

› DE ENERGIETRANSITIE MOET SNELLER

DIT IS NODIG OM DE KLIMAAT DOELSTELLINGEN TE HALEN



TNO innovation
for life

› Katharina Andrés
Martin Scheepers
Ruud van den Brink
Richard Smokers

› maart 2022

› INHOUDSOPGAVE

Belang van versnelling energietransitie	2
Samenvatting: Uitdagingen energietransitie en maatregelen versnelling	5
1 Integrale aanpak	12
2 Elektriciteit	16
3 Gebouwde omgeving	22
4 Industrie	28
5 Mobiliteit	36
6 Internationale luchtvaart en scheepvaart	45
7 Consumptie	51

OVER DEZE PAPER

Deze paper is bedoeld voor professionals in de energietransitie die een overzicht willen hebben ‘wat er kan’ om de energietransitie te versnellen, maar ook wat er moet! Het is bedoeld voor beslissers en beleidsmakers bij overheden en bedrijfsleven maar ook voor experts die verder kijken dan hun eigen sector of expertise en willen weten hoe het allemaal met elkaar samenhangt. Bovendien is deze paper ook zeer relevant voor professionals in de circulaire economie en de materiaaltransitie, gezien de grote samenhang en mogelijke oplossingen die beide transities zullen bespoedigen.

Het schrijven van zo’n publicatie vraagt om scherpe keuzes. Uiteraard zijn er voor elke sector nog andere belangrijke aspecten en maatregelen. Daarom hebben we bij alle hoofdstukken een aantal bronnen vermeld. Daar kunt u verder lezen en per onderwerp meer de diepte in gaan.

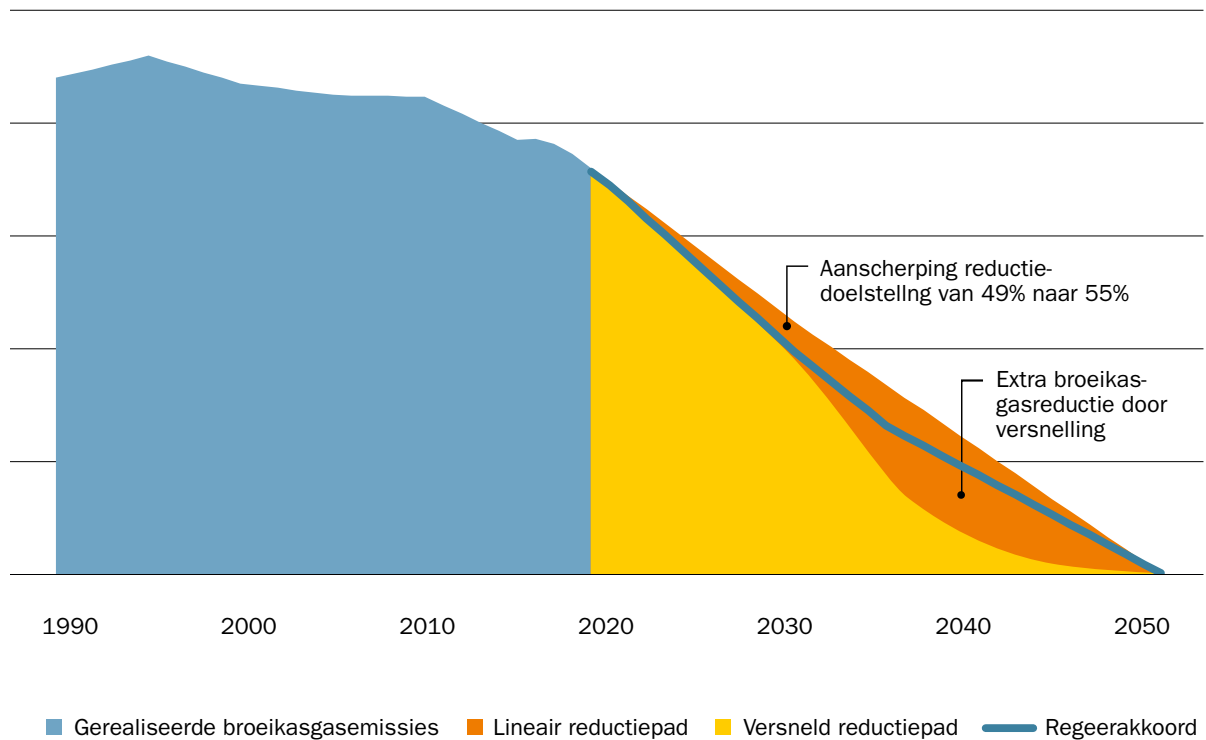
› BELANG VAN VERSNELLING ENERGIETRANSITIE

2021 was een jaar met veel weersextremen op verschillende plekken van de wereld, die duidelijk maken hoe kwetsbaar de mens is voor verandering in weer en klimaat. In augustus 2021 verscheen het 6^e IPCC assessment rapport “Climate change 2021 – The Physical Science Basis”. Daarin concluderen wetenschappers dat menselijke invloed het klimaat heeft opgewarmd in een tempo dat in de laatste 2000 jaar ongekend is.

Om deze trend te stoppen en de opwarming tot de in Parijs afgesproken doelstelling (opwarming ruim onder de 2°C, streven naar 1,5°C) te beperken, moeten de CO₂-emissies door menselijk handelen naar nul. Berekeningen van het IPCC tonen aan dat er nog maar 300 Gt CO₂ uitgestoten mag worden om het 1,5°C scenario te halen. Dat is ongeveer acht keer de huidige jaarlijkse wereldwijde uitstoot van CO₂. De urgentie om nu snel en effectief te handelen om de emissies omlaag te brengen is overduidelijk.

Het besef in de maatschappij en de politiek is toegenomen dat het ‘vijf voor twaalf’ is en dat de broeikasgasemissies nu snel verlaagd moeten worden. De Europese Commissie heeft voorgesteld de broeikasgasreductie te versnellen door de doelstelling voor de Europese Unie voor 2030 te verhogen van 40% naar 55% reductie ten opzichte van het emissieniveau van 1990. De voorgestelde maatregelen van het “Fit for 55 pakket” geven concrete invulling aan deze versnelling. Als deze voorstellen worden geaccepteerd, zal een groot deel van deze maatregelen nog vertaald moeten worden in nationaal beleid. In het regeerakkoord van Rutte IV staat dat Nederland koploper in Europa wil zijn bij het tegengaan van de opwarming van de aarde. Het doel in de Nederlandse Klimaatwet wordt aangescherpt tot tenminste 55% reductie en het beleid wordt gericht op een hogere opgave van 60% in 2030. Er komen reductiedoelen van 70% in 2035 en 80% in 2040 bij om ook na 2030 ambitieus door te gaan. De actuele geopolitieke ontwikkelingen en de wens om sneller onafhankelijk van gas te worden onderstrepen de urgentie van een versnelde energietransitie.

Om deze doelen te bereiken is versnelling nodig. Het verhogen van de reductiedoelstelling zoals geformuleerd in het regeerakkoord is zo'n versnelling: Hierdoor komen minder broeikasgassen in de atmosfeer (zie onderstaand figuur) hetgeen bijdraagt aan het beter haalbaar maken van de 1,5°C - of 2°C -scenario's. Bovendien zorgt een versnelling er ook voor dat in de laatste 10 jaar alle aandacht uit kan gaan naar de broeikasgasemissies die moeilijker te reduceren zijn.



Figuur 1 Reductiepaden broeikasgassen voor Nederland

NÚ VERSNELLEN

Om onder 1,5°C opwarming te blijven is het belangrijk om de CO₂-emissies snel te laten dalen, niet alleen in de periode vóór 2030, maar ook daarna en daar nu de plannen voor te maken en voorbereidingen te treffen. Hoe trager de reductie in het begin gaat, hoe sneller de emissies later omlaag moeten. Bovendien zullen dan mogelijk meer negatieve emissies nodig zijn, bijvoorbeeld door veel meer bossen aan te planten of verhoogde koolstofopslag in de bodem door aangepaste landbouwmethoden, door CO₂-emissies af te vangen en op te slaan die vrijkomen bij verbranding van biobrandstoffen, of zelfs door CO₂ direct uit de atmosfeer af te vangen en onder de grond op te slaan.

De uitdaging om de emissies naar nul te brengen, kent veel verschillende aspecten en vergt veel extra inspanningen. Sommigen reducties kunnen we relatief snel realiseren, omdat de technologie beschikbaar is en betaalbaar is geworden. Dit geldt bijvoorbeeld voor elektriciteitsproductie uit wind en zon of energiebesparing in de industrie. Maar andere oplossingen zijn ingewikkelder, bijvoorbeeld omdat de technologie nog onvoldoende ontwikkeld is (zoals bijvoorbeeld bepaalde broeikasgasvrije industriële processen), omdat regelgeving in de weg zit, of omdat de transitie trager verloopt als gevolg van beperkte beschikbaarheid van geld of menskracht (zoals bijvoorbeeld bij aardgasvrije wijken door onvoldoende geschikt personeel). Het ontwikkelen van deze oplossingen kost tijd en succes is niet op voorhand gegarandeerd. Het is dus niet alleen slim, maar vanuit de koolstofbudgetbeperkingen ook noodzakelijk, om de reducties die nu al mogelijk zijn snel te realiseren en zo tijd te kopen voor de moeilijkere uitdagingen die op langere termijn de transitie naar broeikasgasneutraal moeten vervolmaken.

Ook al zijn de emissies van Nederland maar een klein deel van de wereldwijde emissies, de emissies per inwoner zijn bovengemiddeld hoog in vergelijking met veel andere landen. Nederland met haar hoogontwikkeld niveau van kennis en kunde is goed gepositioneerd om één van de voorlopers te zijn bij het ontwikkelen en implementeren van oplossingen voor een succesvolle versnelling van de energietransitie. Dat biedt kansen voor de Nederlandse economie om, net zoals voor de deltatechnologie, opnieuw een koppositie in te nemen.

Wij concluderen: om de opwarming van de aarde te beperken tot onder 1,5°C is het nodig om nu te versnellen. Dit biedt kansen voor Nederland om daarin actief voorop te lopen. Wij hebben ons de vragen gesteld 'wat is nodig?' en 'waar moeten we onze inspanningen urgent en met focus op richten om het ook daadwerkelijk binnen de gestelde tijd voor elkaar te krijgen?'.

› SAMENVATTING: UITDAGINGEN ENERGIETRANSITIE EN MAATREGELEN VERSNELLING

We hebben de resultaten van TNO-onderzoeken en onderzoeks- en adviesrapporten van andere partijen van de afgelopen jaren bestudeerd met de vraag waar de mogelijkheden liggen om de reductie van broeikasgasemissies te versnellen en wat er nodig is om bestaande belemmeringen met urgentie weg te nemen. Hoewel veel van deze publicaties zich richten op uitdagingen voor de emissiereductie-doelstellingen in 2030, hebben we er met een specifieke toekomstbril gericht op versnelling van 2030 en daarna naar gekeken: wat zou het aanpakken van genoemde uitdagingen betekenen voor de versnelling van de emissiereductie richting 2030 en daarna? Bestudering van verschillende energiescenario's heeft inzicht gegeven in de manier waarop in verschillende sectoren op de langere termijn de broeikasgassen versneld kunnen worden gereduceerd.

INTEGRAAL PERSPECTIEF

Duidelijk is dat een integraal perspectief op de energietransitie cruciaal is voor een succesvolle versnelling. In deze white paper richten we ons op de volgende sectoren: *elektriciteit, gebouwde omgeving, industrie* en *mobiliteit*. Deze sectoren zijn verantwoordelijk voor meer dan 80% van de Nederlandse broeikasgasemissies. De sector landbouw hebben wij in onze analyse niet meegenomen, hoewel de landbouw met 16% ook substantieel aan de Nederlandse broeikasgasemissies bijdraagt. De vragen en uitdagingen zijn echter anders van aard en gaan (met uitzondering van de glastuinbouw) vooral over niet energie-gerelateerde emissies (methaan- en lachgasemissies, veeteelt, bemesting en landgebruik) en die vallen buiten de scope van deze analyse. In een apart hoofdstuk kijken we naar de brandstoffen voor de internationale *luchtvaart en scheepvaart* (bunkerbrandstoffen). Hoewel de broeikasgasemissies van deze sector buiten de nationale doelstellingen vallen, wordt een deel van deze brandstoffen in Nederland geproduceerd en tellen de broeikasgasemissies die vrijkomen bij de brandstofproductie wel mee. Bovendien is deze sector in Nederland bovengemiddeld groot. Voor de versnelling van CO₂-reductie is ook een vermindering van de consumptie van klimaatbelastende producten en diensten nodig. Daarom stellen we tenslotte de *consumptie* centraal. Hierbij gaat het zeker niet alleen om het veranderen van het gedrag van consumenten, maar vooral om aanpassingen aan het maatschappelijke systeem waardoor het makkelijker wordt duurzaam te leven.



































UITDAGINGEN IN ÉÉN OOGOPSLAG

We onderscheiden in de energietransitie vier uitdagingen: techniek, geld, acceptatie/gedrag en arbeidsmarkt. Met *techniek* duiden we op de uitdaging of de benodigde technologie beschikbaar is en in welke mate verdere ontwikkeling en (forse) opschaling van (nieuwe) duurzame technologieën nodig is. Ten tweede gaat de uitdaging *geld* over de kosten van de transitie, de beschikbaarheid van financiering en financiële prikkels. Ten derde heeft ons *keuzegedrag*, ofwel het handelen van de mens, een grote invloed op de energietransitie. Ook de mate van




maatschappelijk draagvlak bepaalt veel. Tenslotte is de *arbeidsmarkt* bepalend of de ambities die we met de versnelling hebben, ook daadwerkelijk kunnen worden gerealiseerd. Deze uitdaging richt zich op de beschikbaarheid van de benodigde competenties voor de energietransitie.

Beleid en regelgeving onderscheiden wij niet als één van de uitdagingen, maar zien we als een zeer belangrijk middel om belemmeringen in deze uitdagingen op te lossen en de transitie mogelijk te maken.

OVERZICHT VAN UITDAGINGEN VOOR DE DIVERSE SECTOREN

	 Techniek	 Geld	 Acceptatie gedrag	 Arbeidsmarkt
 Electriciteit				
 Gebouwde omgeving				
 Industrie				
 Mobiliteit				
 Luchtvaart Scheepvaart				
 Consumptie				

WAT IS NODIG VOOR VERSNELLING

-  De oplossingen zijn er, we moeten stevig doorzetten: “Action, action, action”.
-  Oplossingen zijn grotendeels bekend, ze moeten geïmplementeerd worden.
-  Oplossingen zijn onvoldoende bekend en moeten nog worden ontwikkeld.

In de infographic is een overzicht weergegeven van de vier uitdagingen voor elke sector. De *gele* kleur geeft aan dat we de juiste dingen doen en als we stevig doorzetten de versnelling kan worden gerealiseerd. We hebben de *oranje* kleur gebruikt in het geval dat we al veel over de oplossingen weten, maar deze vooral nog geïmplementeerd moeten worden. De *rode* kleur hebben we gebruikt in situaties waar nog niet genoeg kennis over de oplossing beschikbaar is en deze nog (verder) ontwikkeld moeten worden. De additionele aandacht moet vooral gaan naar elementen met een oranje of rode kleur. Hier zijn in verschillende mate extra inspanningen nodig om de versnelling te kunnen bereiken. Dat kost tijd en het is belangrijk om er tijdig mee te beginnen.

We realiseren ons dat deze weergave een vereenvoudiging is en een hele sector in vier gekleurde bollen samenvat. De problemen en oplossingen zijn natuurlijk niet hetzelfde voor verschillende deelsectoren, zoals bijvoorbeeld het zware wegtransport in vergelijking met personenvervoer of woningen en utiliteitsbouw. Het is bedoeld om visueel de boodschap over te brengen dat het bij de energietransitie om uitdagingen met veel aspecten gaat die zeer verschillend van aard zijn en toch allemaal onderling samenhangen. En dat sommige sectoren op onderdelen verder zijn dan andere.

De oranje kleur komt in de tabel vaak voor bij de uitdagingen 'geld' en 'acceptatie/gedrag'. Voor een aantal sectoren ('elektriciteit', 'mobiliteit', 'consumptie') zijn de technologische oplossingen voorhanden, maar voor een aantal andere sectoren moeten technieken nog verder worden verbeterd ('gebouwde omgeving') of nog verder ontwikkeld ('industrie', 'lucht- en scheepvaart'). Beschikbaarheid van voldoende mensen om de benodigde aanpassingen uit te voeren is vooral een probleem bij de sectoren 'energie' en 'gebouwde omgeving'.

De energietransitie wordt vaak als een vooral technologisch probleem gezien en het vertrouwen lijkt groot dat we het allemaal met nieuwe en betere technologieën gaan oplossen. Dit overzicht maakt duidelijk dat het voor het succes van de energietransitie cruciaal is om ook aandacht te geven aan de andere aspecten. Het creëren van draagvlak voor de nodige veranderingen en duurzaam gedrag zijn minstens zo belangrijk. Dit geldt ook voor het betaalbaar krijgen van de energietransitie door kostenverlaging, financiering en het creëren van de juiste randvoorwaarden. En in enkele sectoren zijn veel meer en adequaat geschoolde mensen nodig om de transitie te kunnen realiseren.

OVERZICHT MAATREGELEN

We hebben voor elke sector drie belangrijke maatregelen geïdentificeerd waarmee een versnelling van de energietransitie kan worden gerealiseerd, gericht op de belangrijkste uitdagingen. In dit hoofdstuk geven we hiervan een overzicht. In de volgende hoofdstukken worden deze maatregelen nader uitgewerkt. Het is belangrijk hierbij te onderkennen dat een integrale aanpak de kern van het succes van de versnelling van de energietransitie is.

INTEGRALE AANPAK

De verschillende keuzes in de sectoren hebben invloed op andere sectoren en de energietransitie kan ook niet los worden gezien van andere transitie- en maatschappelijke vraagstukken zoals grondstoffenschaarste, biodiversiteit, stikstof, digitalisering, maar ook ruimtegebruik, arbeidsmarkt en verdeelvraagstukken. Voor een succesvolle energietransitie is het daarom nodig dat informatie, kennis en inzichten uit verschillende vakgebieden en sectoren worden gecombineerd en geïntegreerd. Afwegingen die spelen op verschillende aspecten van de energietransitie, en de mogelijke effecten en implicaties daarvan ten aanzien van milieu, maatschappij en economie moeten op systeemniveau transparant worden gemaakt.

Wij stellen een kennisagenda voor een integrale aanpak voor met bijvoorbeeld deze elementen:

- Verkenning van de Nederlandse economie in 2050 als we een emissievrij en circulair energiesysteem en industrie hebben. Wat betekent zo'n groene economie voor de sectorstructuur en de internationale inbedding van Nederland? Hiertoe zullen dus behalve de scope 1 en 2 emissies (directe emissies en emissies door energiegebruik) ook de scope 3 emissies (indirecte emissies uit de hele levenscyclus van producten) moeten worden meegenomen.
- Impacts van de energietransitie op het milieu, ruimtegebruik en biodiversiteit.
- Sociaaleconomische impacts van de energietransitie.

ELEKTRICITEIT

Door elektrificatie in alle sectoren groeit de elektriciteitsvraag. Dat vormt een extra uitdaging bij de versnelling van de verduurzaming van de elektriciteitsproductie.

Om de versnelling te bereiken, zijn de volgende drie maatregelen belangrijk:

- 1. Pas het marktmodel aan zodat realiseren van CO₂-vrij productie- en flexibiliteitsvermogen aantrekkelijk blijft.** Het aangepaste marktmodel zal er voor moeten zorgen dat de uitbouw van het duurzame productievermogen niet stagneert en dat een markt voor vraagsturing en andere flexibiliteitsvoorzieningen tot ontwikkeling komt.
- 2. Versnel uitbreiding van elektriciteitsnetten door optimalere planning, betere financiering en te zorgen voor voldoende technisch personeel.** De elektriciteitsnetten moeten de groei van de elektriciteitsvraag in de industrie, gebouwde omgeving en transportsector en de groei van de elektriciteitsproductie kunnen accommoderen. Belemmeringen die netbedrijven hierbij ondervinden moeten worden weggenomen.
- 3. Vergroot betrokkenheid van burgers bij plannen voor elektriciteitsproductie met zon en wind en verzwaring van het elektriciteitsnet.** Tijdige betrokkenheid van burgers zorgt voor betere plannen en kan langlopende procedures voorkomen.

GEBOUWDE OMGEVING

Het jaarlijks aantal aardgasvrij gemaakte woningen en utiliteitsgebouwen moet fors omhoog. Dit kan worden bereikt met volgende drie belangrijke maatregelen:

1. **Zorg dat aardgasvrij maken goedkoper wordt door slimmer te renoveren en duurzame warmtetechnieken verder op te schalen.** Door de woningrenovaties efficiënter en slimmer aan te pakken kan de verduurzaming van woningen sneller en tegen lagere kosten worden uitgevoerd. Kostendaling kan ook plaatsvinden door duurzame alternatieven, zoals duurzame warmtebronnen voor warmtenetten (bijv. aardwarmte, warmte uit oppervlaktewater), groen gas en waterstof verder te ontwikkelen en door schaalvergroting aantrekkelijker te maken.
2. **Geef bewoners en woningeigenaren een centrale rol bij de wijkaanpak.** Een bottom-up aanpak, waarbij bewoners het initiatief hebben kan bijvoorbeeld leiden tot een grotere tevredenheid in vergelijking met een top-down aanpak, waarbij gemeente en energiebedrijf het voortouw nemen.
3. **Vergroot de efficiëntie bij renovatie en zorg voor voldoende gekwalificeerd personeel bij bouw- en installatiebedrijven.** Voorkomen moet worden dat de transitie naar een aardgasvrije gebouwde omgeving stagneert door onvoldoende personeel. Dit kan worden opgelost door de instroom van gekwalificeerd personeel te vergroten met scholing en het aantrekkelijker maken van de branche. Ook het efficiënter uitvoeren van gebouwrenovaties en installatiewerkzaamheden kan bijdragen aan de oplossing.

