



Nationaal plan energiesysteem



Inhoudsopgave

Verdiepingsdocument C - Transitiepaden gebruikssectoren	2	4.1. Huidige situatie	91
Inleiding en leeswijzer	2	4.2. Mogelijke transitieroutes naar een klimaatneutrale sector	94
1. Transitiepad gebouwde omgeving	3	4.3. Weging van opties en oplossingen	103
1.1. Afbakening sector gebouwde omgeving	3	4.4. Sturing op het transitiepad	107
1.2. Huidige situatie	4	4.5. Uitvoering geven aan het transitiepad	108
1.3. Mogelijke transitieroutes naar een klimaatneutrale sector	8		
1.4. Belangrijkste energie-oplossingen om in de vraag te voorzien	10		
1.5. Overwegingen vanuit het nationale energiesysteem	20		
1.6. Gewenste ontwikkelrichtingen voor de gebouwde omgeving	22		
2. Transitiepad mobiliteit	27		
2.1. Huidige situatie	27		
2.2. Transitie naar toekomstbestendige mobiliteit	32		
2.3. Conclusies transitiepad mobiliteit	50		
2.4. Uitvoeringsagenda mobiliteit en energiesysteem	51		
3. Transitiepad industrie	57		
3.1. Kenmerken Nederlandse industrie	58		
3.2. Doelstellingen verduurzaming industrie	60		
3.3. Beleidsinstrumenten verduurzaming industrie	62		
3.4. Sturing en creëren van randvoorwaarden en zicht op benodigde energiedragers	67		
3.5. Verduurzamingsopties industrie	73		
3.6. Bandbreedtes vraagontwikkeling bij verduurzaming industrie	84		
4. Transitiepad landbouw	91		

Inleiding en leeswijzer

Dit is verdiepingsdocument C van het Nationaal plan energiesysteem (NPE). Het bevat verdiepende analyse en onderbouwing bij de inhoud en keuzes in het hoofddocument van het NPE. Dit verdiepingsdocument bevat de transitiepaden van de eindgebruikerssectoren: gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie en landbouw.

Het hoofddocument en de vijf verdiepingsdocumenten vormen samen het NPE. In dit verdiepingsdocument staan vier sectorale transitiepaden beschreven die zijn opgesteld vanuit de volgende basisvraag: hoe ziet de overgang naar een klimaatneutrale sector eruit en welke wisselwerking met het energiesysteem volgt hieruit? Op deze brede, ingewikkelde vraag is niet één pasklaar antwoord te geven. De sectorale transitiepaden bevatten dan ook verkenningen van de route(s) naar een klimaatneutrale sector als toekomstbeeld en het bijbehorende energiegebruik. Ze maken keuzes en afwegingen zichtbaar, zowel voor de veranderingen in de sector als voor het energiegebruik en geven de gewenste ontwikkelrichting aan. Deze sectorale transitiepaden zijn niet 'af', en vormen geen blauwdruk. Ze bevatten volop inzichten in de benodigde veranderingen voor het energiegebruik, de tijdlijnen die daarbij horen en de onzekerheden en uitdagingen waarvan we ons rekenschap moeten geven, ook vanuit beleids oogpunt.

De inhoud van deze sectorale transitiepaden is als kabinetsvisie tot stand gekomen op basis van de departementale verantwoordelijkheden voor de sectoren: het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties voor de sector gebouwde omgeving, het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat voor de sector mobiliteit, het ministerie van Economische Zaken en Klimaat voor de sector industrie en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit voor de sector landbouw. Voor het opstellen is gebruik gemaakt

van vele gesprekken en sessies met deskundigen, belanghebbenden en maatschappelijke organisaties en van diverse ondersteunende studies en adviezen.

Toelichting bij gebruik van cijfers en aannames over beleid

Met dit Nationaal plan energiesysteem geeft het kabinet richting aan de ontwikkeling van het energiesysteem voor de lange termijn en de route ernaartoe. Om richting te kunnen geven is het belangrijk een vertrekpunt te hebben voor het optimaliseren van ontwikkelpaden en transitiepaden, ook kwantitatief. Tegelijkertijd is elk toekomstbeeld inherent onzeker en afhankelijk van tal van aannames. De gebruikte cijfers in dit NPE zijn bedoeld om een kwantitatief gevoel te geven van de ontwikkelingen in het energiesysteem die aansluiten bij de ontwerpprincipes en richtinggevende keuzes die het kabinet hanteert, gebaseerd op diverse scenariostudies en prognoses voor onderdelen van het energiesysteem. De gepresenteerde cijfers zijn dan ook indicatief en hebben tot doel om de richting aan te geven. Bij het samenstellen van de cijferbeelden is op onderdelen gebruik gemaakt van bestaande scenario's en rapporten, met name van de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050, en zijn op onderdelen kwantitatieve vertalingen gemaakt die passen bij de geschetste ontwikkelrichtingen. De verantwoording hiervoor is terug te vinden in de 'Toelichting op de cijferbasis'¹.

Bij het opstellen van dit NPE is ook de huidige stand van beleid als uitgangspunt genomen, inclusief beleidsdoelen voor komende jaren. Dit is een momentopname en zal, bijvoorbeeld met de komst van een nieuw kabinet, weer veranderen. De richting voor het energiesysteem zoals verwoord in de hoofdkeuzes en de ontwikkelpaden zullen vanuit de beleidscyclus na vijf jaar vernieuwd worden, met een update halverwege deze periode. De jaarlijkse energienota biedt de mogelijkheid om tussentijds bij te sturen op de richting uit dit NPE op grond van belangrijke tussentijdse ontwikkelingen.

¹ Toelichting cijferbasis concept NPE, kamerstuk nr. 2023D38579

1. Transitiepad gebouwde omgeving

Dit hoofdstuk beschrijft het transitiepad voor de gebouwde omgeving. Het bevat een beschrijving van het huidige energiegebruik en het huidige energiebeleid voor de doelen richting 2030, en daarnaast een viertal scenario's voor de mogelijke ontwikkeling richting 2050. De scenario's gaan uit van de Standaard voor Woningisolatie en de renovatiestandaard voor overige gebouwen, en vervolgens een invulling van de resterende warmtevraag met een verschillende mix aan technieken (volledig elektrische en hybride warmtepompen en verschillende typen warmtenetten (zeer lage-, lage- en middentemperatuur)). Vervolgens volgen vanuit het nationale energiesysteem enkele overwegingen. Op basis hiervan zijn een aantal vraagstukken en robuuste ontwikkelrichtingen voor de gebouwde omgeving geïdentificeerd en geformuleerd.

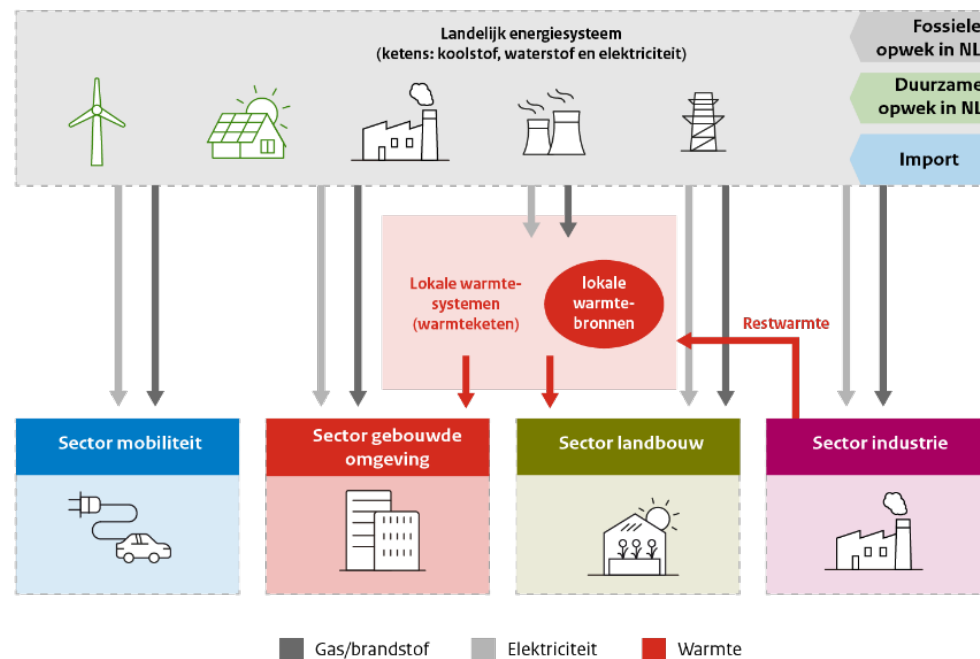
1.1. Afbakening sector gebouwde omgeving

Relatie met andere sectoren en ketens

De sector gebouwde omgeving (GO) betreft het energiegebruik in gebouwen, met de focus op de invulling van de warmte- (inclusief warmte voor tapwater) en koudebehoefte van gebouwen richting 2050. Deze wordt in de doorgerekende scenario's vrijwel volledig ingevuld met volledig elektrische warmtepompen, hybride warmtepompen en warmtenetten. Hiernaast is er nog een elektriciteitsvraag voor apparaten (verwarmen, koelen of ventileren uitgezonderd) en verlichting. De finale energie die voor deze behoeftes bij de voordeur wordt geleverd omvat daarmee (duurzaam) gas, elektriciteit of warmte.

De benodigde finale energie wordt geleverd vanuit de energieketens zoals beschreven in dit NPE: groen gas (in de koolstofketen), groene waterstof, elektriciteit en warmte. Omdat warmte vaak lokale systemen betreft, is de relatie tussen de gebouwde omgeving en de warmteketen het meest direct. De samenhang wordt in beide onderdelen van dit NPE (GO en warmteketen) toegelicht. De samenhang tussen de sectoren en de ketens is in Figuur 1 weergegeven.

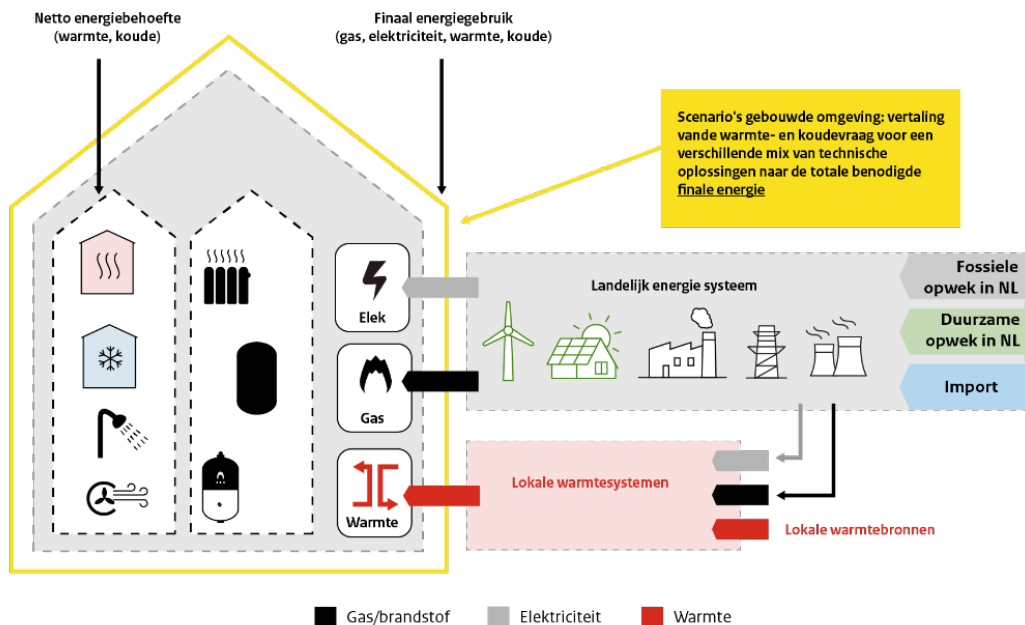
² Lokale opwek (zon op dak) is niet meegenomen. Lokaal gebruik van omgevingswarmte voor warmtepompen wordt wel berekend, afhankelijk van het aantal warmtepompen met individuele bron.



Figuur 1. Schematische weergave van de relatie tussen de sectoren en de energieketens.

Welk energiegebruik is meegenomen in de GO-scenario's?

De scenario's voor GO kijken naar het finale energiegebruik van woningen en gebouwen, zie Figuur 2. Voor het transitiepad voor de GO zijn verschillende scenario's doorgerekend, die leiden tot verschillende benodigde hoeveelheden finale energie per drager.²



Figuur 2. Schematische weergave warmte- en koudevraag.

- Voor verwarmen (ruimteverwarming en tapwater) zijn verschillende scenario's doorgerekend, met elk een verschillende mix van aantallen all-electric-warmtepompen, hybride warmtepompen met duurzaam gas en verschillende soorten warmtenetten. Voor deze scenario's is een inschatting gemaakt van benodigde energiedragers: (duurzaam) gas, elektriciteit en warmte.
- Voor de koelbehoefte zijn indicatieve aannames gedaan over de hoeveelheid benodigde koeling en de invulling met o.a. airco's, omkeerbare warmtepompen en zeer lage temperatuur warmte- en koudnetten. Deze zijn in alle scenario's bijna gelijk. Een aparte analyse is gedaan van de impact van een grotere koelbehoefte en verschillende technieken.
- Het elektriciteitsgebruik voor verlichting en apparaten anders dan voor verwarmen en koelen is ingeschat op basis van de raming van de KEV voor 2025 en 2030. De

³ CBS. Voorraad woning; eigendom, type verhuurder, bewoning.

doelstellingen voor het verminderen van dit elektriciteitsgebruik liggen buiten het beleidsgebied van de GO en er zijn geen verdere scenario's voor de ontwikkeling van deze elektriciteitsbehoefte meegenomen. Dit betekent indirect dat de groei van het aantal apparaten gecompenseerd wordt door steeds efficiëntere apparaten. Let op: de groei aan elektriciteitsvraag ten behoeve van verwarmen en koelen is dus wél meegenomen in de scenario's.

1.2. Huidige situatie

Beschrijving gebouwvoorraad en relevante sectoren

Sectoren

De gebouwde omgeving maakt onderscheid tussen de volgende sectoren.

- Gebouwen t.b.v. huishoudens ('woningen'): koop, corporatie, overige verhuurders.
- Gebouwen t.b.v. diensten ('utiliteitsbouw'): bedrijfsmatig vastgoed (kantoren, winkels, logistiek) en maatschappelijk vastgoed (onderwijsgebouwen, zorggebouwen, sportaccommodaties en gebouwen voor de overheid)

Voor het energiesysteem lijkt het maken van een onderscheid tussen woningen (koop en huur) en diensten relevant, vanwege de verschillende gebruiksprofielen (zoals bijvoorbeeld meer koeling bij diensten dan bij woningen) en piekvragen op andere momenten.

Kwantitatieve gegevens per sector

Er zijn in Nederland ruim 8 miljoen woningen (waarvan bijna 1,5 miljoen vooroorlogs): circa 4,6 miljoen koopwoningen, ongeveer 2,3 miljoen corporatiewoningen en zo'n 1,1 miljoen huurwoningen van overige verhuurders.³ Hiervan zijn er ongeveer 7,5 miljoen bewoonde woningen.

Van de koopwoningen zijn ongeveer 750.000 appartementen in een Vereniging van Eigenaren (VvE) ondergebracht. Bijna 90% van de koopwoningen heeft inmiddels dubbel glas, bij 80% zijn gevel en dak geïsoleerd en bij 70% is de vloer geïsoleerd. Er is dus al veel verduurzaamd, maar circa 1,5 miljoen woningen hadden in 2021 nog een laag energielabel (E, F of G).

De ongeveer 1 miljoen utiliteitsgebouwen gebruiken circa een derde van het aardgas in de gebouwde omgeving. De grootste categorieën zijn bedrijfshallen, kantoren, winkels en onderwijsgebouwen. Veel bedrijven en instellingen zijn volgens de energiebesparingsplicht eraan gebonden om alle energiebesparende maatregelen uit te voeren die een terugverdientijd van vijf jaar of minder hebben; deze verplichting gaat naar zeven jaar.⁴ Dit gaat onder andere om gebouw gerelateerde maatregelen, zoals spouwmuurisolatie, efficiënte installaties en daglichtregelingen. Een kwart van het oppervlak (ruim 100 miljoen vierkante meter) van de utiliteitsbouw is maatschappelijk vastgoed: gebouwen van het Rijk en decentrale overheden, onderwijsgebouwen, sportaccommodaties en zorggebouwen. Kantoren moeten per 2023 aan de minimale eis van energielabel C voldoen⁵. En voor ander gebouwfuncties in de utiliteitsbouw zullen er ook minimale energieprestatie-eisen komen. Daarnaast zijn er zo'n 100.000 woningen en gebouwen met een monumentale status, die vaak een maatwerk aanpak nodig hebben.

De KEV maakt alleen een onderscheid tussen 'wonen/huishoudens' en 'diensten'. Deze differentiatie wordt ook aangehouden voor de NPE-scenario's.

Visualisatie van huidig eindverbruik in deelsectoren

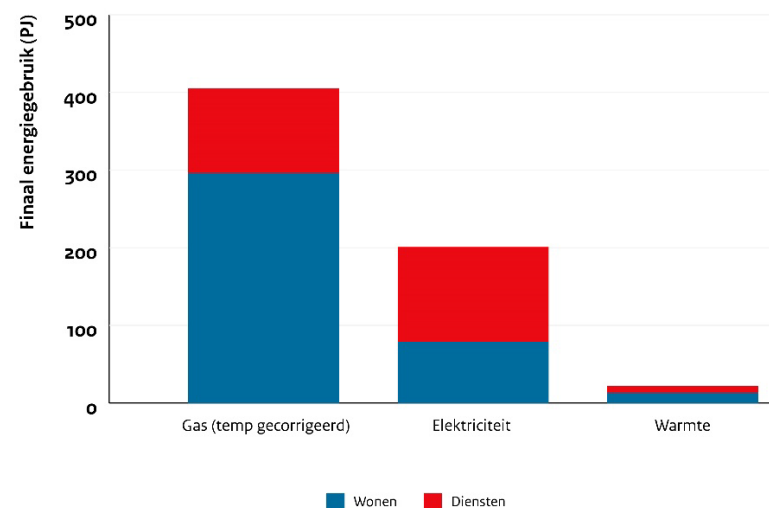
Het finale energiegebruik van de gebouwde omgeving voor 2021 is weergegeven in Figuur 3. Ook het op temperatuur gecorrigeerde gasverbruik is weergegeven. Hiermee wordt rekening gehouden met afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde jaartemperatuur. Het elektriciteitsgebruik in de figuur betreft het totale elektriciteitsgebruik in gebouwen, inclusief het elektriciteitsgebruik voor apparaten en inclusief de gebruikte elektriciteit uit eigen opwek.⁶

In oktober 2023 is de KEV 2023 uitgekomen. Hieruit blijkt dat het temperatuur-gecorrigeerde gasgebruik in de gebouwde omgeving in 2022 met ca 15% is gedaald ten opzichte van 2021, met name door een reductie van het gebruik bij huishoudens. Het grootste deel van deze reductie komt door ander stookgedrag (ca 13 procentpunt), o.a. door de stijgende gasprijzen

⁴ Kamerbrief over voorjaarsbesluitvorming Klimaat | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

⁵ RVO rapporteert iedere 3 maanden over de voortgang hierover, via <https://www.rvo.nl/energielabelckantoren>

en de oorlog in Oekraïne. In hoeverre deze reductie door stookgedrag blijvend is, is nog niet te zeggen; de KEV gaat uit van een reductie van (stook)gedrag van 5% (bandbreedte 0-10%).



Figuur 3. Finaal energiegebruik gebouwde omgeving 2021, PJ/jaar. Bron: KEV 2022.

Beknpte kwalitatieve karakterisering van interactie tussen energiesysteem en energiegebruik door de sector

Voor de invulling van het energiegebruik in gebouwen in 2050 is naar verwachting zowel elektriciteit en warmte als nog een beperkte hoeveelheid duurzaam gas nodig. Dit betekent dat alle ketens relevant zijn voor de gebouwde omgeving. De afweging tussen welk aardgasvrije alternatief voor verwarmen het meest aantrekkelijk is voor een gebouw of een wijk, hangt van meerdere aspecten af: de kosten, het ruimtebeslag in de gebouwen en in de wijk, overige impact op de leefomgeving zoals beeld en geluid, de benodigde werkzaamheden en overige aspecten bij bijdragen aan het draagvlak van bewoners en gebouweigenaren. Uitgangspunt is natuurlijk dat het alternatief aardgasvrij en duurzaam is, hoewel hier soms nog expliciete criteria voor worden afgewogen. De kosten hangen sterk samen met de prijs van de benodigde energiedrager. Ook spelen de kosten voor de benodigde aanpassingen (isolatie, aanleg warmtenet en dergelijke) een rol en is het

⁶ KEV 2022, tabellen 30 en 31

afhankelijk van het woningtype (een warmtepomp is niet voor elk gebouw geschikt). Een beter beeld over de te verwachten beschikbaarheid en prijs van energiedragers is dus nodig om in de GO toekomstbestendige keuzes te kunnen maken. Wat prijzen en kosten betreft is er een onderscheid tussen nationale kosten (bijvoorbeeld zoals berekend in de startanalyse) en eindgebruikerskosten; de laagste nationale kosten vallen niet altijd samen met de laagste eindgebruikerskosten, vanwege subsidies, energiebelasting en andere manieren van afrekenen.

Ook de lokale beschikbaarheid van warmtebronnen speelt een rol bij de keuze. Bij de afweging tussen technische oplossingen voor een wijk speelt de beschikbaarheid en aantrekkelijkheid van lokale warmtebronnen dus een extra rol. Daarnaast zijn er verschillende typen warmtenetten te onderscheiden, die ook weer van invloed zijn op welke maatregelen in de woning en in de gebouwen nodig zijn. Bijvoorbeeld: bij een laagtemperatuurwarmtenet (aanvoertemperatuur tussen 35° en 55°) of all-electric-warmtepomp is voldoende isolatie nodig omdat het systeem met lage temperatuur werkt in het afgiftesysteem (<50° in radiatoren, wand- of vloerverwarming). Vaak is ook een voorziening voor het legionellaveilig bereiden van tapwater nodig. De relatie tussen warmteketen en gebouwde omgeving is dus extra groot; welke oplossing waar kan, hangt sterk samen met de beschikbare warmtebronnen, en met de warmtevraagdichtheid van een gebied, wijk of bedrijventerrein.

Huidige beleidsdoelen en beleidsinzet voor de transitie naar klimaatneutraal

Relevante beleidsdoelen, Europees en nationaal, voor 2030, 2040 en 2050

De Europese klimaatambities zijn neergelegd in de Europese Klimaatwet: 55% emissiereductie in 2030, op weg naar klimaatneutraliteit in 2050. De Europese Commissie heeft deze ambities sinds de zomer van 2021 in werking gezet via een aantal voorstellen die samen het ‘fit-for-55’-pakket vormen. Een aantal van de voorgestelde maatregelen uit het pakket richt zich ook op het realiseren van emissiereductie in de gebouwde omgeving. Voor de EED (Energy Efficiency Directive) en de RED (Renewable Energy Directive) staat de inhoud definitief vast, voor de nieuwe EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) geldt dat de

trilogie hierover in het najaar van 2023 starten. Het gaat onder andere over de volgende maatregelen.⁷

- Introductie van een emissiehandelssysteem voor onder andere de gebouwde omgeving vanaf 2027⁸.
- Verhoging van de ambitie voor energie-efficiency en hernieuwbare energie. Zo worden lidstaten verplicht jaarlijks het energiegebruik van publieke instellingen met 1,9% te verminderen en 3% van het gebouwoppervlak van publieke instellingen te renoveren tot Bijna Energieneutraal Gebouw (BENG). Ook worden duurzaamheidscriteria gesteld aan efficiënte warmtenetten.
- Voor EPBD is een voorstel nog in onderhandeling, namelijk het versnellen van het renovatietempo en het uitfasen van slechte energielabels. Het EPBD-voorstel geeft lidstaten ruimte om fossiele brandstofinstallaties in gebouwen uit te faseren via normering. De Commissie stelt een inspanningsverplichting voor om per 2040 fossiele brandstoffen volledig uit te faseren bij het verwarmen en koelen van gebouwen. Voor utiliteitsgebouwen en gebouwen van publieke instellingen wil de Commissie dat de 15% gebouwen met de slechtste energieprestatie voor 2027 zijn verduurzaamd, gevolgd door een volgend deel van deze voorraad gebouwen voor 2030. Voor woningen is het voorstel dat in 2030 de 15% woningen met de slechtste energieprestatie moeten zijn verduurzaamd, en een opvolgend deel van de voorraad voor 2033. Voor nieuwe gebouwen stelt de Commissie voor dat deze vanaf 2030 volledig emissievrij moeten zijn, inclusief eisen voor ventilatie, brandveiligheid, toegankelijkheid en circulair materiaalgebruik.

Zeer beknopte beschrijving van de nationale beleidsinzet voor de doelen van 2030

De doelen voor de gebouwde omgeving zijn opgenomen in het beleidsprogramma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving (PVGO)⁹ en het beleidsprogramma klimaat en energie (zie ook de bijbehorende lijst met maatregelen in de achtergrondrapportage van de KEV 2022). De indicatieve doelstelling vanuit het coalitieakkoord was een restemissie van 10 Mton¹⁰. Om dit te halen zijn de volgende doelen geformuleerd:

⁷ <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-78f5a80cc740796103c6f13065169c2570638df8/pdf>

⁸ Brief over klimaatpakket van 26 april

⁹ Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving | Rapport | Rijksoverheid.nl

¹⁰ Kamerbrief over uitwerking coalitieakkoord onderdeel Klimaat en Energie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

- 2,5 miljoen woningen isoleren richting de standaard voor woningisolatie¹¹, waarvan 1,5 miljoen koop- en 1 miljoen huurwoningen.
- 1 miljoen hybride warmtepompen.
- 0,5 miljoen nieuwe aansluitingen van bestaande woningen of utiliteitsgebouwen aan een warmtenet.
- 120.000 utiliteitsgebouwen verduurzaamd.
- 1,5 miljoen woningen aardgasvrij of vergaand verduurzaamd binnen de wijkaanpak, onder regie van de gemeenten. (Dit overlapt dus deels met bovengenoemde aantallen)
- 1,6 miljard m³ groen gas bijmengen.

Naar aanleiding van het IBO Klimaat is bij de voorjaarsbesluitvorming de doelstelling voor de gebouwde omgeving bijgesteld naar 13,2 Mton restemissie in 2030¹². Groen gas wordt volgens de KEV niet toegerekend aan de gebouwde omgeving maar verdeeld over alle sectoren naar rato van het gasgebruik; de doelstelling van 13,2 Mton restemissie moet dan ook gehaald worden zonder toerekening van groen gas.

Dit krijgt vorm via een 5-tal programmalijnen en aanvullende nationale programma's.

- Programmalijn 1: Gebiedsgerichte aanpak.
- Programmalijn 2: Individuele aanpak.
- Programmalijn 3: Maatschappelijk Vastgoed en commerciële utiliteitsgebouwen.
- Programmalijn 4: Duurzame bronnen en infrastructuur.
- Programmalijn 5: Innovatief en Duurzaam Bouwen.
- Aanvullende programma's die over de programmalijnen heen lopen:
 - Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW) voor de ondersteuning van gemeenten.
 - Nationaal Isolatieprogramma.
 - Programma hybride warmtepompen.

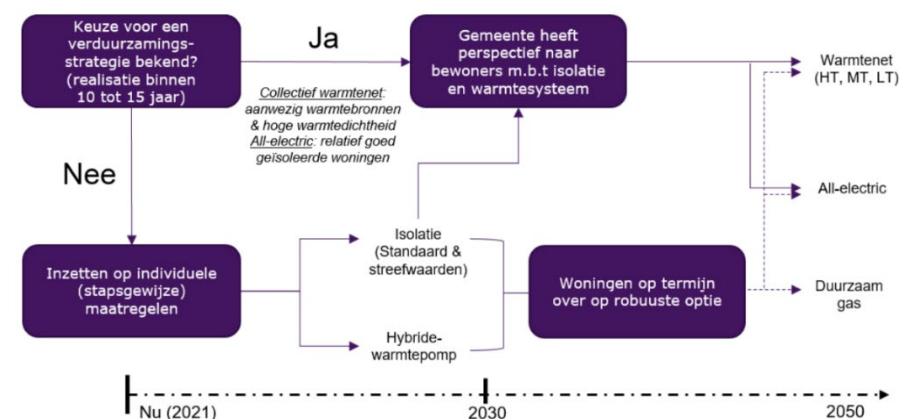
Sinds de start van het Programma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving (PVGO) zijn al stappen in gang gezet, zoals kort beschreven in paragraaf 1.3.

