en vanuit Nederland, met klimaatneutraliteit als integraal onderdeel, kan daarbij als basis dienen. De Hoofdpijnennotitie voor de Mobiliteitsvisie 2050 (IenW 2023) vormt een eerste aanzet hiertoe. Klimaat wordt in deze notitie beschouwd als één van de randvoorwaarden waarbinnen het doel om vitale functies voor iedereen bereikbaar te houden moet worden ingevuld. Hoe deze randvoorwaarde wordt geoperationaliseerd en wat dat betekent voor de visie op het toekomstige mobiliteitssysteem, moet nog worden uitgewerkt. Het is overigens niet alleen een nationale

opgave. Ruimtelijke ordening en inrichting van de stedelijke verkeersruimte is grotendeels een regionale en lokale verantwoordelijkheid.

6 Conclusie

Het verwezenlijken van een klimaatneutraal mobiliteitssysteem in Nederland in 2050 brengt grote uitdagingen met zich mee. Ons paper laat echter zien dat het haalbaar is. Duurzame technologieën spelen hierin een cruciale rol. Veel van de benodigde technologie is al ver doorontwikkeld of wordt al uitgerold in de samenleving. De tijd tot 2050 is echter kort in het licht van de lange levensduren van onze vervoersmiddelen. Bovendien liggen de uitdagingen slechts deels binnen de invloedssfeer van de Nederlandse overheid (denk aan uitdagingen rond de uitrol van laadinfrastructuur). Andere uitdagingen zijn niet of maar zeer beperkt door Nederland te beïnvloeden. Zo heeft Nederland niet of nauwelijks invloed op de ontwikkeling van het aanbod van voer-, vaar- en vliegtuigen (en de daarvoor benodigde kritieke grondstoffen en materialen) en is de invloed op het ambitieniveau van mondiaal verduurzamingsbeleid voor de lucht- en scheepvaart ook beperkt. Gegeven het doel van een klimaatneutraal mobiliteitssysteem in 2050 zou een robuuste beleidsstrategie voor verduurzaming van de mobiliteit in Nederland wat ons betreft niet alleen aandacht hebben voor duurzame technologieën en hernieuwbare brandstoffen, maar ook voor de gedragskant: hoe verplaatsen we ons in 2050, hoe vaak en over welke afstanden?

Is een algehele verandering van ons mobiliteitssysteem nodig? Ons paper geeft een gemengd beeld. Technisch kan er in potentie veel. En die technische route is veelal ook de aantrekkelijkste route. Die grijpt het minst in op onze levensstijl. We blijven ons op dezelfde manier verplaatsen, maar dan met duurzame technologie. Maar de klimaatopgave is meer dan een technische invuloefening. Door de klimaatopgave meer integraal op te nemen in de visievorming en uitwerking van ons toekomstig mobiliteitssysteem, kan een systeem ontstaan dat meer dan nu uitnodigt tot duurzamere keuzes. Hiermee kan de kans van slagen van het doel van klimaatneutraal in 2050 aanzienlijk worden vergroot.

7 Literatuur

- Davydenko, I., H. Hilbers & H. de Wilde (2024), *Klimaatneutrale Luchtvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Geilenkirchen, G.P., J. Harmsen, R. Verbeek, J. Faber & E. van der Toorn (2024a), *Klimaatneutrale zeescheepvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Geilenkirchen, G.P., J. Harmsen & A.W.H. Nusteling (2024b), *Klimaatneutrale mobiliteit in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Hekkert, M.P., M.J. Janssen, J.H. Wesseling & S.O. Negro (2020), 'Mission-oriented innovation systems', *Environmental Innovation and Societal Transitions* 34: 76-79, <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.11.011>.
- Hilbers, H. & I. Davydenko (2024), *Hoe kan de luchtvaart klimaatneutraal worden? Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2024*, Utrecht.
- IenW (2023), *Uitwerking bereikbaarheidsdoelen, Programma Mobiliteitsvisie 2050*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Meerkerk, J. van, M. Verbeek & D. Blomjous (2024), *Klimaatneutraal wegverkeer in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.
- Paradies, G. & R. van den Brink (2023), *Anders consumeren om klimaatdoelen te halen. Een verkenning van manieren om het systeem te veranderen en hoe iedereen daaraan kan bijdragen*, TNO.
- PBL, TNO, CBS en RIVM (2024), *Klimaat- en Energieverkenning 2024*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Traa, M., R. Verbeek, G. Gelsenkirchen & J. Harmsen (2024), *Klimaatneutrale binnenvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving & TNO.