INDUSTRIE

Ontwikkeling en opschaling van innovatieve duurzame productieprocessen en materialen versnelt de emissiereductie en versterkt de concurrentiepositie van de Nederlandse industrie. Drie belangrijke maatregelen voor de versnelling van de emissiereductie in de industrie zijn:

1. **Stimuleer ontwikkeling en opschaling van nieuwe productieprocessen die gebruik maken van duurzame energie en duurzame en gerecyclede grondstoffen.** Zo kunnen bijvoorbeeld industriële fornuizen worden geëlektrificeerd en moet worden overgeschakeld van fossiel grondstoffen naar gerecyclede materialen, zoals plastics. Waar dat niet kan, maak gebruik van biograndstoffen en, naar de toekomst toe, CO₂ gebaseerde grondstoffen. Omdat ontwikkeling en opschaling van nieuwe productieprocessen tijdrovend is, is haast geboden en moeten grote inspanningen worden geleverd.
2. **Stimuleer omschakeling naar nieuwe duurzame productie-installaties en productketens.** Een hoge CO₂-prijs kan de overstap naar duurzame industriële productie aantrekkelijker maken. Om de investeringsbereidheid in industriële transitie te vergroten is een extra stimulans nodig. Ook zullen productketens anders moeten worden georganiseerd, zoals inrichting van circulaire ketens voor plastic. Hiervoor zijn integrale ontwerpmethoden nodig, waarin technische, economische en impact-factoren worden meegenomen.
3. **Pas CO₂-afvang en -opslag toe als overbrugging en informeer burgers over het waarom daarvan.** Als het niet mogelijk is bestaande productieprocessen snel te verduurzamen, dan kan de versnelde reductie van broeikasgasemissies worden bereikt door bij productieprocessen die fossiele brandstoffen gebruiken CO₂ af te vangen en op te slaan in lege gasvelden onder de Noordzee.

MOBILITEIT

De mogelijkheden voor CO₂-reductie in de mobiliteitssector liggen in een combinatie van technische en systeem- en gedragsveranderingen die leiden tot minder of duurzamer afgelegde kilometers. Drie belangrijke maatregelen voor de versnelling zijn:

1. **Ondersteun elektrisch rijden met regulering en voldoende laad- en netwerkcapaciteit. En zet in op waterstof en andere hernieuwbare brandstoffen waar elektrisch niet kan.** Batterij-elektrische aandrijving wordt al in toenemende mate toegepast in personen- en bestelvoertuigen en komt ook beschikbaar voor o.a. vrachtwagens, binnenvaart en mobiele werktuigen. De inzet kan worden bevorderd door regulering en ondersteund door aanleg van voldoende laadinfrastructuur. Netcapaciteit kan op korte termijn een bottleneck vormen. Dat moet worden opgelost. Voor zware en lange-afstandstoepassingen is elektrische aandrijving vanuit eindgebruikersperspectief veel niet toepasbaar. Hier zijn waterstof, biobrandstoffen en e-fuels belangrijke opties, maar er is meer ontwikkeling nodig om de toepasbaarheid te verbeteren en kosten te verlagen.
2. **Zorg dat ook voertuigen met verbrandingsmotoren per kilometer zo weinig mogelijk CO₂ uitstoten.** Conventionele voertuigen kunnen nog significant zuiniger en hun CO₂-emissies kunnen worden verlaagd door bijmenging van duurzame brandstof.
3. **Reduceer emissies van de bestaande vloot door te sturen op gedrag en volume.** De emissies van de bestaande vloot worden bepaald door hoeveel en hoe voertuigen gebruikt worden. Ander reis- en rijgedrag, optimalisaties in logistiek en supply chains en slimme technologie kunnen langs een groot aantal verschillende wegen bijdragen aan het snel realiseren van een significante reductie van CO₂-emissies.

INTERNATIONALE LUCHTVAART EN SCHEEPVAART

Bij de internationale luchtvaart en scheepvaart kan de CO₂-emissiereductie worden versneld door minder transportvraag en gebruik van duurzame brandstoffen.

Drie belangrijke maatregelen die een goede basis vormen voor de versnelling van deze emissiereductie zijn:

1. **Stimuleer het gebruik van duurzame brandstoffen door middel van bijmengverplichting, brandstofheffingen en/of invoering van een CO₂-plafond en -handelssysteem.** Vraagstimulering zal zorgen voor een groei bij de duurzame brandstofproductie, producenten meer zekerheid bieden over de afzet en zorgen voor daling van de marktprijzen voor duurzame brandstoffen. Dit kan door middel van een bijmengverplichting, brandstofheffingen en/of invoering van een CO₂-plafond en -handelssysteem en maatregelen voor een snellere verduurzaming van de vloot.
2. **Stimuleer de productie van biobrandstoffen en synthetische brandstoffen voor gebruik in bestaande vliegtuigen en schepen.** De productie en toepassing van deze duurzame brandstoffen in de lucht- en zeescheepvaart is op dit moment nog kleinschalig en vaak enkel experimenteel. De ontwikkeling en opschaling van geavanceerde of tweede generatie biobrandstoffen en van synthetische brandstoffen kost tijd, al snel 10 tot 15 jaar. Er zijn ook nadelen aan verbonden zoals een groot ruimtebeslag voor biobrandstoffen en een hoog duurzame energiegebruik in het geval van synthetische brandstoffen. De inzet van biobrandstoffen in lucht- en scheepvaart moet ook beperkt blijven omdat de daarvoor gebruikte biograndstoffen uiteindelijk harder nodig zijn voor het maken van materialen.

3. **Stimuleer alternatieven voor verre reizen en de keuze voor reizen per trein op de korte en middellange af.** Het verminderen van vliegkilometers kan bijdragen aan een versnelde reductie van broeikasgasemissies. Hiervoor moeten er alternatieven zijn, zoals hogesnelheidstreinen, en de alternatieven moeten (financieel) aantrekkelijk zijn.

CONSUMPTIE

Voor versnelling van de energietransitie is -naast verduurzaming van processen, producten en diensten in verschillende sectoren- ook verlaging van de consumptie van klimaat belastende producten en diensten noodzakelijk. Hierbij gaat het zeker niet alleen om het veranderen van het gedrag van consumenten, maar vooral om aanpassingen aan het maatschappelijk systeem waardoor het makkelijker wordt duurzaam te leven. Welke drie maatregelen kunnen we nemen om bij te dragen aan de noodzakelijke systeemverandering?

1. **Implementeer een eerlijk systeem om CO₂-emissies mee te nemen in de prijzen van producten en diensten.** Daarmee wordt de consumptie van CO₂-belastende producten ontmoedigd en de concurrentiepositie van duurzame producten en diensten verbeterd.
2. **Versterk de rol van burgers bij het klimaatbeleid om acceptatie door burgers van consumptie verminderend beleid (voor energie en materialen) te vergroten en als tegenwicht voor bedrijfsbelangen.** De meeste burgers vinden dat er wat moet gebeuren tegen klimaatverandering. Door ze meer en eerder te betrekken bij het maken en implementeren van beleid kan er sneller gedragen klimaatbeleid komen.
3. **Stimuleer een systeemverandering door andere narratieven en bijbehorende stuurparameters te kiezen.** Groei en consumptie zijn ingebakken in het maatschappelijk systeem en dat maakt minder consumeren en beleid dat daar op gericht is lastig. Een systeemverandering kan op gang geholpen worden door onder andere te sturen op brede welvaartsindicatoren.

BRONNEN

- IPCC (2021). Summary for Policymakers. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.). Cambridge University Press. In Press.
- PBL (2020). Het Europese Klimaatplan 2030, Aandachtspunten voor de afstemming tussen Europees en nationaal klimaatbeleid, *Policy Brief*, 2 November 2020.
- PBL (2020). *Trends in Global CO₂ and total greenhouse gas emissions*.
- VVD, D66, CDA, Christen Unie (2021). *Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst - Regeerakkoord 2021-2025*.



› 1 INTEGRALE AANPAK

Er is een grote behoefte aan integrale kennis bij beleidsmakers en beslissers om de versnelling van de energietransitie met succes te kunnen realiseren. Wij hebben een kennisagenda geformuleerd voor een integrale aanpak. De hoofdstukken hierna zoomen in op wat er in verschillende sectoren mogelijk is om de energietransitie te versnellen.

AFSTEMMING OP NATIONAAL NIVEAU EN VISIE OP SYSTEEM VAN DE TOEKOMST

De keuzes binnen de verschillende sectoren hebben invloed op andere sectoren en kunnen elkaar belemmeren of juist deel van een oplossing zijn. Elektrificatie van mobiliteit, gebouwde omgeving en industrie zorgt binnen de energiesector voor grote verschuivingen in de energiemix en vereist extra opwek- en netwerkcapaciteit in de elektriciteitssector. De mobiliteitssector en de chemische industrie zullen elkaar beconcurreren in de vraag naar “groene” koolstof.

Elektrificatie op basis van fluctuerende hernieuwbare bronnen is de rode draad van de energietransitie en alle sectoren hebben ermee te maken. Dit vraagt om een integrale aanpak voor de netwerkinfrastructuur, voor slimme afstemming tussen de vraagsectoren en het aanbod, om de benutting van de voordelen van een internationale markt en om een moderne marktordening die past bij de uitdagingen van een nieuw energiesysteem. De behoefte voor systeemintegratie is echter breder dan alleen elektriciteit en betreft alle energiedragers (bijvoorbeeld ook warmte en waterstof).

Om de transitie in alle sectoren te faciliteren, is op nationale schaal goede afstemming nodig om ervoor te zorgen dat investeringen in infrastructuur vooruit lopen op de opschaling van duurzame energieopwekking en op investeringen in elektrificatie en nieuwe processen in industrie, mobiliteit en de gebouwde omgeving. Dit zal vorm worden gegeven door het Programma Energiesysteem (PES) dat onder het Meerjarenprogramma Infrastructuur en Klimaat (MIEK) valt. Het klimaat- en transitiefonds uit het regeerakkoord heeft hier ook een belangrijke rol. Coördinatie en afstemmingen op nationaal en decentraal niveau zijn ook belangrijk voor het op elkaar laten aansluiten van de verschillende plannen voor de Regionale

Energie strategieën (RES), Cluster Energiestrategie (CES) en nationaal beleid voor wind op zee en mobiliteit.

De ontwikkeling van een toekomstvisie voor het energiesysteem en de energiemix in 2050 en de grondstoffen transitie kan helpen om naast een benadering vanuit huidige verwachtingen ook vanuit een mogelijke toekomst te onderzoeken welke keuzes zinvol en doelmatig zijn.

SAMENWERKING MET BUURLANDEN EN INTERNATIONALE PARTNERS

Bij elektriciteit, waterstof en andere brandstoffen wordt vaak gedacht vanuit een perspectief waarbij Nederland zelfvoorzienend is. Energie is echter een internationale markt en, gezien de enorme uitdagingen waar we voor staan, is het slim om gebruik te maken van de kansen die een internationale markt biedt om duurzame energie, energiedragers en grondstoffen/materialen te produceren waar dat het beste, meest kosteneffectief en meest duurzaam kan.

Het industriële landschap zal door de energietransitie ingrijpend veranderen. Sommige activiteiten, zoals de productie van brandstoffen, kunnen daar plaatsvinden waar de benodigde grondstoffen of duurzame energie (goedkoper) aanwezig zijn, waardoor dit in Nederland minder zal gebeuren. De kennis en kunde die in de Nederlandse economie aanwezig is, kan daarbij een belangrijke rol spelen voor wederzijdse relaties met landen met goedkope hernieuwbare elektriciteit en waterstof, zoals onder andere in Noord-Afrika en Zuid-Amerika. Bij een internationaal perspectief hoort ook aandacht voor het voorkomen van verschuivingen van emissies van Nederland naar andere landen door veranderde stromen van goederen en energiedragers en verplaatsingen van productielocaties in plaats dat ze vermeden worden.

SAMENHANG VAN ENERGIETRANSITIE MET ANDERE MAATSCHAPPELIJKE VRAAGSTUKKEN

De energietransitie als geheel kan niet los worden gezien van andere transitieën en maatschappelijke vraagstukken zoals biodiversiteit, stikstof, grondstoffen-schaarste, digitalisering, maar ook ruimtegebruik, arbeidsmarkt en verdelingsvraagstukken. Er zijn verschillende synergiën, zoals met de verbetering van luchtkwaliteit en vermindering van de stikstofdepositie, maar ook mogelijke trade-offs, bijvoorbeeld wanneer duurzame technologieën gebruik maken van schaarse materialen of een verbetering van de technologie de recyclebaarheid vermindert. Digitalisering leidt enerzijds tot meer energievraag (data centers), maar biedt anderzijds ook grote kansen voor het vergroten van de efficiency van het energienetwerk, mobiliteit of supply chains en grondstoffen ketens. Biodiversiteit wordt bedreigd door klimaatverandering maar ook activiteiten die helpen om emissies te reduceren en dus klimaatverandering af te remmen, kunnen schadelijk zijn voor de biodiversiteit. De ontwikkeling naar een emissievrije en duurzame economie en maatschappij zal tot ingrijpende veranderingen leiden en vergt aandacht voor een eerlijke verdeling van lusten en lasten. Om deze complexe samenhangen goed te begrijpen en toekomstbestendige keuzes te maken die met de verschillende dimensies rekening houden, is nog veel kennis nodig.

Voor een succesvolle energietransitie is het daarom nodig dat informatie, kennis en inzichten uit verschillende vakgebieden en sectoren worden gecombineerd en geïntegreerd. Afwegingen die spelen op verschillende aspecten van de energietransitie, en de mogelijke effecten en implicaties daarvan ten aanzien van milieu, maatschappij en economie moeten vanuit een systeemperspectief worden benaderd en transparant worden gemaakt.

Alle bovengenoemde vraagstukken hangen op hun eigen manier samen met de energietransitie. Als voorbeeld gaan we hieronder nader in op de samenhang van de energietransitie met de ontwikkeling van een circulaire economie.

ENERGIETRANSITIE EN TRANSITIE NAAR EEN CIRCULAIRE ECONOMIE

In het regeerakkoord is de ambitie geformuleerd dat Nederland in Europa tot de kopgroep wil horen voor de transitie naar een groene industrie die draait op schone energie en bio-grondstoffen en circulaire producten maakt. De circulaire economie zorgt voor een efficiënt en duurzaam gebruik van grondstoffen door slimme, materiaalzuinige productieprocessen en producten, het gebruik van hernieuwbare grondstoffen, productontwerp voor efficiënt hergebruik van materialen (design for recycling), een lange levensduur, maximale benutting van materialen en het hergebruik van reststromen en materialen als grondstoffen door recycling. In een ideale circulaire economie zijn de kringlopen voor materialen en grondstoffen zo goed mogelijk gesloten, is de energie-intensiteit laag en ontstaat er geen of nauwelijks afval. Idealiter versterken de energietransitie en de transitie naar een circulaire economie elkaar. TNO heeft berekend dat de transitie naar een circulaire economie in 2030 bijna 8 Mton CO₂-uitstoot kan schelen, olopend tot 13 Mton in 2050, waarmee het belang van een integrale aanpak wordt ondersteund.

Zo geldt dat nieuwe materiaalzuinige en energiezuinige productieprocessen en producten voor minder CO₂-emissies zorgen. Een langere levensduur van producten en apparaten en het inzetten op reparatie en alternatieve productieroutes, in plaats van nieuw te kopen, zorgen voor minder nieuwe producten, minder materiaalbehoefte en leiden daardoor tot minder emissies. In veel gevallen is de energievraag (en de daardoor veroorzaakte CO₂-uitstoot) bij gebruik van gerecyclede reststromen lager dan bij nieuwe ("virgin") grondstoffen. Dit geldt bijvoorbeeld bij metalen of bij plastics met mechanische recycling. Bij het ontwerp van producten moet veel meer uitgegaan worden van duurzaamheid, hergebruik van producten en materialen bij end of life.

De energietransitie en de transitie naar een circulaire economie kennen ook actuele uitdagingen. Bij bijvoorbeeld windturbines, zonnepanelen, elektrolyzers en batterijen worden veel verschillende en schaarse materialen in grote hoeveelheden ingezet, waaronder aardmetalen. Bij het ontwerp van deze toepassingen is (echter) nog onvoldoende aandacht voor circulariteit waardoor deze apparaten nog moeilijk te recyclen zijn. Het scheiden van verschillende materialen, recycling en het sluiten van kringlopen kan energie-intensief zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor het energie/elektriciteitsgebruik bij het recyclen van plastics. Door toepassing van recyclingtechnologieën wordt de materiaalkringloop gesloten, maar dit vergroot tegelijkertijd de verduurzamingsopgave van de elektriciteitssector. Voorkomen moet

worden dat de versnelling van de energietransitie de ontwikkeling van een circulaire economie belemmert door bijvoorbeeld het uitputten van bepaalde grondstoffen of het ontwerpen van producten die moeilijk te recycleren zijn.

KENNISAGENDA VOOR EEN INTEGRALE AANPAK










Voor een integrale benadering is nog veel kennis nodig. Hierbij gaat het onder meer om de volgende vragen:

- Welke toekomstvisies zijn denkbaar voor het energie-en grondstoffensysteem in 2050 en welke keuzes passen bij een dergelijke toekomst?
- Hoe kan de Nederlandse economie er in 2050 uit zien als we een nul-emissie energiesysteem hebben en een circulair grondstoffengebruik?
- Wat betekent een groene economie voor de sectorstructuur t.o.v. die van nu en wat betekent dat voor handel en de internationale inbedding van de Nederlandse economie?
- Wat zijn (mogelijke) impacts van de energietransitie op het milieu, ruimtegebruik en biodiversiteit?
- Wat zijn sociaaleconomische impacts van de energietransitie?
- Hoe hangen de energietransitie, transitie naar een circulaire economie en verandering van de economie en arbeidsmarkt samen?
- Wat is de rol van internationale ontwikkelingen op de nationale energie- en grondstoffentransitie (afhankelijkheden, handel)?

BRONNEN

- Koelemeijer, R., Lucassen, T., Dervis, F. (2021). *Reflectie op Cluster Energiestrategieën (CES 1.0)*. PBL, RVO en TNO, 15 november 2021.
- Lamboo et al. (2021). *Timmermans' dream: An electricity and hydrogen partnership between Europe and North Africa*.
- PBL (2021). *Integrale Circulaire Economie Rapportage 2021*.
- Rietveld et al. (2018). *Effecten van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie en de Transitieagenda's op de emissie van broeikasgassen*. TNO.
- Rijksoverheid (2021). *Kamerbrief Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (MIEK)*. 26 november 2021.

2 ELEKTRICITEIT

	 Techniek	 Geld	 Acceptatie gedrag	 Arbeidsmarkt
 Electriciteit				

Techniek: Windturbines voor op land en op zee en zon-PV zijn beschikbaar en opgeschaald. Verdere innovaties zullen de kosten helpen verlagen en de implementatie kunnen verbeteren, maar zullen de groei van duurzame elektriciteit niet belemmeren. Ook de technologie voor de elektriciteitsnetwerken (bijv. gelijkstroomverbindingen) is beschikbaar. Voor een benodigde flexibiliteitsopties, zoals vraagsturing, en energieopslag zijn er geen wezenlijke technische belemmeringen die toepassing of opschaling in de weg staan.

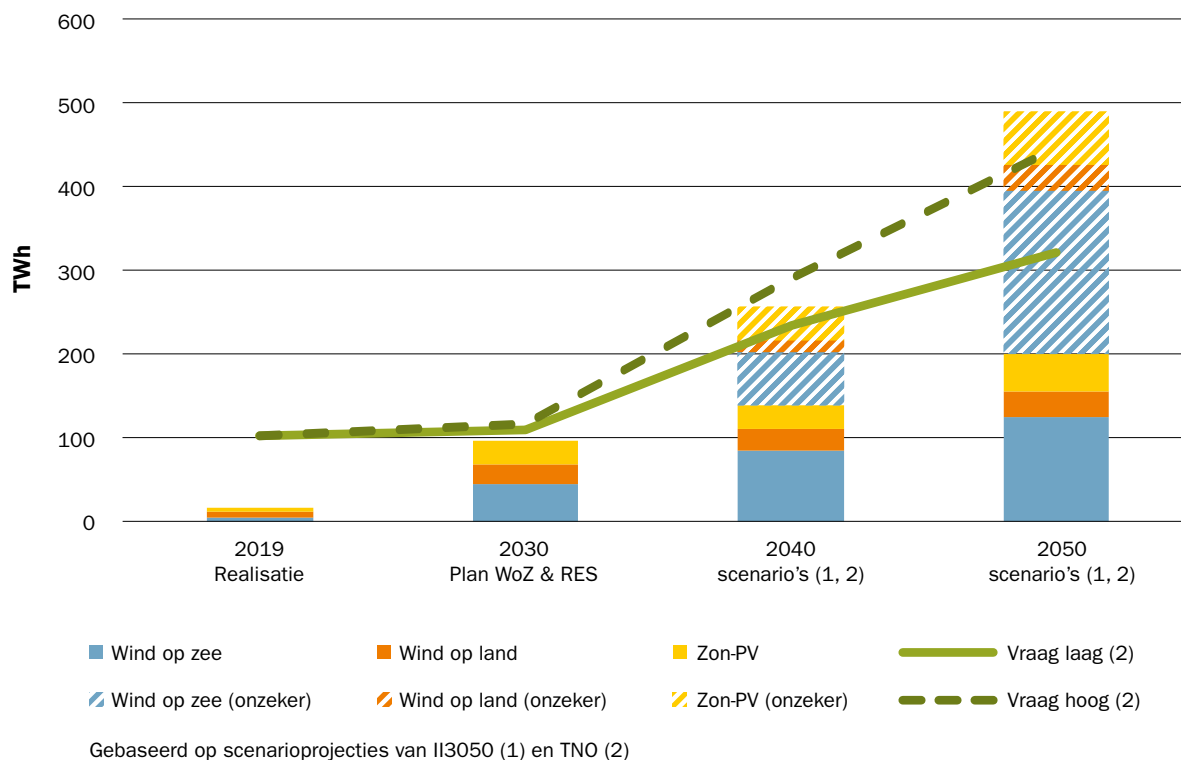
Geld: Het is onzeker of de business case voor elektriciteitsproductie uit wind en zon voldoende aantrekkelijk blijft als de meeste elektriciteit op die manier wordt opgewekt. Om de leveringszekerheid te waarborgen en te zorgen voor voldoende investeringsprikkels is mogelijk een aanpassing van het marktmodel nodig. Dit geldt ook voor participatie van flexibiliteitsopties aan de elektriciteitsmarkt, met name voor vraagresponse. Investerings in netcapaciteit wordt gehinderd door krapte aan investeringskapitaal en niet optimale coördinatie. Hiervoor is aanpassing van de netregulering wenselijk.