¹¹ Kamerbrief standaard voor woningisolatie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

¹² Voorjaarsbesluitvorming-klimaat.pdf

Handelingsperspectief voor de transitie

Zoals hierboven beschreven zijn er verschillende programma's en routes voor het bereiken van de doelen voor 2030. Een onderscheid is te maken tussen een collectieve (wijk)aanpak en een individuele aanpak, en tussen een aanpak direct naar aardgasvrij en een stapsgewijze aanpak. Al deze routes zijn nodig om de doelen richting 2030 te halen. De samenhang tussen de collectieve aanpak en de individuele (soms stapsgewijze) aanpak is weergegeven in Figuur 4 uit de kamerbrief over de visie op het warmtesysteem¹³, en verder uitgewerkt in het hierboven beschreven PVGO.



Figuur 4. Schematische weergave handelingsperspectief voor gemeenten.

Voor de (wijkgerichte) collectieve aanpak ligt de regie bij de gemeente. Hierbij kunnen zij samenwerken met andere stakeholders, waaronder ook bijvoorbeeld bewonersinitiatieven, lokale energiecoöperaties of andere energiegemeenschappen. Gemeenten hebben in 2022 hun transitievisies warmte vastgesteld. Hierin gaven ze aan welke wijken tot en met 2030 gepland staan voor een collectieve aanpak, en welk warmte-alternatief gekozen is of welke opties worden onderzocht. In deze transitievisies zijn twee soorten aanpak opgenomen: aardgasvrij en aardgasvrij-ready. Uit de analyse van de TVW's door PBL¹⁴ blijkt dat voor ongeveer 0,5 miljoen woningequivalenten een keuze is gemaakt voor één techniek, waarbij

¹³ Kamerbrief visie transitie warmtesysteem | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

¹⁴ Overzicht transitievisies warmte | PBL Planbureau voor de Leefomgeving

de keuze voor een warmtenet dominant is. Voor veel wijken worden nog meerdere opties mogelijk geacht. Gezien de significante opgave die de gebouwde omgeving heeft, is het van belang om ook in wijken waarvoor de gemeente tot 2030 nog geen robuuste verduurzamingsoptie heeft geïdentificeerd aan de slag te gaan met individuele en stapsgewijze maatregelen. Een stapsgewijze aanpak betekent dat maatregelen op natuurlijke momenten worden genomen. Dit kan met name door isolatiemaatregelen te treffen of door het vervangen van een oude ketel door een hybride warmtepomp. In de kamerbrief over de visie op het warmtesysteem wordt het handelingsperspectief voor gemeenten geschetst met daarin zowel het eindbeeld als de stapsgewijze aanpak, zie Figuur 4. Ook worden met de Handreiking Betaalbaarheid handvatten geboden waarmee gemeenten keuzes over de kosten en baten van verduurzaming kunnen overwegen en communiceren aan de inwoners van de wijk.

Wat isolatie betreft, is in 2021 de ‘Standaard voor woningisolatie vastgesteld’. Deze standaard – die uitgaat van een maximale warmtevraag voor een woning - geeft aan wanneer de woning goed genoeg is geïsoleerd om aardgasvrij te kunnen worden en is daarmee een belangrijk uitgangspunt voor de verduurzaming van alle woningen richting 2050¹⁵. De vervanging van een ketel door (ten minste) een hybride warmtepomp is verder beschreven in de kamerbrief over de uitwerking van de normering verwarmingsinstallaties¹⁶.

1.3. Mogelijke transitieroutes naar een klimaatneutrale sector

Belangrijkste trends en onzekerheden binnen de sector

De belangrijkste trends en onzekerheden binnen de sector, los van de veranderingen in het Nederlandse energiesysteem, zijn als volgt.

- Het aantal bewoonde woningen zal naar verwachting in 2050 rond de 9 miljoen liggen. Mogelijk is de huishoudensgrootte per woning iets lager dan nu (nu circa 2,1 personen per huishouden).
- Nieuwbouw wordt niet meer aangesloten op (aard)gas, maar wordt voorzien van een warmtepomp of een warmtenet aansluiting. Volgens de KEV-raming voor 2030 wordt

ongeveer 70% van de nieuwbouw aangesloten op een All-electric warmtepomp en 30% op een warmtenet. Deze verhouding is ook gehanteerd voor de nieuwbouw t/m 2050. Daarnaast gelden voor nieuwbouw steeds strengere eisen voor zowel de energieprestatie als de materiaalprestatie.

- Zowel bij nieuwbouw als bestaande bouw is een grote groei in het aantal zonnepanelen te zien en nog verder te verwachten. Dit is geen onderdeel van de finale energievraag van de sector, maar wordt verder besproken in de elektriciteitsketen. Wel kan bij het slim sturen van bijvoorbeeld warmtepompen natuurlijk integraal gekeken worden naar alle elektriciteitsgebruik en -opwek in en om het gebouw.
- Innovatie is belangrijk voor de benodigde kostendaling en de maatschappelijke acceptatie van isolatiemaatregelen en duurzame warmteoplossingen. Zo liggen er bijvoorbeeld uitdagingen om warmtepompen goedkoper, slimmer, stiller, kleiner en meer circulair te maken.
- Ook de klimaat- en milieu-impact van het materiaalgebruik van energieoplossingen is een onderwerp dat steeds meer aandacht krijgt. Zo worden er op dit moment al eisen gesteld aan de milieuprestatie van gebouwen via de milieuprestatie-eis gebouwen (MPG). Per 1 juli 2021 is de milieuprestatie-eis voor nieuwe woningen aangescherpt van 1,0 naar 0,8 (voor kantoren naar 1,0; het voornemen van de minister van BZK in de Kamerbrief van 4 oktober 2023 is om de eis per 1 januari 2025 voor nieuwe woningen verder aan te scherpen naar 0,5 en voor nieuwe kantoren naar 0,85. Een ander voorbeeld waaruit de groeiende aandacht voor klimaat- en milieu-impact van oplossingen blijkt, is het feit dat recent in de EU overeenstemming is bereikt over het uitfasen van F-gassen¹⁷ in airco's, andere koelsystemen en warmtepompen. Deze gassen moeten worden vervangen door natuurlijke koudemiddelen die een zeer gering broeikaseffect hebben.

Opties om de energievraag in een gebouw te beperken

Energiebesparing draagt bij aan een lagere energierekening en het verminderen van de CO₂-uitstoot. Energie die we niet gebruiken, hoeven we ook niet op te wekken, te importeren of

¹⁵ Standaard voor woningisolatie | Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl

¹⁶ Kamerbrief over reikwijdte normering verwarmingsinstallaties | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

¹⁷ F-gassen is de verzamelnaam voor fluorkoolwaterstoffen (HFK's), perfluorkoolstoffen (PFK's) en zwavelhexafluoride (SF6). Het broeikaseffect van deze gassen is honderden tot duizenden keren krachtiger dan CO₂.

te betalen. Minder energiegebruik helpt bovendien een zo efficiënt mogelijk energiesysteem neer te zetten.

Vraagbeperking bestaat uit drie opties.

- Energiezuinig gedrag en goed ingeregelde installaties.
- Beperken van de netto warmtebehoefte door isolatie en verbeterde ventilatiesystemen.
- Beperken van de finale energiebehoefte, door toepassing van energie-efficiëntere klimaatsystemen en verlichting.

Over energiezuinig gedrag en goed ingeregelde installaties.

- In deze categorie vallen besparingen waarvoor geen grote fysieke maatregelen nodig zijn. Er kan namelijk al worden bespaard door gedrag en het goed inregelen van de bestaande installatie. Inzicht in de positieve effecten van energiezuinig gedrag en goed ingeregelde installaties is van belang. Daarbij helpen slimme energie management systemen en prikkels die dergelijk gedrag belonen (prijsprikkel, lagere CO₂-uitstoot, etc.).
- Door de thermostaat lager te zetten en ruimtes waar je niet bent niet te verwarmen, kan de warmtevraag en daarmee ook het energiegebruik sterk dalen. Dit leidt ook tot lagere energiekosten en grotere weerbaarheid tegen hogere energieprijzen. Uit CBS-metingen blijkt dat het temperatuurgecorrigeerde gasgebruik in 2022 circa 15% lager was dan in 2021. Het grootste deel hiervan komt waarschijnlijk door zuinig stookgedrag. De vraag is wel hoe deze gedragseffecten – gedreven door zeer hoge energieprijzen – de komende jaren structureel gemaakt kunnen worden waar dit niet gepaard gaat met energiearmoede. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) gaat in de KEV 2022 én 2023 uit van een structureel effect door gedrag tussen 0 en 10%.

Over energiezuinige gebouwen.

- Een gebouw dat beter is geïsoleerd, een efficiënt ventilatiesysteem heeft en een goede kierdichting, heeft minder warmte nodig dan een woning die dat niet heeft. Voor nieuwbouw en renovatie gelden er dan ook eisen aan de schilisolatie, installatie en het aandeel hernieuwbaar.

- Voor bestaande woningen is in 2021 de Standaard voor woningisolatie vastgesteld¹⁸, die aangeeft wanneer een woning goed geïsoleerd is en hoeveel warmte dan nog nodig is om de woning te verwarmen, uitgedrukt in kWh/m² per jaar. Het is daarmee een waarde voor de energiezuinigheid van de woning (gebouwschil en ventilatiesysteem), onafhankelijk van de gekozen verwarmingsinstallatie. Wel maakt de Standaard onderscheid tussen voor- en naoorlogse woningen. Voor vooroorlogse woningen betekent de Standaard dat deze voldoende geïsoleerd zijn om te kunnen worden verwarmd met temperaturen vanaf 70° ('MT-geschikt'), voor naoorlogse woningen zijn dat temperaturen vanaf 50°.
- Het geschikt maken van gebouwen voor verwarmen met lagere temperaturen is een voorwaarde voor energievoorziening die een lage temperatuur levert. Dit maakt efficiëntere systemen mogelijk. Isoleren is daarom altijd wenselijk en leidt tot een directe besparing én tot een potentiële additionele besparing, omdat het in veel gevallen een voorwaarde is voor een efficiënte invulling van de resterende warmtevraag.
- De Renovatiestandaard, als tijdelijke invulling tot 2030 van de eindnorm utiliteitsbouw 2050, biedt de gebouweigenaar het handelingsperspectief, maar is techniekneutraal. Het beperken van de energiebehoefte is daarbij vereist om energielabel A++ of A+++ (afhankelijk van de gebouwfunctie) te kunnen behalen.

Over het beperken van de finale energiebehoefte, door toepassing van energie-efficiëntere systemen.

- Een energie-efficiënt energiesysteem betekent dat er bij het omzetten, opslaan en verplaatsen van energie weinig energie verloren gaat.
- Vaak kunnen systemen efficiënter werken als er lagere temperaturen kunnen worden geleverd. Warmtenetten hebben bijvoorbeeld minder verliezen op lagere temperaturen, en warmtepompen hebben een hogere COP (=minder elektriciteitsgebruik) als ze slechts lagere temperaturen hoeven te produceren. Qua energie-efficiëntie zijn systemen die lage temperatuur leveren vaak efficiënter dan systemen die hoge temperatuur leveren.
- Wel moeten – naast vanzelfsprekend de niet-technische overwegingen - ook de overige technische eigenschappen en het materiaalgebruik van systemen worden meegenomen in de keuze voor de meest duurzame/circulaire oplossing. Verder is het natuurlijk zo dat indien hogetemperatuurwarmte beschikbaar is en anders niet wordt gebruikt, het

¹⁸ Zie voetnoot 6.

uiteraard gas en elektriciteit bespaart om deze wel op het beschikbare temperatuurniveau te benutten.

In het PVGO is de energiebespaarschijf opgenomen om deze verschillende mogelijkheden te laten zien, zie Figuur 5.



Figuur 5. De energiebespaarschijf.

Relatieve besparing versus absolute besparing

Door gedrag, isolatie en efficiëntie daalt de energievraag per woning of gebouw, maar door de groei van de woningvoorraad is de totale reductie van de warmtevraag kleiner.

Beperken van de koelvraag

De hierboven genoemde beschrijvingen gaan in op het beperken van het energiegebruik voor verwarmen. Door de steeds warmere periodes ontstaat er in sommige gevallen echter ook een koelbehoefte. Voor koeling is de volgorde van de stappen vergelijkbaar maar toch vaak nog anders dan voor verwarmen, omdat veel woningen en gebouwen nog geen koeling hebben. Voor koeling kan de ladder voor koeling worden gebruikt:

1. Zorg voor een verkoelende omgeving (bijv. met bomen of groen dak);
2. Houd de warmte buiten (bijvoorbeeld met screens of zonwering);
3. Gebruik passieve koeling (bijvoorbeeld met nachtventilatie);
4. Pas efficiënte actieve koeling toe (bijvoorbeeld met warmtepomp).

1.4. Belangrijkste energie-oplossingen om in de vraag te voorzien

Hoofdcategorieën voor verwarmen

Voor het (aard)gasvrij maken van gebouwen wordt vaak een onderscheid gemaakt tussen individuele oplossingen en collectieve oplossingen. Een individuele oplossing is een oplossing die alleen gebruikmaakt van een aansluiting aan het landelijke gas en/of elektriciteitsnet. Collectieve oplossingen zijn oplossingen met een aansluiting aan een warmtenet, waarbij dus ook warm water aan het gebouw wordt geleverd vanuit een lokaal, collectief systeem.

De basisoplossingen binnen deze indeling (individueel/ collectief) zijn de volgende.

- Individuele oplossingen.
 - Stand-alone (duurzaam) gasketel.
 - Hybride: warmtepomp + (duurzaam) gasketel (pieklast en tapwater).
 - All-electric-warmtepomp.

- Collectieve oplossingen/ warmtenetten¹⁹.
 - Middentemperatuurwarmtenet (MT) (55-75^o-aanvoer, vaak circa 70^o).
 - Lagetemperatuurwarmtenet (LT) (30-55^o-aanvoer, meestal ongeveer 50^o).
 - Zeerlagetemperatuurwarmtenet (ZLT) of bronnet (<30^o-aanvoer), in combinatie met een individuele warmtepomp.

Voor de verwarmingsoplossingen die met lagere temperatuur afgifte werken, moet een woning voldoende geïsoleerd zijn om het warm genoeg te krijgen. Zoals beschreven is een woning die voldoet aan de Standaard voor woningisolatie voor naoorlogse woningen voldoende geïsoleerd voor verwarmen met lage temperaturen (50 graden in het afgiftesysteem) en een woning die voldoet aan de Standaard voor vooroorlogse woningen voor verwarmen met 70 graden. Bij verdergaande isolatie zijn echter ook vooroorlogse woningen geschikt te maken voor lage temperatuur. Tegelijkertijd zijn er ook naoorlogse woningen waarbij meer maatregelen dan de Standaard nodig zijn om te verwarmen met LT-afgiftesystemen, of moet nog iets aan het afgiftesysteem gedaan worden. In alle gevallen is het wenselijk om minimaal richting de standaard voor woningisolatie te isoleren om de energiebehoefte te beperken en het energiesysteem zo efficiënt als mogelijk in te zetten. Wanneer bij de beschrijving van de warmte-oplossingen over goede of voldoende isolatie wordt gesproken, kan de isolatiestandaard als referentie dienen.

Korte beschrijving van de hoofdcategorieën:

- **Stand-alone (duurzaam) gasketel**

De stand-alone gasgestookte ketel is op dit moment de meest gebruikte manier van verwarmen. In 2050 zal deze optie niet of nauwelijks voorkomen vanwege de zeer beperkte potentie en beschikbaarheid van duurzaam gas voor de gebouwde omgevingen de normering voor efficiënte verwarmingsinstallaties (normering hybride).

- **Individuele all-electric-warmtepomp met individuele bron**

Hierbij wordt per eindgebruiker of per gebouw een elektrische warmtepomp ingezet voor ruimteverwarming en warmtapwater, eventueel ook om te koelen. Een warmtepomp

heeft een hogere COP (coëfficiënt of performance, een maatstaf voor efficiëntie - en dus minder elektriciteitsgebruik) wanneer deze een lagere temperatuur levert. Het gebouw moet dus goed geïsoleerd zijn en een LT-afgiftesysteem hebben. Daarnaast moet in het gebouw ruimte zijn voor een boiler vat voor tapwater. Een warmtepomp haalt warmte uit de omgeving. Afhankelijk van de bron is ruimte nodig voor een buitenunit, voor PVT-panels (combinatiepanels met een PV-deel en een thermisch deel), of voor een bodembron.

- **Hybride warmtepomp in combinatie met duurzaam gas**

Een hybride warmtepomp is een combinatie van een elektrische warmtepomp en een hr-ketel. De elektrische warmtepomp levert de basislast van de ruimteverwarming. De hr-ketel levert de pieklast en zorgt vaak ook voor het verwarmen van tapwater. Omdat een hybride warmtepomp de hr-ketel als 'back-up' heeft, is het niet noodzakelijk dat een gebouw na-geïsoleerd is. Wel is het zo dat hoe beter de woning geïsoleerd is, hoe minder de hr-ketel hoeft bij te springen en hoe minder aardgas er dus nodig is.

- **ZLT-warmtenet als bron voor een individuele warmtepomp**

Bij een zeerlagetemperatuurwarmtenet (ZLT) of bronnet wordt het warmtenet als bron gebruikt door een warmtepomp in een woning of gebouw. In het gebouw heeft deze oplossing vergelijkbare eisen als bij een All-electric-warmtepomp, te weten ruimte voor een warmtepomp met boiler vat en goede isolatie). Maar omdat het ZLT/bronnet hier de bron is, is geen buitenunit of bodembron meer nodig, én wordt een hogere COP gehaald dan bij een individuele All-electric-oplossing. Daarnaast kan een ZLT-net ook koelen zonder daarvoor de warmtepomp in te zetten, mits het afgiftesysteem in het gebouw daar geschikt voor is. Een ZLT net kan goed gebruik maken van ZLT bronnen zoals aquathermie, en van warmte koude opslag (WKO).

- **LT-warmtenet met tapwateroplossing**

Een lagetemperatuurwarmtenet (LT) is een warmtenet waarvan de warme leiding een temperatuur heeft tussen de 30^o en de 55^o, meestal circa 50^o. De warmte uit het net is bij een goed geïsoleerde woning/gebouw (arechtstreeks te gebruiken voor

¹⁹ De indeling in temperatuurniveaus voor warmtenetten is gebaseerd op de vraag of ruimteverwarming en tapwater direct uit het systeem zijn te leveren, in lijn met het tarievenbesluit warmte 2022 van de ACM. De exacte indeling in temperatuurniveaus wordt in de meeste literatuur zo gehanteerd [o.a. *Warmtenet*

factsheet | Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (nplw.nl)], In (internationale) literatuur zijn ook wel eens andere indelingen te vinden.

ruimteverwarming. Voor tapwater is een aanvullende voorziening nodig in verband met legionella. In veel gevallen wordt daar elektrische naverwarming voor gebruikt.

- MT-warmtenet

Een middentemperatuurwarmtenet (MT) is een warmtenet waarvan de warme (aanvoer) leiding een temperatuur heeft tussen de 55° en de 75°, meestal circa 70°. De warmte uit het net is rechtstreeks te gebruiken voor ruimteverwarming en bereiding van warm tapwater, mits de woning voldoende is geïsoleerd. Als referentie geldt hierbij minimaal het niveau van de isolatiestandaard voor vooroorlogse woningen. Voor na-oorlogse woningen en overige gebouwen geldt dat deze idealiter wel (stapsgewijs) verder geïsoleerd worden, omdat dit de warmtevraag beperkt en de woning ook geschikt maakt voor als het net op lagere temperatuur bronnen gevoed zal worden. Een MT-warmtenet levert zijn warmte via een afleverset aan de woning. De bron voor een MT-warmtenet kan zowel een MT-warmtebron zijn als een (Z)LT-bron met een grote collectieve warmtepomp.

De volgende opties zijn niet meegenomen in het overzicht, omdat deze niet gezien worden als toekomstbestendige duurzame oplossingen:

- Inefficiënte systemen voor ruimteverwarming (denk aan elektrische cv-ketels, biomassaketels) zijn niet meegenomen. In het Bouwbesluit 2012 (en per 1 januari 2024 in het Besluit bouwwerken leefomgeving) stellen we nu al eisen aan de efficiëntie van het systeem voor ruimteverwarming. Bij ingaan van de normering verwarmingsinstallaties zal deze eis aangescherpt worden, omdat het belangrijk is om efficiënt om te gaan met energie, ook als deze duurzaam is opgewekt. In het geval van elektrische oplossingen is het ook belangrijk dat de piekvraag niet te hoog is, om zo netcongestie te voorkomen.
- Hogetemperatuurwarmtenetten (HT) zijn niet meegenomen in het overzicht om drie redenen: 1) de eigenschappen van het systeem verschillen niet zoveel van die van MT-warmtenetten, behalve dat de woningen voor MT-warmte iets beter geïsoleerd moeten zijn (maar dit betekent geen onderscheid meer, omdat EFG woningen sowieso moeten worden uitgefaseerd en idealiter alle gebouwen naar de isolatie- of renovatiestandaard gaan om efficiënt gebruik te waarborgen); 2) duurzame bronnen leveren meestal geen HT-warmte; 3) HT-warmtenetten zijn minder efficiënt door de relatief grote warmteverliezen in de distributienetten.

Subcategorieën

Voor de individuele oplossingen kan nog een sub-indeling worden gemaakt op basis van de bron.

- Duurzaam gasketel (stand-alone en/of hybride).



Figuur 6. Overzicht technische oplossingen voor verwarmen.

- Groen gas of waterstof.
 - Warmtepomp-subindeling op basis van de bron.
- Lucht.
- PVT (zonthermie + omgevingswarmte).
- Bodem.
- Overig.

Ook voor de verschillende typen warmtenetten is een sub-indeling te maken. De indeling van warmtenetten is gebaseerd op de temperatuur die bij het gebouw wordt afgeleverd (zie [Warmtenet factsheet | Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie \(nplw.nl\)](#)), en hoeft niet gelijk te zijn aan de temperatuur van de warmtebron. De sub-indeling is gebaseerd op

de temperatuur van de warmtebron. MT- en LT-netten kunnen ook worden gevoed door LT- of ZLT-bronnen met een collectieve warmtepomp om de brontemperatuur op te hogen. Omdat de collectieve warmtepomp elektriciteit kost, is het voor het energiesysteem van belang om te weten over wat voor soort warmtebronnen beschikbaar zijn. Dit komt in meer detail terug bij de warmteketen.

Overzicht technische oplossingen en afwegingen

In Figuur 6 zijn de technische oplossingen voor verwarmen weergegeven, inclusief subtypen op basis van de (temperatuur van de) bron.

Zoals hiervoor beschreven zijn er verschillende toekomstige duurzame warmtevoorzieningen mogelijk. Wat de beste warmtevoorziening voor een bepaald gebouw of een bepaalde buurt, wijk of bedrijventerrein is, hangt af van de lokale omstandigheden en van de bouwtechnische eigenschappen en de locatie van de gebouwen, en van de prijs van bepaalde maatregelen en energiedragers. Ook andere aspecten spelen hierbij een rol, zoals ruimtegebruik binnen en buiten het gebouw en de benodigde werkzaamheden en overlast. Al deze eigenschappen samen bepalen ook het draagvlak van bewoners en (andere) gebouweigenaren.

De eigenschappen van de gebouwen bepaalt de warmte die de warmtevoorziening moet kunnen leveren en hoe groot het jaarlijks energieverbruik en de benodigde piekvoorziening is. Goed geïsoleerde of goed te isoleren gebouwen zijn met minder warmte te verwarmen. Hierdoor is lagetemperatuurverwarming, zoals een LT-warmtenet of een warmtepomp met een lagetemperatuurwarmteafgiftesysteem, een mogelijkheid. Ook het toekomstig wenselijke isolatieniveau in de toekomst is van belang bij de keuze voor een systeem. Gebouwen die moeilijk te isoleren zijn, zoals vooroorlogse woningen, kunnen worden met een MT-warmtelevering worden verwarmd.

Een warmtenet is geschikt als er een geschikte bron is, en voldoende afname door relatief dichte bebouwing, met zo min mogelijk transportverlies. Bij een grootschalige bron zoals restwarmte of geothermie zijn grotere clusters (een of meerdere wijken) wenselijk. Maar afhankelijk van de bron kunnen ook kleinere clusters interessant zijn. Voor warmtenetten is het daarnaast een voorwaarde dat er voldoende ruimte in de ondergrond beschikbaar is. Dat

kan in dichte stedelijke bebouwing soms lastig zijn. Ook kan via warmtenetten op lagere temperaturen uitwisseling tussen warmte- en koudevraag van gebouwen plaatsvinden.

Mogelijkheden voor koeling:

Bij de scenario's is ook rekening gehouden met koeling. Zoals hiervoor beschreven is het in eerste instantie van belang om de koelbehoefte te beperken, maar toch is er een groei aan de benodigde koeling te verwachten. Hiervoor zijn er 4 mogelijke koeloplossingen meegenomen:

- Koelen met een airco ofwel lucht/lucht warmtepomp. Vaak worden deze systemen maar in één of twee ruimten geplaatst en beperkt gebruikt;
- Koelen met een omkeerbare lucht/water warmtepomp.
- Koelen met een bodem warmtepomp – dit kost heel weinig elektriciteit en regeneert de bodem zodat deze in de winter meer warmte beschikbaar heeft
- Koelen met een ZLT/bronnet. Vergelijkbaar met koelen met een bodemlus; de afgevoerde warmte gebruikt worden om het open bodem energiesystemen (OBES of WKO's) te regenereren.

Voor een aantal installaties geldt dat deze zowel kunnen koelen als verwarmen.

Scenario's

Deze paragraaf gaat in op de verschillende scenario's voor 2050, waarbij elk scenario een bepaalde mix is van de belangrijkste - hierboven beschreven - energieoplossingen om in de vraag te voorzien. De scenario's zijn bedoeld als verkenning van de impact hiervan op de benodigd finale energie. Na de scenario's worden inzichten overwegingen vanuit het NPE en gewenste ontwikkelrichtingen beschreven.

Overwegingen bij de scenario's

Voor de gebouwde omgeving is het eindbeeld sterk afhankelijk van de beschikbaarheid en de prijs van duurzame gassen en de andere energiedragers, en van de noodzaak om vraag (in kWh) en pieklast (in kW) bij elektriciteit te beperken. Daarnaast speelt ook de regierol van de gemeenten en de individuele keuzevrijheid van bewoners, gebouweigenaren en -gebruikers een belangrijke rol in de uiteindelijke samenstelling van het eindbeeld in de gebouwde omgeving. Vanuit de TVW's is op dit moment echter nog niet voldoende duidelijk wat de meest waarschijnlijke mix aan technieken in 2050 zou kunnen zijn. Daarom is er gewerkt met

verschillende scenario's. Hiermee zijn de effecten van verschillende keuzes ten aanzien van besparing en verschillende alternatieven voor aardgas inzichtelijk gemaakt. In wisselwerking met de visie op het energiesysteem wordt dan ook duidelijker wat een wenselijke uitkomst is voor de gebouwde omgeving.

Algemene uitgangspunten voor een duurzame GO.

- Met voor zowel de eindgebruiker als maatschappelijk aanvaardbare kosten en benodigde investeringen.
- Conform beleid van dit kabinet (zie PVGO²⁰) en bekend en verwacht EU-beleid.

De overige uitgangspunten met betrekking tot beschikbaarheid bronnen staan hier onder beschreven.

Beschrijving en uitgangspunten van de vier scenario's

Er is een viertal scenario's gemaakt om de mogelijke transitiepaden te verkennen. Hierin zijn dus niet, zoals bijvoorbeeld bij Il3050, de hoeken van de mogelijkheden opgezocht. Vandaar dat er geen scenario is opgenomen met heel weinig of juist heel veel duurzaam gas.

Bij de scenario's zijn de volgende uitgangspunten met betrekking tot duurzaam gas en beschikbaarheid warmtebronnen gehanteerd.

- Voor duurzaam gas is uitgegaan van een beschikbaarheid van circa 2 miljard m³ duurzaam gas (wat overeenkomt met circa 60 PJ). Dit is in lijn met het Klimaatakkoord, de Startanalyse en de bijmengdoelstellingen uit het CA 2022²¹. Alleen in scenario 2 is uitgegaan van een grotere beschikbaarheid van duurzaam gas van circa 4 miljard m³. Het duurzame gas kan zowel groen gas als waterstof zijn.
- Voor warmte is indicatief rekening gehouden met de inschatting van de potentiële warmtebronnen: MT-bronnen 80 PJ in 2050, LT circa 16 PJ, ZLT in principe onbepakt (zie ontwikkelpad warmteketen). Alleen bij scenario 4 is uitgegaan van een grotere

beschikbaarheid van MT-warmte (ca 130 PJ). Een afstemming met de warmtebehoefte vanuit de glastuinbouw is nog niet meegenomen.

- Voor elektriciteit is geen minimum en geen maximum aangehouden. De benodigde hoeveelheid elektriciteit volgt uit de beschikbaarheid van de overige bronnen en de gekozen technische oplossingen. Bij de keten elektriciteit wordt verder ingegaan op de beschikbaarheid van elektriciteit en de ruimtelijke impact hiervan.
- Voor alle scenario's geldt:
 - Netto functionele warmtevraag²² per woning gemiddeld circa 32 GJ/jr; totale warmtevraag GO circa 370 PJ/jr (290 PJ voor 9 miljoen woningen en circa 80 PJ voor diensten). Deze inschatting gaat ervan uit dat alle nu bestaande woningen die nog niet voldoen aan minimaal de standaard voor woningisolatie worden geïsoleerd tot de Standaard voor woningisolatie (voor- en naoorlogs, afhankelijk van bouwjaar), dat bestaande label A woningen en nieuwbouw een lagere warmtevraag hebben, en dat 5% structurele besparing door gedrag en klimaatverandering wordt gehaald. Ter vergelijking: In 2021 was de netto warmtevraag circa 310 PJ voor (7,5 miljoen) woningen en 120 PJ voor diensten. De totale reductie van de netto warmtevraag is relatief klein, omdat de reductie in de bestaande bouw deels wordt 'gecompenseerd' door de groei van het aantal woningen en gebouwen. Daarnaast is een deel van de besparing niet direct op de netto warmtevraag, maar wel op het finale energiegebruik, met name door de invulling van warmtevraag door een warmtepomp. Deze levert vanwege een COP tussen ongeveer 3 en 5 een besparing op van 75%, voor de gebouwen die op een warmtepomp zijn aangesloten. Maar deze besparing is dus nog niet zichtbaar in de reductie van de netto warmtevraag.
 - Koeling: De huidige koelvraag (2021) is ingeschat op basis van het aantal opgestelde warmtepompen (inclusief airco's) (CBS²³); Dit is voor 2022 ingeschat op ca 22 PJ aan koelbehoefte voor woningen en diensten samen. Voor de toekomstige vraag is in de scenario's uitgegaan van ongeveer een verdubbeling van de koelbehoefte. De hoeveelheid koelbehoefte is voor alle scenario's gelijk gehouden; het enige verschil is

²⁰ BZK (2022). *Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving*.

²¹ Kamerbrief over uitwerking coalitieakkoord onderdeel Klimaat en Energie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

²² De netto functionele warmtevraag is de warmte die aan de woning toegevoegd moet worden om de woning voldoende comfortabel te houden. Deze warmtevraag is dus nog onafhankelijk van het type installatie waarmee deze warmte geproduceerd wordt.

²³ StatLine - Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen (cbs.nl)

dat in de scenario's met (iets) meer ZLT netten er van uit wordt gegaan dat met deze netten ook gekoeld wordt, waardoor daar iets minder koeling met overige technieken (airco's en lucht/water warmtepompen) nodig is.

Omdat nog onvoldoende bekend is over de te verwachten koelvraag in 2050 is aan het einde van deze paragraaf een additionele verkenning gedaan naar de mogelijke effecten op de energievraag als de koelbehoefte veel groter zal worden.

Dit leidt tot de volgende scenario's.

- Scenario 1: Alle oplossingen leveren circa 1/3 van de warmte
 - Verdeling hybride warmtepompen, warmtenetten en all-electric-warmtepompen is elk 1/3 voor de bestaande bouw. Voor nieuwbouw (1 miljoen woningen extra tussen nu en 2050) is het uitgangspunt dat ongeveer 75% van de nieuwbouw een all-electric-warmtepomp krijgt en circa 25% een warmtenetaansluiting.
 - De beschikbaarheid van warmtebronnen is gebaseerd op een globale potentiëstudie van beschikbare MT-, LT- en ZLT-bronnen. Zie hiervoor ook de analyse van warmtebronnen in het NPE- *Ontwikkelpad warmteketen*, hoofdstuk 4 in *Verdiepingsdocument B – Ontwikkelpaden energieketens*.
- Scenario 2: veel hybride warmtepompen
 - 55% hybride warmtepompen, 22,5% all-electric-warmtepompen en 25% warmtenetten.
 - Dit scenario gaat uit van een 2 x zo grote beschikbaarheid (en betaalbaarheid) van groen gas en/of waterstof. Hierdoor zou voor veel woningen een alternatief op duurzaam gas aantrekkelijk kunnen, en zullen minder gemeenten en gebouweigenaren kiezen voor een warmtenet of warmtepomp. Maar dit scenario lijkt vooralsnog niet het meest te verwachten, zoals wordt beschreven in de gewenste ontwikkelrichtingen.
- Scenario 3: veel all-electric-warmtepompen
 - Circa 50% all-electric-warmtepompen, 30% warmtenet en 20% hybride warmtepompen.

- Uitgangspunt is dat elektriciteit goedkoop is en de ontwikkeling in warmtepompen leidt tot goedkopere en betere warmtepompen. Hierdoor zullen veel gebouweigenaren kiezen voor all-electric.
- Het aandeel warmtenetten dat gebruik maakt van een MT-bron is afgestemd op de globale inschatting van 80 PJ beschikbare MT-warmte in 2050.²⁴
- Het aantal gebouwen met een hybride installatie resulteert in een behoefte aan duurzaam gas van circa 2 bcm aardgas(equivalenten).
- Scenario 4: veel MT-warmtebronnen
 - 55% warmtenet, 22% all-electric-warmtepompen, 22% hybride warmtepompen.
 - Dit scenario gaat uit van een circa 2x zo grote beschikbaarheid van MT-warmtebronnen, bijvoorbeeld veel geothermie of veel restwarmte. Het is essentieel dat dit MT-warmtebronnen zijn, omdat het gebruik van (Z)LT-warmtebronnen voor warmtevoorziening alsnog ook elektriciteit kost. Een scenario met veel MT-warmtenetten op basis van (Z)LT-bronnen zal dus qua behoefte aan energiedragers meer op scenario 3 lijken dan op scenario 4, en zelfs meer elektriciteit vragen dan scenario 3. Een scenario met veel ZLT netten zal qua elektriciteitsgebruik wel op scenario 3 lijken, met het voordeel dat een eventueel groeiende koelbehoefte efficiënter kan worden ingevuld.

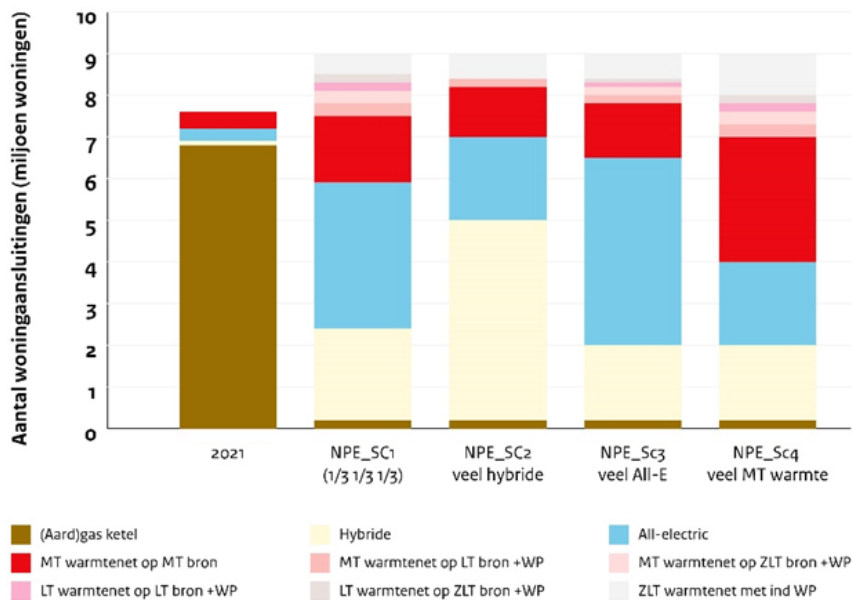
Rekenmethode

De scenario's zijn doorgerekend met een Excel rekenmodel, dat eerder is gebruikt voor de studie 'Inzicht in de extra benodigde warmtebronnen en elektriciteit voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in 2030'.²⁵ Het rekenmodel berekent voor verschillende combinaties van technische oplossingen de benodigde finale energie. Zie hiervoor de schematische weergave van de warmte- en koudevraag in Figuur 2.

Figuur 7 toont het aantal aansluitingen per type warmtevoorziening aan voor de verschillende scenario's.

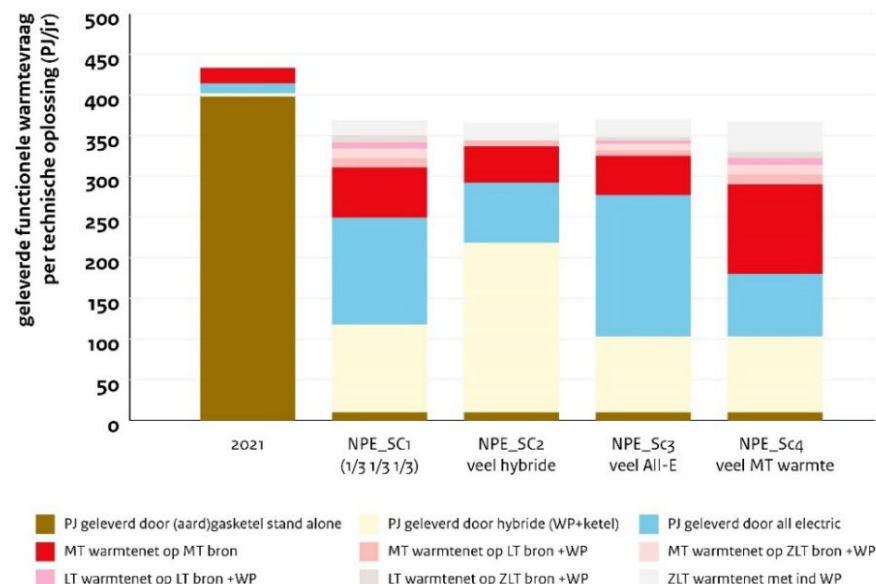
²⁴ Zie voor verdere toelichting het hoofdstuk over de warmteketen (verdiepingsdocument B, hoofdstuk 4).

²⁵ Inzicht in de extra benodigde warmtebronnen en elektriciteit voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in 2030. Ministeries van EZK, BZK en RVO.



Figuur 7. Scenario's warmtealternatieven - Aantal woningaansluitingen. (Let op: het uitgangspunt voor 2050 is dat er 9 miljoen bewoonde woningen zijn. In 2021 waren er circa 8 miljoen woningen, waarvan 7,5 miljoen bewoonde woningen. De onbewoonde woningen worden niet meegenomen in de berekening omdat die geen energie gebruiken).

Het aandeel per technische oplossing voor de totale warmtevraag inclusief utiliteitsbouw (diensten) is weergegeven in Figuur 8. Let op: de logica achter deze figuren is als volgt: als er staat dat 100 PJ wordt geleverd door een hybride installatie, is dat dus deels door de warmtepomp en deels door de ketel.



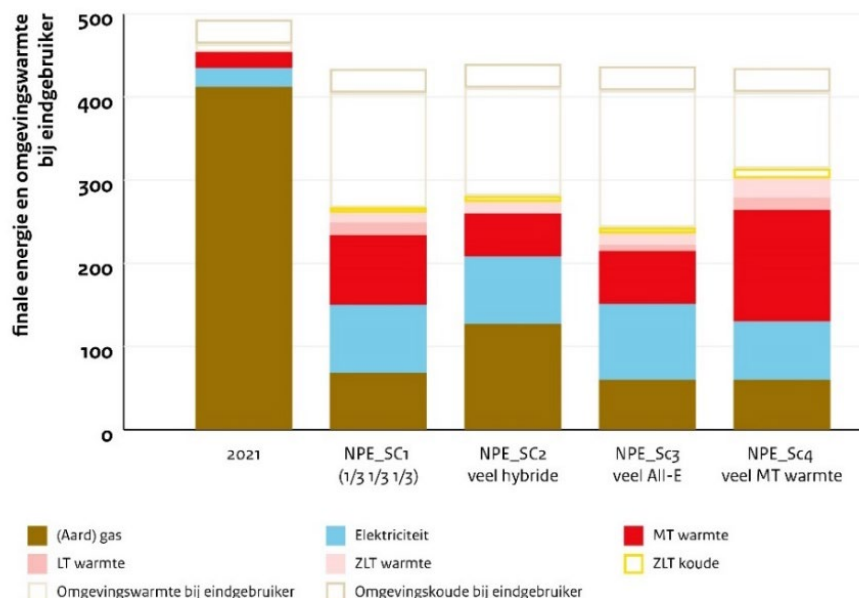
Figuur 8. Scenario's warmtealternatieven – geleverde warmte door de verschillende warmteoplossingen (PJ/jaar). (Toelichting: de PJ's geleverd door het alternatief 'hybride' worden dus deels geleverd warmtepomp en deels door de ketel.)

Finale energiebehoefte per scenario

Zoals blijkt uit Figuur 9 is er per scenario verschillende behoefte aan verschillende energiedragers: elektriciteit, duurzaam gas (dat wil zeggen groen gas of groene waterstof) en warmte. De onderdelen 'omgevingswarmte' betreffen de warmte die bij individuele eindgebruikers in de warmtepomp wordt gebruikt. Dit is dus in feite geen finale energie.

Voor de invulling van de finale warmtevraag (warmte die via warmtenetten aan de gebouwen wordt geleverd) zijn verschillende warmtebronnen nodig. Wanneer een ZLT-warmtebron wordt gebruikt om MT-warmte te produceren, dan kost dat elektriciteit. Deze inzet van warmtebronnen en overige dragers voor de levering van warmte wordt besproken

in het NPE- *Ontwikkelpad warmteketen* (hoofdstuk 4 in *Verdiepingsdocument B – Ontwikkelpaden energieketens*).



Figuur 9. Scenario's warmtealternatieven – finale energie bij de eindgebruiker (PJ/jaar).

Impact van een grotere koelbehoefte op de finale energievraag

De huidige invloed van de koelbehoefte is in PJ's relatief klein, en met de gehanteerde de aannames is de invloed van koeling ook bij de scenario's relatief klein. De koelbehoefte van 45 PJ die is aangenomen in de scenario's geeft een elektriciteitsgebruik van circa 10 à 11 PJ, gezien de opwek met een COP van ca 4.

Er is echter nog onvoldoende bekend over de te verwachten koelvraag in 2050. Daar wordt momenteel meer onderzoek naar gedaan, o.a. op basis van de nieuwe KNMI-scenario's die in oktober 2023 zijn gepubliceerd. Mogelijk wordt de koelvraag groter dan aangenomen in

de beschreven scenario's. Daarom is in deze paragraaf een additionele verkenning gedaan naar de mogelijke effecten op de energievraag als de koelbehoefte veel groter zal worden.

Deze verkenning staat los van de mogelijkheid om de koelbehoefte ook te beperken. De mogelijkheden om de koelbehoefte te beperken worden eveneens onderzocht, en zijn al kort geschetst in de vorige paragraaf. Maar indien de mogelijkheden van natuurlijke maatregelen om de koelbehoefte niet voldoende zijn, kan koeling het comfort en de gezondheid van gebouwgebruikers verbeteren.

Voor de indicatieve verkenning naar de impact van een grotere koelbehoefte is gekeken naar het effect van koeling bij 5 miljoen woningen en een koelvraag bij de utiliteitsgebouwen die 4 tot 6 x zo groot is als nu. Voor woningen is daarbij uitgegaan van een koelbehoefte van 8 of 12 GJ/woning, voor Ubouw is een vergelijkbare groei in PJ's aangenomen. Dit leidt tot in totaal 80 à 120 PJ aan koelbehoefte. Afhankelijk van de gekozen techniek (zie vorige paragraaf) betekent dit 12 tot 34 PJ aan elektriciteitsgebruik. De onderkant van deze bandbreedte is alleen haalbaar als veel passieve koeling wordt toegepast.

De verschillen tussen de technieken staan hieronder beschreven.

- Koelen met een airco of omkeerbare lucht/water warmtepomp is ongeveer vergelijkbaar qua energiegebruik. Een airco gebruik mogelijk meer energie omdat ook ontvochtiging mogelijk is, maar wordt daarentegen meestal slechts in enkele ruimten gebruikt.
- Passief koelen – d.w.z. zonder de actieve inzet van een warmtepomp - gebruikt veel minder elektriciteit. Passief koelen is mogelijk met een gesloten bodemlus of een ZLT warmtenet ofwel bronnet. Er hoeft dan geen warmte te koude te worden geproduceerd, maar alleen rondgepompt. Daarnaast heeft passief koelen als voordeel dat de afgevoerde warmte meestal in de bodem kan worden opgeslagen, wat twee voordelen biedt: 1) het draagt niet bij aan het hitte-eilandeffect; 2) de warmte kan gebruikt worden voor regeneratie van een bodem energiesysteem zoals een WKO, of in sommige gevallen elders in het systeem weer benut worden als bron voor verwarming met een warmtepomp, mits deze warmtevraag gelijktijdig is (zie kowanet²⁶, 5e generatie warmtenetten²⁷).

²⁶ www.kowanet.nl

²⁷ NPLW, 5^e generatie warmte- en koudenetten.

- Vanuit het beperken van het elektriciteitsgebruik voor koeling én het beperken van het hitte eiland effect verdient ‘passieve koeling’ daarom de voorkeur.
- Koeling en MT-warmtenetten: MT warmtenetten kunnen niet koelen. Daar zullen dus mogelijke airco’s aangeschaft worden, of misschien een 4-pijpsnet worden aangelegd, waarbij er dus feitelijk ook een koudenet naast ligt.
 - Indien er een robuuste en toekomstbestendige MT-bron beschikbaar is, is het vanuit energetisch oogpunt nog steeds energetisch wenselijk een beschikbare MT-bron wel te benutten, omdat hiermee voor de invulling van de warmtebehoefte veel elektriciteit en gasgebruik wordt voorkomen, en ook bij een groeiende koelbehoefte de warmtebehoefte (inclusief warm tapwater) nog significant hoger zal zijn. Maar vanuit praktisch oogpunt en vanuit materiaal overwegingen moet daar nog naar gekeken worden: er zijn hierdoor wel meer apparaten nodig. Daarnaast moet nagedacht worden over hoe om te gaan met een combinatie van MT warmtenet en een airco.
 - Als er geen MT-bron beschikbaar is, is een ZLT-warmtenet of bronnet voor warmtelevering energetisch beter, en dit voordeel zal bij een toenemende koelbehoefte nog groter worden. Zie verder de beschrijving hierboven bij ‘passief koelen’.

Voor een aantal installaties geldt dat deze zowel kunnen koelen als verwarmen. Als koeling een grotere rol gaat spelen, kan dit de keuze voor een techniek beïnvloeden.

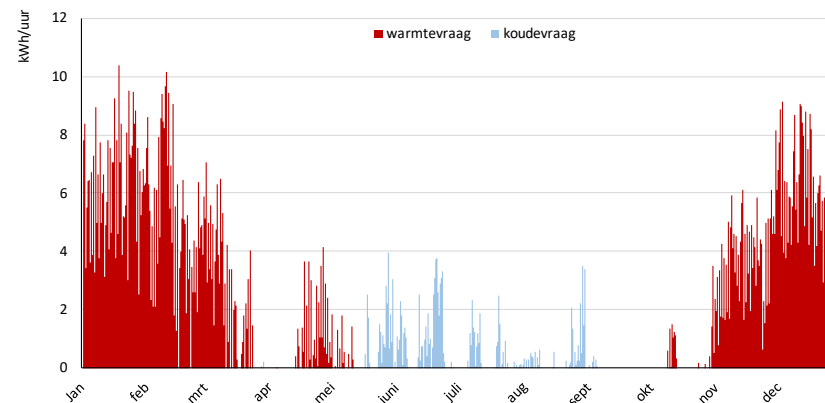
Tot slot geldt dat ook het energiegebruik voor koeling een extra piek aan elektriciteitsvraag kan opleveren. Koeling zal deels samenvallen met de opwek van zonnepanelen, maar als er 's avonds gekoeld wordt, is dit niet het geval. Er zal dus ook onderzoek gedaan moeten worden naar de impact van koeling op het elektriciteitsnet en naar het optimale gebruik van een koelsysteem.

Beschrijving van infrastructuurontwikkeling, flexibiliteitsopties en technologieontwikkeling passend bij energie-oplossingen

Vraagprofiel

De gebouwde omgeving heeft een sterk seizoensgebonden vraagprofiel dat ook sterk van de temperatuur afhankelijk is, zie Figuur 10. Dit betekent twee dingen.

- De bulk van de warmtevraag (in MWh of GJ-warmte) valt in de winter (ongeveer 65% van de jaarlijkse vraag valt in de maanden december tot en met februari).
- De piekbehoefte in vermogen (in kW of MW) hangt sterk samen met koude/warme dagen en uren.



Figuur 10. Ter illustratie en voorbeeld van de netto warmte- en koudevraag van een goed geïsoleerde woning. Berekend voor klimaatjaar KNMI 2017 (in dit jaar kwam dat in totaal op een warmtevraag van 41 kWh/m² per jaar en een koudevraag van 4 kWh/m² per jaar). (bron: Rutten et al, 2018)

Duurzame elektriciteit uit zon wordt vooral in de zomer opgewekt, terwijl een warmtepomp vooral in de winter aan zal staan. In hoeverre de duurzame elektriciteit uit wind samenvalt met de vraag aan elektriciteit van alle sectoren, is een belangrijk vraag om in te schatten wat nodig is en wat de beste manier is om de piekbehoefte aan elektriciteit te kunnen leveren. Hiertoe is een verkennende studie gedaan door Quintel²⁸. In die studie is gekeken wat de impact op het primaire energiegebruik en het benodigde flexibele vermogen is wanneer maximaal all-electric warmtepompen of maximaal hybride warmtepompen zouden worden toegepast. Omdat het voor deze studie nodig is het volledige energiesysteem op uurbasis te modelleren, is deze studie gedaan op basis van twee van de I3050 scenario's: het Europese en het nationale scenario. Hieruit blijkt dat het maximaal elektrificeren van de warmtevraag met een warmtepomp tot minder primair energiegebruik leidt dan gebruik van hybride warmtepompen, maar dat de aanbodkant zoals in de I3050 scenario's is

²⁸ Quintel (2023). Effecten van piekverwarming: elektrisch of met duurzaam gas?

aangenomen niet voldoende elektrisch opwekvermogen heeft om de elektriciteitsvraag elk uur in te vullen. Met andere woorden: er is in deze scenario's dus extra flexibel vermogen nodig. Hoeveel dit zal zijn en of er andere mogelijkheden zijn om dit op te lossen, zou verder moeten worden onderzocht. In elk geval is het slim kunnen aansturen van warmtepompen en andere elektriciteitsvragers belangrijk om onnodige piekvraag te voorkomen. Zie ook de beschrijving bij 'Relatie met netverzwaring'.

De warmtevraag in de gebouwde omgeving is maar in zeer beperkte mate flexibel. Vraagsturing kan hier dus ook maar beperkt iets verbeteren. Mensen willen nu eenmaal verwarmen als het het koudst is, en koelen als het het warmst is. Wel is het mogelijk minder nachtverlaging toe te passen om pieken in de ochtend te voorkomen. Ook is het mogelijk om op kleine tijdschaal, tot minder dan 1 à 2 uur, de verwarming tijdelijk uit te schakelen zonder dat de woning te veel afkoelt. Hiervoor is wel een slimme regeling van de warmtepomp nodig. Een oplossing om grotere pieken en vooral langduriger piekvraag te voorkomen, kan in opslag liggen. Daarnaast kan een slimme combinatie met bijvoorbeeld elektrisch vervoer en bidirectioneel laden ook bijdragen aan het verminderen van een piekbehoefte of piek-aanbod. Om de gevolgen van grote volumevraag in de winter te beperken, is besparing, gedragsverandering en grootschalige seizoensopslag nodig.

In het *NPE Ontwikkelpad warmteketen* (hoofdstuk 4 in *Verdiepingsdocument B – Ontwikkelpaden energieketen*) wordt uitgebreid ingegaan op de manier waarop de seizoensgebonden energievraag en het piekvermogen zijn in te vullen. Voor individuele all-electric-warmtepompen en voor het invullen van de piekvraag in warmtenetten door elektriciteit geldt dat zowel het elektriciteitsnet als de elektriciteitsopwekking hier rekening mee moeten houden. Zie de volgende paragraaf en ook de keten elektriciteit.

Relatie met netverzwaring

In verband met de elektrificatie in de gebouwde omgeving wordt vaak gesproken over netcapaciteit en netverzwaring. Vooral bij warmtepompen zonder back-up - zowel individueel als collectief - kan een grote piekbehoefte aan elektriciteit ontstaan, zeker als er elektrische bijstook aanwezig is. Deze piek is echter per gemiddelde woning vaak kleiner dan de terugleverpiek van zon-PV. Het is dus de vraag of het gebruik van warmtepompen andere eisen aan het net stelt dan woningen op een warmtenet. Wel kan de noodzaak tot verzwaren

van het elektriciteitsnet bij een wijkaanpak op all-electric eerder urgent worden. Dit heeft als gevolg dat het elektriciteitsnet in een bepaalde wijk mogelijk als eerste moet worden aangepakt als voor die wijk voor all-electric is gekozen. Het is daarom belangrijk voor de netbeheerders om de planning en gekozen technieken in de wijkaanpak op tijd te kennen. Voor hybride warmtepompen lijkt netcapaciteit vooralsnog geen probleem, omdat de ketel de piek van de warmte levert.

De belangrijkste boodschappen omtrent netcapaciteit.

- In de huidige situatie met de huidige netcapaciteit kunnen door de verduurzaming van woningen met zonnepanelen, warmtepompen en elektrische laadpalen problemen met de netcapaciteit ontstaan. Wanneer veel warmtepompen in een wijk worden toegepast, kan dit de eerste 'reden' zijn waardoor netverzwaring nodig is. Netverzwaring zal op termijn toch nodig zijn, maar kan dan door de toepassing van veel warmtepompen in een wijk eerder noodzakelijk zijn. Voor hybride warmtepompen worden weinig problemen voorzien, omdat de cv-ketel op piekmomenten bijspringt. Voor volledig elektrische warmtepompen geldt zo'n flexibiliteit niet, waardoor een versnelde verzwaring van het net soms noodzakelijk is bij grootschalige uitrol van all-electric, zeker wanneer er nog een elektrisch piekelement in de warmtepomp is opgenomen. Ook de combinatie met laadpalen en elektrisch koken is hierbij nog van belang. Tenslotte moeten woningen en andere gebouwen met een kleinverbruikers aansluiting die nog geen 3x25-aansluiting hebben en op all-electric over willen gaan, soms een zwaardere aansluiting aanvragen. Hiervoor kunnen lange wachttijden (oplopend tot 2 jaar) gelden.
- Echter: Voor de toekomst is in alle wijken een grotere netcapaciteit noodzakelijk vanwege de totale elektrificatie van gebouwde omgeving (met zon-PV, elektrisch vervoer, elektrisch koken en warmtepompen als belangrijkste ontwikkelingen). De warmtepomp lijkt hier – bij voldoende isolatie - niet de bottleneck voor de benodigde netcapaciteit in een wijk te zijn, maar eerder het opwekvermogen van PV. Wel is het belangrijk om warmtepompen – en overigens ook andere apparaten in het gebouw - slim aan te kunnen sturen. Om zo de vraag tijdelijk af te schakelen, of juist een teveel aan opwek van PV slim te benutten. Dit laatste kan bijvoorbeeld door een warmtepomp voor de productie van tapwater aan te sturen op beschikbare elektriciteit.

1.5. Overwegingen vanuit het nationale energiesysteem

Bij de weging van opties en oplossingen is het belangrijk om de randvoorwaarden, beperkingen en schaarstes vanuit de relevante energieketens in overweging te nemen. Voor de gebouwde omgeving zijn hierbij alle vier de ketens relevant: de elektriciteitsketen, de warmteketen, de koolstofketen (met name wat betreft beschikbaarheid van groen gas) en de waterstofketen. In deze sectie zijn de belangrijkste bevindingen vanuit die ketens samengevat en wordt de relevantie voor het transitiepad van de gebouwde omgeving besproken. In de ontwikkelpaden van de ketens is verdere onderbouwing beschikbaar.