Acceptatie/gedrag: De ruimtelijke impact van uitbreiding van wind- en zonvermogen en netcapaciteit is groot. Dit roept weerstand op bij burgers. Een grotere betrokkenheid van burgers bij de uitbreidingsplannen kan helpen de acceptatie te vergroten.

Arbeidsmarkt: Door de energietransitie in de elektriciteitsvoorziening neemt de vraag naar technisch geschoold personeel sterk toe. Onvoldoende beschikbaarheid van technisch personeel vormt een knelpunt voor de versnelling. De vraag is of maatregelen die dit kunnen helpen oplossen voldoende zijn.

GROEI ELEKTRICITEITSVRAAG VORMT EXTRA UITDAGING BIJ VERSNELLING VERDUURZAMING ELEKTRICITEITSPRODUCTIE

De elektriciteitssector staat voor een dubbele uitdaging. Niet alleen zal de elektriciteitsproductie CO₂-vrij moeten worden, ook zal er veel meer elektriciteit moeten worden geproduceerd omdat de vraag naar elektriciteit zal toenemen (zie figuur). Deze vraaggroei is het gevolg van een toenemende elektrificatie van het energiegebruik, zoals elektrische auto's die benzine- en dieselauto's vervangen en verwarming op basis van elektriciteit in plaats van aardgas. Daarnaast zal meer duurzame elektriciteit nodig zijn voor elektrificatie van industriële processen en productie van groene waterstof en synthetische brandstoffen. In 2030 kan zo'n driekwart van de elektriciteitsvraag duurzaam worden opgewekt. De stap naar 100% CO₂-vrije elektriciteitsproductie kan omstreeks 2040 worden bereikt als de toename van duurzame elektriciteitsproductiecapaciteit sneller verloopt dan de groei van de elektriciteitsvraag. Uitbreiding en verzwaring van het elektriciteitsnet zal hiermee in de pas moeten blijven lopen.



Figuur 2 Projecties voor elektriciteitsvraag en elektriciteitsproductie uit wind en zon

KERNENERGIE

CO₂-vrije elektriciteit kan ook worden geproduceerd met een kerncentrale. Het is mogelijk omstreeks 2035 een nieuwe kerncentrales van 1,5 GW in Nederland in gebruik te hebben. De productie van elektriciteit is niet afhankelijk van het weer, maar de kostprijs is naar verwachting wel hoger dan van elektriciteit uit wind en zon. Om de kerncentrale economisch rendabel te exploiteren is daarom overheidssteun nodig. In het regeerakkoord staat het voornemen de bouw van twee kerncentrales te faciliteren en is daarvoor 5 miljard euro gereserveerd.

Om de versnelling te bereiken, zijn de volgende drie maatregelen belangrijk:

1. PAS HET MARKTMODEL AAN ZODAT REALISEREN VAN CO₂-VRIJ PRODUCTIE- EN FLEXIBILITEITSVERMÖGEN AANTREKKELIJK BLIJFT

Een versnelde opschaling waarbij de productie uit wind- en zonne-energie in 2040 2 tot 3 maal hoger is dan de plannen voor 2030 (zie figuur), is technisch mogelijk. Transport van elektriciteit over de elektriciteitsnetten zal sterk toenemen. De van wind en zon afhankelijke elektriciteitsproductie zal in balans moeten worden gehouden met de momentane vraag naar elektriciteit. Hiervoor zijn extra flexibiliteitsvoorzieningen nodig, zoals vraagsturing bij elektrische verwarming, laden van elektrische auto's en waterstofproductie en energieopslag (bijv. batterijen).

Het huidige marktmodel zal moeten worden aangepast, waarbij met name aandacht nodig is voor ontwikkeling van een markt voor vraagsturing en andere flexibiliteitsvoorzieningen, zoals afschakelen van wind en zon (als de productie groter is dan de vraag), vraagsturing en energieopslag. Door innovaties en een sterk groeiende markt voor wind- en zonne-energie profiteren nieuwe windenergie- en zon-PV-projecten van kostendalingen. Als met de groei van meer wind- en zonne-energie flexibiliteitsvoorzieningen een grotere rol gaan spelen, zorgt dat voor prijsstabilisatie, maar ook voor een verdere daling van de gemiddelde elektriciteitsprijs. Dat is misschien gunstig voor de afnemers, maar de aantrekkelijkheid van wind- en zonne-energieprojecten kan hierdoor onder druk komen te staan en de financieringsrisico's zullen dan toenemen. Dit kan de leveringszekerheid in gevaar brengen en ook de versnelling belemmeren. Het huidige marktmodel is gebaseerd op een principe waarbij de producent alleen inkomsten uit de geleverde kilowatturen krijgt ('energy-only-market'). De vraag is of dit model houdbaar in een elektriciteitsmarkt met veel productievermogen uit wind en zon. Mocht de leveringszekerheid in gevaar komen (gemonitord door de landelijke netbeheerder TenneT), dan kunnen mechanismen worden geïntroduceerd die extra marktprikkels geven aan het realiseren van CO₂-vrij productie- en flexibiliteitsvermogen met inbegrip van een strategische reserve. Mocht dit niet voldoende zijn dan kan een (tijdelijke) capaciteitsmarkt worden ingevoerd, waarbij ook een vergoeding ontstaat voor productiecapaciteit dat geen elektriciteit levert.

“De elektriciteitssector staat voor een dubbele uitdaging. Niet alleen zal de elektriciteitsproductie CO₂-vrij moeten worden, ook zal er veel meer elektriciteit moeten worden geproduceerd omdat de vraag naar elektriciteit zal toenemen door elektrificatie in alle sectoren.”

2. VERSNEL UITBREIDING VAN ELEKTRICITEITSNETTEN DOOR OPTIMALERE PLANNING, BETERE FINANCIERING EN TE ZORGEN VOOR VOLDOENDE TECHNISCH PERSONEEL

Niet alleen de elektriciteitsproductie zal moeten groeien. Ook is uitbreiding en verzwaring van de elektriciteitsnetten nodig. Voor het elektriciteitsnet gaat het om uitbreiding van netaansluitingen op zee, capaciteitsvergroting van de grensoverschrijdende verbindingen met het buitenland en verzwaringen van hoogspannings- en distributienetten. De investeringslasten voor TenneT en de regionale netbedrijven verdubbelen in de periode tot 2030 en nemen daarna nog verder toe. Daarbij zal de capaciteit van distributienetten in 2050 1,5 tot 3 maal groter moeten zijn dan nu het geval is. Als de flexibiliteitsvoorzieningen op tijd beschikbaar zijn kunnen die de netten ontlasten, waardoor minder netverzwaringen nodig zal zijn.

De vraag naar extra netcapaciteit door groei van de elektriciteitsvraag en nieuwe duurzame elektriciteitsproductie is voor netbedrijven moeilijk te accommoderen. Naast een niet optimale coördinatie tussen vraag naar netcapaciteit en netplanning, kost de netuitbreiding veel tijd en geld. De netbedrijven kunnen de noodzakelijke investeringen in de elektriciteitsnetwerken nu niet financieren uit de tariefinkomsten. De huidige tariefregulering gaat ervan uit dat de investeringsbehoefte constant blijft en niet toeneemt door de energietransitie.

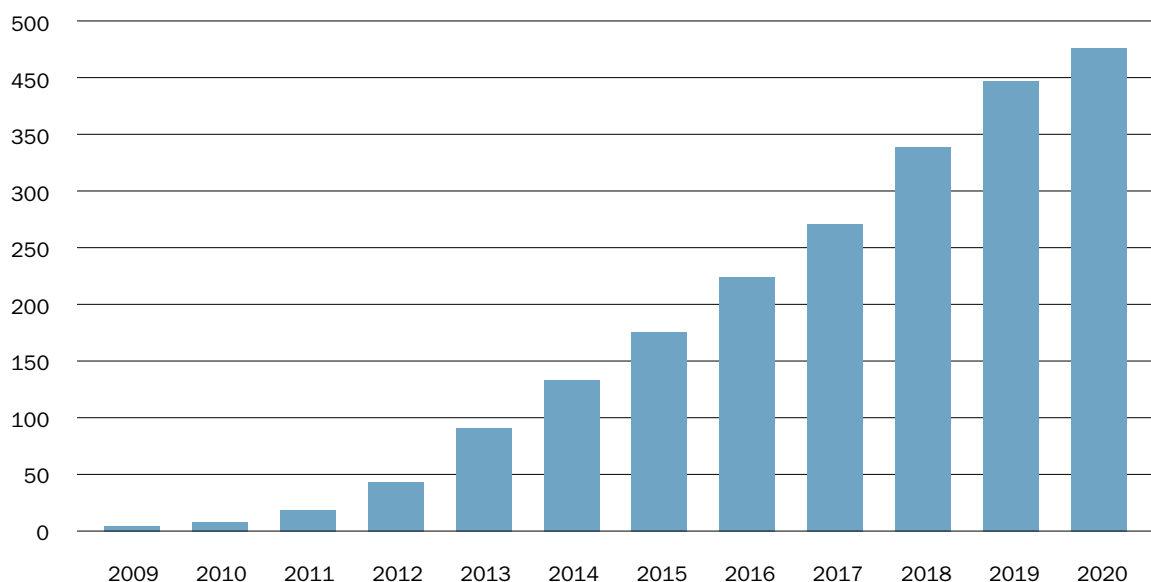
Het voorziene gat in de financiering kan worden gedicht door aantrekken van additioneel kapitaal, het aanpassen van de tariefregulering, zodat inkomsten eerder toenemen, en het verlagen van de benodigde investering door betere coördinatie en innovatie.

Door de energietransitie in de elektriciteitsvoorziening neemt de vraag naar technisch geschoold personeel sterk toe. Onvoldoende beschikbaarheid van technisch personeel vormt daarbij een knelpunt dat moet worden opgelost. Bouw van nieuwe windturbines, zonneparken, transformatorstations, hoogspannings- en distributienetten zorgen niet alleen voor tijdelijk meer werk, maar uiteindelijk zijn er ook structureel meer arbeidsplaatsen om het veel groter aantal installaties te beheren en te onderhouden. Wind- en zonne-energie-exploitanten, energiebedrijven, netbeheerders en aannemers zullen tijdig extra technisch personeel moeten werven en opleiden. Dit geldt voor alle niveaus. Werken in de energiesector zal aantrekkelijk moeten zijn en het kiezen van technische opleidingen moet worden gestimuleerd. Daarnaast kan werven van geschoold personeel in het buitenland ook bijdragen aan het oplossen van dit probleem. Maar omdat de energietransitie ook in andere landen plaatsvindt zal daar de vraag naar technisch personeel ook toenemen. Technologie-innovatie kan helpen bij het efficiënter realiseren van nieuwe installaties en beheren daarvan, waardoor met minder mensen nodig zullen zijn.

3. VERGROOT BETROKKENHEID BURGERS BIJ PLANNEN VOOR ELEKTRICITEITSPRODUCTIE MET ZON EN WIND EN VERZWARING ELEKTRICITEITSNET

Wind- en zonne-energie hebben relatief veel ruimte nodig. Ook is extra ruimte nodig voor netverzwaringen, zoals voor nieuwe transformatorstations en extra hoogspanningsleidingen. Naarmate er meer wind- en zonneparken komen, groeit ook de kritiek vanuit de maatschappij. Reacties op de Regionale Energie Strategieën (RES) laten zien dat het belangrijk is rekening te houden met de maatschappelijke voorkeuren en bezwaren. Bijvoorbeeld door betrokkenheid van burgers bij het maken van deze plannen te vergroten, maar ook door burgers bijvoorbeeld de mogelijkheid te geven financieel in de wind- en zonne-energieprojecten te participeren. Dit kan zorgen voor beter maatschappelijk gedragen plannen en de lange doorlooptijd van procedures voorkomen. Het leren en verbeteren van de participatieprocessen is cruciaal om tot een versnelling te komen. Een goed voorbeeld zijn burgers die deelnemen in energiecorporaties. Het aantal energiecorporaties vertoont de laatste 10 jaar een gestage groei (zie figuur).

De grootste capaciteitsuitbreiding zal plaatsvinden door wind op zee (tot mogelijk wel 72 GW). De rijksoverheid zal daarvoor nieuwe windenergiegebieden op zee moeten aanwijzen, rekening houdend met andere activiteiten op zee (zoals scheepvaart, visserij, etc.) en de natuur. Bovenop de al ambitieuze RES-en zullen extra locaties nodig zijn voor duurzame elektriciteitsproductie op land. Daarbij kan voor zonne-energie het potentieel voor opwekking op gebouwen nog beter benut worden.



Bron: hieropgewekt.nl

Figuur 3 Aantal energiecoöperaties in Nederland

KENNISAGENDA










Om deze maatregelen te kunnen uitvoeren is extra kennis nodig. Hierbij gaat het onder meer om de volgende vragen:

- Waar (sector, toepassing) vindt de groei van de elektriciteitsvraag plaats en met welk tempo? Loopt de groei van de duurzame elektriciteitsproductie hier voldoende mee in de pas?
- Hoe kan een elektriciteitsmarkt met veel duurzaam elektriciteitsaanbod goed functioneren? Zijn daar aanpassingen in het marktmodel voor nodig en welke zijn dat?
- Hoe kan het aanbod van flexibiliteitsvoorzieningen, zoals vraagsturing en energieopslag, worden gestimuleerd en in de elektriciteitsmarkt worden ingepast?
- Op welke manier kan de leveringszekerheid het beste worden gewaarborgd?
- Hoe kan de coördinatie tussen groei elektriciteitsvraag, -productie en netcapaciteit worden verbeterd, zodat netbedrijven de uitbreiding en verzwaring van de elektriciteitsnetten beter kunnen plannen en uitvoeren?
- Kunnen de netbedrijven de uitbreiding en verzwaring van de elektriciteitsnetten tijdig realiseren? Is er voldoende personeel om dit te doen en indien niet, hoe kan dit worden opgelost? Vormt financieren een belemmering voor de uitvoering van de plannen?
- Leidt grotere betrokkenheid van burgers bij plannen voor wind- en zonne-energie en verzwaring elektriciteitsnet tot een kortere looptijd van de procedures?

BRONNEN

- Bertram, C. et al. (2021). Energy system developments and investments in the decisive decade for the Paris Agreement goals, *Environ. Res. Lett.* 16 074020.
- Hers, S. (2021). Studie voor NVDE (in voorbereiding), TNO, 2021.
- Overlegtafel Energievoorziening (OTE) (2021). *Leveringszekerheid Elektriciteitsvoorziening*, 2021.
- PBL (2021). *Klimaat- en Energieverkenning 2021 (KEV)*.
- Peuchen, R. en Bijvoet, J. (2020). *Participatieproces bij Utrechtse RES-en*. TNO 2020 P11692.
- PWC (2021). *De energietransitie en de financiële impact voor netbeheerders*.
- Scheepers, M.J.J., G.J. de Haas, F. Roelofs, H. Jeeninga, J. Gerdes (2021). *De rol van kernenergie in de energietransitie van Noord-Brabant*. TNO, NRG, TNO 2021 P12092.
- Sijm, J. (2021). Publicatie verschijnt in oktober. TNO, 2021.
- Sociaal Economische Raad (SER) (2018). *Energietransitie en werkgelegenheid - Kansen voor een duurzame toekomst*, Advies 18/03, 2018.
- Stuurgroep Extra Opgave (2021). *Advies Stuurgroep Extra Opgave aan Minister van EZK*.
- Tennet (2021). I13050. *Integrale infrastructuurverkenningen 2030-2050*, 2021.
- TNO (2020). *Toward a sustainable energy system for the Netherlands in 2050*. TNO 2020 P10338.

3 GEBOUWDE OMGEVING

	 Techniek	 Geld	 Acceptatie gedrag	 Arbeidsmarkt
 Gebouwde omgeving				

Techniek: Hoewel alle technieken nog kunnen worden verbeterd, geldt dat enkele verwarmingstechnieken al wel grootschalig kunnen worden geïmplementeerd (zoals elektrische en hybride warmtepompen, biomassaketels voor warmtenetten). Er zijn echter ook technieken die nog niet beschikbaar zijn (groen gas, waterstof) of nog niet voldoende zijn opgeschaald (bijv. geothermie, aquathermie) voor toepassing in de gebouwde omgeving. Ook de aanpak van woningenrenovaties (isolatie, warmteafgiftesysteem) dient nog te worden verbeterd om brede uitrol mogelijk te maken.

Geld: Bij het aardgasvrij maken van woningen is woonlastenneutraliteit voor de bewoner het uitgangspunt. De kosten die gemoeid zijn met de transitie naar aardgasvrij zijn echter nog te hoog, ook als subsidies worden meegerekend. Dit geldt zowel voor individuele warmtevoorzieningen (zoals met warmtepompen, groen gas en waterstof) als met collectieve voorziening via warmtenetten. Dit kan worden opgelost door kostenverlaging (innovaties, slimme/efficiënte aanpak, schaalvergroting), subsidies en verhoging energiebelasting bij gebruik van aardgas.

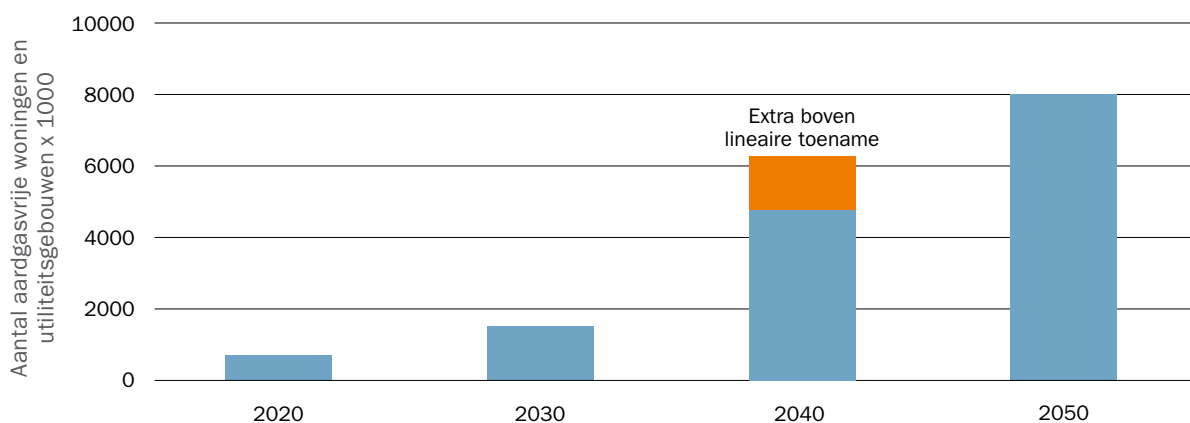
Acceptatie/gedrag: Bewoners en huiseigenaren maken zich zorgen over hoge kosten, keuzevrijheid en betrouwbaarheid van nieuwe technologie. De voortvarendheid waarmee gemeenten hun plannen (Transitievisie warmte) willen realiseren kan een bedreiging vormen voor het draagvlak. Oplossingen hiervoor kunnen zijn: het geven van ruimte aan burgerinitiatieven en het vergroten van burgerparticipatie bij de wijkaanpak.

Arbeidsmarkt: De arbeidsmarkt kan niet goed voorzien in de groeiende vraag naar personeel voor woningrenovaties en aanleg van nieuwe warmtevoorzieningen. Hoewel er maatregelen zijn die deze krapte kunnen helpen verkleinen, vormt een tekort aan gekwalificeerd personeel een serieus knelpunt voor de versnelling bij het aardgasvrij maken van de gebouwde omgeving.

AANTAL JAARLIJKS AARDGASVRIJ GEMAAKTE WONINGEN EN GEBOUWEN MOET FORS OMHOOG

Als in 2030 de streefwaarde uit het Klimaatakkoord van 1,5 miljoen aardgasvrije woningen wordt gehaald en daarmee de transitie goed op gang is gekomen, kan de transitie daarna worden versneld, zoals onderstaand figuur illustreert. Het tempo waarmee woningen en gebouwen worden verbeterd qua isolatie en worden voorzien van duurzame warmte zal voor de periode 2030-2040 dan wel moeten groeien naar 400.000 tot 500.000 per jaar. Dat is een factor 5 tot 6 hoger dan het tempo dat is voorzien voor de periode 2025-2030.

Naast de ruim 7 miljoen woningen moeten ook zo'n 1 miljoen utiliteitsgebouwen in de dienstensector worden verduurzaamd. Dat is een zeer diverse groep gebouwen: winkels, horeca, kantoren, bedrijfshallen, scholen, ziekenhuizen, etc. Veel van deze bestaande gebouwen moeten nog extra worden geïsoleerd waarbij de uitdagingen verschillend zijn per categorie gebouwen.



Figuur 4 Versnelling toename aardgasvrije woningen

Het aardgasvrij maken van woningen en gebouwen kan op drie manieren: (1) met een elektrische warmtepomp, (2) door warmtelevering via een warmtenet met duurzame warmtebron: restwarmte, aardwarmte of warmte uit bodem- of oppervlaktewater (in combinatie met een warmtepomp), of biobrandstoffen, en (3) met een cv-ketel met duurzaam gas (groen gas of waterstof), eventueel gecombineerd met een hybride warmtepomp. Bestaande woningen en gebouwen zullen ook extra moeten worden geïsoleerd, met name wanneer verwarming plaatsvindt met warmtepompen of lage temperatuur warmtenetten.

In het Klimaatakkoord is woonlastenneutraliteit een belangrijk uitgangspunt bij het aardgasvrij maken van woningen. Dat wil zeggen dat de kosten van de bewoner voor de energievoorziening van een woning per saldo niet wijzigt. Dat is nu nog niet het geval, omdat aardgasvrij maken van bestaande woningen in veel gevallen nog te duur is. Als de kosten voor aardgasvrij lager worden, enerzijds door slimmere renovatie en goedkopere duurzame technieken en anderzijds omdat het gebruik van aardgas duurder wordt (door een hogere marktprijs en/of verhoging van de energielast), kan de overstap naar aardgasvrij mogelijk wel woonlastenneutraal plaatsvinden.