Onderscheid tussen systemische en lokale energiedragers

Vanuit het nationale energiesysteem maken we een onderscheid tussen systemische energiedragers en lokale energiedragers. Systemische energiedragers hebben het kenmerk dat ze (relatief) ver kunnen worden getransporteerd en daardoor systeembreed inzetbaar zijn. Dit zijn bijvoorbeeld elektriciteit, waterstof en biograndstoffen. Voor die energiedragers is er dus ook een verdelingsvraagstuk. Ze hebben veel verschillende toepassingen en op nationale en internationale energiemarkten wordt een evenwicht gevonden tussen het aanbod en de betalingsbereidheid van de verschillende eindgebruikers. Hierdoor is er bij systemische energiedragers een risico dat die bij schaarste relatief duur worden. Dit kan een tijdelijke schaarste zijn zoals die op korte termijn wordt verwacht voor groene waterstof of een meer permanente schaarste zoals die wordt verwacht voor koolstofdragers (waaronder groen gas). Of een schaarste op specifieke dagen van het jaar. Zo kan er schaarste ontstaan voor elektriciteit op windstille winterdagen.

Naast de systemische energiedragers zijn er lokale energiedragers. Denk aan warmte uit de bodem of het oppervlaktewater en restwarmte van bijvoorbeeld datacenters, afvalverbrandingsinstallaties of de industrie. Het transport van deze warmte over grotere afstanden kan met betrekkelijk weinig energieverlies, maar is wel erg kostbaar. Zulke thermische energie is dus vooral bruikbaar in de nabije omgeving van de warmtebron. Door deze warmte te gebruiken, kan de vraag naar mogelijk schaarse systemische dragers zoals

elektriciteit, waterstof en biograndstoffen worden verkleind. Ook kan de importafhankelijkheid worden verlaagd en kunnen stabielere prijzen voor de eindgebruiker worden gerealiseerd. Tegen deze achtergrond wordt in het NPE onder meer geconcludeerd dat sterke inzet op benutting van lokale warmtebronnen gewenst is. Dit geldt met name op plekken waar de lokale situatie voldoende aantrekkelijk en veilig is wat betreft de beschikbaarheid van warmtebronnen en de concentratie van de warmtevraag.

Elektriciteit

De beschikbaarheid van (fossielvrije) elektriciteit is relevant om de opschaling van warmtepompen in de gebouwde omgeving mogelijk te maken. De beleidsinzet is erop gericht om de Nederlandse productiecapaciteit (zon, wind en kernenergie) sterk door te laten groeien zodat het elektriciteitssysteem in 2035 geen CO₂-uitstoot meer veroorzaakt. Hierbij kan Nederland mogelijk na 2035 zelfs een netto exporteur van elektriciteit worden, met mogelijk een productieoverschot op jaarbasis. Al is dit laatste ook afhankelijk van de ontwikkeling van de binnenlandse elektriciteitsvraag. Dit betekent echter niet dat op dag- en uurbasis er altijd voldoende elektriciteit beschikbaar is. Met name op koude, windstille winterdagen kan schaarste ontstaan. Dan wordt er weinig wind- en zonne-elektriciteit geleverd, terwijl er veel vraag is naar elektriciteit voor verwarming in de gebouwde omgeving. Vanuit de analyse van de elektriciteitsketen²⁹ is het al wél duidelijk dat de flexibiliteitsbehoefte in de winter ingevuld kan worden. Wel wordt nog onderzocht wat daarvoor de beste manier is. Het flexibiliseren van de vraag is een van de oplossingsrichtingen. Ook speelt de vraag in hoeverre de flexibiliteitsbehoefte wordt ingevuld met duurzaam gas en welke verliezen daarbij optreden. Verder is het belangrijk voor de opschaling van all-electric-warmtepompen in de gebouwde omgeving om de wijkgerichte aanpak in nauwe samenwerking met de netbeheerders uit te voeren om zo problemen met de netcapaciteit te voorkomen, zoals ook beschreven in de vorige paragraaf. Concluderend is het vanuit het perspectief van de beschikbaarheid van elektriciteit waarschijnlijk goed mogelijk om richting 2050 zoveel mogelijk te elektrificeren in de gebouwde omgeving. Dit ondanks de korte termijn barrières die kunnen spelen (bijvoorbeeld rondom netcapaciteit). Vanuit de gebouwde omgeving is een belangrijk

²⁹ Dit komt onder meer naar voren in de 'Adequacy Outlook' van TenneT. Zie ontwikkelpad elektriciteitsketen (verdiepingsdocument B, hoofdstuk 1) voor meer details.

aandachtspunt dat verwarmen met all-electric-warmtepompen alleen goed mogelijk is in goed geïsoleerde gebouwen met een afgiftesysteem dat geschikt is voor lage temperaturen, en dat gebouw eigenaren bij de keuze voor een warmtepomp vaak ook zonnepanelen installeren.

Lokale warmtebronnen

De beschikbaarheid van duurzame lokale warmtebronnen is toereikend om een substantiële bijdrage aan de verduurzaming van de gebouwde omgeving te leveren, op plekken waar deze bronnen beschikbaar zijn en de woningen dicht genoeg op elkaar liggen om de aanleg van een warmtenet rendabel te maken. Het ontwikkelpad van de warmteketen streeft hierbij naar het duurzaam invullen van de warmtevraag voor collectieve warmte en houdt rekening met de onzekerheid hierin. Voor 2030 wordt voorsnogen met een inschatting van 50 PJ gewerkt en voor 2050 met rond de 100 PJ, voor alleen de gebouwde omgeving. Hierbij is het wel van belang om MT-bronnen te benutten, en waar deze niet beschikbaar zijn in te zetten op (zeer) lage temperatuurwarmtenetten. Om zo de benodigde verliezen en elektriciteitsbehoefte te beperken. Voorwaarde hiervoor is dat de gebouwen die worden aangesloten op deze netten goed zijn geïsoleerd. Een belangrijke kanttekening bij de beschikbaarheid van warmtebronnen is dat deze niet gelijk verdeeld zijn over Nederland. Voor een deel van de wijken zijn warmtenetten hierdoor geen reële optie.

Duurzame gassen

Voor een beperkt deel van de woningvoorraad is ook als eindbeeld verwarmen met een hybride warmtepomp met duurzaam gas mogelijk de meest geschikte optie, wanneer andere alternatieven niet redelijkerwijs haalbaar zijn. Duurzaam gas moet hiervoor beschikbaar zijn, omdat deze woningen mogelijk lastig op een andere manier zijn te verduurzamen.

Het doel is om middels de bijmengverplichting de volumes groen gas voor de gebouwde omgeving op te schalen naar 1,6 miljard m³ in 2030 (+/- 50 PJ). In de scenario's 1, 3 en 4 in dit NPE is uitgegaan van een beschikbaarheid van 2 miljard m³ duurzaam gas; dit kan groen gas of waterstof zijn. Er is echter ook een aanzienlijke vraag naar koolstofhoudende energiedragers (zoals biogas of groen gas) vanuit andere sectoren, die het willen inzetten als grondstof en voor energie. De verwachting is dat de vraag naar koolstofhoudende

energiedragers richting 2050 het binnenlandse aanbod ver zal overstijgen. Hierdoor is (grootschalige) import nodig, met onzekerheid over de beschikbare volumes en prijzen. Naast groen gas is ook waterstof mogelijk op termijn inzetbaar, in combinatie met een hybride warmtepomp. Wel is de verwachting dat waterstof (zie ontwikkelpad waterstofketen, verdiepingsdocument B) de komende jaren schaars zal zijn (zeker tot 2040) en dat Nederland ook op de lange termijn een netto-importeur zal blijven (+/- 50% importafhankelijk). In hoeverre en voor welke prijs waterstof op de wereldmarkt beschikbaar komt, is nog onzeker.

Gezien de onzekerheid in beschikbaarheid en prijsvorming van duurzame gassen wordt voor de gebouwde omgeving waar mogelijk ingezet op verduurzaming via warmtenetten en all-electric-warmtepompen.

Belangrijkste onzekerheden

De belangrijkste onzekerheden zijn:

- Voor duurzame gassen.
 - De beschikbaarheid en prijs van groen gas.
 - De beschikbaarheid en prijs van waterstof.
 - De benodigde werkzaamheden en kosten van het omzetten van een aardgasnetwerk naar een waterstofnetwerk. Hier wordt momenteel ervaring mee opgedaan in het kader van een aantal pilotwijken
- Voor warmtenetten.
 - Hoe de ontwikkeling van warmtenetten loopt in relatie tot de business case en het draagvlak van bewoners.
 - Verwachtingen wat betreft de beschikbaarheid van warmtebronnen:
 - Onder andere de toekomstverwachting van de aanwezige industrie in 2050. Welk restwarmteaanbod blijft er over?
 - Ontwikkelingen geothermie
 - De verwachte warmtevraag in industrie en glastuinbouw voor 2050. Als dit bekend is, is ook meer duidelijk over de inzet van duurzame warmte en de wisselwerking met warmtebronnen en duurzame gassen voor de GO.

- Voor elektriciteit.
 - Hoe goed kan worden ingespeeld op de zeer flexibele energievraag vanuit de gebouwde omgeving.
 - Tempo waarin elektriciteitsnetten kunnen worden verzaaid.
- De prijzen voor de verschillende energiedragers: dit bepaalt in grote mate de businesscase en daarmee de keuze van gemeenten voor de wijkaanpak. Voor individuele bewoners zijn de prijzen eveneens bepalend voor het al dan niet nemen van maatregelen of het hebben van een voorkeur.
- Koeling: de verwachte impact op het energiesysteem van een toename van de koelvraag en daarmee de extra elektriciteitsvraag in de zomer. Die toename overlapt op seizoensschaal met het profiel van opwek zon-PV, maar zal op uurbasis niet vanzelf overlappen, waardoor ook hier slim sturen nodig zal zijn. Vanaf eind 2023 worden meerdere studies uitgezet naar de ontwikkeling van koeling in relatie tot klimaatscenario's.

Op basis van de overwegingen uit het NPE en de geschetste onzekerheden, zijn hieronder de gewenste ontwikkelrichtingen voor de gebouwde omgeving beschreven.

1.6. Gewenste ontwikkelrichtingen voor de gebouwde omgeving

Het bestaande beleid voor verduurzaming van de gebouwde omgeving zal voorlopig de basis vormen voor het verduurzamingsbeleid in de gebouwde omgeving (zie paragraaf 1.2 voor de nationale beleidsinzet voor de doelen van 2030). Wel zullen er enkele nieuwe accenten worden aangebracht, voortkomend uit de perspectieven op het hele energiesysteem en op de lange termijn (zie paragraaf 1.5 met overwegingen vanuit het nationale energiesysteem). Onderstaande ontwikkelrichtingen beschrijven deze accenten.

Gewenste ontwikkelrichting 1:

De impact van lokale keuzes in de warmtetransitie op het nationale en regionale energiesysteem moet sterker worden meegewogen.

Toelichting

De lokale keuzes voor de energietransitie van zowel gemeenten voor de wijkaanpak als van individuele gebouweigenaren hebben impact op het landelijke en regionale energiesysteem. Vanuit technisch perspectief bestaat de impact van deze keuzes met name uit de hoeveelheid benodigde energiedragers, wat vraagt om een bepaalde hoeveelheid opwekcapaciteit of import en lokale en regionale energie-infrastructuur. Daarmee raken lokale keuzes dus ook bredere maatschappelijke waarden, zoals nationale kosten, afhankelijkheid van het buitenland en leefomgevingskwaliteit (via ruimtegebruik).

Op dit moment is niet te zeggen hoe het energiesysteem van de toekomst er precies uit gaat zien. Toch kan op basis van dit NPE al gesteld worden dat het nationale of regionale energiesysteem erbij is gebaat dat de volgende criteria goed worden meegewogen bij het maken van lokale keuzes.

- Het beperken van de behoefte aan systemische energiedragers (d.w.z. elektriciteit en duurzame gassen), door besparing op de netto warmte- en koudevraag en efficiëntie van het energiesysteem. Dit past ook bij de EED-doelstellingen.
- Het beperken van de piekbehoefte in de winter (en mogelijk ook de zomer op specifieke uren).
- Het bieden van flexibiliteit via vraagsturing en/of opslag, om de impact op het net te beperken. Hiermee worden zowel piek-aanbod van duurzame energie benut als piekvraag op momenten met te weinig duurzaam aanbod gedempt.

Samengevat gaat het dus in elk geval om energiebesparing (reductie van de netto warmte- en koudevraag door o.a. isolatie en reductie van de benodigde energie door meer efficiëntie), beperken pieklast, en verhogen flexibiliteit. Deze criteria zijn nog niet uitputtend bedoeld. Een ander belangrijk onderwerp is bijvoorbeeld circulariteit en het materiaalgebruik voor energietoepassingen in de gebouwde omgeving. Het is belangrijk dat er meer kennis komt over de (milieu)impact van materiaalgebruik van verschillende energieoplossingen, en dat er ook meer op gestuurd kan gaan worden.

Daarnaast zouden ook andere, minder technische aspecten een maatschappelijke waarde kunnen hebben. Maatschappelijke waarden zijn breder dan nationale kosten. Niet alle maatschappelijke waarden zijn immers in kosten om te zetten, zoals bijvoorbeeld ruimtelijke kwaliteit of ruimtegebruik. Toch is het belangrijk om ook deze waarden mee te nemen. Een verdere uitwerking hiervan kan mogelijk tot aanvullende criteria 'vanuit systeemperspectief' kunnen leiden.

Het zorgen dat de keuzes die voordelen bieden op landelijk en regionaal systeemniveau ook lokaal aantrekkelijk worden, staat beschreven onder gewenste ontwikkelrichting 2.

Onderbouwing – waarom is dit belangrijk?

De ketenanalyses laten zien dat duurzame gassen naar verwachting schaars en mogelijk duur worden. Bovendien ligt er (voorlopig), vanwege de sterk groeiende vraag naar en (lokale) opwekking van elektriciteit, ook een grote druk op het elektriciteitssysteem. En zelfs bij een volledig duurzame elektriciteitssector zal elektriciteit in de winter niet in overvloed aanwezig zijn. (Duurzame) gassen en elektriciteit zijn energiedragers die makkelijk getransporteerd kunnen worden en dus in het gehele systeem benut kunnen worden; ze worden daarom in dit NPE 'systemische energiedragers' genoemd (zie paragraaf 1.5). Lokale energie-oplossingen die de behoefte aan systemische energiedragers verminderen, kunnen daarom vanuit systeemperspectief een toegevoegde waarde hebben.

Mogelijke uitwerking

Welke lokale energie-oplossing het meest geschikt is, hangt van meerdere factoren af, waaronder de technische aspecten zoals lokale beschikbare bronnen, het type gebouwen en het type wijk. Vanuit het energiesysteem en in relatie tot de hierboven beschreven criteria 'energiebesparing, beperken pieklast, en verhogen van flexibiliteit' kunnen de volgende overwegingen worden meegegeven.

1. **Versneld alle gebouwen goed isoleren.** Door te isoleren wordt de totale warmtevraag en daarmee ook de piekbehoefte beperkt. Daarnaast maakt een goed geïsoleerd gebouw het mogelijk om met lage temperaturen voldoende thermisch comfort te verzorgen, waardoor de warmtevoorziening energetisch efficiënter kan werken. Veel duurzame bronnen hebben namelijk een lage temperatuur en warmtepompen

verbruiken veel minder elektriciteit bij de productie van lage temperatuur warmte dan bij hogere temperaturen. Hierbij gelden de volgende richtlijnen:

- Voor woningen is de Standaard voor woningisolatie vastgesteld als minimale waarde voor een goede isolatie. Zie eerder in dit hoofdstuk.
- Maatschappelijk vastgoed wordt versneld gerenoveerd naar de Renovatiestandaard, als invulling van de renovatieverplichting uit de EED.

2. **Het benutten van LT- of MT-warmtebronnen.** Dit kan de druk op systemische energiedragers (duurzaam gas- en elektriciteit) ontlasten. Ook (zeer) lage temperatuur warmtebronnen kunnen bijdragen, mits zij efficiënt benut worden.
 - Toelichting: In Nederland is een aanzienlijke hoeveelheid energie in de vorm van warmte beschikbaar. Deze warmte is voornamelijk bruikbaar als warmtebron voor warmtenetten voor de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Met name warmtebronnen op MT-niveau (>55°C) of LT-niveau (>35°C) verlagen de druk op systemische energiedragers voor het leveren van warmte. Het gebruik van ZLT-bronnen vereist voor warmtelevering nog een significante input van elektriciteit. Hierbij heeft de toepassing van ZLT-bronnen in ZLT-netten of bronnetten energetisch de voorkeur, aangezien het elektriciteitsgebruik dan beperkt blijft en er ook koeling geleverd kan worden. Daarnaast kan bij warmtenetten gekeken worden naar het integreren van collectieve opslag, waarmee de benodigde piekvraag ingevuld kan worden. Dit wordt verder uitgewerkt in de warmteketen (verdiepingsdocument B).
3. **Een all-electric warmtepomp.** Door het gebruik van omgevingswarmte of een andere warmtebron, gebruikt een warmtepomp de minste finale energie voor het leveren van warmte of koude. Een sterke inzet op volledig elektrische warmtepompen bij gebouwen waar dat kan (nu of op termijn) zorgt daarom voor een grote besparing.
 - Belangrijk hierbij is dat het gebouw goed geïsoleerd is (voor woningen de standaard voor woningisolatie voor naoorlogse woningen), zodat het elektriciteitsgebruik en vooral de piekvraag aan elektriciteit in de winter niet te hoog is.
 - Ook is er onderscheid tussen de verschillende bronnen van verschillende warmtepompen: een lucht-warmtepomp vraagt meer piekvermogen dan een warmtepomp op een bodembron of ZLT warmtenet.

- Een slimme aansturing van de warmtepomp is van belang: een flexibele inzet van warmtepompen beperkt de piekvraag, terwijl elektrische bijverwarming in de winter de piekvraag juist kan verhogen. Dit laatste is een zorgpunt, zowel vanuit netcongestie als gelet op de energiebalans in een elektriciteitssysteem dat in toenemende mate met inflexibele duurzame bronnen wordt gevoed.
4. **Beperkte toepassing van groen gas en waterstof.** Vanwege de verwachte schaarste zullen groen gas en waterstof (zeer) beperkt worden toegepast in de gebouwde omgeving, en altijd in combinatie met goede isolatie en een hybride warmtepomp. Daar waar een ander warmte-alternatief redelijkerwijs mogelijk is, is de toepassing van deze duurzame gassen in het eindbeeld niet wenselijk.
- Door de normering op het vlak van hogere efficiëntie voor verwarmingsinstallaties, is deze richting al in gang gezet. Vanaf 2026 is het verplicht om bij vervanging van de cv-ketel over te stappen op een efficiënter systeem, mits de woning of het gebouw daarvoor geschikt is. Een hybride warmtepomp levert een grote energiebesparing op, terwijl het gebouw (nog) niet geschikt hoeft te zijn voor LT-afgifte. Hierdoor is de hybride warmtepomp een goede maatregel voor alle gevallen waar nog geen eindoplossing bekend is.
 - Of de hybride warmtepomp lokaal een tussen- of eindoplossing is, is in veel gevallen nog niet te zeggen. Dit hangt namelijk af van de al dan niet geplande uitrol van een warmtenet na 2035, de (on)mogelijkheden voor een all-electric-strategie als eindperspectief en de toekomstige beschikbaarheid en kosten van duurzame gassen. In alle scenario's is uitgegaan van duurzaam gas voor de piekvoorziening van de verwarming van een klein deel van de GO. Productie van groen gas wordt gestimuleerd door de bijmengverplichting in de GO.
5. **Integrale benadering van energiedragers in decentrale energiehub.** Slimme energiehub zijn decentrale energiesystemen waar vraag en aanbod van duurzame energie aan elkaar wordt gekoppeld, soms via flexibele opslag. Op die manier kan duurzame energieopwek optimaal worden benut en kan het net worden ontlast ter voorkoming van netcongestie. In de gebouwde omgeving kan ook slim(mer) gebruik gemaakt worden van het koppelen van elektrische mobiliteit, warmte- en koudevraag en koppeling tussen functies (wonen en werken) en bedrijventerreinen. Hiermee kan idealiter energie worden bespaard, de piekvraag worden beperkt, en flexibiliteit worden geboden. Dit wordt verder beschreven in NPE Verdiepingsdocument B, Hoofdstuk 5 (Decentrale energiesystemen en initiatieven).
6. **Beperken van de koelvraag of de koelvraag duurzaam invullen of benutten.** Er is een groeiende vraag naar koeling en in de toekomst zal deze naar verwachting nog verder groeien. Om het energiegebruik en de piekbehoefte aan energie door koeling te beperken zijn er twee mogelijkheden:
- Het beperken van de koelbehoefte en het energiegebruik voor koeling volgens de ladder van koeling: zorg voor een koel gebied, houd ongewenste warmte buiten door middel van zonwering, pas passieve koeling toe door o.a. nachtventilatie, koel zo efficiënt mogelijk. Ook kan door slimme sturing voorkomen worden dat de koelvraag 's nachts optreedt, en kan mogelijk de opwek door zonnepanelen juist worden ingezet om op het juiste moment te koelen.
 - Bij systemen met seizoensopslag, zoals warmtepompen met een bodembron of ZLT-warmtenetten (ofwel uitwisselingsnetten) levert koeling in feite juist de warmtebron voor de winter. In deze gevallen hoeft de koeling niet beperkt te worden.
7. **Het beperken van de piekvraag door slimme sturing en opslag.** Deels overlappend met de hierboven benoemde punten, kan de piekvraag op de volgende manieren worden beperkt:
- Slimme sturing: De meeste gebouwen hebben een relatief grote thermische massa. Hierdoor koelt een gebouw niet direct af wanneer de verwarming of koeling wordt uitgezet. Door deze thermische massa kan in principe de ruimteverwarming wel een uur of iets meer worden uitgezet.
 - Flexibele inzet van warmtepompen: Warmtepompen kunnen warmte opslaan in het boiler vat als er voldoende (of teveel) opwek is. Dit geldt vooral voor het tapwater.
 - Om de technische mogelijkheden die hierboven benoemd zijn ook daadwerkelijk te kunnen benutten, zijn slimme energiemanagementsystemen nodig. Zo moeten warmtepompen bijvoorbeeld in staat zijn te reageren op externe sturing of schommelingen in spanning op het elektriciteitsnet.
 - Beperken van de piekvraag via opslag: Voor het opvangen van een piekvraag van langere tijden is de gebouwschaal meestal te klein. Oplossingen op buurt- of

wijkniveau zijn hier meer van toepassing. Ook oplossingen voor de seizoensongelijkheid van de vraag in de gebouwde omgeving vergen grote collectieve opslagvoorzieningen. Zie ook het ontwikkelpad voor de warmteketen (Verdiepingsdocument B).

**Gewenste ontwikkelrichting 2:
Creëer de juiste (o.a. financiële) prikkels zodat de keuzes die voordelen hebben voor het nationale of regionale systeem ook lokaal aantrekkelijk zijn.**

Toelichting en onderbouwing

Bij de lokale keuze voor een warmte-alternatief wordt door gemeenten, gebouwdeigenaren en overige stakeholders al vaak breed gekeken naar meerdere criteria, waaronder kosten, ruimtegebruik zowel in de gebouwen als in de openbare ruimte en de impact op de directe leefomgeving (zoals geluid of beeldbepalende elementen). Echter, systeemcriteria zoals beschreven onder ontwikkelrichting 1 maken vaak geen of beperkt deel uit van de lokale analyse omdat het voor gemeenten en stakeholders moeilijk is om dit soort criteria mee te wegen. Ook worden oplossingen met een voordeel voor het landelijke of regionale systeem soms uiteindelijk niet toegepast omdat dit lokaal voor meerkosten zorgt. Een voorbeeld is het weglaten van een warmte-opslag in de uitwerking van een lokaal energiesysteem, omdat dit voor de lokale business case ongunstig is. Voor het lokaal aantrekkelijk maken van de opties die voordelen bieden voor het gehele systeem moeten de juiste prikkels worden gecreëerd zodat maatschappelijke baten ook lokaal landen.

Mogelijke uitwerking

1. **Informatie en communicatie.** Een eerste stap die al genomen kan worden, is het duidelijk communiceren naar de betrokken stakeholders welke criteria vanuit het energiesysteem wenselijk zijn om mee te nemen. Dit betreft communicatie naar gemeenten, maar ook lokale energie-initiatieven en gebouwdeigenaren. Via bijvoorbeeld de startanalyse of het NPLW kan gecommuniceerd worden over de bovengenoemde systeemcriteria.
2. **Financiële prikkels.** Kostenefficiëntie is (nog) niet altijd gelijk aan energie-efficiëntie of het benutten van energie op het meest wenselijke moment vanuit het systeem gezien.

Ook leiden de onder ontwikkelrichting 1 genoemde criteria niet altijd tot de laagste nationale kosten. De huidige prikkels leiden dus nog niet (altijd) tot de vanuit steemperspectief meest gewenste oplossingen. Zowel de kosten voor de eindgebruiker als de business case van de oplossing moeten zoveel mogelijk in lijn worden gebracht met de voor het systeem meest wenselijke oplossing. Financiële prikkels (subsidies en beprijzen) en normering kunnen bijdragen aan de juiste keuze. Hierbij is vanzelfsprekend belangrijk om rekening te houden met betaalbaarheid, (klimaat)rechtvaardigheid en het doenvermogen van huishoudens, mkb'ers en instellingen. Kennis en ontzorging op financieel vlak kunnen hieraan bijdragen.

- Voorbeeld: Op dit moment zijn de energieprijzen niet altijd in lijn met het 'energie-efficiëntie' principe. Grootverbruikers betalen bijvoorbeeld minder energiebelasting per voor energie-eenheid dan kleinverbruikers door het degressieve karakter. Hierdoor hebben grootschalige systemen, hoewel zij mogelijk meer elektriciteit gebruiken, een financieel voordeel. Hiervoor kan het helpen als de degressiviteit van de energiebelasting wordt verminderd.

Bij het in lijn brengen van de lokale business case en/of eindgebruikerskosten met brede maatschappelijke waarde valt te denken aan:

- De juiste verhouding tussen elektriciteits-, gas- warmteprijs, bijvoorbeeld deels op basis van de energie-inhoud of koolstof-intensiteit.
- Verschillende prijzen voor een energievraag op piek- en dalmomenten, waardoor een financiële prikkel ontstaat om in te spelen op tekorten en overschotten op de energiemarkten.
- Subsidie voor opslag of flexibiliteit in een warmte- of koude systeem. Dit kan een tijdelijke oplossing zijn, als het niet mogelijk is om de juiste financiële prikkels in de prijzen te reflecteren of als de opslagtechniek nog in de kinderschoenen staat.
- Het consistent reguleren de verschillende energie-infrastructuren, Hiervoor zijn twee mogelijkheden:
 - Ofwel op gelijke mate socialiseren van kosten voor aanleg (en onderhoud) van infrastructuur van warmtenetten, net als voor gas en elektriciteit.
 - Ofwel het consistent belonen of beprijzen van positieve c.q. negatieve externe effecten via bijvoorbeeld subsidies. Een voorbeeld is hierbij is het belonen van vermeden kosten voor netverzwaring als wordt gekozen voor vermindering van de

piekvraag doordat bijvoorbeeld een warmtenet aangelegd wordt waardoor netverzwaring voor elektriciteit voorkomen wordt.

Bij deze mogelijke uitwerkingen dient uiteraard wel rekening te worden gehouden met het handelingsperspectief van de gebruikers en in het bijzonder kwetsbare huishoudens. Als een huishouden niet of maar beperkt kan investeren in verduurzaming of flexibiliteit, bijvoorbeeld vanwege afwachting van een collectief warmtesysteem of zonder investeringsruimte of zeggenschap (huurder), dan kan het voor die huishoudens onredelijk voelen dat de consumentenprijzen van gas worden verhoogd als prikkel om te elektrificeren of isoleren en dat ze geen mogelijkheid hebben om toegang tot krijgen tot de baten van dynamische tarieven of zich te beschermen tegen de risico's ervan.

Ook geldt dat naast financiële prikkels ook andere aspecten een rol spelen bij de keuze van de eindgebruiker, waardoor de keuze van de eindgebruiker ook bij de juiste financiële prikkels niet altijd in lijn zal zijn met de maatschappelijke waarde of het energie-efficiëntie principe.

Gewenste ontwikkelrichting 3: Sneller concreet worden met gemeentelijke plannen

Toelichting

Er zijn al bestuurlijke afspraken over de verdere uitwerking en update van de Transitievisies Warmte (TVW's, vanaf 2026 warmteprogramma, zoals bedoeld onder de Omgevingswet). De afspraak met gemeenten is dat eind 2024 de plannen van wijken zijn uitgewerkt in wijkuitvoeringsplannen. Daarnaast is in de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw) voorgeschreven dat gemeenten in 2026 hun TVW van een update voorzien in een nieuw warmteprogramma.