Eigenaren van utiliteitsgebouwen zullen moeten voldoen aan een energieprestatie waarbij in 2050 geen CO₂-emissies meer plaatsvindt. Dit wordt in een wettelijke norm vastgelegd.

Om in de gebouwde omgeving een versnelling te bereiken zijn deze drie maatregelen belangrijk:

1. ZORG DAT AARDGASVRIJ MAKEN BETER BETAALBAAR WORDT DOOR SLIMMER TE RENOVEREN EN DUURZAME WARMTECHNIEKEN VERDER OP TE SCHALEN

Voor eindgebruikers is toepassing van elektrische warmtepompen in bestaande woningen in combinatie met vergaande isolatie op dit moment nog relatief duur, waardoor de toepassing ervan beperkt blijft. Een belangrijk deel van de kosten heeft te maken met aanpassingen in de woningen en gebouwen, zoals isolatieverbetering en installatie van een lage temperatuur warmteafgiftesysteem. Door de woningrenovaties efficiënter en slimmer aan te pakken kan de verduurzaming van woningen sneller en tegen lagere kosten worden uitgevoerd. Hiervoor stelt TNO de contingentenaanpak voor: het bundelen van clusters woningen met dezelfde kenmerken waarop eenzelfde verduurzamingsoplossing steeds op dezelfde manier kan worden toegepast. Deze renovatieaanpak kan ook worden toegepast voor woningen die overstappen op een warmtenet of in de toekomst worden voorzien van groen gas of waterstof. Een andere hobbel die bij toepassing van elektrische warmtepompen moet worden genomen is het vergroten van de capaciteit van de elektriciteitsnetten, niet alleen voor elektrische warmtepompen, maar ook voor lokale productie van zonne-energie en het opladen van elektrische auto's.

Bij verduurzamen van warmtenetten is de warmteproductie met biobrandstoffen al goed ontwikkeld, betaalbaar en opschaalbaar, maar maatschappelijk omstreden omdat biobrandstoffen voor meer hoogwaardige toepassingen beschikbaar moeten zijn. Alternatieve opties voor warmtelevering via warmtenetten, zoals restwarmte uit industrie of datacenters, aardwarmte en warmte uit oppervlaktewater (aquathermie) zijn, om verschillende redenen, nog minder goed opschaalbaar of nog relatief duur. Door verdere ontwikkeling en schaalvergroting kunnen de kosten van deze technieken dalen. Om in te toekomst het potentieel van deze opties te kunnen gebruiken, kan het verstandig zijn nu al de daarvoor benodigde warmtenetten aan te leggen en in eerste instantie te verwarmen met biobrandstoffen en/of aardgas. Gedurende deze periode kunnen de andere duurzame warmteopties verder tot wasdom komen.

Voor warmtenetten geldt nu nog een tariefregulering die de kosten voor eindgebruikers op het niveau houdt van verwarming met aardgas (niet-meer-dan-anders principe). Nieuwe warmtenetprojecten kampen vaak met een onrendabele top. Die wordt verder vergroot door duurzame warmteproductie die duurder is dan aardgas. Ook maken onzekerheden, zoals omvang van de warmtevraag en verandering in de tariefregulering, het investeren in warmtenetprojecten risicovol. De projecten kunnen aantrekkelijker worden door schaalgrootte te creëren, beschikbare innovaties toe te passen en ervaringen te delen zodat de kostprijs daalt. Ook aanpassingen in de regulering kunnen daaraan bijdragen, zoals het

loslaten van het niet-meer-dan-anders principe. Voorts zullen, naast de gevestigde warmtebedrijven, ook coöperaties van burgers de mogelijkheid moeten hebben om warmteprojecten uit te voeren. Door woningeigenaren keuzevrijheid te geven om wel of niet op een warmtenet aangesloten te worden ontstaan concurrentieprikkels die innovatie bevorderen en daarmee de betaalbaarheid verbeteren. Als uit maatschappelijk kosten oogpunt warmtenetten aantrekkelijk zijn, maar marktpartijen ze toch niet aanleggen, kan de overheid de aanleg ervan met gerichte financieringsinstrumenten stimuleren.

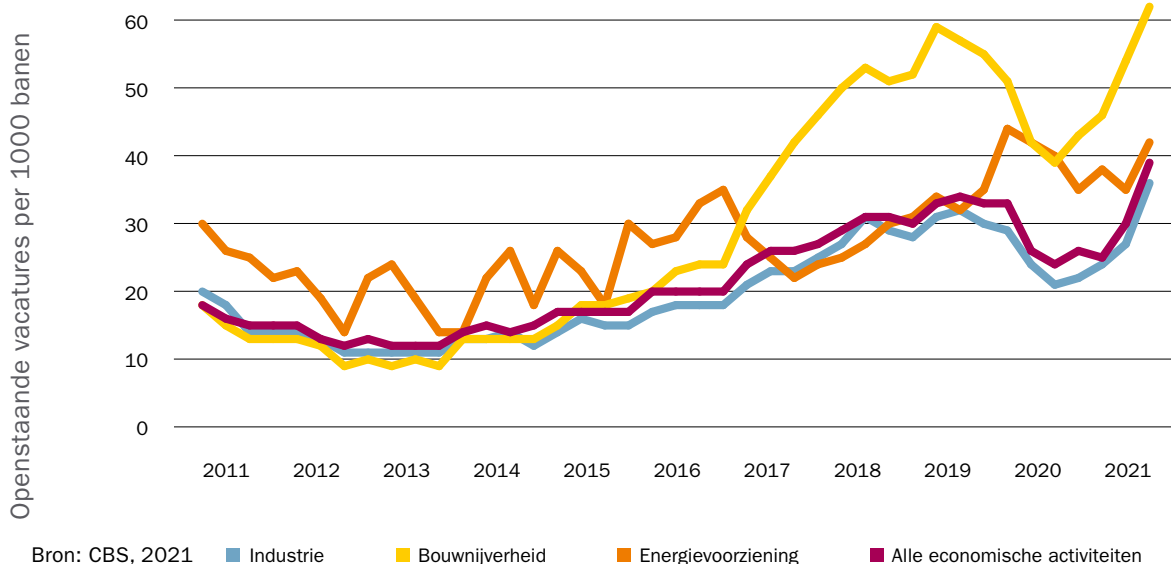
Voor groen gas en waterstof kunnen de bestaande gasnetten worden gebruikt. Dat lijkt aantrekkelijk voor woningen en gebouwen in bijvoorbeeld de oude binnensteden waarvoor verwarming met elektrische warmtepompen complex is en die niet aangesloten kunnen worden op een warmtenet. Groen gas uit vergistingsinstallaties (biogas) wordt al op beperkte schaal bijgemengd in het aardgasnet. In het reegeerakkoord staat het voornemen om een bijmengverplichting voor groen gas in te voeren. Voor distributie van 100% groen gas is verdere opschaling nodig en zal dit gas ook met vergassingstechnologie geproduceerd moeten gaan worden. Die technologie vereist eerst nog demonstratie op commerciële schaal. Doordat veel biomassa moet worden geïmporteerd en ook nodig is in de industrie voor productie van chemicaliën en vloeibare brandstoffen, wordt er van uitgegaan dat uiteindelijk niet meer 2 miljard kubieke meter groen gas beschikbaar zal zijn, goed voor 600.000 tot 900.000 woningen en gebouwen. Ook kan waterstof, geproduceerd met duurzame elektriciteit of uit aardgas met afvang en opslag van CO₂, de rol van aardgas overnemen. Daarvoor zal waterstof op grote schaal moeten worden geproduceerd (of geïmporteerd) en, naast gebruik in de industrie en transportsector, ook beschikbaar moeten komen als distributiegas voor de gebouwde omgeving. Hoewel de kosten voor woningaanpassingen relatief gering kunnen zijn, zal de productie van groen gas en waterstof goedkoper moeten worden – door technologieontwikkeling en opschaling – om deze opties voldoende aantrekkelijk te maken.

2. GEEF BEWONERS EN WONINGEIGENAREN EEN CENTRALE ROL IN DE PARTICIPATIEPLANNEN BIJ DE WIJKAANPAK

Met het aardgasvrij maken van woningen komt de energietransitie letterlijk achter de voordeur van de Nederlandse burgers. Gemeenten nemen hierbij de regie en hebben een organiserende rol. De voortvarendheid waarmee gemeenten hun plannen (Transitievisie Warmte) willen realiseren kan echter een bedreiging vormen voor het draagvlak. Ervaringen met Proeftuinen Aardgasvrije Wijken laten zien dat een bottom-up aanpak, waarbij bewoners het initiatief hebben (bijv. bij energiecorporaties), tot een grotere tevredenheid leidt dan bij een top-down aanpak, waarbij gemeente en energiebedrijf het voortouw nemen. Burgers maken zich zorgen over hoge kosten, keuzevrijheid en betrouwbaarheid van nieuwe technologie. TNO-onderzoek naar ervaringen met de proeftuinen onderschrijft het belang van burgerparticipatie en beveelt aan om de bewoner/woningeigenaar centraal te stellen in de wijkaanpak en een participatieplan op te stellen. Om de renovatiekosten beheersbaar te houden zal hierbij toch ook gestreefd moeten worden naar clustering en schaalgrootte.

3. VERGROOT DE EFFICIËNTIE BIJ RENOVATIE EN ZORG VOOR VOLDOENDE GEKWALIFICEERD PERSONEEL BIJ BOUW- EN INSTALLATIEBEDRIJVEN

Woning- en gebouwrenovaties, aanleggen van installaties en warmtenetten en verzwaring van elektriciteitsnetten levert veel extra werk op. De personeelsgroei vindt plaats bij het uitwerken van plannen in concrete projecten en daarna zal ook het aantal arbeidsplaatsen toenemen bij de realisatie. Onderstaand figuur laat zien dat het aantal vacatures in de sectoren energievoorziening en bouwnijverheid structureel hoger ligt dan die voor industrie en alle sectoren. De arbeidsmarkt kan op de korte termijn echter niet goed voorzien in de groeiende vraag naar personeel. De krapte op de arbeidsmarkt leidt onder meer tot hogere projectkosten. Dit kan worden opgelost door de woning- en gebouwrenovaties en installatiewerkzaamheden efficiënter uit te voeren, bijvoorbeeld met de hiervoor genoemde contingentenaanpak, en door het vergroten van de instroom van gekwalificeerd personeel. Voor dit laatste is scholing nodig (ook om- en bijscholing) en het vergroten van de aantrekkelijkheid van de branche.



Figuur 5 Het aantal openstaande vacatures ligt voor de bouwnijverheid (vanaf 2017) en energievoorziening (vanaf 2019) boven het niveau van die voor alle economische activiteiten

KENNISAGENDA

Om deze maatregelen te kunnen uitvoeren is extra kennis nodig. Hierbij gaat het onder meer om de volgende vragen:










- Welke kostendaling is mogelijk bij een efficiëntere en slimmere renovatie van woningen en gebouwen?
- Wanneer kunnen duurzame warmtetechnologieën, die nu nog niet volledig ontwikkeld zijn, grootschalig worden toegepast? Als door opschaling de kosten lager zijn, wat zijn die dan (maatschappelijk, voor de eindgebruiker) en in hoeverre kan dit de keuze voor een duurzame warmtevoorziening in woonwijken beïnvloeden?
- Hoe kan woonlastenneutraliteit voor een groot aantal woningen het beste worden bereikt?

- Als het jaarlijkse aantal aardgasvrij gemaakt woningen en gebouwen naar meer dan 400.000 per jaar moet groeien, wat betekent dit voor gemeenten, de bouw- en installatiebranche en de energie- en netbedrijven? Wat is de omvang van de financiering die nodig is voor deze transitie?
- Wat is de beste volgorde waarin woningen kunnen worden verduurzaamd en wijken kunnen worden voorzien van een duurzame warmtevoorziening? En welke criteria zouden daarbij een rol moeten spelen?
- Hoe zorgen we in een markt die gedreven wordt door een vraag naar kwantiteit en efficiency voor een goede kwaliteitsborging van de innovatieve technische oplossingen die komende jaren grootschalig ingezet gaan worden?
- Hoe beoordelen bewoners en woning- en gebouweigenaren na een aantal jaren de gekozen duurzame warmtevoorziening en het proces om daar te komen?
- Vergt het betrekken van eigenaren en gebruikers van utiliteitsgebouwen bij de plannen voor aardgasvrije wijken een aparte aanpak?

BRONNEN

- CBS (2021). *Vacaturegraad naar bedrijfstak*.
- Huygen, A. (2018). *White paper - Lekker warm zonder aardgas*, TNO, 2018.
- PBL (2020), *Klimaat- en Energieverkenning 2020 (KEV)*.
- PBL (2020). *Startanalyse aardgasvrije buurten*.
- PBL (2021). *Klimaat- en Energieverkenning 2021 (KEV)*. Klimaatakkoord, 2018.
- Klösters, M., N. de Koning, L. Dreijerink, C. Tigchelaar, J. Bijvoet, R. Kooger (2020). *Samenwerken in de wijkaanpak: ervaringen met bewonerparticipatie in acht proeftuinen aardgasvrije wijken*, TNO 2020 P12094.
- MarketResponse (2021). *Bewonerstevredenheid Proeftuinen Aardgasvrije wijken*.
- Mulder, G., J. Nauta, S. Klerks, R. Donkervoort (2021). *White paper - In de volgende versnelling naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving - slimmer, goedkoper en efficiënter aan de hand van contingenten*, TNO, P10338.
- Sociaal Economische Raad (SER) (2018). *Energietransitie en werkgelegenheid - Kansen voor een duurzame toekomst*, Advies 18/03.
- Scheepers, M.J.J., L.W.M. Beurskens, F.O. Lenzmann (2021). *Alternatieven voor warmtelevering in de gebouwde omgeving en glastuinbouw bij uitfasering van houtige biograndstoffen - inzicht in de kosten*, TNO 2021 10963.
- Sipma, J. (2021). *De zoektocht naar een gelijkwaardig alternatief op basis van het werkelijk energiegebruik, als equivalent voor de 'BENG2 Eindnorm 2050' binnen de utiliteitssector*, TNO 2021 P10330.
- Tigchelaar, C., V. Rovers, A. Zwamborn, E. Cox (2021). *Duiding van de eindgebruikerskosten voor het aardgasvrij maken van Nederlandse woningen*, TNO P12146, 2021.
- TNO (2021). *Versnellen op weg naar een klimaatneutraal gebouwde omgeving - slimmer, goedkoper en efficiënter aan de hand van contingenten* ([Energietransitie gebouwde omgeving kan sneller en goedkoper | TNO](#)).

4 INDUSTRIE

	 Techniek	 Geld	 Acceptatie gedrag	 Arbeidsmarkt
 Industrie				

Techniek: Enkele technieken voor het verduurzamen van de industrie zijn al beschikbaar, maar de meeste duurzame alternatieven voor de huidige productieprocessen zijn nog onvoldoende ontwikkeld of opgeschaald. Het ontwikkelen en opschalen van duurzame productieprocessen en integreren van processtappen in productieketens zal stapsgewijs moeten plaatsvinden, waarbij steeds de technologische prestatie en betrouwbaarheid zullen moeten worden bewezen. De tijd die hiervoor nodig is kan de versnelling in de weg staan.

Geld: Doordat in de toekomst steeds minder CO₂-emissierechten beschikbaar zullen zijn zal de CO₂-prijs stijgen. Dit maakt het overschakelen naar duurzame energie en implementeren van duurzame productie-installaties en waardeketens aantrekkelijker. Voor een versnelling in deze transitie is een extra stimulans nodig, met name bij technologieontwikkeling en -opscaling.

Acceptatie/gedrag: Een versnelling in de reductie van broeikasgassen kan worden bereikt door toepassing van CO₂-afvang en -opslag (CCS) te vergroten. Er is kritiek op deze oplossing, onder andere vanwege mogelijke veiligheidsrisico's en omdat het niet-duurzame industriële processen in stand houdt. Het draagvlak voor CCS kan toenemen als mensen vertrouwen hebben in de veiligheid en ook over de positieve effecten van CCS voor de economie en het klimaat geïnformeerd worden.

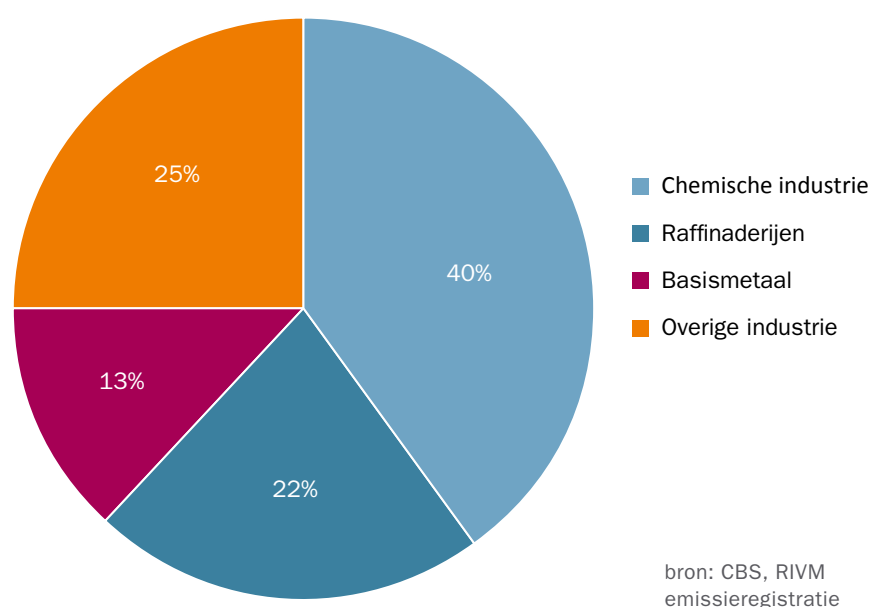
Arbeidsmarkt: Voor ontwikkeling en opscaling beschikt de Nederlandse industrie over goed opgeleid personeel en wordt het ondersteund door een netwerk van hoog gekwalificeerde kennisorganisaties en toeleveranciers. Hoewel dit een prima uitgangspunt is om een versnelling van de industriële transitie te realiseren, blijft het opleiden en trainen van technische personeel op alle niveaus een belangrijk aandachtspunt.

ONTWIKKELING EN OPSCHALING VAN INNOVATIEVE DUURZAME PRODUCTIEPROCESSEN VERSNELT DE EMISSIEREDUCTIE EN VERSTERKT CONCURRENTIEPOSITIE NEDERLANDSE INDUSTRIE

De Nederlandse industrie staat voor twee uitdagingen: het verduurzamen van de energievraag en het vervangen van fossiele koolwaterstoffen die als grondstof dienen door duurzame alternatieven. Met de tweede uitdaging kan worden aangesloten op het streven naar een circulaire economie, bijvoorbeeld door uit productieprocessen afgevangen CO₂ vast te leggen in producten of gerecyclede plastics als grondstof te gebruiken.

De tijd die nodig is voor ontwikkeling, opschaling en toepassing van nieuwe productieprocessen kan een versnelling in de weg staan. Daarom is het belangrijk om daar nu consequent op in te zetten. In een overgangsfase kan een versnelde reductie van broeikasgasemissies worden bereikt door ruime toepassing van Carbon Capture & Storage (CCS): het afvangen van CO₂ uit productieprocessen die nog fossiele brandstoffen gebruiken en deze CO₂ opslaan in lege gasvelden onder de Noordzee.

Driekwart van de industriële CO₂-emissies zijn in Nederland afkomstig van olieraffinaderijen, chemie en staalproductie (zie figuur). Fossiele brandstoffen worden in deze industrietakken gebruikt als energiebron en als grondstof. Andere industriële bedrijven met veel broeikasgasemissies, zoals de glas-, keramiek-, papier- en voedingsmiddelenindustrie, gebruiken voornamelijk aardgas.



Figuur 6 CO₂emissies industrie in 2020 per sector (46,8 Mton)

Een groot deel van de industriële warmtevraag kan verduurzaamd worden door elektrische boilers, het elektrificeren van ovens en fornuizen, warmte uit (diepe) geothermiebronnen, restgassen uit productieprocessen, biogas en eventueel waterstof voor hoge temperatuur warmte. Fossiele koolwaterstoffen die nu als grondstof worden gebruikt, kunnen worden vervangen door biomassa, gerecyclede plastics en restgassen uit productieprocessen in combinatie met waterstof geproduceerd uit duurzame elektriciteit. Aanvullend kan ook CO₂ uit de lucht eventueel als duurzame koolstofbron worden toegepast.

De energie-intensieve industrie valt onder het Europese emissiehandelssysteem (ETS). Het Europese beleid is er op gericht het emissieplafond voor de ETS sector geleidelijk te verlagen tot nul, waarbij het Europese beleid het reductietempo aangeeft. Onderdeel van het Fit for 55 voorstel van de Europese Commissie is een aanscherping van het reductie tempo (linear reduction factor) van 2,2% naar 4,2% vanaf 2024. Hiermee worden de emissies voor de Europese ETS-sector in 2030 versneld verlaagd van -43% naar -61% ten opzichte van het emissieniveau in 2005. Een snellere verduurzaming van de Nederlandse energie-intensieve industrie leidt Europees gezien niet per sé tot minder broeikasgasemissies. Een extra verlaging van de CO₂-emissies in Nederland zorgt er in het ETS-systeem immers voor dat bedrijven in andere Europese lidstaten meer ruimte krijgen om CO₂ uit te stoten (incl. fossiele elektriciteitsproductie).

Dit betekent niet dat een versnelde transitie geen zin zou kunnen hebben. Het behouden van het verdienpotentieel van de Nederlandse industrie is immers ook belangrijk. Ondernemingen die succesvol zijn door hun strategie tijdig aan te passen aan nieuwe omstandigheden kunnen een first-mover-advantage verkrijgen. Een succesvolle transitie hangt daarbij af van samenwerking in de waardeketen, omdat halffabricaten en eindproducten vaak door verschillende bedrijven worden geproduceerd. Als nieuwe technologie in Nederland als eerste wordt toegepast en gedemonstreerd, kunnen bedrijven deze technologie ook in andere landen gaan toepassen. Kritische succesfactoren voor toepassing van nieuwe technologie in Nederland zijn de beschikbaarheid van voldoende duurzame elektriciteit en waterstof, goed onderscheidde stromen van verschillende typen biomassa en gerecycled afval en de mogelijkheid om afgevangen CO₂ te hergebruiken of af te voeren voor opslag onder de Noordzee.