Voor deze update is het van belang dat concreter beschreven wordt waar een duurzaam warmtenet of volledig elektrische warmtepomp een goede duurzame oplossing kan zijn, en wat de beoogde einddatum van de levering van aardgas dan kan zijn. Ook is het van belang dat gemeenten duidelijk maken welke oplossing in ieder geval *niet* wordt gekozen,

bijvoorbeeld geen warmtenet omdat er te weinig duurzame warmtebronnen beschikbaar zijn.

Onderbouwing

- Dit geeft duidelijkheid aan bewoners, netbeheerders én het energiesysteem: wat is het (potentiële) beslag op energiedragers zoals elektriciteit en duurzaam gas.
- Het voorkomt dat individuele keuzes (in de tussentijd) maatschappelijk wenselijke collectieve oplossingen in de weg gaan staan. Daarmee verklein je ook het volloopriscico voor warmtenetten.

Mogelijke uitwerking

- Gemeenten voeren regie over de keuzes voor een aardgasvrije warmtevoorziening. Zij hebben kennis en concrete handvatten nodig hoe zij overwegingen voor het nationale of regionale energiesysteem kunnen meenemen in het keuzeprocess. Hier ligt ook een rol voor het NPLW in samenwerking met de rijksoverheid. De prikkels die in ontwikkelrichting 2 worden genoemd, zullen gemeenten ook helpen om systeemoverwegingen mee te nemen.
- Momenteel is elke gemeente vrij om een vorm te kiezen voor de Transitievisie warmte (TVW) die zij opstelt. Het kan helpen om dit los te laten. Om te stimuleren dat gemeenten sneller concrete keuzes maken, is het bijvoorbeeld wenselijk dat gemeenten in hun TVW's motiveren wanneer zij nog geen keuze (kunnen of willen) maken.
- Voor veel gemeenten is onduidelijk of uitbreiding van het (LS-) elektriciteitsnet nodig is om te kunnen kiezen voor elektrische warmteoplossingen. Dit heeft ook een raakvlak met de groei van zonnepanelen en elektrische auto's in wijken en op bedrijventerreinen. Netbeheerders kunnen gemeenten helpen door hier meer duidelijkheid over te geven.
- Vanuit het Rijk moet zo snel mogelijk duidelijkheid worden gegeven over de invoering van relevante wet- en regelgeving voor de warmtetransitie. Dit geeft gemeenten meer zekerheid over de wettelijke kaders. Daarvoor is het van belang om met prioriteit de normering van verwarmingsinstallaties (hybride warmtepomp), de Wet Collectieve Warmte (WCW), de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw) en de Energiewet uit te werken en in te voeren.

2. Transitiepad mobiliteit

Dit hoofdstuk beschrijft het gewenste transitiepad van de sector mobiliteit naar 2050. In deel 1 is de huidige situatie van de sector mobiliteit beschreven. Dit onderdeel bevat de klimaatimpact, het energiegebruik en de karakteristieken van de verschillende modaliteiten. Deel 2 laat de verwachte vraag naar energie van de verschillende modaliteiten zien. Daaruit blijkt dat er voor de modaliteiten richting 2050 een restopgave van 555 PJ is om in te vullen. Dit komt omdat het huidige beleid niet voldoende is om de doelstellingen (klimaatneutraliteit in 2050) te halen. Dit onderdeel schetst het eventueel gewenst eindbeeld van de energievraag per modaliteit en geeft aan wat nodig is om de restopgave in te vullen. Deel 3 geeft de totale gewenste hoeveelheden duurzame energiedragers in 2050 weer en toont een uitvoeringsagenda waarmee de gewenste situatie eventueel te bereiken is. Daarbij kunnen er nog veel onzekerheden bestaan over hoe dit beleid in te vullen. De beschikbaarheid van voldoende elektriciteit voor de mobiliteitssector is van cruciaal belang voor het welslagen van de transitie naar elektrische voertuigen en om in het ernstigste geval uitval van het vervoer van personen en vervoer te voorkomen. Deze uitval kan grote gevolgen hebben voor welvaart en welzijn. De komst van zero-emissiezones vanaf 1 januari 2025 is hierbij een belangrijke testcase.

³⁰ Uw Kamer is op 17 maart geïnformeerd over de keuzes die gemaakt moeten worden ten behoeve van het nieuwe Klimaatplan (Kamerstuk 32813-1180). In deze brief kwamen ook de internationale sectoren lucht- en zeevaart aan de orde. In opdracht van het ministerie van IenW wordt voor de zeevaart onderzoek gedaan naar een verdeelsleutel, om een gedeelte van de emissies van de internationale zeevaart toe te rekenen aan Nederland. Op deze manier ontstaat er een integraal beeld over welke emissies uit de lucht-

2.1. Huidige situatie

De sector mobiliteit omvat het verkeer en vervoer over weg, water, spoor en door de lucht. Daarbij is de mobiliteit te verdelen in een nationaal deel (weg, binnenvaart en spoor) en een internationaal deel (veelal zeevaart en luchtvaart). Het NPE gaat zowel in op de nationale als de internationale mobiliteit.

Nationale mobiliteitssectoren stootten in 2021 29,6 Mton CO₂-equivalenten uit, wat neerkomt op zo'n 18% van de totale uitstoot in Nederland. Wegverkeer is verantwoordelijk voor circa 80% van de binnenlandse CO₂-uitstoot door mobiliteit. Met het huidige voorgenomen en vastgestelde beleid zal dit richting 2030 en 2040 niet veranderen. Binnen het wegverkeer zijn personenauto's verantwoordelijk voor meer dan de helft van de uitstoot, gevolgd door vrachtwagens (ruim 25%) en bestelbusjes (ongeveer 17% van de uitstoot). Na het wegverkeer zijn mobiele werktuigen met ongeveer 10% van de uitstoot de belangrijkste subgroep.

In de laatste decennia is de uitstoot van broeikasgassen binnen de mobiliteitssector licht gedaald. De uitstoot van 32,2 Mton in 1990 is in 30 jaar met 5% afgenomen naar 30,5 Mton in 2021. De uitstoot in 2030 wordt daarmee in de KEV 2023 geraamd op 18-25 Mton CO₂-eq. Daarmee ligt mobiliteit op pad om te voldoen aan het indicatieve sectordoel van 2030 van 21 Mton CO₂-eq (hierbij worden wel maatregelen als Betalen naar Gebruik meegenomen waarbij de implementatie op dit moment nog niet zeker is).

Internationale mobiliteitssectoren betreffen (energieleveranties aan) internationale binnenvaart, lucht- en zeevaart. Deze dragen bij aan de mondiale uitstoot waar deze niet (volledig) worden meegenomen in de nationale doelstellingen³⁰. De internationale zeevaart en luchtvaart zijn onderdeel van het Parijsakkoord, en worden dus geacht bij te dragen aan de bijbehorende doelen. In het uitvoeringsprotocol bij het akkoord is echter geen

en zeevaart in het nationale doel voor 2050 kunnen passen. Uw Kamer wordt eind 2023 over de uitkomsten van dit onderzoek geïnformeerd via de jaarlijkse voortgangsbrief over het klimaatbeleid voor de zeevaart. Deze uitkomsten worden vervolgens voor lucht- en zeevaart betrokken bij het Klimaatplan 2024

verplichting opgenomen voor lidstaten om in deze sectoren tot een reductie van broeikasgasuitstoot te komen. In plaats daarvan zijn afspraken over emissiereducties in deze sectoren belegd bij gespecialiseerde agentschappen van de Verenigde Naties: International Maritime Organization (IMO) en International Civil Aviation Organization (ICAO).

De energieleveranties vanuit Nederland aan deze internationale sectoren die voor het Nederlandse energiesysteem het meest relevant zijn, betreffen de bunkerbrandstoffen (de brandstoffen voor luchtvaart en de maritieme sector). Deze bunkerbrandstoffen waren in 2021 goed voor 43,8 Mton CO₂-eq uitstoot. Deze emissies overstijgen daarmee de binnenlandse uitstoot in de mobiliteitssector.

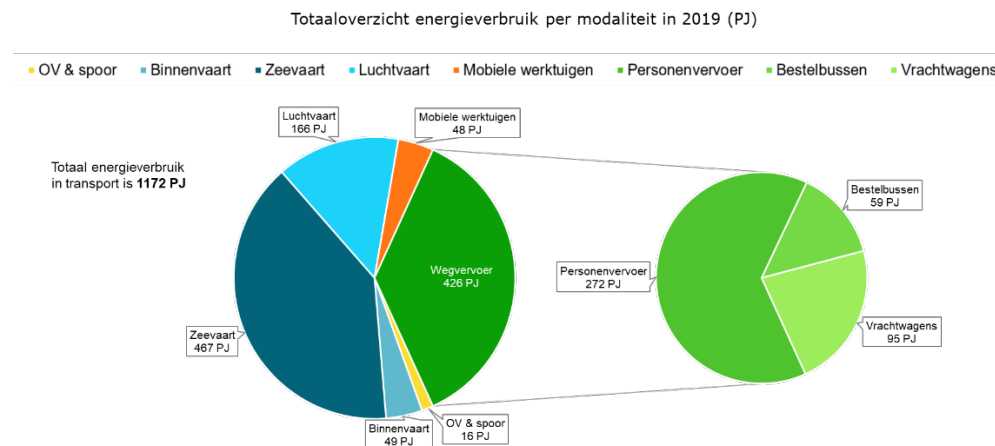
Tabel 1. CO₂-eq uitstoot van broeikasgassen van in Nederland geleverde bunkerbrandstoffen

	2021 (Mton)	2025 (Mton)	2030 (Mton)
Zeevaart	33,7	35,1	33,6
Luchtvaart	7,3	10,3	10,9
Binnenvaart	2,7	2,8	2,8
Totaal	43,8	48,2	47,4

Binnen de mobiliteitssector zijn acht modaliteiten te identificeren, ieder met eigen karakteristieken en daarmee ook eigen paden voor duurzaamheid en energieverbruik.

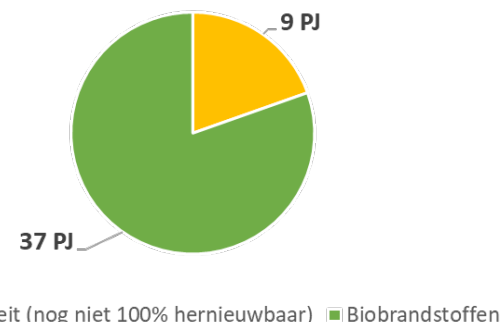
1. Personenvervoer
2. Spoorvervoer en Regionaal ov
3. Bestelvervoer
4. Zwaar wegtransport
5. Mobiele werktuigen
6. Binnenvaart
7. Zeevaart
8. Luchtvaart

Hieronder de indicatie van hoeveelheden energieverbruik naar modaliteiten zoals hierboven benoemd.



Figuur 11. Totaaloverzicht mobiliteit 2019 (eindgebruik, in PJ). Voor zeevaart betreft dit de totale hoeveelheid energie die in Nederland gebunkerd is in 2021. Voor de zeevaart zijn recentere gegevens gebruikt, omdat COVID19 weinig invloed heeft gehad op de volumes in deze sector, zoals vermeld in de KEV 2022.

Totaaloverzicht duurzame energiedragers in mobiliteit 2019 (eindgebruik, in PJ)



Figuur 12. Voor de zeevaart betreft dit de totale hoeveelheid energie die in Nederland gebunkerd is in 2021. Voor de zeevaart zijn recentere gegevens gebruikt, omdat COVID 19 heeft gehad op de volumes in deze sector, zoals vermeld in de KEV 2022.

Karakteristieken per modaliteit

Personenvervoer

In Nederland zijn circa 8,9 miljoen personenauto's geregistreerd, waarvan 3,7% voorzien van zero-emissie aandrijflijn³¹. In 2021 bedroeg de totale CO₂-uitstoot van dit wagenpark ongeveer 13,35 Mton en het energieverbruik circa 198 PJ.

De uitstoot van personenauto's is sinds 1990 nauwelijks afgenomen, terwijl strengere normen voor aanzienlijk zuinigere individuele auto's hebben gezorgd. De toename in CO₂-uitstoot van personenauto's is gerelateerd aan de toename van het aantal huishoudens, de toename van het aantal voertuigen per huishouden (van 0,8 naar 1,1) en het aantal kilometers per voertuig, wat resulteert in ongeveer 30% meer personenautoverkeer op de weg ten opzichte van 1990. Daarnaast zijn voertuigen ook zwaarder geworden³².

Spoorvervoer en regionaal ov (bus, tram en metro)

In 2018 was het totale energiegebruik in de sector, spoor (reizigers en goederen), bus, tram en metro samen, gelijk aan 15,7 PJ. Hiervan is nog 8,2 PJ fossiele brandstof in de vorm van diesel en CNG. Het regionaal ov en spoor werken stapsgewijs aan verdere verduurzaming.

Spoor

Op het Nederlandse spoor werden in 2019 24,1 miljard treinreizigerskilometers gemaakt³³. Daarnaast werd in datzelfde jaar 7,1 miljard tonkilometer³⁴ over het spoor verplaatst.

Het Nederlandse spoornet is voor 85% geëlektrificeerd. Sinds 2017 worden alle treinen hierop voorzien van 100% groene stroom, deels op basis van certificaten. Dit kwam in 2021 neer op 1342 miljoen kWh³⁵. Daarnaast ligt er in Nederland nog 572 km niet-geëlektrificeerd spoor. Dat zijn hoofdzakelijk regionale lijnen en sporen in zeehavens en industriegebieden. Op deze lijnen rijden momenteel nog diesel of dieselelektrisch aangedreven treinen³⁶ (voor een deel met Hydrotreated vegetable oil). De gezamenlijk CO₂-uitstoot komt neer op 85 Kton per jaar.

³¹ *Cijfers elektrisch vervoer.*

³² *KIM, het wijdverbreide autobezit in Nederland, 2022.*

³³ *CBS, treinreizigerskilometers 2019.*

³⁴ *CE Delft Energievraag en -aanbod in OV en spoorsector (2019), CBS ladingtonkilometers spoorgoederen 2019.*

Voor reizigersvervoer wordt nog op 17 trajecten met dieselelektrische tractie gereden (met name in Overijssel, Gelderland, Groningen en Fryslân). Daarvoor voert IenW gesprekken met regionale concessieverleners over verduurzaming³⁷. Daar zijn echter nog geen concrete afspraken voor gemaakt, noch is financiering voorzien of gereserveerd. Over een deel van deze trajecten rijden ook goederentreinen.

De sporen in haven- en industriegebieden zijn de eerste/ laatste verbindingen tussen het hoofdnet en de bedrijven en terminals aldaar. Op deze 'first mile/ last mile' zorgt dieselelektrische tractie voor het verplaatsen van wagons (of compleet samengestelde treinen) van en naar emplacementen en voor het rangeren. Op deze emplacementen worden treinen samengesteld voor vervoer over grotere afstanden (de zogenaamde 'long haul') en voorzien van elektrische locomotieven (mits uiteraard de tracés zijn voorzien van bovenleiding). Deze trajecten zijn typisch in privaat bezit.

Regionaal OV

In 2019 werden in Nederland 6,5 miljard reizigerskilometers³⁸ afgelegd in bus, tram en metro. Het regionale ov wordt aanbesteed door regionale vervoersautoriteiten, dat zijn de provincies en metropoolregio's. Er rijden 5.000 ov-bussen in Nederland. Daarvan is al een kwart emissieloos bij gebruik, dat is 21% van de dienstregeling kilometers. Deze bussen zijn veelal elektrisch aangedreven. Daarnaast rijdt een klein deel van de busvloot op waterstof. Elektrische bussen laden zich voor het grootste deel met groene stroom op. Het overige deel rijdt nu nog op diesel of HVO-diesel. In 2016 is in het Bestuursakkoord Zero-Emissie Bus (BAZEB)³⁹ vastgelegd dat in 2030 alle ov-bussen zero-emissie zullen zijn, zonder afspraak over welke duurzame energiedrager ze hiervoor moeten kiezen (dit is niet afdwingbaar). Trams en metro's, ook wel 'lightrail' genoemd, zijn in Nederland volledig geëlektrificeerd en rijden sinds 2019 op 100% groene stroom.

³⁵ *Interne gegevens ProRail*

³⁶ *Een dieselmotor wekt elektriciteit op voor elektrisch aangedreven wielen.*

³⁷ *Plan Emissievrij treinreizigersvervoer ProRail voor PDOVS (2022).*

³⁸ *CBS reizigerskilometers 2019.*

³⁹ *Bestuursakkoord | Zero Emissie Bus.*

Bestelvervoer

In Nederland zijn circa 1 miljoen bestelauto's geregistreerd, waarvan 6.000 elektrische voertuigen⁴⁰. De meeste bestelauto's rijden op diesel (B7⁴¹). Het energiegebruik van bestelauto's bedroeg in 2021 circa 56 PJ (exclusief biobrandstoffen). De totale CO₂-uitstoot was ongeveer 3,7 Mton (exclusief CO₂ uit biobrandstof), in vergelijking met 2,6 Mton in 1990⁴². Deze toename in CO₂-uitstoot is gerelateerd aan de toegenomen parkomvang en aan de verkeersprestatie: in 2020 reden bestelauto's ruim twee keer zoveel kilometer als in 1990⁴³. In het beleidsprogramma van het ministerie van IenW is de ambitie uitgesproken om in 2030 tenminste 250.000 bestelauto's emissieloos te laten zijn. Dit is nu niet afdwingbaar.

Zwaar wegtransport

In Nederland zijn circa 160.000 zware bedrijfsvoertuigen (vrachtauto's en trekkers voor opleggers) geregistreerd. Het merendeel van de voertuigen rijdt op diesel (B7). Een klein aandeel van de voertuigen (circa 2%) rijdt op benzine, CNG en LNG. Het aantal elektrische voertuigen is nog klein (circa 300 stuks) maar groeit gestaag⁴⁴. De jaarlijks beschikbare subsidie(s) zijn snel overtekend wat er op duidt dat er veel vraag naar elektrische vrachtwagens is.

In 2021 bedroeg het energiegebruik van zware bedrijfsvoertuigen circa 108 PJ. De totale CO₂-uitstoot bedroeg in 2021 ongeveer 7,2 Mton (exclusief CO₂ uit biobrandstof), in vergelijking met 7,8 Mton in 1990. In het beleidsprogramma van het ministerie van IenW is de ambitie uitgesproken om in 2030 tenminste 16.000 vrachtauto's emissieloos te laten zijn.

Het zware wegtransport speelt een belangrijke rol in het vervoer van goederen: circa 80% van het binnenlands goederenvervoer en 21% van het grensoverschrijdend goederenvervoer vindt plaats via de weg⁴⁵. Het zware wegtransport kenmerkt zich dan ook door lange afstanden die voor een groot deel op het snelweg en in het buitenland worden afgelegd.

⁴⁰ Zie *Trendrapport Lichte Bedrijfsvoertuigen (Trendrapport Lichte Bedrijfsvoertuigen | RVO/Revnext, 2023)*.

⁴¹ B7 is een mengsel uit fossiel en bio-diesel. In dit geval verwijst 7 naar de bijgemengde hoeveelheid biobrandstof (in procenten).

⁴² Zie *Klimaat- en Energieverkenning (Klimaat- en Energieverkenning 2022 (pbl.nl))*.

⁴³ Zie *CBS verkeersprestaties bestelauto's (Verkeersprestaties bestelauto's; kilometers, grondgebied 1990-2020 (cbs.nl))*.

Nederlandse vrachtvoertuigen leggen circa 30% van de kilometers af in het buitenland en circa 13% van de kilometers in Nederland worden afgelegd door buitenlandse voertuigen⁴⁶.

Touringcarbussen

Daarnaast zijn er in Nederland 3500 touringcars geregistreerd, die nu nog volledig fossiel worden aangedreven. Nederland streeft in het kader van het Memorandum of Understanding Heavy Duty Vehicles vanaf 2040 naar 100% zero-emissie nieuwverkoop van zware voertuigen, waaronder ook touringcars. Omdat over deze transitie nog te weinig data beschikbaar is, zijn touringcars niet meegenomen in de doorrekeningen voor de Peta Joules-kaartjes.

Mobiele werktuigen

Mobiele werktuigen gaan van tractoren tot hijskranen. Het betreft een heel diverse categorie en dat maakt het verzamelen en samenbrengen van gegevens hierover moeilijk. In totaal heeft deze sector een geschat energieverbruik van 50 PJ. In dit plan ligt de focus op het bouwmaterieel. Deze sector behelst circa 20 PJ. Voor bouwmaterieel is het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) opgericht, dat de sector bedient met instrumenten (zoals subsidies en middelen voor strengere aanbestedingseisen) om te verduurzamen. Door SEB neemt sinds 2022 het aandeel zero-emissie toe, met name batterij-elektrisch. Op andere types mobiele werktuigen, is op dit moment beperkt zicht wat verduurzaming betreft. Dit komt onder andere doordat eenduidige (registratie- en informatie)eisen voor deze werktuigen ontbreken. Ook zijn deze werktuigen vaak niet gekentekend. Het gaat om circa 30 PJ van de 50 PJ, wat neerkomt op 3,5 Mton CO₂-uitstoot.

Binnenvaart

De huidige Nederlandse binnenvaartvloot bestaat uit ruim 6.000 schepen en vaart bijna volledig op fossiele diesel. Een handvol schepen vaart op LNG. De verwachting is dat tussen

⁴⁴ *De aanschafsubsidie AanZET voor ZE trucks is in 2023 na één dag overtekend. Zo stromen er dit jaar weer 400 nieuwe schone vrachtwagens de weg op (zie Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl)*

⁴⁵ Zie *CBS-cijfers goederenvervoer (Goederenvervoer; vervoerwijzen, vervoerstroom van en naar Nederland (cbs.nl))*.

⁴⁶ Zie *CBS verkeersprestaties vrachtvoertuigen (Verkeersprestaties vrachtvoertuigen; kilometers, gewicht 2001-2020 (cbs.nl))*.

nu en 2030 150 batterij-elektrische schepen in de vaart komen. Daarnaast komen in 2023 zeker twee waterstofscheepen in de vaart, maar hoe dit aantal zich verder zal ontwikkelen is momenteel niet zeker.

De gemiddelde energiebehoefte van de binnenvaart is 49 PJ per jaar. Uit cijfers van het CBS blijkt verder dat de binnenvaart in 2020 ruim 2 Mton CO₂ uitstootte. Desondanks stoot de binnenvaart relatief weinig CO₂ uit. Per vervoerde tonkilometer is de uitstoot van de binnenvaart momenteel nog ruim minder dan die van het wegvervoer. Het is dan ook kabinetsbeleid om vracht te verplaatsen van weg naar water en spoor.

Zeevaart

De zeevaart omvat zowel deep sea als short sea en kent een grote diversiteit wat betreft scheepstypen, grootte en vaarprofielen. Deze diversiteit vertaalt zich onder meer in verschillen in het vereiste motorvermogen, de totale energiebehoefte per schip en daarmee het type energiedragers dat wordt gebruikt. Directe toepassing van elektriciteit en waterstof zijn in veel gevallen niet mogelijk, omdat hiermee geen voldoende hoge energiedichtheid te bereiken is.

In de zeevaart zit een groot onderscheid tussen de Nederlandse zeevaartsector en de energieleveranties die vanuit Nederland worden verstrekt aan schepen van vooral internationale herkomst. Nederland kent grote volumes in deze bunkerbrandstoffen.

Ongeveer een kwart van alle bunkerbrandstofleveringen aan de internationale zeescheepvaart in de Europese Unie loopt via Nederland (KEV 2022). In 2021 bedroeg het bunkervolume 467 PJ (berekend op basis van gegevens uit de KEV 2022, over de bunkerafzet in 2021). Deze bunkerbrandstoffen bestaan momenteel voornamelijk uit Heavy Fuel Oil (HFO) (inclusief de laagzwavelige varianten), Marine Diesel Oil (MDO)/ Marine Gas Oil (MGO) en een groeiend aandeel LNG. Daarnaast groeit het aandeel biobrandstoffen, ten gevolge van de opt-in voor zeevaart in de Jaarverplichting hernieuwbare energie vervoer.

In de wereldwijde zeevaart is in recente jaren een toename van uitstoot te zien door de groeiende wereldhandel. Tegelijkertijd is het energieverbruik per schip door efficiencymaatregelen juist afgenomen. Er zijn internationale afspraken over het

terugdringen van emissies, zowel over de energieleveranties als over de toepassing in schepen, en deze zijn constant in ontwikkeling.

De broeikasgasuitstoot afkomstig van de zeevaart valt momenteel niet onder het nationale klimaatdoel. De CO₂-emissies van de zeevaart zijn wel beperkt door de opname van zeevaart binnen het EU emissiehandelsstelsel (vanaf 2024). Daarnaast zal FuelEU Maritime zorgen voor een vergroening van de brandstoffen. In juli 2023 heeft de IMO de herziene broeikasgasreductie strategie vastgesteld naar netto nul uitstoot in of nabij 2050 en met tussentijdse doelen van 20% reductie t.o.v. 2008 (met een streven naar 30%) in 2030, en 70% reductie t.o.v. 2008 (met een streven naar 80%) in 2040. De komende twee jaar wordt gewerkt aan afspraken over de maatregelen die deze ambitie moeten gaan waarmaken. Deze maatregelen worden uiterlijk in 2025 vastgesteld om in 2027 in werking te kunnen treden. Schepen die van en naar Nederlandse havens varen, moeten aan IMO-maatregelen voldoen. Nederland handhaaft dat, net als voor de eigen vloot. De Tweede Kamer is op 17 maart 2023 geïnformeerd over de keuzes die gemaakt moeten worden ten behoeve van het nieuwe Klimaatplan⁴⁷. In deze brief kwamen ook de internationale sectoren lucht- en zeevaart aan de orde. In opdracht van het ministerie van IenW wordt voor de zeevaart onderzoek gedaan of het mogelijk is om een verdeelsleutel te ontwikkelen, waarmee een gedeelte van de emissies van de internationale zeevaart toe zou kunnen worden gerekend aan Nederland. Op deze manier ontstaat er een integraal beeld over welke emissies uit de lucht- en zeevaart in het nationale doel voor 2050 kunnen passen.

Luchtvaart

Nederland heeft in 2019⁴⁸ een totaal aantal van 655.572 vliegbewegingen van en naar de vijf Nederlandse nationale luchthavens (Amsterdam Airport Schiphol, Eindhoven Airport, Rotterdam The Hague Airport, Groningen Airport Eelde en Maastricht Aachen Airport). In het Akkoord Duurzame Luchtvaart uit 2019 is als doel gesteld om de CO₂-uitstoot van internationale vluchten vertrekkende uit Nederland in 2030 terug te brengen tot het niveau van 2005. In 2050 moet dit ten opzichte van 2005 gehalveerd zijn, om in 2070 op nul uit te komen. De CO₂-uitstoot van vluchten (internationale luchtvaart) vertrekkend vanuit Nederland is berekend aan de hand van de CBS-cijfers over getankte kerosine voor de

⁴⁷ Kamerstuk 32813-1180

⁴⁸ Hoeveel vliegbewegingen zijn er van en naar Nederland? (cbs.nl)

internationale luchtvaart (“afzet voor bunkers”) ⁴⁹. Op basis van een emissiefactor is het mogelijk om een kg brandstof om te rekenen naar een kg CO₂.⁵⁰ In lijn met de mondiaal verwachte groei van de luchtvaartsector op de lange termijn, zullen de emissies in deze sector zonder ingrijpende maatregelen blijven toenemen. Nederland werkt samen op mondiaal, Europees en nationaal niveau om de benodigde CO₂-uitstoot te reduceren⁵¹.

Tabel 2. Indicator Duurzame luchtvaart: CO₂-uitstoot van vluchten vanuit Nederland

	2017	2018	2019	2020*	2021*	2022*	Doel 2030	Doel 2050
CO₂-uitstoot (Mton)	12,2	12,3	12,0	6,7	7,4	9,7	11,1	5,5

In Tabel 2 zijn voor 2021 en 2022 voorlopige cijfers van het CBS opgenomen. Bij de luchtvaart is in 2030 een extra reductie van 1-1,2 megaton CO₂-equivalenten denkbaar door de nationale doelstelling voor de bijmenging van duurzame luchtvaartbrandstoffen van 14% in 2030, en de mogelijke introductie van accijns op kerosine⁵².