Veel producten die de Nederlandse industrie produceert komen uiteindelijk terecht bij de consumenten in Nederland en daarbuiten. Veranderingen in de consumptiepatronen kunnen een flinke invloed hebben op de vraag naar de industriële producten. Door hun gedrag kunnen consumenten de verduurzaming helpen versnellen, onder meer door te kiezen voor duurzame producten, mee te helpen aan recycling en ook door minder te gebruiken. Dit is nader beschreven in het hoofdstuk over consumptie.

De volgende drie maatregelen zijn nodig voor de versnelling van de emissiereductie in industrie:

1. STIMULEER ONTWIKKELING EN OPSCHALING VAN NIEUWE PRODUCTIEPROCESSEN DIE GEBRUIK MAKEN VAN DUURZAME ENERGIE EN DUURZAME EN GERECYCLEDE GRONDSTOFFEN

Warmtepompen en elektrische boilers zijn nu al beschikbaar en kunnen worden toegepast, eventueel met SDE++-subsidie als de business case nog onvoldoende aantrekkelijk is. Ook een classificatiesysteem voor duurzame warmte kan zorgen voor betere randvoorwaarden. Om de versnelling mogelijk te maken zullen duurzame warmtetechnologieën nodig zijn die nu nog ontwikkeld worden, zoals elektrische fornuizen en diepe geothermie. Het gaat daarbij om het vergroten van de capaciteit van de installaties en het verkleinen van de technologische risico's.

Voor productieprocessen die fossiele brandstoffen als grondstof gebruiken vormt de versnelling van de transitie een forsere uitdaging. Zo zullen olieraffinaderijen getransformeerd moeten worden in bio-raffinaderijen en synthetische brandstoffen-fabrieken, zal staal geproduceerd moeten worden met behulp van elektriciteit en waterstof en zullen biomassa, gerecyclede plastics of zelfs CO₂ gebruikt moeten gaan worden voor de productie van kunststoffen. Ten dele kan dit met al bekende productieprocessen, maar hiervoor zijn ook hele nieuwe productieprocessen nodig die nog niet grootschalig zijn toegepast. Het ontwikkelen van deze innovatieve productieprocessen en het opschalen tot productiecapaciteiten vergelijkbaar met de huidige fabrieken zal veel tijd kosten. Huidige fabrieken kunnen kostenefficiënt produceren vanwege grote productiecapaciteiten, vergaande procesintegratie en een grote mate van betrouwbaarheid. Opschalen en integreren van processtappen voor alternatieve productieprocessen zal stapsgewijs moeten plaatsvinden waarbij steeds de technologische prestatie en betrouwbaarheid zullen moeten worden bewezen. De tijd die hiervoor nodig is kan de versnelling in de weg staan.

Dow en Shell ontwikkelen, samen met TNO en ISPT, een elektrisch kraakfornuis voor ethyleen- en propyleenproductie. In 2025 zal een proefinstallatie in bedrijf genomen worden. Met de elektrische kraker wordt aardgas en fossiele restgassen uitgespaard, resulterend in minder CO₂-emissies.

Ethyleen en propyleen zijn basischemicaliën voor de productie van kunststoffen. Bij elektrische kraakfornuizen is de grondstof nog steeds afkomstig uit aardolie. Een volgende stap in de verduurzaming van dit proces is over te schakelen naar biogrondstoffen en/of gerecyclede plastics.

Voor ontwikkeling en opschaling is extra innovatiebeleid nodig dat gericht is op verduurzamen van de productieprocessen en rekening houdt met de stapsgewijze aanpak van het innovatieproces. Om deze innovaties te realiseren beschikt de Nederlandse industrie over goed opgeleid personeel en wordt het ondersteund door een netwerk van hoog gekwalificeerde kennisorganisaties en toeleveranciers. Deze beschikbaarheid van kennis en kunde is een prima uitgangspunt om een versnelling van de industriële transitie te realiseren met positieve effecten op de emissiereductie in Nederland en wereldwijd.

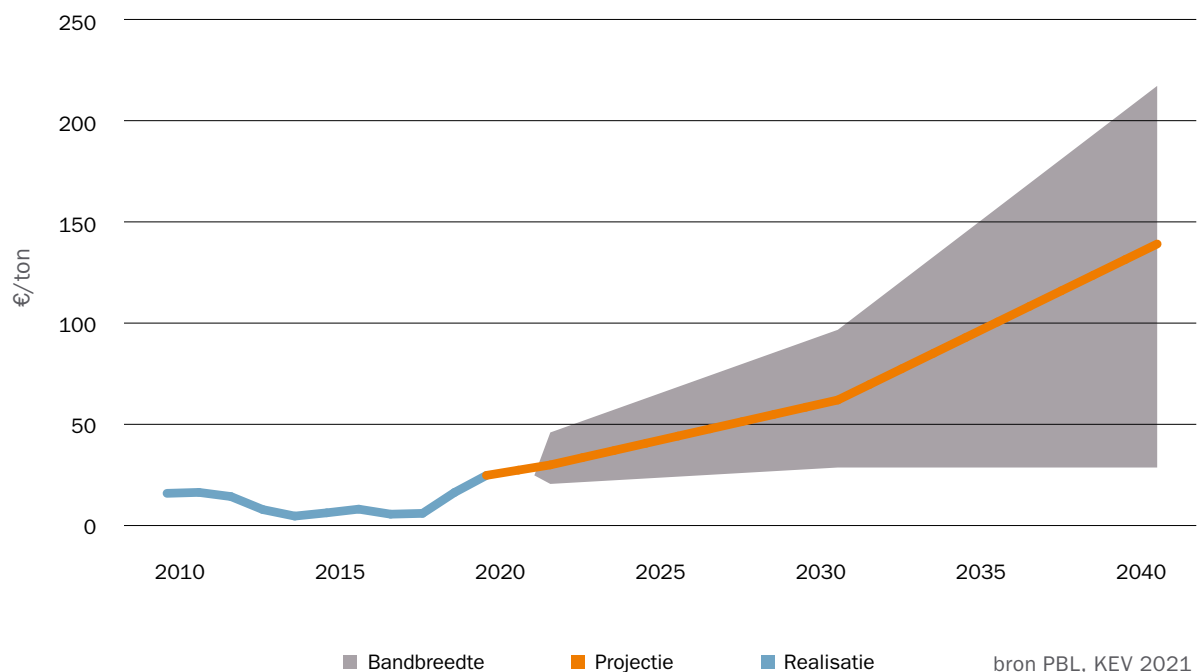
2. STIMULEER OMSCHAKELEN NAAR NIEUWE DUURZAME PRODUCTIE-INSTALLATIES EN WAARDEKETENS

De industrie is kapitaalintensief en de industriële transitie vergt aanzienlijke investeringen. Doordat steeds minder CO₂-emissierechten beschikbaar zijn, zullen de kosten voor het emitteren van CO₂ (CO₂-marktprijs en CO₂-heffing) toenemen waardoor conventionele productie duurder wordt. Het overschakelen op duurzame energie en implementeren van duurzame productie-installaties en waardeketens wordt daardoor aantrekkelijker. Om hierin een versnelling in te bereiken is een extra stimulans nodig, zoals een klimaatdoel voor circulariteit. Hierbij gaat het niet alleen om investeringen, maar ook om het anders organiseren van de waardeketens, zoals inrichting van circulaire ketens voor plastic. Integrale ontwerpmethoden, waarin technische, economische en impact-factoren worden meegenomen, kan recycling verbeteren en gebruik van primaire grondstoffen helpen beperken. Ook het beperken van verbranding van plastics en biomassa kan het gebruik van duurzame grondstoffen helpen versnellen.

Voor investeren in nieuwe, first-of-a-kind procesinstallaties kunnen bedrijven financiële ondersteuning krijgen vanuit Europese programma's (EU Innovation Fund). Omdat de slagingskans voor Europese financiering beperkt is, wordt er een Nationale Investeringsregeling Klimaatprojecten Industrie (NIKI) ingevoerd, een nieuwe stimuleringsregeling naast de SDE++-regeling. Of een versnelde verduurzaming voordelig is voor de concurrentiepositie hangt onder meer af van de hoogte van de toekomstige CO₂-prijs. De door de Europese Commissie aangekondigde Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) zal Europese industriële bedrijven bescherming moeten bieden tegen concurrentie van buiten de EU en zorgen voor een verbetering van de businesscase voor investering in innovatieve emissiearme technologie t.o.v. het fossiele alternatief.

Duurzame biomassa als grondstof voor de industrie

Er is maatschappelijke kritiek op het gebruik van biomassa voor energiedoeleinden, met name het verbranden van biomassa voor warmte- en elektriciteitsproductie. Biomassa die op duurzame wijze wordt geproduceerd en niet in concurrentie is met de voedselvoorziening kan het beste worden ingezet als grondstof voor de productie van materialen en chemicaliën. Gebruik van duurzaam verkregen biomassa ondervindt maatschappelijk minder bezwaren bij energietoepassingen waarvoor nog geen goede alternatieven beschikbaar zijn, zoals brandstoffen voor zwaar wegtransport en sloop- en luchtvaart.

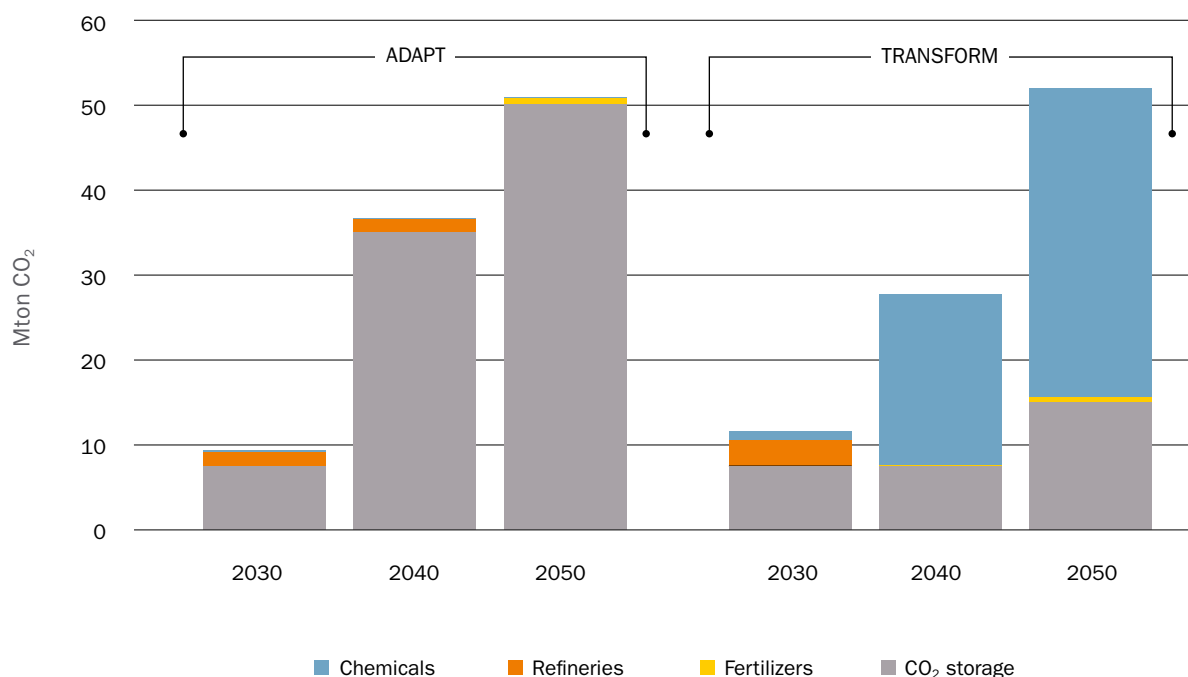


Figuur 7 Projectie ontwikkeling CO₂-prijs

3. PAS CO₂-AFVANG EN -OPSLAG TOE ALS OVERBRUGGING EN INFORMEER BURGERS OVER HET WAAROM DAARVAN

Het afvangen van CO₂ om deze te gebruiken als grondstof (Carbon Capture & Utilization, CCU), bijvoorbeeld voor de productie van chemicaliën of vast te leggen in bouwmaterialen, draagt bij aan de CO₂-reductie. Hiervoor zijn nieuwe productieprocessen nodig waarvan de realisatie tijd kost. Een mogelijkheid om de versnelling van de broeikasgasreductie te realiseren is door CO₂ af te vangen bij productieprocessen die nu nog fossiele brandstoffen gebruiken en deze CO₂ op te slaan in lege gasvelden onder de bodem van de Noordzee (Carbon Capture & Storage, CCS). Ook bestaat de mogelijkheid om negatieve emissies te realiseren door CCS toe te passen bij biomassaprocessen. CCS is echter een overbrugging. Bij een jaarlijkse opslag van 50 Mton kan in het Nederlandse deel van de Noordzee 30 tot 35 jaar lang CO₂ worden opgeslagen. Daarna zullen voor de industriële productie emissievrije bronnen en nieuwe processen moeten worden toegepast.

Er is kritiek op de toepassing van CCS, onder andere vanwege mogelijke veiligheidsrisico's en omdat het niet-duurzame industriële processen in stand houdt. Maatschappelijke bezwaren met betrekking tot opslag van CO₂ in de ondergrond zijn minder groot geworden nu gekozen is voor opslag van CO₂ onder de Noordzee in plaats van onder het vasteland. Onderzoek toont aan dat het draagvlak voor CCS toeneemt als mensen vertrouwen hebben in de veiligheid en ook over de positieve effecten van CCS voor de economie en het klimaat geïnformeerd worden.



Figuur 8 Potentieel en omvang CO₂-opslag en gebruik in twee scenario's. In het ADAPT scenario is CCS wel toegestaan, in het TRANSFORM scenario niet. (TNO, 2022)

KENNISAGENDA










Om deze maatregelen te kunnen uitvoeren is extra kennis nodig. Hierbij gaat het onder meer om de volgende vragen:

- Wat is de meest aantrekkelijke en best haalbare route om een materialen waardeketen te verduurzamen? Welke technologieontwikkeling en -opschaling is nog nodig, rekening houdend met productkwaliteit, betrouwbaarheid en kosten? Moet de productieketen anders worden georganiseerd? Binnen welke tijd kan de nieuwe productieketen de huidige vervangen? Deze vragen (en mogelijk nog andere) zouden voor elke waardeketen moet worden beantwoord. Systemmodellen waarin technische, economische en impact factoren integraal zijn opgenomen, kunnen helpen deze vragen te beantwoorden.
- Wat betekent de versnelling van de industriële transitie voor de benodigde infrastructuur, zoals elektriciteits- en waterstofproductie en transportcapaciteit voor elektriciteit, waterstof en CO₂
- Leidt een hogere CO₂-prijs tot het gewenste tempo in de industriële transitie? Of zijn nog andere prikkels nodig, zoals verplichtingen (bijv. ten aanzien van het gebruik van gerecyclede grondstoffen)?
- Wat zijn de gepercipieerde risico's die bedrijven ervan kunnen weerhouden om over te schakelen naar duurzame productieprocessen en hoe kunnen die worden verkleind?
- Wat is een realistisch tempo waarin voor de transitie van de Nederlandse industrie, d.w.z. de verduurzaming van de processen en waardeketens in de verschillende industriële sectoren? In hoeverre is het noodzakelijk, of uit kostenoverwegingen gewenst, om hierbij afvang en opslag van CO₂ in te zetten?
- Als het voor een versnelling van industriële broeikasgasreductie nodig blijkt om CO₂-afvang en -opslag in te zetten, hoe kunnen burgers en maatschappelijke groeperingen het beste bij deze afweging worden betrokken?

BRONNEN

- Broecks et al. (2021). How do people perceive carbon capture and storage for industrial processes? Examining factors underlying public opinion in the Netherlands and the United Kingdom, *Energy Research and Social Science*, 81 102236, november 2021.
- CBS (2021). *Uitstoot broeikasgassen door sector industrie*.
- Europese Commissie (2021). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism. COM(2021)564
- Europese Commissie (2021). [Proposal for amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emissions allowance trading with the Union, COM\(2021\) 551 final](#)
- Klimaattafel (2019). Eindrapportage: [Joint Fact Finding CO2-afvang en opslag, 2019](#)
- MIDDEN, Manufacturing Industry Decarbonisation Data Exchange Network (MIDDEN) publications, TNO en PBL, 2019-2021 van [MIDDEN: Manufacturing Industry Decarbonisation Data Exchange Network | PBL Netherlands Environmental Assessment Agency](#)
- Scheepers, M.J.J. et al (2022). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050 - Analysis of heat supply and chemical and fuel production from sustainable feedstocks*. TNO, 2022 (nog te verschijnen).
- Sociaal Economische Raad (SER) (2020). Biomassa in balans, Een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen
- Wijngaard, M. et al (2020). *Don't Waste It! - Solving the dark side of today's plastic*. TNO Whitepaper.

5 MOBILITEIT

	 Techniek	 Geld	 Acceptatie gedrag	 Arbeidsmarkt
 Mobiliteit				

Techniek: Het is belangrijk om hier onderscheid te maken tussen lichte en zware toepassingen en korte en lange afstanden. Voor personen- en bestelauto's en voor bussen is batterij-elektrische aandrijving een nagenoeg volwassen technologie. Brandstofcelvoertuigen zijn technisch wel ver ontwikkeld maar nog erg duur. Voor vrachtwagens en andere zware toepassingen is nog ontwikkeling nodig om verschillende alternatieve aandrijftechnologieën toepasbaar en betaalbaar te maken en is de keuze welke waar het best kan worden toegepast ook nog niet uitgekristalliseerd. Duurzame alternatieve brandstoffen zijn nog schaars en duur. Productietechnieken voor geavanceerde biobrandstoffen en e-fuels zijn in de ontwikkel- en pilotfase.

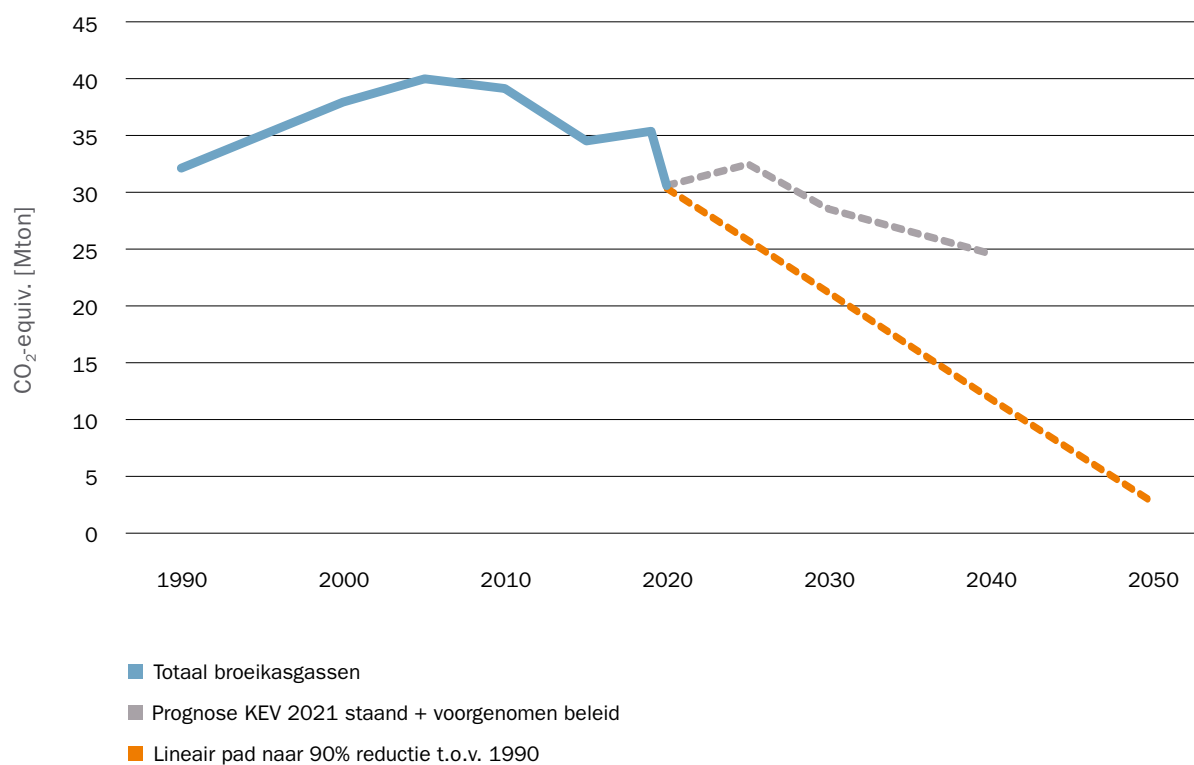
Geld: Vanaf ongeveer 2025 zal de transitie naar elektrisch rijden grotendeels kosteneffectief zijn. Investeringszekerheid is wel belangrijk voor bedrijven en consumenten i.v.m. de hogere voertuigkosten en de benodigde opschaling van laadinfrastructuur. Voor een inclusieve transitie is het van belang om te focussen op kleinere en middenklasse voertuigen, op particuliere eigenaren en op de tweedehands markt. Op termijn is een hervorming van de fiscale behandeling van mobiliteit vereist. Voor de toepassing van duurdere alternatieve brandstoffen zal langere tijd regulering en/of financiële stimulering nodig zijn.

Acceptatie en gedrag: Early adopters en de early majority hebben een grotere bereidheid dan de late majority en laggards om meerkosten of nadelen van nieuwe technologie te accepteren of om hun gedrag aan te passen om die nieuwe technologie in te kunnen zetten. Om grootschalige inzet van duurzame energiedragers en nieuwe mobiliteitsconcepten te bereiken moet er dus voor gezorgd worden dat die alternatieven zo goed mogelijk inzetbaar zijn in veeleisende mobiliteitspatronen. Voor acceptatie van CO₂-reducerende maatregelen in het goederenvervoer zijn, naast kosten, betrouwbaarheid en investeringszekerheid belangrijke aspecten. De betalingsbereidheid bij consumenten bepaalt mede de mate waarin verladers (producenten van goederen) de meerkosten of financiële risico's van verduurzaming bij vervoerders kunnen afdekken.