2.2. Transitie naar toekomstbestendige mobiliteit

In mobiliteit wordt een overstap gemaakt van fossiele naar duurzame energiedragers die bijdragen aan de gewenste CO₂-reductie. Er zijn verschillende transitiepaden en bijbehorende mix van energiedragers voor de verschillende modaliteiten. Bij het verduurzamen moeten in ieder geval de volgende randvoorwaarden aanwezig zijn: de energiedragers, de tank- of laadinfrastructuur en de vaar/voertuigen. Er zit een grote potentie in het omschakelen naar het gebruik van duurzame energiedragers, ter vervanging van de fossiele varianten die nu bij de verschillende modaliteiten worden gebruikt. Daarbij moet er wel voldoende beschikbaar zijn voor de mobiliteit. Ook in tijden waarin duurzame energiedragers nog schaars zijn.

Naast deze overstap naar duurzame energiedragers is het ook gewenst om het energieverbruik te verminderen. Denk daarbij aan vermindering van energieverbruik door minder reizen (bijvoorbeeld door vaker thuis te werken) en anders reizen (bijvoorbeeld met

vervoer dat minder uitstoot, zoals lichtere auto’s, ov of de fiets). De mogelijkheid van het toepassen van andere oplossingen zal per modaliteit verschillen. De transitie naar duurzame energiedragers van de modaliteiten en de andere mogelijkheden om bijvoorbeeld het energieverbruik te verminderen en CO₂-uitstoot te kunnen reduceren zullen per modaliteit worden behandeld.

Beleid- en regelgeving

Bij de verduurzamingsopgave in mobiliteit moet er ook rekening worden gehouden met regelgeving. Regelgeving wordt op verschillende niveaus gemaakt. Mondiaal via ICAO of IMO, Europees via de verschillende onderdelen van de Green Deal en Fit For 55. Landelijk wordt er gestuurd middels het klimaatakkoord en de sectoragenda’s (de Luchtvaartnota en de nationale Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens).

Mondiaal: Afspraken in ICAO en IMO

ICAO

Luchtvaart is onderdeel van het Parijsakkoord. De verantwoordelijkheid voor de invulling en uitvoering is belegd bij de internationale burgerluchtvaartorganisatie van de Verenigde Naties: ICAO. In 2022 is het volgende langetermijndoel voor de internationale luchtvaart geformuleerd: netto nul CO₂-emissies in 2050.

IMO

In juli 2023 heeft de IMO de herziene broeikasgasreductie strategie vastgesteld naar netto nul uitstoot in of nabij 2050 en met tussentijdse doelen van 20% reductie t.o.v. 2008 (met een streven naar 30%) in 2030, en 70% reductie t.o.v. 2008 (met een streven naar 80%) in 2040. De komende twee jaar wordt gewerkt aan afspraken over de maatregelen die deze ambitie moeten gaan waarmaken. Deze maatregelen worden uiterlijk in 2025 vastgesteld om in 2027 in werking te kunnen treden.

⁴⁹ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/84596NED/table?ts=1676559326551>

⁵⁰ ICAO hanteert voor CORSIA een emissiefactor van 3,16, de EU voor het ETS een factor van 3,15. Het kabinet sluit aan bij de factor die de EU gebruikt: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/10/21/voortgang-CO2-plafond-internationale-luchtvaart>

⁵¹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/10/21/voortgang-CO2-plafond-internationale-luchtvaart>

⁵² <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2022-klimaat-en-energieverkenning-4838.pdf>

Europees: Fit for 55

De EU lanceerde in december 2019 de EU Green Deal, een ambitieus beleidsinitiatief met als doel klimaatverandering aan te pakken, duurzaamheid te bevorderen en de Europese economie meer milieuvriendelijk en veerkrachtig te maken. Het EU Fit for 55 is de uitwerking van de Green Deal: een omvangrijk pakket van beleidsvoorstellen en wetgevingsinitiatieven dat in juli 2021 door de Europese Commissie werd voorgesteld. Het pakket omvat verschillende maatregelen, zoals het aanscherpen van de doelstellingen voor CO₂-reductie, het bevorderen van hernieuwbare energiebronnen, het invoeren van een CO₂-heffing op importproducten en het stimuleren van duurzaam transport. Het doel is om de EU op koers te brengen om haar doelstellingen voor 2030 te halen, waaronder een vermindering van de netto-uitstoot van broeikasgassen met ten minste 55% ten opzichte van 1990.

Belangrijk onderdeel van het Fit for 55 pakket voor mobiliteit is de herziening van de Renewable Energy Directive van RED2 naar RED3. De verplichting daarin aan lidstaten om te bewerkstelligen dat de brandstofleveranciers een aandeel hernieuwbare energie in het totale eindverbruik van energie in de vervoerssector in 2030 is opgehoogd van 14 naar minimaal 29%. Ook mogen lidstaten nu deze verplichting aan brandstofleveranciers opleggen als een besparing van de broeikasgasketenuitstoot. De hoogte daarvan is ten minste 14,5% CO₂eq reductie in 2030. Bij de internetconsultatie van de wijziging van de Wm die daarvoor nodig is heeft het ministerie van IenW aangegeven dat Nederland voornemens is vanaf 2025 de Jaarverplichting Energie Vervoer als reductieverplichting op te leggen. Andere belangrijke wijziging is dat de verplichting niet alleen geldt over de leveringen aan het wegverkeer en de binnenvaart maar ook over de energie die geleverd wordt aan de internationale sectoren luchtvaart en een deel van de leveringen aan de zeevaart. Ook is de sub-verplichting voor het aandeel van geavanceerde biobrandstoffen (met inbegrip van biogas) verhoogd en moet toenemen naar ten minste 5,5% in 2030, ten minste 1% daarvan moeten hernieuwbare brandstoffen van niet biologische oorsprong zijn.

Voor de internationale sectoren zeevaart en luchtvaart zijn onder het Fit for 55 pakket vanaf 2025 treden de verplichtingen uit respectievelijk de FuelEU Maritime en ReFUEL EU Aviation in werking en wordt het EU ETS een belangrijke factor. FuelEU Maritime legt vanaf 2025 een verplichting om de broeikasgasintensiteit van energie aan boord van het schip met 2% te reduceren ten opzichte van 2020. Dit loopt in 2030 op naar 6%, om vervolgens in 2035 naar

14,5%, in 2040 naar 31%, in 2045 naar 62%, en in 2050 naar 80% te groeien. Daarin een aandeel hernieuwbare brandstoffen van niet biologische oorsprong van ten minste 1,2% vereist. ReFUEL kent voor 2030 heeft een bijmengverplichting van 6% voor brandstofleveranciers en luchtvaartmaatschappijen met een het aandeel hernieuwbare brandstoffen van niet biologische oorsprong van ten minste 1,5%.

Nationaal: Klimaatakkoord, Klimaatwet

Nationaal heeft Nederland te maken met het Klimaatakkoord uit 2019 en de Klimaatwet. In de Klimaatwet staat de reductiedoelstelling in CO₂-equivalenten van 55 procent in 2030 ten opzichte van 1990. In 2050 moet Nederland verplicht klimaatneutraal zijn. In de voorjaarsbesluitvorming van 2023 is in het klimaatpakket dat is gepresenteerd afgesproken dat de binnenlandse mobiliteit nog een indicatieve restemissie mag hebben van 21 Mton CO₂.

Potentie van mobiliteit voor het elektriciteitsnet

Zowel personenvoertuigen als bestelbussen, zwaar transport en bouw materieel kunnen worden ingezet als energiebuffer voor het elektriciteitsnet. Dit kan als zowel de voertuigen als de laadinfrastructuur is toegerust op bidirectioneel laden. Hiermee kan het voertuig elektriciteit afnemen als het aanbod groot is én energie leveren aan het net als er schaarste is. Dit wordt vehicle to grid (V2G) genoemd. Door inzet van de batterij van voertuigen als back-up voor het elektriciteitsnet is het in potentie mogelijk om regionale congestie te voorkomen en de piekvraag te reduceren. V2G bevindt zich nog in de pilotfase en beleid- en regelgeving is hier nog niet op gericht.

Het V2G-potentieel is alleen te benutten als de knelpunten worden opgelost die vermeld staan in het rapport 'V2G - Waarde en Weg Voorwaarts'

Energie-efficiëntie en modal shift

Modaliteiten verschillen onderling in energie-efficiëntie en daarmee in de 'footprint' van de nodige energieopwekking en -infrastructuur. Zo kenmerken spoor en ov zich, ten opzichte van het wegvervoer, door een hoge energie- efficiëntie per reizigerskilometer of tonkilometer. Daarnaast is het in verhouding tot andere modaliteiten relatief schoon. Daarnaast heeft actieve mobiliteit zoals de (elektrische) fiets en lopen zelfs weinig tot geen energiebehoefte. Dit schept mogelijkheden om deze modaliteiten in te zetten voor het

verduurzamen van mobiliteit als geheel. Dit wordt ook wel modal shift genoemd. Wanneer er tegelijkertijd wordt ingezet op verschillende maatregelen, heeft modal shift voor personenvervoer potentie. In dat kader lopen verschillende beleidstrajecten en onderzoeken.

Zo is afgelopen jaar in de plannen voor de ontsluiting van de nieuwe woningbouwlocaties op veel locaties bewust eerst gestuurd op openbaar vervoer en actieve mobiliteit, en daarna pas op automobiliteit. Vroegtijdig het openbaar vervoer inregelen en een combinatie van maatregelen zorgen voor een blijvende modal shift, zoals blijkt uit het rapport 'Autoluw beleid: doelen, effecten en rollen' van het KiM. Tegelijkertijd is er op dit moment, als gevolg van onder meer de arbeidsmarktkrapte en de veranderende reizigersvraag sinds COVID19⁵³, een afschaling van het (regionaal) ov zichtbaar. Het effect naar de vraag en het aanbod wordt op verzoek van de Kamer onderzocht in de herijking van het Toekomstbeeld ov. Dit brengt een realistische inschatting van de maakbaarheid en potentie van het ov in beeld.

Op een beperkt aantal trajecten is de trein een goed alternatief voor de luchtvaart. Vanuit IenW wordt hierop ingezet vanuit de Actieagenda Trein en Luchtvaart. De mogelijkheden zijn echter beperkt binnen de huidige infrastructuur. De actieagenda richt zich op zes prioritaire bestemmingen met bestaande rechtstreekse verbindingen vanuit Schiphol/Amsterdam. Hiervan is uit eerder onderzoek gebleken dat deze, op basis van onder andere reistijd en comfort, voldoende potentie bieden om de reis met het vliegtuig te kunnen vervangen. Ook is IenW initiatiefnemer van Coalitie Anders Reizen, dat bedrijven aanmoedigt om werkgerelateerde reizen te verduurzamen. Daarnaast besteedt de Mobiliteitsvisie aandacht aan het thema internationale bereikbaarheid met onder andere duurzaamheid als variabele. Met als doel om tot de meeste effectieve modaliteit te komen. Ook werkt de directie Openbaar Vervoer & Spoor, op verzoek van de Tweede Kamer, aan een Visie Internationaal Spoor.

Een kanttekening die moet worden geplaatst wat betreft de klimaatpotentie van de modal shift in personenverkeer is dat er ook nog veel onduidelijk is. Studies laten een klimaatpotentie zien die wel is omringd met onzekerheden. Om een duidelijk beeld te

krijgen wat het CO₂-effect hier precies kan zijn is meer onderzoek nodig. Duidelijk is wel dat met een modal shift van personenvervoer er energiebesparing kan worden gerealiseerd.

Daarnaast moet ook benoemd worden dat een modal shift van personenvervoer alleen werkt als het alternatief van de privéauto of het vliegtuig als aantrekkelijk genoeg wordt gezien. Voor velen is bijvoorbeeld het ov nog geen goed alternatief voor de auto, doordat bijvoorbeeld het ov-netwerk niet toereikend genoeg is in bepaalde gebieden. Hier is dus nog extra aandacht voor nodig waarbij dit ook om extra investeringen zal vragen. Het is daarbij van belang dat er ook wordt geïnvesteerd op de juiste plekken. Zo heeft het inzetten op actieve mobiliteit in stedelijke gebieden meer potentie dan in landelijke gebieden.

In een recente studie van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) is gekeken naar de modal shift potentie voor goederen. Uit deze studie komt spoor naar voren als een gunstig alternatief voor vervoer over de weg, het is kosteneffectief en duurzamer. Het is dus zinvol om modal shift richting elektrisch spoor op korte termijn te prioriteren, omdat dit op dit moment tot de grootste integrale kostenafname lijdt. Hierna volgt een modal shift naar diesel-spoor en ten slotte naar de binnenvaart. In 2018 werd een maatregelenpakket geïntroduceerd om de positie van spoorgoederenvervoer voor de modal shift te verbeteren. Hierin zat onder meer een succesvolle modal shift-subsidie voor de markt. In de spoorgoederenvisie worden deze mogelijkheden en benodigde randvoorwaarden verkend en wordt invulling gegeven aan de modal shift-ambitie. Daarnaast onderzoekt het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in de spoorgoederenvisie welke rol het spoor zou moeten spelen de verplaatsing van nieuwe energiedragers zoals ammoniak en grondstoffen in de circulaire economie.

Transitiepaden

Voor de verschillende modaliteiten zijn er verschillende transitiepaden. Voor wegverkeer wordt bijvoorbeeld vooral gekeken naar elektrificeren met batterijen en in mindere mate met waterstof. Energetisch gezien is elektrificatie de beste oplossing; waterstof is minder efficiënt, duurder en minder beschikbaar. Batterij-elektrisch aangedreven personenauto's

zijn bijvoorbeeld 2,5 à 3 keer efficiënter dan personenauto's met een fossiele verbrandingsmotor.

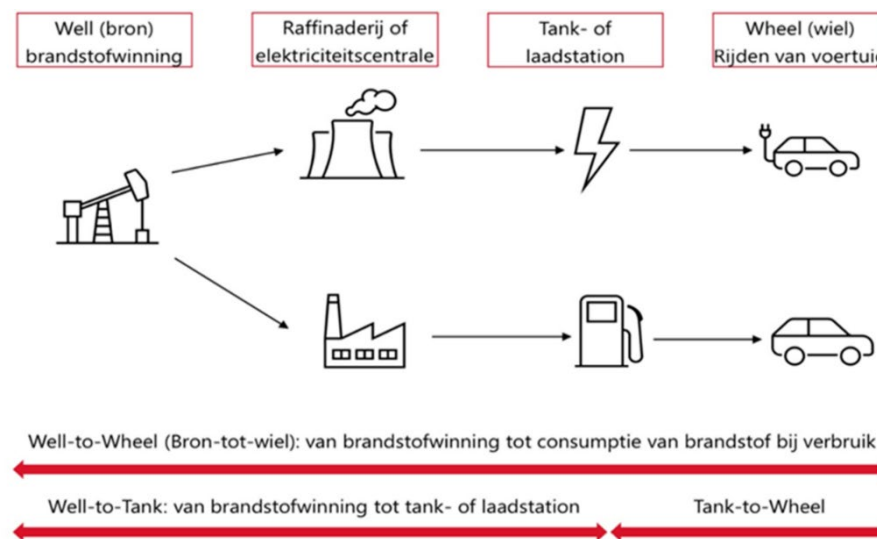
In de transitieperiode zijn vooral voor zwaar wegverkeer biobrandstoffen van groot belang om de CO₂-doelen te halen.

Voor zee- en luchtvaart wordt er vooral naar biobrandstoffen en synthetische hernieuwbare brandstoffen gekeken. Elektriciteit en waterstof in de zeevaart en de luchtvaart zijn op de korte termijn slechts zeer beperkt direct toepasbaar.

Er zijn verschillende manieren om te kijken naar verduurzaming van mobiliteit

- Reduceren van emissies in de gehele keten, (bijvoorbeeld door ETS, RED, FuelEU Maritime en ReFuelEU Aviation)
- Reduceren van directe emissies van het voertuig (bijvoorbeeld emissienormen of de incentives voor aanschaf schone voertuigen)

Ketenemissies kijken naar alle CO₂-emissies die vrijkomen bij de productie van de energie, tot en met de inzet in het voertuig. Dit wordt ook wel 'well to wheel' (WTW) genoemd. Het tweede type regelgeving kijkt alleen naar de CO₂-emissies door de inzet van het voertuig zelf, ook wel 'tank to wheel' genoemd. In Figuur 13 is dit schematisch weergegeven. In de scheepvaart wordt wel gesproken van Well/Tank to Wake en in de luchtvaart van Well/Tank to Wing.



Figuur 13. Schematische weergave Well-to-Wheel en Well-to-Tank

De doorrekening van cijfers voor 2050 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid en een aanzienlijke toename van elektrische voertuigen op grond van EU- en nationaal beleidsinstrumentarium. Hierin zijn onder andere de volgende beleidsmaatregelen meegenomen:

- De effecten van fiscale stimulering voor elektrisch rijden zoals gepland tot en met 2025, evenals de Europese doelstelling voor 100% EV-nieuwverkoop in 2035.
- De CO₂-normen voor personen- en bestelauto's, inclusief aanscherping voor 2030 en 2035.
- Maatregelen die resulteren in CO₂-reductie voor werkgebonden personenmobiliteit.

Voor het energieverbruik (in PJ) 2050 zijn de rijafstanden (in km) van 2040 uit de KEV 2022 als uitgangspunt gebruikt en verder berekend met de energiefactoren van KIM. De ingroei van hernieuwbare energie (met name biobrandstoffen) conform de doelstellingen van de RED2 is onderdeel van de KEV 2022.

Voor alle modaliteiten geldt dat het huidige en het voorgenomen beleid niet genoeg is om tot klimaatneutraliteit in 2050 te komen. Additioneel beleid is nodig, waarbij randvoorwaarden en noodzakelijk instrumentarium voorwaardes zijn.

Per modaliteit wordt het volgende in kaart gebracht:

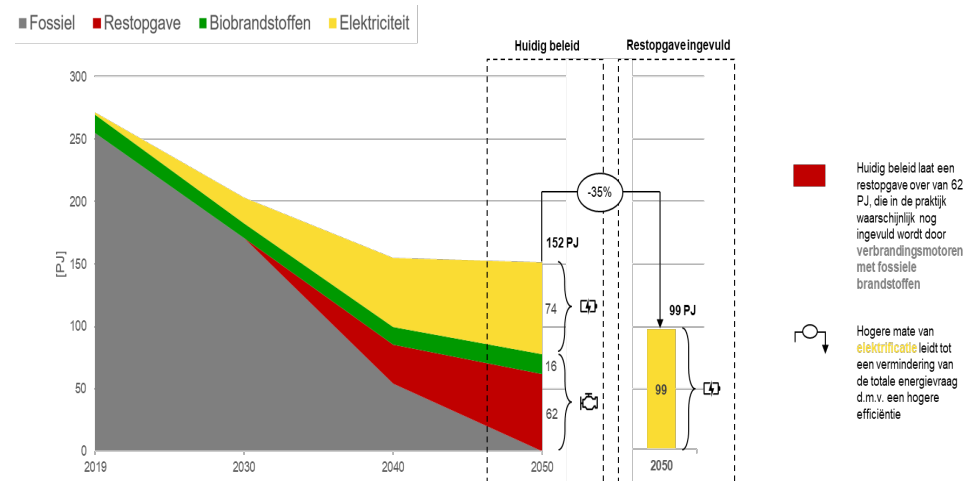
- Te verwachten ingezette besparing en/of duurzame energiedragers
- Gewenste energiemix
- Het huidige en voorgenomen beleid
- Restopgave
- Invullen restopgave
- Aanvullend beleid en instrumentarium

De figuren bij elke modaliteit geven de volgende zaken aan:

- Een overzicht van de te verwachten energiemix van een modaliteit tot en met 2050 op basis van huidig en (voldoende uitgewerkt) voorgenomen beleid. Het gearceerde deel hierin laat de restopgave zien. De restopgave moet worden gelezen als de fossiele energievraag die een modaliteit op dat moment nog heeft, omdat dit niet is ingevuld met beleid om gebruik te maken van een duurzame energiedrager.
- De staafdiagram laat vervolgens zien hoe de restopgave in het meest ideale scenario in te vullen is, mits aan alle randvoorwaarden voldaan is.

De gegevens uit de figuren zijn gebaseerd op de KEV 2022. De doelstellingen van de RED2 zijn vastgesteld beleid en zijn meegenomen in de gegevens van de KEV 2022. Overige specifieke bronnen die voor een modaliteit worden gebruikt worden onder de figuren in tekstvakken benoemd. Daarbij is het van belang te benoemen dat trends moeilijk te

voorspellen zijn. Bij bijvoorbeeld modal shift is het lastig in te schatten wat de potentie is voor personen- en vrachtvervoer. Daarom zijn veel trends niet meegenomen.



Figuur 14. Doorrekening personenauto's op basis van vastgesteld en voorgenomen beleid tot 2050 (PJ) met separaat een beargumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld.

Conclusie uit Figuur 14: **62 PJ aan restopgave die beleidsmatig nog moet worden ingevuld.**

Personenvervoer

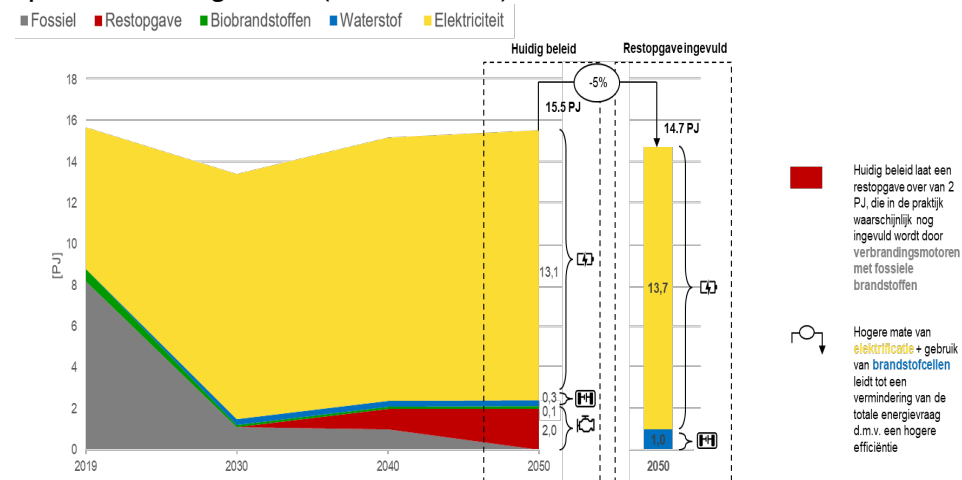
Om personenvervoer te verduurzamen zijn diverse mogelijkheden beschikbaar, namelijk: elektrisch, biobrandstoffen en waterstof. Volledig elektrisch autovervoer is energetisch gezien daarbij de meest efficiënte vervoersoplossing. Batterij-elektrisch aangedreven personenauto's zijn 2,5 à 3 keer efficiënter dan personenauto's met een verbrandingsmotor.

Hoewel de batterij-elektrische motor nu nog slechter scoort in energiebehoefte en de behoefte aan zeldzame metalen in de productiefase, is de verwachting dat de batterijtechnologie snel verbetert. Een belangrijke trend is de opkomst van LFP-batterijcellen, die de NCA/NCM-chemicaliën in vele gevallen zullen vervangen. Deze LFP-batterijcellen zijn goedkoper, veiliger en bieden een langere levenscyclus. Vervolgens staan Solid-state batterijen voor de deur die meer stabiliteit en veiligheid, evenals een verhoogde energiedichtheid beloven. "Klassieke" Li-Ion-batterijen worden ook verbeterd. Daarnaast investeren zowel de voertuigfabrikant als de laadinfra-fabrikant in hoogvermogen laden. Dit

heeft ervoor gezorgd dat in nog geen 10 jaar tijd het snelladen van 50kW naar maximaal 268kW is gegaan, waardoor de oplaadtijd van een voertuig flink is verkort. Concluderend is inzetten op elektrificeren de gewenste richting voor het verduurzamen van personenvervoer.

Voorstel invulling restopgave:	Volledig elektrificeren personenwagenpark in 2050
Nodig voor invulling restopgave	<p>Aanvullend beleid voor versnelling aandeel batterij-elektrische auto's tot 100% in 2050</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uitrol laadpalen in lijn met groei elektrische auto's (ook op verzorgingsplaatsen) - Stimulering aanschaf elektrische auto - Het aantal en omvang van milieuzones vergroten <p>Beschikbaarheid van energiedragers oplopend tot jaarlijks (in 2050): 99 PJ (27,5 TWh) hernieuwbare elektriciteit in het nationale netwerk, in een landsdekkende laadinfrastructuur.</p> <p>Aanvullend beleidsinstrumentarium.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elektrisch rijden moet in de transitieperiode tot 2035 aantrekkelijker zijn dan de fossiele variant om verdere ingroei te stimuleren. Dit kan door het voordeliger maken met fiscale en financiële prikkels. - Gewichtscorrectie doorvoeren in de Motorrijtuigenbelasting zodat elektrische voertuigen niet in een zwaardere klasse terecht komen. - Betalen naar Gebruik (eventueel (voor een deel) op basis van uitstoot). - Slim laden en bidirectioneel laden (V2G) faciliteren.

Spoorvervoer en regionaal ov (bus, tram, metro)



Figuur 15. Doorrekening energieverbruik spoorvervoer en regionaal OV tot 2050 (PJ) met separaat een beargumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld.

De doorrekening van cijfers voor 2050 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid, doorgerekend door CE Delft in het rapport, Energievraag- en aanbod OV- en Spoorsector tot 2050. Daarbij is er voor gekozen om vanaf 2030 het dieselgebruik voor spoor gelijk te houden, omdat voor het resterende deel nog geen concrete beslissingen met financiële dekking zijn genomen. Wel zijn het Bestuursakkoord Zero Emissie Regionaal Openbaar Vervoer per Bus (BAZEB) en de zero emissie zones in 27 gemeenten meegenomen in de berekening.

Het openbaar vervoer en spoor is zeer energie- en ruimtelijk efficiënt. In 2019 was circa de helft van de gevraagde PJs al afkomstig van een duurzame bron. Dit betreft grotendeels elektrificatie, waarbij deze transitie op het spoor al geruime tijd is ingezet is en het busvervoer de laatste jaren snel elektrificeert. Zo is in het Bestuursakkoord Zero-Emissie Bus (BAZEB) afgesproken dat vanaf 2025 alle nieuw instromende ov-bussen zero-emissie zijn. Vanaf 2030 zijn hiermee alle ov-bussen zero-emissie.

Restopgave primair middels elektrificatie

De restopgave wordt naar verwachting grotendeels ingevuld door elektrificatie. Het elektrificeren zorgt voor zowel een energie-efficiëntieslag alsmede een verduurzamingsslag. Deze techniek is het meest energie-efficiënt, gebaseerd op bestaande en vertrouwde techniek en relatief de goedkoopste optie. Waterstof is een mogelijk alternatief in een scenario van hoge economische en bevolkingsgroei (WLO Hoog) waarin volledige

elektrificatie niet reëel blijkt vanwege netcongestie, ruimtelijke inpassingsproblemen van elektrificatie en gezette tijden van energieverbruik. In bussen wordt vooral ingezet op batterij-elektrificatie. Nog nieuw en innovatief in deze context zijn batterij-elektrische locomotieven op het spoor.

De realisatie van de benodigde infrastructuur voor het spoor, en de toename van duurzame locomotieven, vormt een forse kostenpost. Voor spoorvervoer zal dit grotendeels bestaan uit (gedeeltelijke) elektrificatie van nu nog niet-geëlektrificeerde lijnen (ca. 572 km). Voor reizigerstreinen is in beeld wat er tot 2042 moet gebeuren om dieselstreinen uit te faseren, in het ‘plan emissievrij personenvervoer’ van ProRail. Voor spoorgoederen zijn meer variaties te bedenken. Deze worden nu situationeel opgepakt. Concrete voorbeelden zijn de gewenste elektrificatie van het spoor op de Tweede Maasvlakte (ten behoeve van de last mile, nog niet gefinancierd) en de geplande elektrificatie van de Maaslijn (in uitvoer en financieel gedekt). Daarnaast zijn er pilots voorzien met batterij-elektrische locomotieven in personenvervoer en spoorgoederen. In een uiterst scenario zoals hierboven beschreven, zijn waterstofdistributie, -opslag en -tankfaciliteiten op opstelreinen nodig.

Andere vormen van collectief vervoer vergen vooral zware laadinfrastructuur, inclusief aansluitingen op het energienet en eventueel waterstofinfrastructuur. Uitrol van de vereiste infrastructuur zou volgens de Alternative Fuel Infrastructure Regulation (AFIR)-standaarden moeten. Hier zijn ook kansen om deze opgaves voor verschillende vormen van collectief vervoer (en andere modaliteiten) op dezelfde locatie slim te combineren, met voordelen vanwege de schaalgrootte.

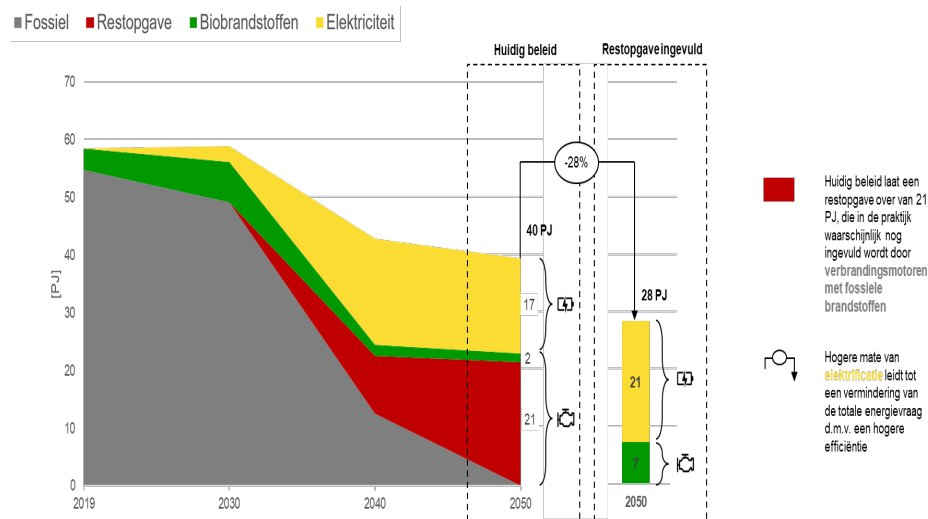
Er zijn ook grote kansen voor energiebesparing op het spoor en daarmee het beperken van de energietransitie-opgave. Concrete voorbeelden hiervan zijn programma’s voor energiezuinig rijden. Met de overstap naar een ander systeem voor tractie-energievoorziening op het spoor is nog tot 14% energiebesparing mogelijk (plus een grotere spoorcapaciteit). In november 2022 heeft IenW mede vanwege onvoldoende financiële inpasbaarheid besloten voorlopig niet over te gaan tot dit systeem.

Conclusie

Concluderend resteert nog een opgave van 2PJ voor ov en spoorgoederen. De voorkeur is om de opgave te vervullen via elektrificatie, wat een extra productie van ongeveer 2PJ elektriciteit vergt. Wat betreft infrastructuur vergt dit elektrificatie van niet-geëlektrificeerde spoorlijnen (ca. 572 km) en onder meer zware laadinfrastructuur voor andere ov- vormen zoals busvervoer, aansluitingen op de regionale energienetten en eventueel op beperkte schaal waterstofinfrastructuur. Hiervoor zijn voldoende budget, voldoende personele capaciteit, ruimtelijke inpassing en ruimte op het energienet nodig (energienet van ProRail zou hierin mogelijk kunnen faciliteren) nodig. Energiebesparing door bijvoorbeeld een ander tractie-energievoorzieningssysteem op het spoor zou kunnen leiden tot 14% energiebesparing. Dit vergt echter forse aanvullende investeringen. Ten slotte heeft modal shift naar spoor en OV de potentie energie en CO₂ op mobiliteitssysteemniveau te besparen en de transitieopgave en de daarbij behorende collectieve investering te reduceren.

Voorstel invulling restopgave	Elektriciteit
Nodig voor invulling restopgave	Aanvullend beleid (vooral financiering) voor versnelling elektrificatie
	Randvoorwaardelijk <ul style="list-style-type: none"> - Zware laadinfrastructuur nodig voor bussen (aansluitingen net) - Aanvullend beleid voor versnelling elektrificatie van nog niet-geëlektrificeerde trajecten waarmee we ook voldoen aan TEN-T-eisen van elektrificatie (circa 572 km) - Eventueel aanleg waterstofinfrastructuur voor bus en treinen - Aansluitingen elektriciteitsnet voor te ontwikkelen spoor & stations
	Beschikbaarheid van energiedragers oplopend tot jaarlijks (in 2050) <ul style="list-style-type: none"> - 12 PJ (3,3 TWh) hernieuwbare elektriciteit in het nationale netwerk, in een landdekkende snel-laadinfrastructuur. - 4 PJ H₂ (daarvoor is ong. 1,6 TWh hernieuwbare elektriciteit input in de electrolyser nodig)
	Aanvullend beleidsinstrumentarium. Voor elektrificatie spoor, dekking alternatieve technologieën (batterij-elektrische of waterstoflocomotieven), zware oplaadinfrastructuur ov en eventueel omschakeling van de energievoorziening op het spoor naar een energiezuinigere variant.

Bestelvervoer



Figuur 16. Doorrekening energieverbruik bestelvervoer tot 2050 (PJ) met separaat een beargumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld.

De doorrekening van cijfers voor 2050 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid, een aanzienlijke toename van elektrische voertuigen op grond van EU, en een nationaal beleidsinstrumentarium in ontwikkeling. Onder andere de volgende beleidsmaatregelen zijn hierin meegenomen:

- Uitvoeringsagenda Zero Emissie Stadslogistiek
- CO₂-normen personen- en bestelauto's: aanscherping 2030 en 2035 (alle nieuwverkoop nul emissie vanaf 2035)
- Subsidiering emissieloze bedrijfsauto's (SEBA) en emissieloze vrachtauto's (AanZET)
- Stimuleren logistieke laadinfrastructuur
- Voor het energieverbruik (in PJ) 2050 zijn de rijafstanden (in km) van 2040 uit de KEV 2022 als uitgangspunt gebruikt en verder berekend met de energiefactoren van KIM. De ingroei van hernieuwbare energie (met name biobrandstoffen) conform de doelstellingen van de RED2 is onderdeel van de KEV 2022.

Wat bestelvervoer betreft, gaat de KEV, naast een gestage ingroei van elektrische busjes, uit van een tijdelijke toename van biobrandstoffen in de energiemix tot 2030. Daarna wordt de dieselvloot en biobrandstoffen in toenemende mate vervangen door elektrische voertuigen.

Waterstof en synthetische brandstoffen zullen naar verwachting op termijn beschikbaar komen, maar slechts een kleine rol spelen in de energiemix. Dit heeft enerzijds te maken met de beschikbaarheid van deze routes en anderzijds met het concurrentievermogen: elektrische voertuigen zijn nu veruit de meest kosten- en energie-efficiënte oplossing⁵⁴. Europees beleid volgt een vergelijkbare lijn, maar loopt qua snelheid achter op de Nederlandse ambitie (met name CO₂-normen en AFIR). Zero-emissie is beleidsmatig de toekomstrichting voor bestelbussen. Daarom is voor de doorrekening van de restopgave naar 2050 een invulling met elektriciteit en een klein aandeel biobrandstoffen voorzien. Een (bijna) volledig elektrisch bestelauto-wagenpark in 2050 zal hoge eisen stellen aan de laadinfrastructuur. Dit vergt de uitrol van een landelijk dekkend laadnetwerk en het oplossen van beperkingen in de netcapaciteit. Bestelauto's kunnen daarbij voor een groot deel meeliften op het reeds ingezette beleid voor personenauto's. De opgave voor de laadinfrastructuur neemt evenredig toe (1 miljoen bestelauto's ten opzichte van 9 miljoen personenauto's). De laadvraag zal grotendeels in woonwijken en op bedrijventerreinen ontstaan (verhouding ongeveer 50%/50%) en dan vooral 's nachts (95%)⁵⁵. De totale vermogensvraag van logistieke voertuigen in Nederland (bestel- en vrachtauto's) bedraagt in 2050 naar verwachting ongeveer 3.000 MW overdag en 8.000 MW 's nachts. De totale elektriciteitsvraag bedraagt circa 16,7 TWh.

Voorstel invulling restopgave	Volledige elektrificeren huidige restopgave bestelauto-wagenpark in 2050
Nodig voor invulling restopgave	<p>Uitvoering van de aanvullende maatregelen uit de voorjaarsbesluitvorming: investering in extra laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen (bedrag in VJB 2023 cumulatief tot en met 2030: € 403,8 miljoen), zodat een snellere uitrol van elektrisch rijden mogelijk is in stad én regio.</p> <p>De inzet van biobrandstoffen in het wegverkeer wordt geleidelijk verhoogd. Naarmate de elektrificatie doorzet, wordt een steeds groter aandeel hiervan benut door vervoer waar nog weinig alternatieven voor zijn, zoals zwaar wegtransport en de lucht- en zeevaart.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aanpassing belastingstelsel, om (indirecte) voordelen als fiscale vrijstellingen, kortingen en aangepaste belastingtarieven die het gebruik van fossiele energie en fossiele grondstoffen (onbedoeld) kunnen bevorderen uit te faseren. Er is afgesproken om de mogelijkheden te onderzoeken om deze financiële prikkels af te

⁵⁴ KIM-onderzoek naar energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit

⁵⁵ <https://elaad.nl/stroomvraag-op-bedrijventerreinen-voor-opladen-elektrische-voertuigen-gaat-fors-toenemen/>

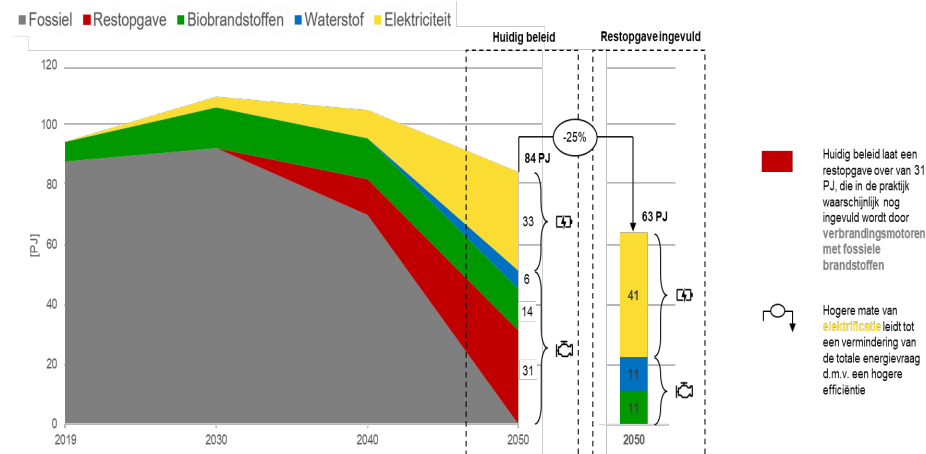
bouwen en vervolgens waar mogelijk te beëindigen. In dit kader heeft het kabinet besloten om de vrijstelling op BPM (belasting van personenauto's en motorrijwielen) voor zakelijke bestelauto's per 2025 af te schaffen. Dit zorgt voor een sterke impuls voor de aanschaf van elektrische bestelauto's die volledig zijn vrijgesteld van BPM.

Toepassing Betalen naar Gebruik, waarbij autobezitters niet meer voor autobezit, maar voor autogebruik betalen. Het kabinet wil de huidige motorrijtuigenbelasting (MRB) hervormen naar een kilometerafhankelijke belasting voor personen- en bestelauto's. Automobilisten betalen in het nieuwe systeem voor het daadwerkelijk gebruik van de weg en niet langer een vast bedrag voor het bezit van een auto. Door het huidige systeem om te vormen naar een belasting op gebruik, worden de lasten van automobiliteit evenwichtiger en rechtvaardiger verdeeld. Automobilisten worden met de invoering van Betalen naar Gebruik gestimuleerd om bewuster hun auto te gebruiken. Daarmee leveren voertuigen ook een bijdrage aan het terugdringen van de CO₂-uitstoot en de verbetering van de luchtkwaliteit.

Conclusie

De transitie naar duurzaam bestelvervoer bevindt zich nog in een beginfase. Op lange termijn stelt Europees bronbeleid, Euro- en CO₂-normen in combinatie met AFIR, goede randvoorwaarden voor het realiseren van klimaatneutraal bestelvervoer in 2050. Het nationale duurzaamheidsbeleid van vandaag is belangrijk voor het realiseren van de doelen op middellange termijn (2030 tot 2040). Het invoeren van ZE-zones in Nederland draagt hier in belangrijke mate aan bij. Fiscale maatregelen, zoals het afschaffen van de BPM-vrijstelling voor ondernemers (en blijvende vrijstelling voor ZE-voertuigen) en het invoeren van Betalen naar Gebruik, ondersteunen het beleid en de transitie. Financieel moet hierbij wel worden gelet op mogelijke derving van inkomsten (grondslagerosie) doordat ZE-voertuigen kortingen of vrijstellingen krijgen. Het uitrollen van een dekkend netwerk voor de laadinfrastructuur is en blijft een belangrijk aandachtspunt. Laadinfrastructuur mag geen barrière zijn voor de toename van ZE-voertuigen. Het is daarom van belang dat de ontwikkeling goed wordt gemonitord en in lijn wordt gebracht met de verwachte toenamesnelheid van ZE-voertuigen.

Zwaar wegtransport



Figuur 17. Doorrekening energieverbruik zwaar wegtransport tot 2050 (PJ) met separaat een beargumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld.

- De doorrekening van cijfers voor 2050 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid, gebaseerd op een aanzienlijke toename van elektrische voertuigen op grond van EU en nationaal beleidsinstrumentarium in ontwikkeling. Onder andere de volgende beleidsmaatregelen zijn hierin meegenomen:
 - Uitvoeringsagenda Zero Emissie Stadslogistiek
 - Europese CO₂-normen nieuwe vrachtauto's
 - Nationale strategie waterstof in mobiliteit
 - Vrachtwagenheffing, herziene Eurovignet-richtlijn EU in combinatie met terugsluis vrachtwagenheffing
 - Convenant zero-emissie reinigingsvoertuigen
 - Stimuleren logistieke laadinfrastructuur
- Voor het energieverbruik (in PJ) 2050 zijn de rijafstanden (in km) van 2040 uit de KEV 2022 als uitgangspunt gebruikt en verder berekend met de energiefactoren van KiM. De ingroei van hernieuwbare energie (met name biobrandstoffen) conform de doelstellingen van de RED2 is onderdeel van de KEV 2022.

Aangezien zero-emissievrachtovervoer een sterke driver zal zijn voor de verdere invulling van de restopgave naar 2050, is de doorrekening daarvan gebaseerd op een invulling met meer elektriciteit, duurzame waterstof en bio/-e-brandstoffen om te komen tot klimaatneutraliteit in 2050. Er zijn twee scenario's onderzocht:

- Scenario A, waarin het gehele wagenpark 100% elektrisch zal zijn in 2050, en
- Scenario B, waarin 80% van het wagenpark elektrisch is. Het uitgangspunt in dit scenario is dat door diverse factoren een deel van de zware bedrijfsvoertuigen niet elektrisch rijden. Het resterend aandeel van de vloot rijdt op waterstof (H₂-ICE of FCEV) of bio/e-fuels.

In beide scenario's (A en B) speelt elektrificatie van het wagenpark een cruciale rol. Om dit toekomstbeeld 2050 te kunnen realiseren, ligt er een grote opgave voor de uitrol van een landelijk dekkend laad-/tankinfrastructuur en het oplossen van tekorten op netcapaciteit. Hoewel de vloot van vrachtwagens vele malen kleiner is dan de vloot van bestelauto's, is de energiebehoefte grofweg twee keer zo groot. Terwijl bestelauto's gebruik kunnen maken van de laadinfrastructuur voor personenauto's, vergt de uitrol van laad-/tankinfrastructuur voor zware bedrijfsvoertuigen een andere aanpak. Zware vrachtauto's tanken meestal op depot (privaat/bedrijventerrein) en/of op publiektoegankelijke verzorgingsplaatsen. Door de geografische concentratie van het laden op hoge vermogens moet het onderliggende stroomnet hierop worden voorbereid. Een uitbreiding en slimme benutting van de netcapaciteit is noodzakelijk om te voorkomen dat de transitie naar emissieloos vervoer vertraagt. Mogelijke oplossingsrichtingen zetten in op kortere doorlooptijden voor aanvragen tot netuitbreiding, op bidirectioneel laden en op gezamenlijke laadpleinen voor bedrijventerreinen. De aanleg en uitrol van waterstoftankstations en het rijden op waterstof, biedt uitkomst in gebieden waar uitbreiding van de netcapaciteit een knelpunt vormt.

Naast een uitbreiding van de elektriciteitsvoorziening vergt de transitie ook de ontwikkeling en uitrol van nieuwe snellaadtechnieken. Dit zijn onder andere stationaire snelladers (zogenaamde Megawatt Charging Systems (MCS)) en dynamische snelladers (zogenaamde Electric Road Systems (ERS)). Deze technieken zijn beschikbaar, economisch haalbaar⁵⁶ en zullen, naast de tankvoorzieningen voor waterstof, bio-/e-fuels, vooral nodig zijn langs Europese corridors voor emissieloos langeafstandstransport. Nederland blinkt wereldwijd uit in de logistieke sector. Tegelijkertijd loopt de sector niet op schema voor de verduurzamingsopgave. Het is van groot belang om zwaar transport tijdig te verduurzamen en de economische positie als logistiek knooppunt te behouden. Aanschafsubsidies en (fiscale) stimulering van ZE-vervoer en laadinfrastructuur blijven de komende jaren noodzakelijk, omdat ZE-voertuigen op dit moment nog aanzienlijk duurder

zijn in aanschaf dan dieselveertuigen. Met de sector afgesproken een deel van de opbrengsten uit de vrachtwagenheffing te gebruiken om de sector te ondersteunen in de transitie naar duurzame brandstoffen en energie-efficiënt transport. Voor de touringcarbussen wordt de transitie momenteel in kaart gebracht. Nederland sluit aan bij het Memorandum of Understanding Heavy Duty Vehicles vanaf 2040 naar 100% ZE-nieuwverkoop van zware voertuigen, waaronder ook touringcars.

Voorstel invulling restopgave	Restopgave met invullen elektrisch tot 80-100% en stimuleren van waterstof, bio- en synthetische brandstoffen
Nodig voor invulling restopgave	<p>In de voorjaarsbesluitvorming heeft het kabinet aanvullende klimaat-maatregelen aangekondigd. Onder andere is afgesproken, dat het kabinet investeert in extra laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen, zodat een snellere uitrol van elektrisch rijden mogelijk is in stad én regio. De inzet van biobrandstoffen in het wegverkeer wordt geleidelijk verhoogd. Naarmate de elektrificatie doorzet, zal een steeds groter aandeel hiervan worden benut door vervoer waar nog weinig alternatieven voor zijn, zoals zwaar wegtransport en de lucht- en zeevaart.</p> <p>Specifiek voor zware bedrijfsvoertuigen wordt een aantal zaken genoemd.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Invoeren CO₂-grondslag in VWH, met korting van 75% voor emissievrije vrachtwagens; - Aanscherpen Europese emissienorm voor vrachtwagens en bussen - Voorfinanciering terugsluis VWH (2024 en 2025 (€ 170 miljoen) - Waterstof in wegvervoer (Heavy Duty) en waterstoftankstations - Laadinfrastructuur voor wegverkeer (onderdeel logistiek) <p>Samen moeten deze maatregelen een extra CO₂-reductie (ten opzichte van KEV 2022) realiseren van ongeveer 1 Mton in 2030. Het aanscherpen van de Europese emissienorm voor vrachtwagens en bussen is een drijvende kracht in de verduurzaming van zwaar wegtransport richting 2050. CO₂-emissienormen zijn bewezen effectief in het terugdringen van de CO₂-uitstoot van nieuwverkoppen. Een CO₂-reductiedoel van 90% in 2040 draagt op die manier sterk bij aan het halen van de CO₂-doelstellingen voor zware bedrijfsvoertuigen, maar is nog niet voldoende voor klimaatneutraliteit in 2050. Wanneer dit voorstel van de Europese Commissie onveranderd wordt aangenomen in het Europese Parlement, dan is aanvullend beleid op duurzame brandstoffen dus voorlopig nog nodig zijn om de resterende opgave in 2050 te dichten. In 2028 wordt de wetgeving opnieuw herzien en tegen het licht gehouden van de technologische voortgang op dat moment.</p>

⁵⁶ Kamerbrief over studie kosteneffectiviteit ERS in Nederland: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/05/18/studie-kosteneffectiviteit-electric-road-systems-ers-in-nederland>

Conclusie

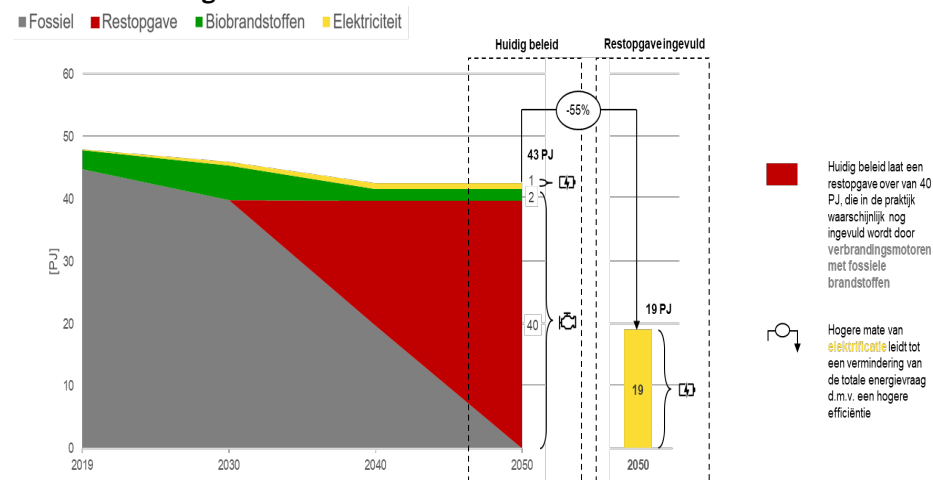
De transitie naar duurzaam vrachtvervoer bevindt zich nog in een beginfase. Op lange termijn (2050) stelt Europees bronbeleid, Euro- en CO₂-normen in combinatie met AFIR, goede randvoorwaarden voor het realiseren van klimaatneutraal vrachtvervoer in 2050. Een ambitieuze herziening van de CO₂-normen spelen hierbij een cruciaal belang voor zware bedrijfsvoertuigen.

Een duidelijke trend in de energiemix en aandrijflijntechnologie tekent zich voor zware bedrijfsvoertuigen nog niet af. Het blijft daarom belangrijk om breed in te zetten op verduurzaming op alle mogelijke opties. Van de ZE-opties zijn batterij-elektrische voertuigen het verst in de marktontwikkeling. Inzetten op waterstof is en blijft noodzakelijk voor toepassingen waar batterij-elektrisch niet toereikend is. Een hogere bijmenging van biobrandstoffen levert op korte termijn al CO₂-reductie op. Technologieën zoals Electric Road Systems (ERS) bevinden zich in Nederland nog in de onderzoeksfase, maar bieden potentieel voor de toekomst.

Het nationale duurzaamheidsbeleid van vandaag is belangrijk voor het realiseren van de doelen op middellange termijn (2030 tot 2040) en het invoeren van ZE-zones in Nederland draagt hier in belangrijke mate aan bij. Fiscale maatregelen, zoals het invoeren van een CO₂-differentiatie in de vrachtwagenheffing, ondersteunen het beleid en de transitie. Financieel aandachtspunt is hier wel de mogelijke derving van inkomsten (grondslagerosie), doordat ZE-voertuigen kortingen of vrijstellingen krijgen.

Het uitrollen van een dekkend netwerk voor de laad- en tankinfrastructuur is en blijft eveneens een belangrijk punt van aandacht. Deze infrastructuur mag geen obstakel zijn voor de toename van ZE-voertuigen. Het is daarom van belang deze ontwikkeling goed te monitoren en in lijn te brengen met de verwachte toenamesnelheid van ZE-voertuigen.

Mobiele werktuigen



Figuur 18. Doorrekening energieverbruik mobiele werktuigen tot 2050 (PJ) met separaat een beargumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld.

Figuur 18 betreft de totale energievraag voor mobiele machines, een zeer diverse categorie. De doorrekening van cijfers voor 2050 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid, gebaseerd op onderliggende detailgegevens bij de KEV (2022). Hierin is het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) nog niet verwerkt, dit programma is pas recent in de besluitvorming opgenomen. Er is geen specifiek Europees beleid voor mobiele werktuigen die verduurzaming richting emissieloos afdwingt. Europese CO₂-normering ontbreekt voor deze categorie. Nederland pleit ervoor om dit in te voeren bij de volgende aanpassing van de richtlijn voor Non Road Mobile Machinery (NRMM). Ook zijn de zero-emissiezones in 27 gemeentes meegenomen.

Vanuit de totale energievraag voor mobiele machines, wordt gefocust op de subcategorie bouwmaterieel (werk, vaar- en voertuigen die gebruikt worden in de bouw), met een huidige energievraag van circa 20 PJ. Op landelijk niveau is daarvoor het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) opgericht. Via het ondertekende convenant (30 oktober 2023) worden opdrachtgevers en opdrachtnemers aangespoord om schoner en (in toenemende mate) emissieloos bouwmaterieel in te zetten. Hiermee geeft het programma SEB invulling aan de volgende doelen:

- 60% NOx-reductie ten opzichte van 2018 (Aanpak Stikstof).
- 75% gezondheidswinst in vergelijking met 2016 (Schone Lucht Akkoord);
- 0,4 Mton CO₂-reductie ten opzichte van 2019 (Klimaatakkoord);
- Klimaatneutrale infrastructuurprojecten (Strategie KCI).

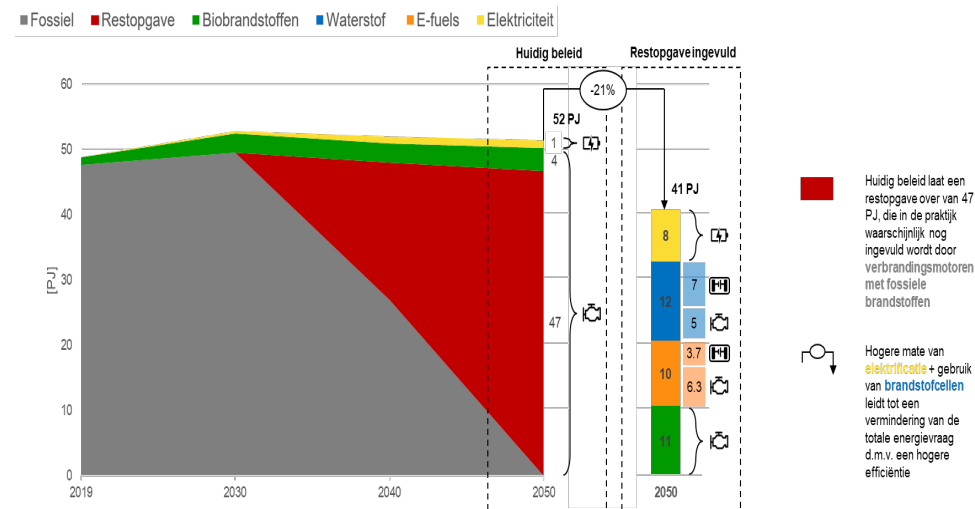
Om dit te ondersteunen, is er een subsidie voor ondernemers bij de aanschaf en ombouw van materieel en worden ondersteunende middelen voor aanbestedende rijksdiensten en medeoverheden beschikbaar gesteld om te ondersteunen in de meerkosten van emissieloos en schoner materieel. Op deze manier zijn, richting 2030, steeds strengere emissie-eisen te stellen bij aanbestedingen. Voor licht materieel zal richting 2030 de eis zero-emissie zijn, zwaarder materieel volgt zo snel mogelijk daarop. Dit tempo is vastgelegd in de Routekaart SEB. Gezien de doelen voor gezondheid, natuur en klimaat ligt de eindfocus van het programma SEB op emissieloos materieel. Met name ook door het belang van de rol van stikstofdepositie in de bouw. Daarbij is geen onderscheid gemaakt tussen waterstof of batterij-elektrisch. In het algemeen lijkt de lijn EV waar dit kan (zeker bij lichter en middelzwaar materieel), aangevuld met waterstof waar noodzakelijk. In de tussenfase is schoner materieel een belangrijke stap om natuur en gezondheid te verbeteren ten opzichte van de huidige situatie. Hierbij spelen hernieuwbare brandstoffen een beperkte rol, omdat dit niet bijdraagt aan de stikstof en gezondheidsopgave. Voor de inzet van hernieuwbare brandstof wordt aangesloten bij het beleid energievervoer (jaarverplichting).

Becijferd is⁵⁷ dat 4 tot 5 miljard euro aan investeringen nodig zijn voor de transitie zoals uitgezet in de routekaart SEB. Momenteel is er ruim 1 miljard euro door het Rijk beschikbaar gesteld voor het ambitieuze niveau uit de routekaart. Daarnaast is Europese regelgeving nodig voor strengere eisen nodig om zo meer vraag naar emissieloos materieel te bewerkstelligen. Nu is het vooral een inzet in Nederland. Meer vraag komt de productie (en dus het aanbod) van emissieloos materieel ten goede. Nederland gaat zich hiervoor inspannen.