Arbeidsmarkt: Het installeren van miljoenen laadpunten voor elektrische voertuigen en tankinfrastructuur voor alternatieve brandstoffen zal enkele decennia veel extra technisch-geschoolde arbeidskrachten vergen. Dit overlapt qua kennis en kunde met de installatie van zonnepanelen en windmolens zodat een tekort aan geschoold personeel niet uitgesloten kan worden. Een deel van de arbeidskrachten kan komen van de garagebranche waar elektrisch rijden tot minder werk voor onderhoud leidt.

NETTO REDUCTIES NIET UITSTELLEN TOT NA 2030

Met het huidige Nederlandse en Europese klimaatbeleid zullen de Nederlandse CO₂-emissies voor de mobiliteitssector in 2030 net onder het niveau van 1990 uitkomen. Dit zou betekenen dat het grootste deel van de tot 2050 benodigde 90% netto reductie t.o.v. 1990 na 2030 gerealiseerd moet worden. Het Europese Fit-for-55 programma kan zorgen voor een versnelling van de emissiereductie als de voorstellen worden aangenomen en in Nederlands beleid worden uitgewerkt en met flankerend nationaal beleid worden ondersteund. Maar ook dan zal na 2030 nog een inhaalslag gemaakt moeten worden voor mobiliteit. Het recente regeerakkoord erkent deze notie. Maar de maatregelen om een versnelling te bereiken moeten grotendeels nog uitgewerkt worden, mede in afhankelijkheid van Europese maatregelen in het Fit-for-55 programma en de uit dat programma volgende reductiedoelen voor Nederland.



Figuur 9 Broeikasgasemissies Nederlandse mobiliteitssector

De KEV 2021 laat zien dat er al extra beleid nodig is om de bestaande doelen voor mobiliteit uit het Klimaatakkoord te halen. Om vanuit mobiliteit bij te dragen aan een aangescherpte reductiedoelstelling in het kader van Fit-for-55 zullen nog aanvullende maatregelen nodig zijn. Versnelling in het tempo van reductie tot 2030 moet komen van snellere opschaling van een aantal maatregelen waar al op wordt ingezet, en aanvullende inspanningen om een groot aantal maatregelen met kleiner effect tegelijkertijd te implementeren. Belangrijke maatregelen voor de sector mobiliteit zijn:

1. Versnellen van de inzet van elektrische en waterstofvoertuigen via Europese normstelling en flankerend nationaal beleid;
2. Benutten van kosteneffectieve CO₂-reductiemaatregelen in de bestaande vloot en in nieuwe voertuigen die nog beschikken over een verbrandingsmotor;
3. Stapelen van zoveel mogelijk maatregelen met kleine effecten die aangrijpen op mobiliteitsvraag (personen en goederen), reisgedrag, vervoerwijzekeuze en rijgedrag.

De stedelijke omgeving biedt veel aangrijpingspunten voor het stimuleren van de verduurzaming van mobiliteit. Het merendeel van de verplaatsingen is relatief kort en vindt in stedelijk gebied plaats en heeft stedelijk gebied als begin- en /of eindpunt. Maar vanwege de grote bijdrage van lange ritten aan de totale CO₂-emissies door mobiliteit moet ook voldoende aandacht worden besteed aan verduurzaming van personen- en goederenvervoer over lange afstanden.

De mogelijkheden voor CO₂-reductie in de mobiliteitssector liggen in een combinatie van (1) technische oplossingen (alle voertuigen die op wegen en sporen rijden of op rivieren varen zijn zo energiezuinig mogelijk en maken gebruik van duurzaam geproduceerde energie) en (2) systeem- en gedragsveranderingen die leiden tot minder of duurzamer afgelegde kilometers (ruimtelijke inrichting, digitalisering, deelmobiliteit, efficiënte logistiek, snelheidsbeperking en andere verkeersmaatregelen, energiezuinig rijden en meer gebruik van openbaar vervoer en fiets). Op langere termijn kan juist de tweede categorie reductie-opties sterk worden bevorderd door structurele systeemveranderingen in de ruimtelijke inrichting en in de infrastructuur en diensten voor vervoer van personen en goederen.

Drie belangrijke maatregelen zijn:

1. ONDERSTEUN ELEKTRISCH RIJDEN MET REGULERING EN VOLDOENDE LAAD- EN NETWERKCAPACITEIT. EN ZET IN OP WATERSTOF EN ANDERE HERNIEUWBARE BRANDSTOFFEN WAAR ELEKTRISCH NIET KAN

Batterij-elektrische aandrijving is de meest efficiënte manier om duurzame energie “naar de wielen te brengen”. Voor personen- en bestelauto's en voor bussen is de algemene verwachting dat de verduurzamingsopgave grotendeels met batterij-elektrische voertuigen gaat worden ingevuld en voor een kleiner deel met brandstofcelvoertuigen op waterstof. In vrachtwagens kan batterij-elektrische aandrijving binnen enkele jaren grootschalig ingezet worden voor korte tot middellange afstanden, maar er worden ook al elektrische voertuigen voor lange-afstandstransport ontwikkeld. Het aanbod is in deze sector op dit moment echter nog beperkt. In veel toepassingen worden elektrische voertuigen tussen 2025 en 2030 concurrerend met benzine- en dieselveertuigen (op basis van totale kosten voor

aanschaf en gebruik exclusief belastingen en subsidies). Bij brandstofcelvoertuigen op waterstof gaat de kostenontwikkeling minder snel. Een concurrerende total-cost-of-ownership alleen zal echter niet genoeg zijn om de transitie naar duurzame aandrijvingen voldoende snel en voldoende grootschalig te maken.

Waterstof is -vanuit het perspectief van reductie van de directe emissies van de transportsector- een nul-emissie alternatief voor veel toepassingen waar batterij-elektrische aandrijving, vanwege de beperkte actieradius of het hoge gewicht van batterijen, ontoereikend is. Waterstof kan worden toegepast in voertuigen met brandstofcellen (die aan boord waterstof omzetten in elektriciteit om op te rijden). Maar er is ook groeiende aandacht voor ontwikkeling van waterstofverbrandingsmotoren voor zware toepassingen waar het rendement van verbrandingsmotoren dat van brandstofcellen niet veel ontloopt. Grootschalige serieproductie van waterstofverbrandingsmotoren zou over een jaar of 5 mogelijk kunnen zijn en zou de inzet van waterstof in transport (en daarmee de ontwikkeling van bijbehorende tankinfrastructuur) kunnen versnellen.

In toepassingen waar batterij-elektrische of waterstofaandrijving vanuit eindgebruikersperspectief of vanwege technische eisen niet geschikt zijn, blijven verbrandingsmotoren op vloeibare, koolstof houdende brandstof nodig. Die brandstof moet dan wel op een duurzame wijze geproduceerd zijn uit hernieuwbare energie. Dit geldt met name voor verduurzaming van het zware wegtransport over lange afstanden en een deel van de mobiele werktuigen, en voor zeescheepvaart en luchtvaart (zie hoofdstuk 6).

Een belangrijke hefboom om CO₂-reductie in mobiliteit te versnellen is dus het bevorderen van een snellere marktpenetratie van elektrische en waterstofvoertuigen. Belangrijke maatregelen om zowel aanbod van als de vraag naar nul-emissievoertuigen te bevorderen zijn:

- Aanscherping van Europese CO₂-normen voor lichte en zware wegvoertuigen: wanneer de vereiste gemiddelde reductie groter is dan met zuinige conventionele voertuigen gehaald kan worden, zullen fabrikanten de productie van nul-emissievoertuigen opschalen om aan de norm te voldoen;
- Stimulering van de productie van batterijen en brandstofcellen in Europa en bevorderen van innovatie, o.a. voor next generation batterij-technologie;
- Flankerend nationaal en lokaal beleid om in de aanloopfase de vraag te bevorderen (subsidies of fiscale maatregelen om de “onrendabele top” te compenseren) en te zorgen voor voldoende oplaad- en tankinfrastructuur;
- Invoering van (voldoende grote) zero-emissiezones in steden, m.n. voor stadslogistiek, en versnelde opschaling van de toepassing van elektriciteit en waterstof op specifieke corridors en logistieke hubs.

Een alternatief voor subsidies aan consumenten en fiscale maatregelen om de opschaling van elektrisch vervoer te stimuleren is de inzet van een SDE-achtige subsidieregeling. Subsidies voor implementatie van duurzame voertuigen kunnen in kavels worden uitgeven. Hierop kan in concurrentie worden ingeschreven door marktpartijen die in ruil voor financiering door de overheid van de onrendabele top (die periodiek onafhankelijk wordt vastgesteld) de verantwoordelijkheid op zich nemen om de in het kavel gevraagde hoeveelheid duurzame voertuigen in de markt te zetten. Dit voorkomt onder meer dat subsidies de autonome prijsontwikkeling van nieuwe technologieën verstoren.

Vanuit systeemperspectief is het voor maximale impact op CO₂-emissies van belang dat de extra vraag naar elektriciteit en waterstof wordt bediend met duurzame energie en dat de energie-infrastructuur voldoende capaciteit heeft. De capaciteit van het elektriciteitsnetwerk levert nu al beperkingen voor de opschaling van zonne- en windenergie. Dit zal verder worden verergerd door de transitie naar elektriciteit in de industrie en -in de mobiliteitssector- door de aanleg van laadinfrastructuur, zeker als het gaat om grote vermogens voor het snelladen van personenauto's en het laden van zware voertuigen. De komende 10 jaar kan ook de beperkte capaciteit van het laagspanningsnet in de wijken een struikelblok worden, als het niet lukt om de avondlaadpiek beter te spreiden in de tijd. **Om de transitie in alle sectoren te faciliteren is dus op nationale schaal een plan van aanpak nodig om te zorgen dat investeringen in infrastructuur vooruit lopen op de opschaling van duurzame energieopwekking en op investeringen in elektrificatie in industrie en mobiliteit.**

De inzet van duurzame aandrijftechnologie heeft ook gevolgen voor het gebruik van schaarse grondstoffen en daarmee impact op de transitie naar een circulaire economie.

Elektrificatie kan ook versneld worden bij binnenvaartschepen en mobiele werktuigen. Het oplossen van de stikstofcrisis geeft in deze sectoren momenteel een stimulans voor versnelde ontwikkeling en inzet van deze opties. Versnellen van de inzet van nul-emissie mobiele werktuigen kan via eisen in aanbestedingen in de bouw.

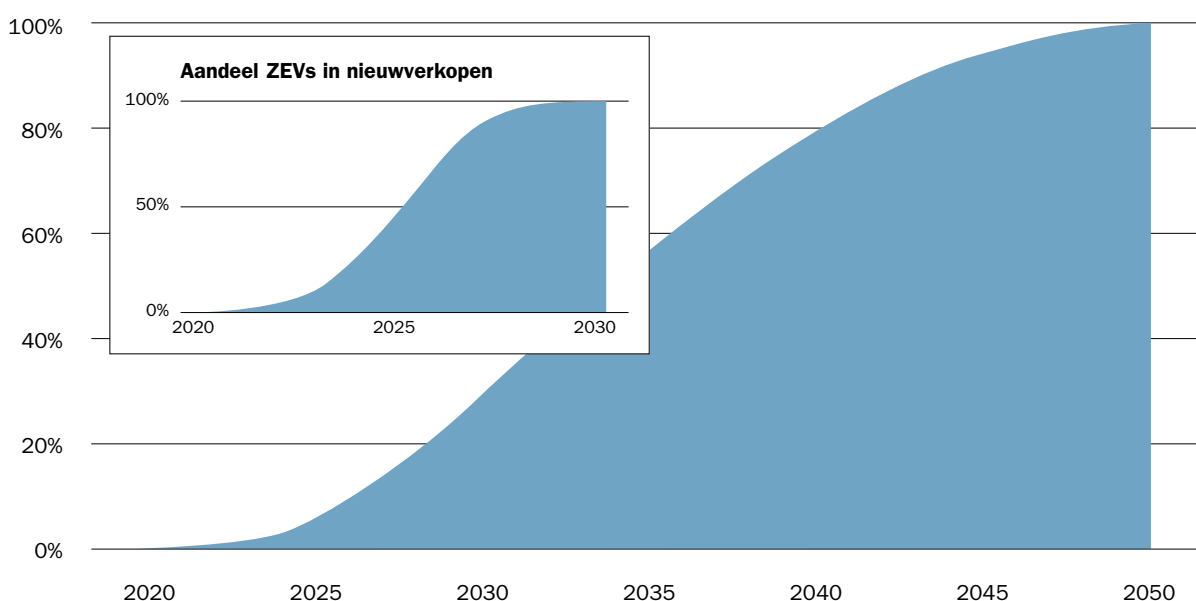
2.ZORG DAT OOK VOERTUIGEN MET VERBRANDINGSMOTOREN PER KILOMETER ZO WEINIG MOGELIJK CO₂ UITSTOTEN

EXTRA BIOBRANDSTOF VOOR CO₂-REDUCTIE IN DE BESTAANDE VLOOT?

De CO₂-emissies van de bestaande vloot zouden kunnen worden verlaagd door het aandeel bijgemengde duurzame brandstof in benzine en diesel te verhogen. Het moet dan gaan om geavanceerde biobrandstoffen en, indien tijdig beschikbaar, synthetisch geproduceerde duurzame brandstoffen (e-fuels), en om "drop-in" fuels die in grotere aandelen kunnen worden bijgemengd zonder dat motoraanpassingen nodig zijn. Aan deze optie, die ook in het regeerakkoord wordt genoemd, zijn drie belangrijke voorwaarden verbonden: Allereerst moeten bij inzet van extra biobrandstof de duurzaamheidsvoorwaarden voldoende streng zijn (en gehandhaafd worden). Ten tweede moet duidelijk zijn dat deze maatregel gericht is op de bestaande vloot en geen alternatief is voor elektrificatie van nieuwe voertuigen. Ten derde, en dat hangt met het voorgaande samen, moet voor alle partijen helder zijn dat het een tijdelijke maatregel is. Op langere termijn zijn duurzame biobrandstoffen en e-fuels nodig om scheepvaart en luchtvaart te verduurzamen. Maar tijdelijke verhoogde inzet van geavanceerde biobrandstoffen en e-fuels in wegtransport zou kunnen helpen om ontwikkeling en opschaling van de productie van deze brandstoffen te versnellen. De inzet in wegtransport kan afnemen als het aandeel elektrisch en waterstof in de vloot groter wordt.

NIEUWE CONVENTIONELE VOERTUIGEN ZO ZUINIG MOGELIJK

In het Nederlandse Klimaatakkoord is het streven opgenomen dat er vanaf 2030 geen personen- en bestelauto's met verbrandingsmotor meer verkocht worden. Ook als dat doel gehaald wordt, zal in 2030 nog zo'n driekwart van de vloot uit conventionele voertuigen bestaan, waarvan een groot deel de komende 8 jaar nog wordt verkocht. Zorgen dat die voertuigen zo weinig mogelijk CO₂ uitstoten is dus belangrijk als we de reductie van broeikasgasemissies willen versnellen. Ondanks dat er als gevolg van Europese CO₂-wetgeving al veel technische maatregelen worden toegepast is er bij conventionele personen-, bestel- en vrachtauto's nog een significant aanvullend reductiepotentieel waarvan de meerkosten voor productie binnen 5 jaar of over de levensduur van het voertuig worden terugverdiend met de verminderde brandstofkosten. Om dit potentieel te oogsten is aanscherping van Europese CO₂-normen een belangrijk instrument, aangevuld met aanpassingen aan het Nederlandse fiscaal beleid om de aanschaf van zuinige nieuwe voertuigen te bevorderen en om de uitstroom van jonge (fiscaal gestimuleerde) zuinige auto's en de import van onzuinige, jonge tweedehands voertuigen tegen te gaan. De in de bijlage bij het regeerakkoord genoemde aanpassing van de BPM-vrijstelling voor bestelauto's is ook een belangrijke maatregel om de CO₂-emissies van de conventionele voertuigvloot te verlagen.



Figuur 10 Aandeel Zero Emission-voertuigen in vloot

3. REDUCEER EMISSIES VAN DE BESTAANDE VLOOT DOOR TE STUREN OP GEDRAG EN VOLUME

In het licht van de totale reductieopgave tot 2050 zijn de potentiële bijdragen van andere maatregelen dan duurzame aandrijving en energiedragers per stuk relatief beperkt. Maar nu de doelen voor 2030 en 2050, en het pad er naar toe, zoveel scherper worden, wordt het belang van deze “kleine maatregelen” wel steeds groter. Er moeten heel veel maatregelen gestapeld worden om de doelen te halen. De meeste technische maatregelen worden via nieuwe voertuigen in de vloot geïntroduceerd en hebben daarmee een lange doorlooptijd. De CO₂-emissies per kilometer van de bestaande vloot kunnen worden beperkt door o.a. (handhaving van de) verlaging van de maximum snelheid, het bevorderen van energiezuinig rijden via

gedragsbeïnvloeding en verkeersmaatregelen en het bevorderen van het gebruik van energiezuinige banden.

De CO₂-emissies van personenmobiliteit en goederenvervoer worden natuurlijk niet alleen bepaald door de emissies per kilometer van de ingezette voertuigen maar ook door het aantal kilometers dat met verschillende modaliteiten wordt afgelegd. Dit kan via een groot aantal maatregelen worden beïnvloed. Voor verschillende daarvan zijn in het Klimaatakkoord al afspraken gemaakt en wordt er beleid voor ontwikkeld of geïmplementeerd. Versnelling hiervan is veelal mogelijk.

Belangrijke opties zijn:

- Bevorderen van een verschuiving naar duurzamere vervoerwijzen in zowel personen- als goederenvervoer;
- Verminderen van woon-werkverkeer en zakelijke kilometers: De corona-pandemie heeft bijvoorbeeld laten zien dat er hier een groot potentieel is voor vermindering van kilometers;
- Verhogen van de beladingsgraad van vrachtvoertuigen en van de ketenefficiency door logistieke innovaties.

Kilometerbeprijzing is een belangrijke potentiële beleidsmaatregel om genoemde reductiemaatregelen te stimuleren. Beprijzing is ook belangrijk om eventuele rebounds te voorkomen van kosteneffectieve maatregelen die door verlaging van de kosten van mobiliteit en logistiek de vraag naar personen- en goederenvervoer verhogen. In het regeerakkoord is opgenomen dat in de huidige kabinetsperiode voorbereidingen voor het invoeren van een systeem van betalen naar gebruik zullen worden getroffen. Maar de ontwikkeling en implementatie van deze maatregel kost teveel tijd om voor 2030 al effect op te leveren. De inzet van bovengenoemde gedrags- en volumemaatregelen moet dus worden bevorderd met specifieke beleidsmaatregelen die wel op korte termijn kunnen worden ingevoerd. Mogelijk kan voor 2030 al wel enig effect verwacht worden van het door de Europese Commissie voorgestelde CO₂-emissiehandelssysteem voor brandstoffen voor het wegtransport.

Om gedrag- en volumemaatregelen te laten bijdragen aan (snelle) reductie van CO₂-emissies is ook een herijking nodig van het mobiliteitsbeleid, zowel op nationaal als op stedelijk niveau. Beleid moet minder gericht zijn op het wegnemen van hindernissen en verminderen van “voertuigverliesuren” bij wegvervoer en meer op de kwaliteit van het mobiliteitssysteem als geheel en de kwaliteit van de leefomgeving. De in het regeerakkoord opgenomen investeringen in OV-infrastructuur, ook voor de ontsluiting van nieuwe woonwijken, en in hubs voor overstappen naar deelmobiliteit en OV passen bij deze aanbeveling.

Smart mobility kan helpen mits snel op grote schaal toegepast én op maatschappelijke doelen geoptimaliseerd

Ook ontwikkelingen in het domein van “slimme mobiliteit” kunnen bijdragen aan de versnelde reductie van CO₂-emissies. ICT-technologie rond auto en infrastructuur, zoals adaptieve cruise control, slimme verkeerslichten en verkeersgeleiding via voertuigen die met de weg en met elkaar communiceren, en zelfrijdende voertuigen, kan zorgen voor minder energiegebruik per kilometer en minder voertuigkilometers en daarmee – **bij voertuigen die nog fossiele brandstoffen gebruiken** – tot reductie van de directe CO₂-emissies. De vraag is echter of dit soort technologie snel genoeg beschikbaar komt en op voldoende schaal kan worden toegepast en of deze, naast doelen op het gebied van veiligheid en bereikbaarheid waarvoor ze primair ontwikkeld worden, ook gericht zal worden op duurzaamheid. Bovendien is er een gerede kans op juist meer emissies omdat deze technologieën ook tot meer mobiliteit kunnen leiden.

Die laatste zorg geldt ook voor de verschuiving van bezit naar gebruik die in mobiliteitssector plaatsvindt. Platformdiensten (Mobility-as-a-Service, MaaS) faciliteren verschuivingen van de auto naar OV en bestaande en nieuwe langzame vervoerwijzen (bijv. al of niet elektrische leenfietsen). De overstap van eigen autobezit naar gebruik van deelauto's leidt tot bewuster autogebruik en minder kilometers. Maar MaaS maakt automobilititeit ook toegankelijk voor groepen gebruikers die zich nu geen auto kunnen veroorloven en kan ook een concurrent van het OV worden. Om deze mobiliteitstransitie positief te laten bijdragen aan reductie van de CO₂-emissies van transport is dus sturing vereist. Genoemde mobiliteitstransities hebben ook gevolgen voor het beleid dat nodig is om de inzet van duurzame aandrijvingen en energiedragers te bevorderen.

KENNISAGENDA










Om deze maatregelen te kunnen uitvoeren is, naast extra inzet op technische en systeeminnovatie, extra kennis nodig. Hierbij gaat het onder meer om de volgende vragen:

- Hoe kan laad- en tankinfrastructuur voor elektrische en andere duurzame voertuigen worden geïntegreerd in de stedelijke omgeving en het energiesysteem? Wat moet er op lokaal, regionaal en nationaal niveau worden gedaan om te zorgen dat er snel voldoende laadfaciliteiten op het net kunnen worden aangesloten?
- Wat zijn geschikte oplossingen voor verduurzaming van modaliteiten waar elektrisch geen bruikbare oplossing is? Hoe interacteren die oplossingen met de energietransitie in andere sectoren? Hoe kan de transitie worden versneld en welke innovaties zijn er daarvoor nodig in de waardeketens?
- Hoe kunnen ontwikkelingen op het gebied van Smart Mobility (digitalisering, automatisering en nieuwe platformdiensten in mobiliteit en logistiek) worden geoptimaliseerd op de bijdrage aan CO₂-reductie? Hoe kunnen de ingroei en impacts van nieuwe, disruptieve technologieën worden ingeschat?
- Hoe kan het mobiliteitssysteem meer toekomstbestendig worden verbonden met de leefomgeving? Operationaliseren van een integrale systeembenadering, ontwerpdenken en een brede-welvaartsbenadering in de ex-ante en ex-post evaluatie van ontwikkelingen in mobiliteit en logistiek.

BRONNEN

- NAL (2022). Nationale Agenda Laadinfrastructuur.
Van: <https://www.agendalaadinfrastructuur.nl/default.aspx>.
- PBL (2021). Klimaat- en Energieverkenning 2021 (KEV).
- Rijksoverheid (2021). *Bestemming Parijs, Wegwijzer voor klimaatkeuzes 2030, 2050*. Eindrapportage studiegroep Invulling klimaatopgave Green Deal, januari 2021..
- RVO (2021). *Rapport Verdienpotentieel Elektrisch Vervoer 2020 - Ontwikkelingen in de Nederlandse EV-sector*.
- RWS en TNO (2020). Routeradar 2019.
- TNO (2020). *Decamod: zero-emissiezones in de praktijk*.
Decamod effectrapportage WP1.2, 1.3 en 1.4, TNO 2020 R11952..
- TNO (2021). *Schoon wagenpark vraagt om méér naast 'stekkersubsidie'*.
TNO whitepaper 2021,
- TNO en CE Delft (2020). Factsheets energiedragers wegverkeer.
Van: <https://www.pianoo.nl/nl/document/18246/factsheets-energiedragers-wegvervoer>.

6 INTERNATIONALE LUCHTVAART EN SCHEEPVAART

	 Techniek	 Geld	 Acceptatie gedrag	 Arbeidsmarkt
 Luchtvaart Scheepvaart				

Techniek: Internationale luchtvaart blijft in zijn geheel en de internationale scheepvaart voor het grootste deel aangewezen op vloeibare brandstoffen. De huidige fossiele brandstoffen moeten worden vervangen door duurzame (bio/synthetische) brandstoffen. De productie en toepassing daarvan is op dit moment nog zeer kleinschalig en vaak enkel experimenteel. Verdere ontwikkeling en opschaling van de productie-installaties kost veel tijd. Dit vormt een knelpunt voor versnelling in de broeikasgasreductie.

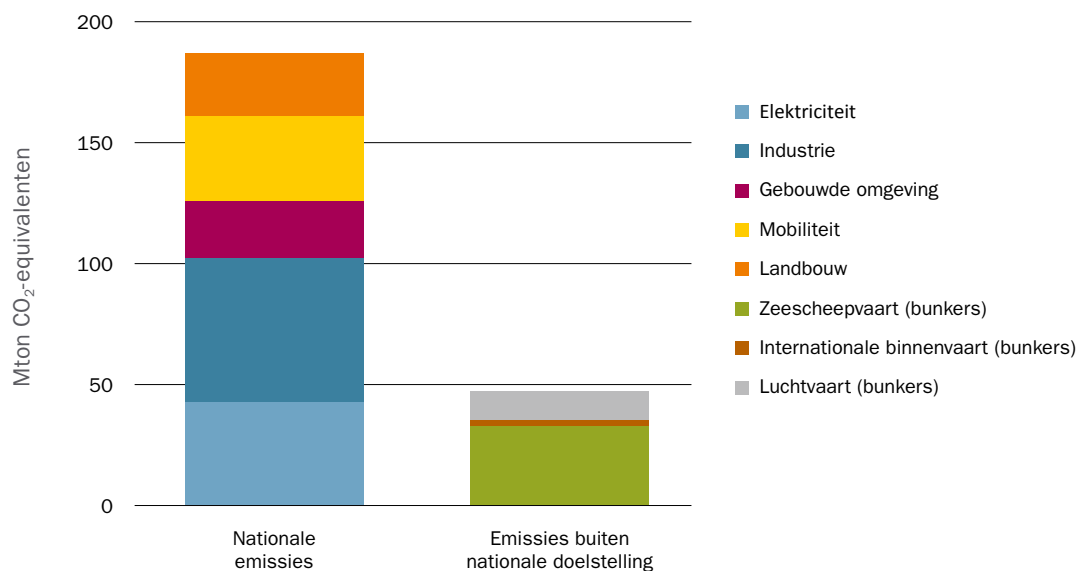
Geld: Het prijsverschil tussen fossiele en duurzame brandstoffen voor vliegtuigen en zeeschepen is nu nog aanzienlijk. Het prille stadium van ontwikkeling van duurzame brandstoffen is daar mede debet aan. Door verdere ontwikkeling en opschaling zal de prijs voor duurzame brandstoffen dalen. Subsidiëring van de ontwikkeling en opschaling kan dit helpen versnellen. Stimulering van de vraag (door verplichtingen, heffingen, CO₂-beprijzing) zal de overschakeling naar duurzame brandstoffen kunnen versnellen.

Acceptatie/gedrag: Het verminderen van vliegekilometers is een belangrijke middel om CO₂-emissies versneld omlaag te brengen en reduceert ook de overige klimaatimpacts die worden veroorzaakt door vliegtuigemissies op grote hoogte. Dit kan door alternatieven aantrekkelijk te maken en te promoten, zoals reizen met hogesnelheidstrein op de middellange afstand, virtueel vergaderen in plaats van zakelijk reizen of vakanties in Europa in plaats van verder weg. Netto reductie treedt echter pas op als de groeitrend wordt omgebogen.

Arbeidsmarkt: Kennis en kunde voor de ontwikkeling, bouw en productie van fabrieken voor duurzame brandstoffen zijn in Nederland aanwezig. Hooggekwalificeerde arbeidskrachten zijn beschikbaar bij Nederlandse olieraffinaderijen, waar het aantal arbeidsplaatsen door minder productie van fossiele brandstoffen zal afnemen.

VERSNELLEN VAN CO₂-EMISSIEREDUCTIE DOOR MINDER TRANSPORTVRAAG EN GEBRUIK VAN HERNIEUWBARE BRANDSTOFFEN

De CO₂-emissies van internationale lucht- en scheepvaart vallen niet onder de nationale broeikasgasreductiedoelen. Dit is een risico voor de tijdige reductie van deze emissies omdat er geen duidelijke verantwoordelijkheid is en de vrijwillige ambities van de sector nog beperkt zijn. Internationale afspraken over CO₂-emissiereductie in deze sectoren lopen achter bij de Europese ambities. Alleen lucht- en scheepvaart binnen Europa heeft te maken met Europese regelgeving. Vliegtuigen en zeeschepen worden in Nederland voorzien van brandstoffen, zgn. bunkerbrandstoffen. In Nederland is deze sector bijzonder belangrijk. De hieraan gerelateerde broeikasgasemissies waren in 2019 ongeveer gelijk aan 25% van de Nederlandse broeikasgasemissies.



Figuur 11 Broeikasgasemissies in 2019: aan Nederland toe te rekenen emissies en emissies buiten Nederland a.g.v bunkering in Nederland

Met de opkomst van de budgetmaatschappijen is vliegen steeds goedkoper geworden. Hierdoor is het aantal mensen dat met het vliegtuig op reis gaat sterk gegroeid en geniet het vliegtuig bij internationaal reizen, ook op kortere afstanden, de voorkeur boven alternatieven als de trein. De afgelopen jaren is het besef van de negatieve impact die vliegen heeft op het klimaat toegenomen en sommige mensen ervaren 'vliedschaamte'. Dit heeft echter nog niet geleid tot minder vliegen. De vermindering van vliegen door de Covid-pandemie lijkt maar tijdelijk te zijn.

De ontwikkeling van elektrische voorstuwing is sterk in ontwikkeling voor kleine vliegtuigen. Maar voor grote passagiers- en vrachtvliegtuigen, die verantwoordelijk zijn voor bijna alle CO₂-uitstoot door de luchtvaart, is elektrificatie geen optie vanwege het gewicht van batterijen. Dit zou alleen kunnen veranderen bij een technologische doorbraak waarbij batterijen minstens een factor 5 lichter zouden worden. Vliegtuigen blijven dus aangewezen op brandstoffen. Het is mogelijk om met straalvliegtuigen CO₂-neutraal te vliegen, maar niet klimaatneutraal. CO₂-emissies kunnen worden gereduceerd door inzet van biobrandstoffen of synthetische e-fuels

op basis van duurzame waterstof en CO₂ uit de lucht. Waterstof kan ook direct als vliegtuigbrandstof worden gebruikt, maar het grote volume en gewicht van de opslagtanks vormen nog een uitdaging. De uitstoot van luchtverontreinigende stoffen (bijvoorbeeld NO_x) en waterdamp door straalvliegtuigen op grote hoogte blijven echter bijdragen aan klimaatverandering. Er zijn wel manieren om de niet-CO₂ klimaateffecten te verminderen, zoals lager vliegen en aanpassen van vluchtpaden (minder condenssporen). Vliegen moet dan op minimale klimaateffecten geoptimaliseerd worden en niet op laagste kosten. Een versnelling zal daarom een mix zijn van minder vliegen en lagere emissies per kilometer.

Voor de scheepvaart geldt ook dat grootschalige nul-emissie oplossingen er nog lang niet zijn. Minder scheepvaart door goederen lokaal te produceren en langzamer varen zullen een positieve impact hebben op de emissiereductie. Elektrificeren en gebruik van waterstof zijn technisch uitvoerbaar voor binnenvaartschepen en zeeschepen die relatief korte trajecten varen. Zeeschepen kunnen ook gedeeltelijk geëlektrificeerd worden (hybride). Net als vliegtuigen zijn zeeschepen, met name bij lange afstanden (containerschepen, bulkcarriers, tankers), voor het verduurzamen aangewezen op vervanging van fossiele door hernieuwbare brandstoffen. Naast biobrandstoffen of synthetische brandstoffen (zoals methanol geproduceerd uit duurzame waterstof en CO₂) zijn voor zeeschepen ook bio-LNG, bio-methanol of waterstof mogelijke alternatieven. Ook ammoniak, geproduceerd uit duurzame waterstof en stikstof uit de lucht, wordt als optie onderzocht. De ontwikkeling en opschaling van de productie van deze brandstoffen tegen competitieve prijzen moet versneld worden.

Om de emissies van de internationale luchtvaart en scheepvaart significant te verlagen zal een samenspel van veel kleine maatregelen nodig zijn, die bij elkaar opgeteld veel verschil kunnen maken zoals bijvoorbeeld langzamer varen en walstroom bij schepen, efficiënte vliegtuigen, emissiestandaarden, elektrisch taxiën en slim management van het luchtruim.

De volgende drie maatregelen zijn een goede basis voor de versnelling van de emissiereductie in deze sectoren:

1. STIMULEER HET GEBRUIK VAN HERNIEUWBARE BRANDSTOFFEN DOOR MIDDEL VAN BIJMENGVERPLICHTING, BRANDSTOFHEFFINGEN EN/OF INVOERING VAN EEN CO₂-PLAFOND EN -HANDELSSYSTEEM

Stimulering van het gebruik van hernieuwbare brandstoffen is nodig om een versnelde ontwikkeling en prijsdaling te bereiken. Stimulering van de vraag zal producenten van hernieuwbare brandstoffen investeringszekerheid bieden. Dit kan door een bijmengverplichting of een brandstofsubsidie. Omdat het hier gaat om internationaal verkeer, is het opleggen van heffingen en belastingen op fossiele brandstoffen, om daarmee het prijsverschil te verkleinen of om te draaien, lastiger te realiseren. Dit is wel mogelijk voor lucht- en scheepvaart binnen de EU en naar landen zoals Noorwegen en IJsland. De Europese Commissie is voornemens voor dit internationale transport een brandstofbelasting te introduceren en het belastingtarief geleidelijk op te voeren, waarbij hernieuwbare brandstoffen worden

uitgezonderd. Ook is het Europese Emissiehandelssysteem (ETS) van toepassing op de luchtvaart binnen de EU. De Europese Commissie stelt voor de scheepvaart binnen de EU ook onder dit systeem te brengen. Het geleidelijk verlagen van het emissieplafond maakt, vanwege de oplopende CO₂-prijs, het gebruik van fossiele brandstoffen minder aantrekkelijk en daarmee ontstaat een prikkel voor luchtvaartmaatschappijen en rederijen om over te schakelen naar duurzame alternatieven. In 2021 is een pilot gestart voor een emissiehandelssysteem voor internationale luchtvaart buiten de EU, het Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA). In het regeerakkoord geeft het nieuwe kabinet het voornemen aan om op nationaal niveau het bijmengen van bio-kerosine te verplichten.

2. STIMULEER HET AANBOD EN DE PRODUCTIE VAN BIOBRANDSTOFFEN EN SYNTHETISCHE BRANDSTOFFEN VOOR GEBRUIK IN BESTAANDE VLIEGTUIGEN EN SCHEPEN

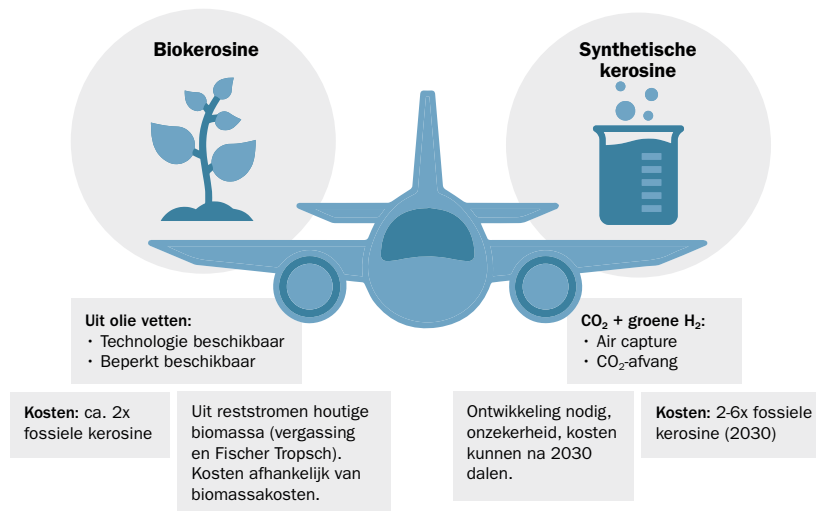
Omdat vliegtuigen en zeeschepen zo'n 20 tot 30 jaar meegaan, zal het voor een versnelling het meeste effect hebben als hernieuwbare brandstoffen in bestaande vliegtuigen en schepen kunnen worden toegepast. De brandstoffen kunnen dan het beste worden ontwikkeld als drop-ins, die aanvankelijk worden bijgemengd met fossiele brandstoffen. In een later stadium, bij volledige toepassing van hernieuwbare brandstoffen, zullen mogelijk nieuwe motoren nodig zijn. Voor toepassing van bio-LNG, waterstof en alternatieve vloeibare brandstoffen zoals methanol in zeeschepen zijn grotere aanpassingen nodig, ook in de haveninfrastructuur.

Het prijsverschil tussen fossiele en hernieuwbare brandstoffen voor vliegtuigen en zeeschepen is nu nog aanzienlijk. Het prille stadium van ontwikkeling van hernieuwbare brandstoffen is daar mede debet aan. Door verdere ontwikkeling en opschaling zal de prijs voor hernieuwbare brandstoffen dalen. Subsidiëring van de ontwikkeling en opschaling (bijv. met SDE++, NIKI) kan dit helpen versnellen. Als met beide subsidieregelingen de vraag en het aanbod van biobrandstoffen en synthetische brandstoffen met financiële prikkels aantrekkelijker worden gemaakt, is het belangrijk om deze goed op de onrendabele top, het verschil tussen de kostprijs en marktprijs, af te stemmen.

De toepassing van hernieuwbare brandstoffen in de lucht- en zeescheepvaart is op dit moment nog zeer kleinschalig en vaak enkel experimenteel. Biokerosine wordt nu bijvoorbeeld geproduceerd uit gebruikt frituurvet. Maar die stroom is te klein om in een aanzienlijk deel van de totale vraag naar vliegtuigbrandstoffen te voorzien. Biokerosine, maar ook biobrandstoffen voor zeeschepen, zullen in de toekomst geproduceerd moeten worden uit duurzame biomassa, zoals reststromen uit land- en bosbouw. De ontwikkeling en opschaling van deze geavanceerde of tweede generatie biobrandstoffen kost tijd, naar verwachting zeker 10 tot 15 jaar. Ook is er concurrentie voor het gebruik van duurzame biomassa als grondstof in de industrie.

Het nieuwe regeerakkoord bevat een voornemen om de ontwikkeling en productie van synthetische kerosine in Nederland te stimuleren. De eerste kleinschalige (proef)productiefaciliteiten voor synthetische brandstoffen worden nu gebouwd. Grootschalige toepassing wordt pas verwacht na 2040. Synthetische brandstoffen, zoals synthetische kerosine en synthetische stookolie en methanol, zijn duurder dan biobrandstoffen. Dat komt mede doordat voor productie van synthetische brandstoffen relatief veel extra energie nodig is. Synthetische brandstoffen zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit voor de productie van waterstof en van CO₂ uit biomassa of uit de lucht. Om de totale hoeveelheid in Nederland geleverde bunkerbrandstoffen te vervangen door synthetische brandstoffen zou meer dan twee keer de maximaal mogelijke offshore wind productie in Nederland nodig zijn. Dit illustreert dat andere scenario's nodig zijn zoals grootschalige import van waterstof, gebruik van biobrandstoffen of import van bunkerbrandstoffen.

Nederlandse bedrijven kunnen een belangrijke rol spelen bij deze versnelling: de nodige kennis en kunde voor de ontwikkeling, bouw en productie van fabrieken voor hernieuwbare brandstoffen zijn hier aanwezig. Hooggekwalificeerde arbeidskrachten zijn beschikbaar bij Nederlandse olieraffinaderijen, waar het aantal arbeidsplaatsen door minder productie van fossiel zal afnemen. De gewenste versnelde opschaling van de productiecapaciteit voor hernieuwbare brandstoffen kan worden ondersteund door het hoge kennisniveau van Nederlandse kennisorganisaties en de uitstekende kennis en kunde van Nederlandse toeleveranciers.



Figuur 12 Biokerosine en synthetische kerosine

3. STIMULEER ALTERNATIEVEN VOOR VERRE REIZEN EN DE KEUZE VOOR REIZEN PER TREIN OP DE KORTE EN MIDDELLANGE AFSTAND

Zoals hierboven beschreven is het moeilijk en kostbaar om de emissies van de luchtvaart op korte termijn significant te verlagen. Het verminderen van vliegkilometers is daarom een belangrijke middel om deze emissies versneld omlaag te brengen. Hiervoor zijn twee elementen cruciaal: er moet een alternatief zijn en het moet (financieel) aantrekkelijk zijn om voor dat alternatief te kiezen.

Reizen is in de afgelopen decennia stevig toegenomen. Afremmen van de onstuimige groei helpt om de emissies te verlagen. Een alternatieven kunnen bijvoorbeeld zijn: virtueel vergaderen in plaats van zakelijk reizen of vakanties in Europa in plaats van verder weg.

Voor reizen in Europa over middellange afstanden biedt een goed netwerk van hogesnelheidstreinverbindingen zo'n alternatief aangevuld met een goed aanbod aan nachttreinen. Een brandstofheffing, waarmee de prijs van een vliegticket duurder wordt, of een gelijk speelveld voor accijns en btw voor de verschillende reisopties, kan de keuze tussen vliegtuig en trein of tussen een reis in Europa of verder weg beïnvloeden. De in het regeerakkoord opgenomen ambities voor verhogen de vliegticketbelasting, Europese samenwerking voor beprijzing van luchtvaart en verbetering van internationale treinverbindingen sluiten aan bij deze aanbeveling.

KENNISAGENDA










Om deze maatregelen te kunnen uitvoeren is extra kennis nodig. Hierbij gaat het onder meer om de volgende vragen:

- Hoeveel van de duurzame bunkerbrandstoffen zal in de komst in Nederland worden geproduceerd en hoeveel zal (moeten) worden geïmporteerd? Wat betekent deze ontwikkeling voor de vraag naar biograndstoffen en elektriciteit/waterstof en CO₂ (t.b.v. synthetische brandstoffen)?
- Hoe ontwikkelt de markt voor duurzame bunkerbrandstoffen? Welke soorten brandstof zullen worden gevraagd (drop-in fuels, bio-kerosine, synthetische brandstoffen, bio-LNG, methanol, ammoniak)? Hoe beïnvloedt de vraagstimulering de vraag naar deze brandstoffen en de marktprijzen?
- Wat is een realistisch tempo voor de ontwikkeling van de productietechnologie en opschaling van de productiecapaciteit?
- In hoeverre kan de vraag naar vliegtuigkilometers worden beïnvloed door het aantrekkelijk maken van alternatieven?

BRONNEN

- AdvanceFuel project (2021). *How can Europe develop a market for advanced renewable fuels?*
- CE Delft (2017). *Overheidsmaatregelen biokerosine – Mogelijkheden om de vraag naar biokerosine te stimuleren en de effecten op de luchtvaart en de economie, 2017.*
- CE Delft (2018). *Taxing aviation fuels in the EU, 2018.*
- Europese Commissie (2020). *Updated analysis of the non-CO₂ climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to EU Emissions Trading System Directive Article 30(4).* Van: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:7bc666c9-2d9c-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF
- Kooger, R, de Wilde, H.P.J. en Usmani, O. (2021). *Als vliegen de enige optie lijkt.* Energy.nl.
- TNO, Voltachem en Smartport (2020). *E-fuels: towards a more sustainable future for truck transport, shipping and aviation.* Van: <https://www.voltachem.com/publications/e-fuels-towards-a-more-sustainable-future-for-truck-transport-shipping-and-aviation>
- Uslu et al (2020). *Demand for Renewable Hydrocarbons in 2030 and 2050.* TNO.
- Waterborn consortium (2021). *Strategic Research and Innovation Agenda for the Partnership on Zero-Emission Waterborn Transport, 2021.*

7 CONSUMPTIE

	 Techniek	 Geld	 Acceptatie gedrag	 Arbeidsmarkt
 Consumptie				

Techniek: Om de consumptie van klimaatbelastende producten en diensten te verlagen is geen nieuwe technologie nodig.

Geld: Het verlagen van consumptie kan wel een significante economische impact hebben, waarbij ongewenste effecten op de werkgelegenheid en negatieve gevolgen voor kwetsbare groepen voorkomen moeten worden.

Acceptatie/gedrag: De belangrijkste uitdaging is acceptatie en gedrag. De keuzes en het gedrag van individuele Nederlanders dragen op allerlei manieren bij aan de klimaatcrisis. Het is echter zo dat het heel lastig is om minder te consumeren: mensen worden beperkt in hun handelen door hun fysieke en sociale omgeving. Om echt duurzaam te consumeren zullen ook overheden en bedrijven op consumptieverlaging gericht beleid moeten implementeren resp. accepteren en hun eigen gedrag moeten aanpassen. Zowel bedrijven als burgers oefenen invloed uit op overheidsbeleid, onder andere door middel van lobbyactiviteiten en maatschappelijke weerstand.

Arbeidsmarkt: Ook de arbeidsmarkt zal langzaam moeten veranderen naar een groter aandeel mensen dat werkt aan diensten gericht op hergebruik en het repareren van apparatuur. Hierbij kan het verlagen van belasting op arbeid en verhogen op consumptie helpen.

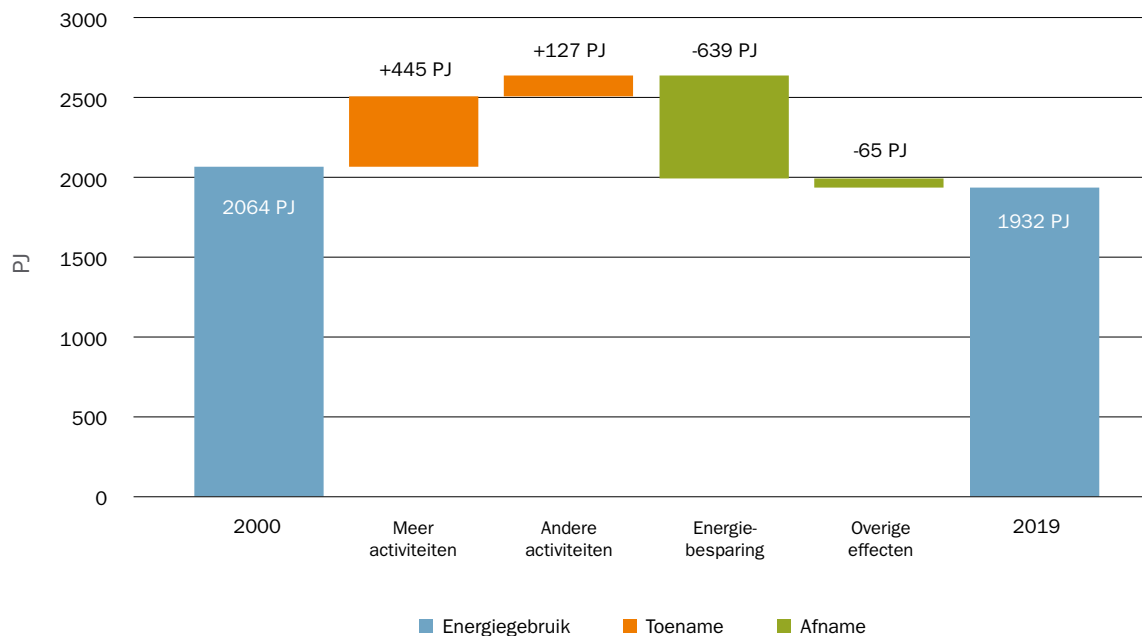
MINDER CONSUMPTIE VAN KLIMAATBELASTENDE PRODUCTEN EN DIENSTEN IS NOODZAKELIJK

Voor versnelling van de energietransitie is ook verlaging van de consumptie van klimaatbelastende producten en diensten noodzakelijk. De in de andere hoofdstukken beschreven maatregelen zijn gericht op het klimaatneutraal maken van producten en diensten in verschillende sectoren. Dat kan veel eenvoudiger worden gemaakt als de Nederlanders veel minder klimaatbelastende producten en diensten zouden gebruiken. Hierbij gaat het zeker niet alleen om het veranderen van het gedrag van consumenten, maar vooral om aanpassingen aan het maatschappelijk systeem waardoor het makkelijker wordt duurzaam te leven. Er zijn meerdere redenen waarom het verlagen van consumptie belangrijk is om de energietransitie te versnellen:

- Voor een aantal zeer CO₂-intensieve diensten en producten, zoals de lucht- en scheepvaart en plastics, is er op korte termijn geen duurzaam alternatief.
- Van een aantal CO₂-reductieoplossingen waar al decennia veel van verwacht wordt, komt de implementatie langzaam op gang of zijn er maatschappelijke bezwaren. Dat geldt bijvoorbeeld voor waterstof, CO₂-afvang en -opslag en biomassa.
- Zelfs zonder CO₂-emissies blijft het energiesysteem een groot effect hebben op onder andere ruimte, grondstoffengebruik, afval dat ergens opgeslagen moet worden (nucleair, CO₂) en biodiversiteit.

Er is een sterk verband met grondstoffentransitie en de circulaire economie. Ook daar wordt minder consumeren als een optie met hoge prioriteit gezien om het gebruik van grondstoffen te beperken: in de bekende 'R-ladder' van de circulaire economie zijn de hoogste twee sporten *refuse* (afzien van producten) en *rethink* (producten intensiever gebruiken).

Minder consumeren klinkt eenvoudig, maar ook als een onmogelijkheid: de consumptie van klimaatbelastende activiteiten als vliegen, autorijden en spullen kopen groeit alleen maar. De vraag is dus niet: kan het verlagen van consumptie bijdragen aan een versnelling van het verlagen van de CO₂-emissies? Maar vooral: hoe kunnen we het voor elkaar krijgen?



Bron: www.indicators.odyssee-mure.eu/decomposition.html

Figuur 13 De achterliggende oorzaken van de verandering van het energiegebruik door eindgebruikssectoren in Nederland tussen 2000 en 2019. 'Overige effecten' omvat gedragsverandering.

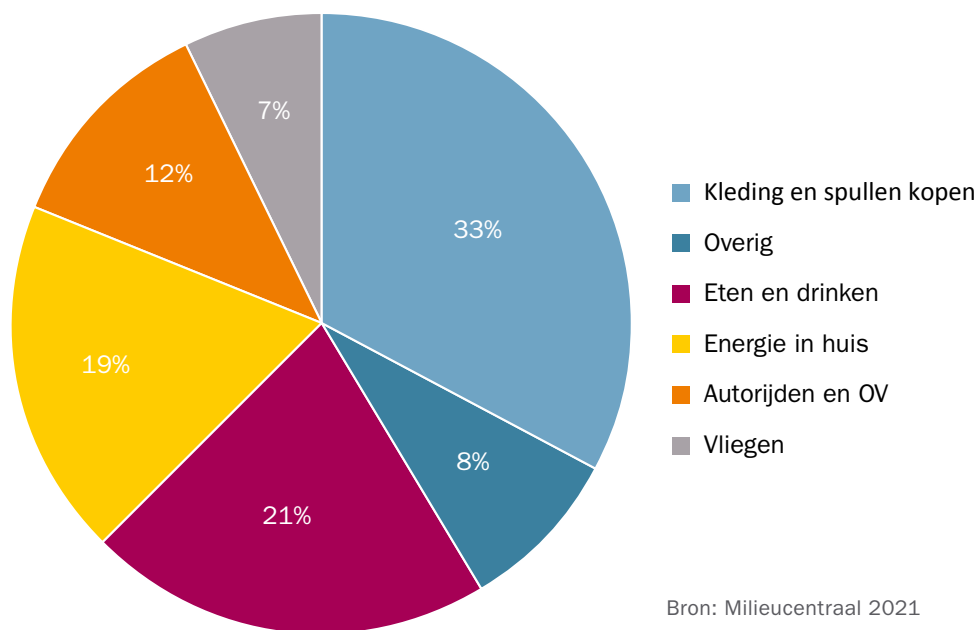
Verlaging van consumptie gaat verder dan alleen besparing, ofwel hetzelfde doen met minder energie en grondstoffen. Dat is ook belangrijk, maar leidt niet automatisch tot minder energiegebruik. Automotoren, bijvoorbeeld, zijn veel zuiniger geworden, maar auto's zijn ook groter en zwaarder geworden en het aantal autokilometers groeide ook. De CO₂-emissies van het wegverkeer zijn nu hoger dan ze in 1990 waren (KEV, 2020). Lampen zijn energiezuiniger geworden, maar er wordt (daardoor?) veel meer verlichting ingezet, waardoor het totale energiegebruik niet gedaald is. Figuur 13 laat zien dat er in de afgelopen twintig jaar veel energie bespaard is, maar dat dat bijna helemaal wordt gecompenseerd door een hogere consumptie.

Er is een beperkt aantal voorbeelden van pogingen om consumptiepatronen te veranderen. Er zijn bijvoorbeeld bepaalde klimaatbelastende producten verboden, zoals gloeilampen en gratis tasjes. Er zijn overheidscampagnes geweest en er zijn door maatschappelijke bewegingen begrippen geïntroduceerd als vliedschaamte. Er wordt via belastingen geprobeerd bepaalde vormen van consumptie af te remmen, zoals via heffingen op benzine. Ook is er een groep mensen die bewuster en minder consumeert en zijn de laatste jaren nieuwe diensten gericht op hergebruik opgezet, zoals kledingbibliotheken en repair-café's.

Toch heeft dit niet geleid tot een verlaging van de consumptie. Er is nog veel onbenut potentieel voor beleid en initiatieven gericht op verlaging van de consumptie van specifieke vervuilende producten of diensten. Kleine veranderingen zijn echter meestal niet blijvend. Ook wordt klimaatvriendelijk gedrag vaak gecompenseerd door minder klimaatvriendelijk gedrag elders ('ik ga niet op vliegvakantie, dus ik mag wel wat meer vlees eten'). Of het geld en de tijd die worden uitgespaard door iets niet te doen, worden besteed aan iets anders waar ook CO₂-emissies bij vrijkomen.

Bovendien is het streven naar groei en naar consumptie ingebakken in de maatschappij. Veel overheidsbeleid om uit de Covid-crisis te komen is bijvoorbeeld gericht op het aanjagen van de economie door het stimuleren van consumptie. Het is dus niet eenvoudig voor burgers om anders of minder te gaan consumeren. Beleid om consumptie te verlagen is niet populair bij politici en veel mensen zien het als een aantasting van de keuzevrijheid. Wetenschappers stellen dan ook dat er een systeemverandering nodig is om tot een structurele verlaging van CO₂-emissies te komen.

Welke drie maatregelen kunnen we nemen om bij te dragen aan de noodzakelijke systeemverandering?



Figuur 14 CO₂-uitstoot per gezin. Een Nederlandse huishouden (2,2 personen) stoot gemiddeld 20.000 kilo CO₂ uit per jaar. In de categorie overig valt bijvoorbeeld de bouw van huizen, wegen en vervoermiddelen.

1. IMPLEMENTEER EEN EERLIJK SYSTEEM OM CO₂-EMISSIONS MEE TE NEMEN IN DE PRIJZEN VAN PRODUCTEN EN DIENSTEN

Voor de industrie bestaat in Europa een systeem van verhandelbare CO₂-rechten, waarbij de totale hoeveelheid CO₂-rechten daalt met de tijd. Dit systeem geldt alleen voor de directe CO₂-emissies: dus wel voor de CO₂ die uit de schoorsteen van de raffinaderij komt, maar niet voor de CO₂ die vrijkomt bij het gebruik van de brandstoffen die die raffinaderij produceert.

Een dergelijk systeem zou ook kunnen werken bij consumenten: geef consumenten een bepaalde, elk jaar dalende, hoeveelheid CO₂-rechten die ze mogen uitstoten. Er blijkt wel draagvlak voor een dergelijk systeem te zijn, maar de uitvoerbaarheid is mogelijk een struikelblok. Een andere optie is om de koolstof in de producten, en CO₂ die vrij komt bij gebruik, ook onder een handelssysteem te brengen, zoals de EU heeft voorgesteld. In zo'n systeem moeten aanbieders van producten zoals benzine, kerosine, gas en plastics ook CO₂-rechten kopen. Dat verhoogt de prijzen

voor klimaatbelastende producten en zorgt voor een daling van de consumptie daarvan. Bij een dergelijk systeem is wel aanvullend beleid nodig, gericht op specifieke groepen. Zo is een grote groep mensen die in een slecht geïsoleerd huis wonen niet zelfstandig in staat is om hun huizen te verduurzamen, hetzij omdat ze in een huurhuis wonen hetzij omdat ze de verduurzaming niet kunnen betalen. Hogere gasprijzen leiden bij die huishoudens dus niet automatisch tot minder energiegebruik, maar kunnen wel energiearmoede veroorzaken. Aanvullend beleid is nodig om de verduurzaming van deze woningen met prioriteit en met een grotere bijdrage van de overheid aan te pakken. Aan de andere kant van het spectrum zullen de veelverbruikers van klimaatbelastende producten, ook wel de *pollutor elite* genoemd, zich niet laten tegenhouden door een wat hogere belasting op bijvoorbeeld kerosine. En dit is wel een belangrijke groep, want de top 10% rijkste mensen wereldwijd is verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de CO₂-emissies. Ook voor deze groep is specifiek beleid nodig, zoals bijvoorbeeld een progressieve belasting op energieconsumptie.

2. VERSTERK DE ROL VAN BURGERS BIJ HET KLIMAATBELEID OM ACCEPTATIE DOOR BURGERS VAN CONSUMPTIE VERMINDEREND BELEID TE VERGROTEN

Uit opinieonderzoek blijkt dat er onder Nederlanders veel steun is voor het nemen van maatregelen om klimaatverandering tegen te gaan. De groep klimaatontkenners is klein. Ook voor maatregelen om consumptie op klimaatbelastende activiteiten te beperken, zoals een vliegtaks of rekeningrijden, is er aanzienlijk draagvlak onder de bevolking. Er is echter ook verzet tegen dit soort maatregelen, onder andere van bedrijven die bang zijn voor negatieve gevolgen.

Uit onderzoek van TNO blijkt dat burgers klimaatmaatregelen eerder accepteren als ze overtuigd zijn van de effectiviteit en van de eerlijkheid van die maatregelen. Het is dus belangrijk rekening te houden met de effecten op verschillende groepen in de samenleving en om duidelijk te maken dat niet alleen burgers, maar ook bedrijven en overheid veel (moeten) doen om het klimaat te redden. Het directer betrekken van burgers bij het formuleren van het klimaatbeleid en bij de implementatie daarvan kan helpen om sneller tot effectief en breed gedragen beleid te komen. Burgerfora zijn een manier om dat concreet vorm te geven. Burgerfora – bijvoorbeeld samengesteld uit door loting aangewezen burgers – kunnen op landelijk, regionaal en lokaal niveau toegepast worden, als een aanvulling op de representatieve democratie. In een aantal gemeenten worden ze al toegepast en in Frankrijk heeft een nationale burgerconventie verregaande adviezen gedaan op het gebied van klimaatbeleid. Belangrijke succesfactoren zijn onder andere voldoende ondersteuning met kennis voor de deelnemers en vooral een goede koppeling tussen de uitkomsten van het forum en de besluitvorming in de politiek.

3. STIMULEER EEN SYSTEEMVERANDERING DOOR ANDERE NARRATIEVEN EN BIJBEHORENDE STUURPARAMETERS TE KIEZEN

Om echt een verandering op gang te brengen naar blijvend duurzame consumptie, zijn systeemveranderingen nodig: een verandering die niet iets aan de symptomen

doet, maar aan de oorzaak. Dat soort veranderingen zijn per definitie complex en langdurig, maar zeker niet onmogelijk. De invoering van de verzorgingsstaat in west Europa is een goed voorbeeld.

Een manier om bij te dragen aan systeemverandering is zorgen voor verhalen of narratieven die laten zien dat er alternatieven zijn voor het huidige politiek-economische systeem. Wetenschappers hebben bij uitstek de visie en de vrijheid om dat te doen. Een voorbeeld van een narratief binnen het huidige systeem is dat consumptie onmisbaar is voor economische groei. De economie moet blijven groeien om de werkgelegenheid en het welzijn van de burgers te garanderen. Er zijn alternatieve narratieven bedacht, zoals dat van de Doughnut Economics of het sufficiency principe, maar die zijn nog lang niet zo ver uitgewerkt dat die het oude narratief kunnen vervangen.

Een nieuw narratief dat wel al breder is doorgedrongen in de politiek is dat van de brede welvaart. De Verenigde Naties heeft bijvoorbeeld in 2016 zeventien Sustainable Development Goals (SDG's) geformuleerd, met naast economische groei ook doelen over onder andere gezondheid, onderwijs, verminderen van ongelijkheid en biodiversiteit. Op basis van de SDG's kunnen nieuwe stuurparameters worden ontwikkeld, die naast – of op termijn in plaats van – de groei van het bruto nationaal product kunnen worden gebruikt. Dit kan ervoor zorgen dat de maatschappij anders gaat denken over consumptie, wat het voor burgers makkelijker en aantrekkelijker maakt om een duurzaam consumptiepatroon aan te nemen. In Nederland werken verschillende planbureaus aan indicatoren voor brede welvaart, zoals gezondheid en natuurwaarde. In zo'n monitor brede welvaart wordt ook gekeken naar de verdeling van de welvaart binnen Nederland en tussen Nederland en andere landen.

KENNISAGENDA

- Kennis over de CO₂-footprint van verschillende activiteiten, hoe die effectief te communiceren en welke maatregelen bijdragen om die CO₂-footprint het snelst te verlagen.
- Kennis over de bijdrage van specifieke groepen (inkomen, locatie, achtergrond, etc.) in de samenleving aan CO₂-emissies en grondstoffengebruik. Kennis over welk specifiek beleid kan werken om bij verschillende groepen consumptie te verlagen.
- Kennis over hoe op een succesvolle manier burgers te betrekken bij klimaatbeleid. Aan welke voorwaarden moet beleid en technologie voldoen om omarmd te worden door gebruikers?
- Kennis over hoe maatschappelijke systemen in elkaar zitten, hoe geldstromen lopen, waar besluiten worden genomen. Onderzoek naar de impact van (nieuwe) economische modellen op CO₂-emissie, grondstoffengebruik en bredere verduurzaming van de samenleving.
- Ontwikkelen en meten van nieuwe indicatoren voor de vooruitgang van een samenleving en het toepassen van deze indicatoren in de ontwikkeling en evaluatie van nieuwe technologie en nieuwe beleidsmaatregelen.
- Veel van de genoemde kennisvragen rond consumptievermindering gelden voor zowel de energietransitie als de grondstoffentransitie, dus het is belangrijk om ze gezamenlijk op te pakken.

BRONNEN

- Adviescommissie Burgerbetrokkenheid bij klimaatbeleid (Commissie Brenninkmeijer) (2021). *Betrokken bij klimaat. Burgerfora aanbevolen*. 2021.
- Akenji et al. (2021). *1.5-Degree Lifestyles: Towards A Fair Consumption Space for All*. Berlin: Hot or Cool Institute, 2021.
- CBS (2021). *Monitor Brede Welvaart & de SDG's 2021*, 25 april 2021.
- Dreijerink, L. en M. Klösters (2021). Transitieteam Consumptiegoederen (2018). Transitieagenda circulaire economie: *Consumptiegoederen., Wat is het maatschappelijk draagvlak voor klimaatbeleid?* Onderzoek naar beleidsopties van de studiegroep Invulling klimaatopgave Green Deal, TNO 2021 P10473, 30 maart 2021.
- Gerdes, J. en J. Stam (2021). *Draagvlak voor leefstijlbeleid tegen klimaatverandering*. TNO-2021-M10799.
- Kramer, G-J. en H.C. de Coninck (2021). *Politici op tonnenjacht gaan het klimaat niet redden*. NRC, 25 september 2021.
- Mulder, P., F. Dalla Longa en K. Straver (2021). *De feiten over energiearmoede in Nederland. Inzicht op nationaal en lokaal niveau*. TNO 2021 P11678.
- Newell, P., Daley, F. en M. Twena (2021). *The Cambridge Sustainability Commission on Scaling Behaviour Change*.
- Nielsen, C. et al. (2021). The role of high-socioeconomic-status people in locking in or rapidly reducing energy-driven greenhouse gas emissions. *Nature Energy*, 6 1011–1016 (2021).
- Paradies, G. en R. van den Brink (2022). *Waarom iedereen een rol te spelen heeft om minder energie te gaan gebruiken*. TNO, nog te verschijnen.
- PBL (2019). *Circulaire economie in kaart*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, 2019.
- PBL (2020). *Klimaat- en Energieverkenning 2020 (KEV)*.
- Raworth, K. (2017). *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*.

DANK

Dank aan de volgende mensen voor de medewerking, input en feedback: André Faaij, Ellen Lastdrager, Frank Willems, Frits Verheij, Hans Quak, Hein de Wilde, Jos Sijm, Maarten Verbeek, Machteld de Kroon, Marinke Wijngaard, Martijn de Graaff, Omar Usmani, Pieter Imhof, Rob Cuelenaere, Sten de Wit, Stephan van Zyl, Ton de Jong, Xander Seykens.

Deze publicatie is een samenwerking van de TNO units Buildings, Infrastructure & Maritime, Circular Economy & Environment, Energy Transition, Strategic Analysis & Policy en Traffic & Transport.

› CONTACT

Katharina Andrès
DEPUTY RESEARCH MANAGER ENERGY TRANSITION STUDIES
katharina.andres@tno.nl

Martin Scheepers
SENIOR CONSULTANT ENERGY TRANSITION
martin.scheepers@tno.nl

Ruud van den Brink
PROGRAM MANAGER ENERGY TRANSITION
ruud.vandenbrink@tno.nl

Richard Smokers
PRINCIPAL CONSULTANT SUSTAINABLE TRANSPORT AND LOGISTICS
richard.smokers@tno.nl