Voorstel invulling restopgave	Volledig elektrisch
Nodig voor invulling restopgave	Aanvullend beleid voor versnelling aandeel batterij-elektrische mobiele machines tot 100% in 2050.
	Randvoorwaardelijk <ul style="list-style-type: none"> - Landelijk netwerk voor laadinfrastructuur - Beschikbaarheid materieel - Mobiele laadinfrastructuur - Voldoende netcapaciteit
	Beschikbaarheid van jaarlijks 19 PJ (5,3 TWh) hernieuwbare elektriciteit in het nationale netwerk, in een landsdekkende laadinfrastructuur.
	Aanvullende beleidsmiddelen wenselijk

⁵⁷ Schoon en zuinig | Tweede Kamer der Staten-Generaal

Binnenvaart



Figuur 19. Doorrekening energieverbruik binnenvaart tot 2050 (PJ) met separaat een beargumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld.

De doorrekening van cijfers voor 2040 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid voor verschillende energiedragers in de KEV 2022. Voor 2050 is het scenario Business As Usual zoals dat is uitgewerkt door de Centrale Commissie voor de Rijnvaart en doorgerekend op basis van onderliggende detailgegevens bij de KEV en energiefactoren van KiM. Door de CCR is ook een innovatief scenario gegeven dat zou kunnen leiden tot 90% decarbonisering in 2050. Dit scenario kent dezelfde methodiek en is gebruikt voor de doorrekening van energiedragers die nodig zijn om de binnenvaart in 2050 klimaatneutraal te krijgen.

In de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens, de beleidsbrief Toekomst Binnenvaart aan de Tweede Kamer van 30 november 2022, het Klimaatakkoord en internationaal in de Verklaring van Mannheim van oktober 2018 zijn doelen vastgelegd met betrekking tot de verduurzaming van de binnenvaart. Zo is in de Green Deal opgenomen dat in 2030 de CO₂-emissies van de Nederlandse binnenvaartvloot gereduceerd zijn met 40% tot 50% ten opzichte van 2015 en in 2050 nagenoeg uitgebannen zijn.

Hoewel de Green Deal en de Verklaring van Mannheim ambitieuze doelen moeten de meeste materiële toepassingen om deze doelen te bereiken nog in gang worden gezet. Er zijn verschillende technieken beschikbaar om de binnenvaart verder te verduurzamen. Zonder aanvullend beleid in de vorm van subsidiëring en normering zal dit echter naar

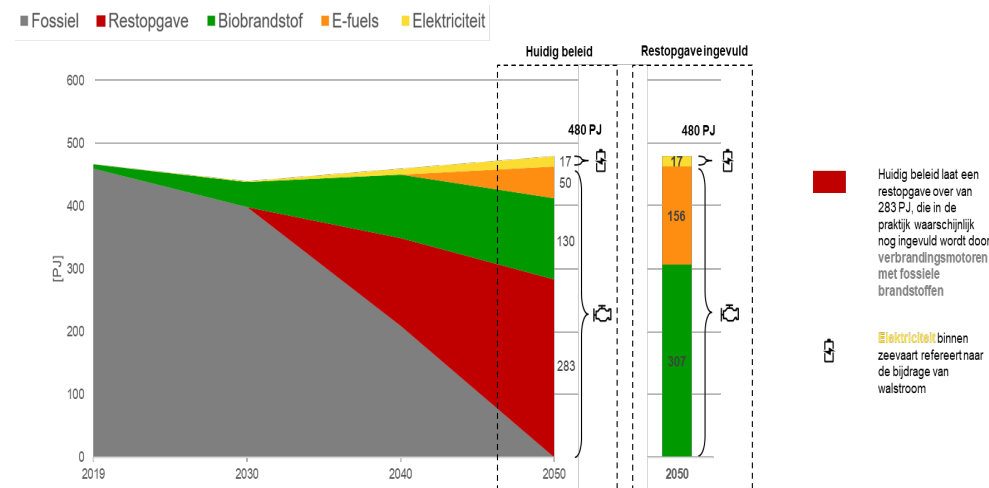
verwachting niet van de grond komen. Er is niet één specifieke techniek die de transitie voor de binnenvaart gaat bewerkstelligen. Welke techniek gekozen wordt is afhankelijk van factoren als scheepstype, lading en vaarprofiel. De beschikbaarheid van energiedragers is daarbij een belangrijke randvoorwaarde.

De eenvoudigste beschikbare techniek is de toepassing van verbrandingsmotoren die voldoen aan verordening (EU) 2016/1628 (Stage V motoren). Hiermee wordt in vergelijking met gangbare scheepsdiesels al een reductie van milieuverontreinigende stoffen bereikt van 90%. Deze motoren kunnen draaien op 100% hernieuwbare biodiesel (FAME/HVO) en zijn daarmee klimaatneutraal te maken. Ook kunnen motoren in de handel worden gebracht die draaien op hernieuwbare waterstof of methanol. Het bijmengen van biobrandstof is eveneens onderdeel van de energiemix en levert vooral op korte termijn uitstootbesparing op. De schaalbaarheid van biobrandstoffen is echter beperkt. Het is mogelijk om binnenvaartschepen volledig zero-emissie te laten varen door elektrificatie van de schroefas. Hierbij levert of een batterij, of een brandstofcel met waterstof of methanol de elektriciteit. Meerdere technieken gaan samen de transitie voor de binnenvaart bewerkstelligen.

Er is een subsidieregeling voor hermotorisering naar Stage V. In het Klimaatfonds is bovendien €75 miljoen gereserveerd voor verduurzaming van de binnenvaart. Onderzocht wordt of en hoe deze kan worden ingezet voor het uitrollen van een concept waarbij wordt gevaren op waterstof. Tussen nu en 2026 zullen daarnaast met subsidie van lenW 45 batterij-elektrische schepen in de vaart komen. De verwachting is dat dit aantal zelfstandig doorgroeit naar 150 in 2030 en 400 in 2050. In 2023 is door de staatssecretaris van lenW besloten een emissielabel binnenvaart verplicht te stellen.

Voorstel invulling restopgave	FCEV, batterij elektrische aandrijving, verbranding van H ₂ in een motor en extra HVO.
Nodig voor invulling restopgave	<p>Gefaseerd emissienormen invoeren via emissielabel binnenvaart.</p> <p>Randvoorwaardelijk bij normering is subsidiëring uit bijvoorbeeld het klimaatfonds voor verdere uitrol waterstof in de binnenvaart en andere zero-emissie toepassingen. Verdere subsidiëring van motorvervanging naar Stage V.</p> <p>De binnenvaartsector kan de kosten voor de energietransitie nog niet zelf dragen.</p> <p>Beschikbaarheid van energiedragers olopend tot jaarlijks (in 2050)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 8 PJ (2,2 TWh) hernieuwbare elektriciteit in het nationale netwerk, met een landsdekkende snel-laadinfrastructuur in havens. - 12 PJ H₂ (daarvoor is ongeveer 5 TWh hernieuwbare elektriciteit input in de electrolyzer nodig) - En 11 PJ HVO/Bio-LNG - 10 PJ E-fuels (synthetische diesel, methanol)

Zeevaart



Figuur 20. Doorrekening energieverbruik zeevaart tot 2050 (PJ) met separaat een argumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld.

De doorrekening van cijfers t/m 2030 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid zoals in de KEV 2022. Voor de uitwerking tot 2050 is verder gebruikgemaakt van de volgende bronnen: TNO, Demand for Renewable Hydrocarbons in 2030 and 2050 (2020); CE Delft, 'Fit for 55' voor de Nederlandse zeevaart & -havens (2022); DNV, Maritime Forecast to 2050 (2022).

Meegenomen beleid: FuelEU Maritime (tot en met 2030); IMO tot en met 2050 (gebaseerd op status eind 2022); De aanpassing regelgeving voor hernieuwbare energie in vervoer waarbij vanaf 2021 alleen de leveringen van geavanceerde biobrandstoffen aan de zeescheepvaart mogen meetellen voor de jaarverplichting voor hernieuwbare energie in vervoer; Subsidieregelingen voor walstroom.

Het voorstel om zeescheepvaart in EU ETS op te nemen is niet meegenomen in bovenstaande doorrekening. Door het mondiale karakter van de zeevaartsector is niet goed te ramen in welke mate er door ETS uitwijkeffecten zullen optreden. Daardoor is nog geen inschatting mogelijk van de invloed van ETS op de Nederlandse bunkervraag.

In juli 2023 heeft de IMO de herziene broeikasgasreductie strategie vastgesteld naar netto nul uitstoot in of nabij 2050 en met tussentijdse doelen in 2030 en in 2040. Omdat er momenteel nog geen afspraken gemaakt zijn over de maatregelen die deze ambitie moeten gaan waarmaken, is de herziene broeikasgasreductie strategie niet meegenomen.

In de toekomstige energiemix voor zeevaart spelen diverse typen hernieuwbare energiedragers een rol: biobrandstoffen (bijvoorbeeld bio-MDO, bio-LNG, bio-methanol), synthetische hernieuwbare brandstoffen (e-MDO, e-LNG, e-methanol, e-ammoniak, e-waterstof) en elektriciteit (beperkt). Op dit moment wordt als gevolg van de vrijwillige inboekbevoegdheid ("opt-in") voor zeevaart in de systematiek van de Jaarverplichting hernieuwbare energie vervoer een substantieel aandeel biobrandstoffen uit reststromen (Annex IX-A) grondstoffen in zeevaart ingezet. Ook wordt gekeken naar de mogelijkheden om Carbon Capture toe te passen in combinatie met verschillende brandstoftechnologieën. Voor het reduceren van broeikasgasemissies in de zeevaart is het van belang de emissies over de gehele keten mee te nemen. Van productie van de energiedrager tot toepassing op het schip. Dit wordt de "Well to wake" benadering genoemd. De inzet van biobrandstoffen levert een hoge Well to Wake emissiereductie op (80-90%), zeker bij gebruik van reststromen als grondstof. Diverse studies, waaronder de Impact Assessment van FuelEU Maritime en de DNV Maritime Forecast 2050, gaan uit van een groot aandeel biobrandstoffen in de brandstoffenmix voor de zeevaart in 2050. Ook het SER-advies "Biomassa in balans. Een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen" (2020) benadrukt de noodzaak om biobrandstoffen in de scheepvaart in te zetten als overbruggingsoplossing, zolang duurzame alternatieven nog onvoldoende beschikbaar zijn. Elektriciteit en waterstof zijn niet geschikt voor het overbruggen van lange afstanden op zee, aangezien er om de 1 tot 3 dagen getankt of geladen moet worden.

Elektrisch varen wordt wel gebruikt voor schepen aan de kade en voor het in- en uitvaren van de haven. Afhankelijk van de technologische ontwikkelingen, zou voor short sea varen op waterstof mogelijk kunnen worden. Voor de langere verbindingen/deep sea lijken voornamelijk ammoniak, methanol en LNG met Carbon Capture het meest kansrijk, naast biobrandstoffen.

De doorrekeningen in absolute volumes zijn nog niet met zekerheid vast te stellen, omdat een aantal factoren nog onzekerheid en dilemma's met zich meebrengen. Het gaat om de volgende factoren:

1. Het tempo en de richting van toekomstige innovaties zoals het geschikt maken van het aandrijfsysteem op het schip voor een specifieke duurzame energiedrager. Zo is de toekomstige positie van LNG vooral afhankelijk van baanbrekende innovaties in Carbon Capture.
2. Financiering, in combinatie met prijsontwikkelingen. Toepassing van duurzame energiedragers vraagt om hoge initiële kapitaalinvesteringen en flink hogere operationele kosten. Internationale normering en beprijzing zullen pas na 2030 voldoende effect sorteren om marktinvesteringen mogelijk te maken. Schepen gaan ongeveer 25-30 jaar mee, waardoor een snelle start ver vóór 2030 wel nodig is om klimaatneutraal te kunnen zijn in 2050.
3. De juridische kaders voor het gebruik van duurzame energiedragers en de opslag van brandstoffen. Regelgeving voor het gebruik van waterstof, ammoniak en brandstoffen met een laag vlampunt is nog in ontwikkeling binnen IMO.
4. Het toekomstig bunkervolume in Nederland. Het verduurzamen hiervan zorgt (bij eigen productie in plaats van import) voor een grote claim op het energiesysteem. Per saldo gaat de hierboven weergegeven Figuur 20 ervan uit dat het bunkervolume in Nederland, inclusief het gebruik van walstroom in de haven, ongeveer gelijk zal blijven aan het huidige niveau (huidige niveau is 467 PJ, verwachting is circa 480 PJ in 2050). Hierbij is uitgegaan van de cijfers in de KEV 2022 voor 2030 en van TNO (verwijzing voetnoot nr 61) voor 2050. Daarbij wordt verondersteld dat de sterke bestaande positie van de Rotterdamse haven in de logistieke en brandstofketen en de infrastructurele voordelen, ervoor zorgen dat deze haven goed gepositioneerd is voor de brandstoftransitie.
5. De schaalbaarheid van en de infrastructuur voor hernieuwbare brandstoffen. De uitrol van benodigde brandstoffen om klimaatneutraal te varen (bijvoorbeeld waterstof,

methanol, biobrandstoffen en mogelijk ammoniak) is wereldwijd nog in ontwikkeling. Hierbij spelen de beschikbaarheid van direct opgewekte waterstof en niet-fossiele koolstof, de import van waterstof, de waterstofinfrastructuur en de opslag en bunkering van deze brandstoffen een belangrijke rol. Daarbij speelt de vraag welke mix te kiezen wat betreft import en eigen productie in Nederland. Dit maakt uit voor de aan te leggen infrastructuur. Voor de drop-in brandstoffen zou zonder grote aanpassingen de bestaande (bunker- en opslag) infrastructuur te benutten zijn, maar is voldoende feedstock een belangrijk aandachtspunt. Hierbij is het belangrijk dat vraag vanuit het schip en aanbod van brandstoffen voldoende gematcht worden.

Om meer inzicht te krijgen in de toekomstige energiemix voor de zeevaart, wordt dit jaar in opdracht van het Ministerie van IenW de Roadmap Brandstoftransitie Zeevaart uitgewerkt. Op basis van beschikbare kennis en de huidige marktontwikkelingen schetst de Roadmap de meest plausibele transitiepaden richting 2050 voor verschillende scheepstypen, inclusief bijbehorende kansen, knelpunten en oplossingsrichtingen. Uitgangspunt van de roadmap is een klimaatneutrale zeevaart in 2050. De Roadmap wordt ontwikkeld door RVO, in samenwerking met de sector (inclusief partijen uit de logistiek en de brandstofketen) en met kennisinstellingen. De in Europa gemaakte afspraken en de uitkomsten van onderhandelingen in IMO zullen van invloed zijn op de transitiepaden die in de Roadmap worden geschetst. De contouren voor de Roadmap worden begin 2024 gepubliceerd.

Huidig en voorgenomen beleid

Vanwege het internationale karakter van de zeevaartsector zijn vooral mondiaal en Europees beleid bepalend. Mondiale afspraken worden gemaakt in de International Maritime Organisation (IMO). In 2018 is hierin voor het eerst een broeikasgasreductiestrategie vastgesteld en deze is, zoals eerder benoemd, in 2023 herzien. Op basis van deze uitkomsten blijft de Nederlandse inzet gericht op het uitfasen van de absolute broeikasgasemissies in 2050 met ambitieuze tussendoelen in 2030 en 2040, ondersteund door een pakket aan maatregelen. (De komende periode wordt gewerkt aan dit pakket van middellange termijn maatregelen die de doelstellingen moeten helpen realiseren. Deze maatregelen zijn gericht op het normeren en beprijzen van de broeikasgasuitstoot in de zeevaart. Dit pakket aan maatregelen wordt uiterlijk in 2025 vastgesteld om in 2027 in werking te kunnen treden.

Voor de zeevaart is de volgende Europese regelgeving vanuit het Fit for 55 pakket van belang:

- De uitbreiding van het emissiehandelssysteem (EU ETS) naar de zeevaart.
- De verplichting om de broeikasgasuitstoot door brandstoffen, gebruikt op zeeschepen, met bepaalde percentages te verminderen (FuelEU Maritime).
- De verplichting aan zeehavens om walstroom beschikbaar te stellen (AFIR).
- De verplichting aan brandstofleveranciers om specifieke percentages duurzame energiedragers te leveren (RED).

De onderhandelingen over EU ETS en de FuelEU Maritime verordening zijn inmiddels afgerond. Vanaf 2024 wordt de zeevaart gefaseerd onder het EU ETS gebracht, en vanaf 2025 treden de verplichtingen uit FuelEU Maritime in werking. In dat jaar betreft dit een verplichting om de broeikasgasintensiteit van energie aan boord met 2% te reduceren ten opzichte van 2020. In 2030 loopt dit op naar 6%. Vervolgens in 2035 naar 14,5%, in 2040 naar 31%, in 2045 naar 62%, en in 2050 naar 80%. Aanvullend geldt vanaf 2030 de verplichting aan (kern)zeehavens om walstroom beschikbaar te stellen (AFIR), en gaat vanuit de RED III een mogelijke bijmengverplichtingen voor brandstofleveranciers aan de zeevaart gelden. Dit wordt vormgegeven gedurende het traject van nationale implementatie van de RED III, dat momenteel gaande is en uiterlijk eind 2024 wordt afgerond.

Verwachting is dat na 2030 de scope van de EU-walstroomverplichting wordt uitgebreid naar meer scheepssegmenten en kleinere schepen. Daarnaast sluiten ook steeds meer schepen uit de overige scheepssegmenten aan op walstroom. Grove schatting is dat het jaarlijkse elektriciteitsverbruik ten behoeve van de zeevaart daarmee in 2030 400-450 GWh. Rond dat jaar zullen naar verwachting meerdere schepen batterij elektrisch de zeehaven in- en uit varen.

Vanuit de AFIR komen er ook verplichtingen over de beschikbaarheid van LNG-bunkerpunten. Daarnaast komen er naar verwachting in toenemende mate ook voor energiedragers verplichtingen. Afhankelijk van de precieze (Europese) hiervan wordt een implementatietraject ingericht.

De hierboven genoemde huidige en voorgenomen beleid en maatregelen zetten een belangrijke stap in de transitie naar het gebruik van duurzame brandstoffen in deze sector.

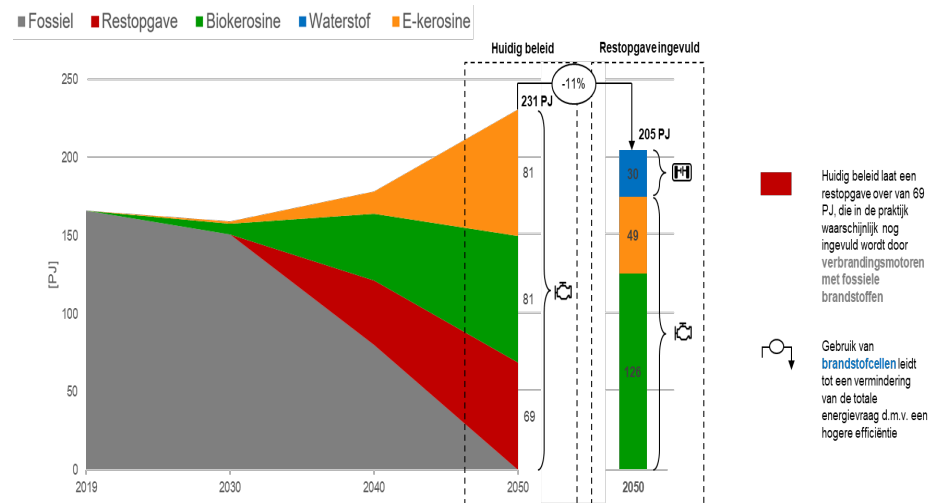
Tegelijkertijd geeft bijvoorbeeld de impact assessment van de Europese Commissie bij het Fit for 55 pakket aan dat het effect op verduurzaming van de sector tot 2030 gering zal zijn. Onderzoek van CE Delft in opdracht van het ministerie van IenW bevestigt dit. Mondiale onderhandelingen over onder meer normerings- en beprijzingsmaatregelen starten dit jaar. Ook het effect van deze maatregelen zal vóór 2030 niet voldoende op gang komen om de transitie vanuit de markt te kunnen dragen. Om de transitie tijdig in gang te kunnen zetten (rekening houdend met de lange transitiepaden in deze sector) zijn aanvullende investeringsimpulsen op Europees en nationaal niveau nodig.

Voorstel invulling restopgave	
Nodig voor invulling restopgave	<p><i>Roadmap Brandstoftransitie Zeevaart</i> Nader inzicht verkrijgen in de meest plausibele transitiepaden richting een emissieloze zeevaart in 2050 via de Roadmap Brandstoftransitie Zeevaart.</p> <p><i>Aanvullende investeringsimpulsen</i> Binnen het Nationaal Groeifonds is een toekenning verleend aan het Maritiem Masterplan, een samenwerkingsverband tussen partijen uit de maritieme sector en de ministeries van IenW, Defensie en EZK. Het Maritiem Masterplan wil de verduurzaming van de scheepvaart een impuls geven en de Nederlandse maritieme sector versterken, in aanloop naar de klimaattransitie. De inzet is gericht op toepassing van duurzame technologieën in demonstratieprojecten en aan boord van schepen van de Rijksrederij en Defensie (launching customership van de overheid) en het versterken van de innovatiekracht van de sector. De eerste stap na de demonstratieprojecten betreft de vroege fase van opschaling van deze duurzame technologieën. Ook deze stap moet vóór 2030 in gang worden gezet, waarbij er nog sprake is van een onrendabele top. Het kabinet reserveert daarom middelen voor de ontwikkeling van duurzame zeeschepen (Kamerstuk nummer 2023Z07697).</p> <p><i>Randvoorwaardelijk</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Voldoende voortgang op het gebied van technische innovaties, een snelle start ver vóór 2030, met aandacht voor demonstratie en vervolgens opschaling van relevante technieken en brandstoffen, maar ook voor de bijbehorende financieringsopgave, voor tijdig adresseren van de veiligheidsimplicaties van duurzame energiedragers, en het vertalen hiervan naar juridische kaders. - Het aanbod van en de infrastructuur voor hernieuwbare brandstoffen, waaronder beschikbaarheid van biobrandstoffen.

Beschikbaarheid van waterstof en niet-fossiele koolstof voor e-fuels.

- De import van waterstof en waterstofdragers, adequate waterstofinfrastructuur en de opslag en bunkering. Mogelijk gaat ook de directe import van hernieuwbare energiedragers anders dan waterstof een rol spelen, voor zover deze niet of onvoldoende binnen Nederland zijn te produceren.
- Beschikbaarheid energiedragers oplopend tot jaarlijks (in 2050)
- 17 PJ (4,7 TWh) hernieuwbare elektriciteit in het nationale netwerk, met een walstroombinfrastructuur in zeehavens.
- 50+106 = 156 PJ RFNBO's nodig (Methanol, waterstof, mogelijk ammoniak).
- 307 PJ Biobrandstoffen (methanol, Biostookolie, HVO, bio-LNG)

Luchtvaart



Figuur 21. Doorrekening energieverbruik luchtvaart tot 2050 (PJ) met separaat een beargumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld.

De doorrekening van cijfers t/m 2030 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid zoals in de KEV 2022 en geëxtrapolerd naar 2040. Voor de uitwerking tot 2050 is het TNO-rapport Demand for Renewable Hydrocarbons in 2030 and 2050 gehanteerd en is in het beeld met de restopgave is voor de verdeling van energiedragers uit ReFuelEU Aviation aangehouden. Het beredeneerde eindbeeld voor 2050 is gebaseerd op het rapport Hernieuwbare waterstof voor luchtvaartbrandstoffen in Nederland van Studio GearUp.

Meegenomen beleid: ReFuelEU Aviation (incl. laatste wijziging Europese Raad van 9 oktober 2023 m.b.t. verhoging van het subdoel synthetische kerosine 2040), ETS voor Luchtvaart en de doelen uit de Luchtvaartnota voor invulling van de restopgave.

Luchtvaart is mondiaal georganiseerd en georiënteerd. Hierdoor is het van groot belang om binnen deze sector internationaal samen te werken en afspraken te maken over de verduurzaming en de doelen van de sector. Luchtvaart is een ‘hard-to-abate’ sector en kent weinig technologische alternatieven voor fossiel. Er moet op de korte tot middellange termijn vooral ingezet worden op hernieuwbare brandstoffen (inclusief waterstof).

Internationale kaders

Luchtvaart is onderdeel van het Parijsakkoord. De verantwoordelijkheid voor de invulling en uitvoering is belegd bij de internationale burgerluchtvaartorganisatie van de Verenigde Naties: ICAO. In 2022 is het volgende langetermijndoel voor de internationale luchtvaart geformuleerd: netto nul CO₂-emissies in 2050. CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) is het mondiale instrument om CO₂ te reduceren. Via CORSIA is de wereld gebonden aan klimaatafspraken voor de luchtvaart.

Europees is een Green Deal afgesproken. Dit is een pakket beleidsinitiatieven dat de EU moet helpen met de groene transitie, met klimaatneutraliteit in 2050 als einddoel. De Green Deal zet in op 55% minder CO₂-uitstoot in 2030 dan in 1990. Deze 55% is een gemiddelde zonder subdoelen per sector. Als uitwerking van de Green Deal heeft de Europese Commissie het Fit for 55-pakket gepresenteerd voor onder meer de transportsector. De luchtvaart draagt via dit pakket bij aan de Europese doelstelling. Het emissiehandelssysteem EU ETS en de bijmengverplichting ReFuelEU Aviation zijn onderdeel van dit pakket. Voor 2030 heeft de EU een bijmengverplichting van 6% voor de luchtvaart afgesproken in ReFuelEU.

Nationaal beleid

Op nationaal niveau geeft een klimaatakkoord uitwerking aan het Parijsakkoord. Luchtvaart is hier geen onderdeel van. Uitzondering hierop zijn de netto nul-doelstellingen voor grondgebonden emissies (op luchthavens) in 2030 en de binnenlandse luchtvaart in 2050. Met de luchtvaartsector zijn wel apart, in het Akkoord Duurzame Luchtvaart, afspraken gemaakt over de te halen klimaatdoelen. Deze zijn geconcretiseerd en vastgelegd in de

⁵⁸ Kamerbrief Principebesluit CO₂-plafond luchtvaart. Kamerbrief over Principebesluit CO₂-plafond luchtvaart | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

Luchtvaartnota 2020-2050. Het kabinet gaat deze doelen wettelijk vastleggen in een CO₂-plafond⁵⁸.

In de Luchtvaartnota staat welke bijdrage internationale vluchten vertrekend vanuit Nederland moeten leveren aan het Parijsakkoord:

1. 2030: CO₂-uitstoot minimaal gedaald tot het niveau van 2005;
2. 2050: CO₂-uitstoot minimaal gehalveerd ten opzichte van 2005;
3. 2070: CO₂-uitstoot is nul.

Deze CO₂-doelen zijn gesteld op basis van in-sector maatregelen, dus zonder compensatie. Met de Luchtvaartnota zet het kabinet erop in om de benodigde CO₂-reductie vooral te realiseren met een inzet op duurzame luchtvaartbrandstoffen (zoals duurzame bio-kerosine en synthetische kerosine) en technologische innovaties (zoals nieuwe vliegtuigontwerpen en grondgebondenactiviteiten met aandrijving via elektriciteit en waterstof). Het inrichten van een CO₂-plafond voor de luchtvaart moet ervoor zorgen dat deze doelstellingen wettelijk worden geborgd in Nederland.

Doelstellingen in het beleid

Op de korte en middellange termijn zijn duurzame brandstoffen de enige manier om substantieel bij te dragen aan de energietransitie van de luchtvaart en het reduceren van uitstoot. Met de luchtvaartsector is in het Akkoord Duurzame Luchtvaart afgesproken dat in 2030 14% duurzame brandstoffen worden bijgemengd (als doelstelling overgenomen in de Luchtvaartnota). In 2050 moet alle in Nederland getankte brandstof duurzaam zijn. In de ReFuelEU Aviation-verordening zijn bijmengverplichtingen tot en met 2050 opgenomen⁵⁹. Volgens het bereikte akkoord start de Europese bijmengverplichting met 2% in 2025, vervolgens oplopend naar 6% in 2030, 20% in 2035 en 70% in 2050.⁶⁰

De verordening kent ook subdoelen voor synthetische kerosine (RFNBO), waarbij de grootste opgave bij waterstof ligt. Het is niet mogelijk om een sectorale nationale kop op de Europese bijmengverplichting te zetten – de doelstelling van 14% kan dus niet worden verplicht (wel gestimuleerd).

⁵⁹ Bijmengpercentages ReFuelEU Aviation-verordening: 2025 2%; 2030 6% (subdoel synthetisch 1,2%); 2035 20% (subdoel synthetisch 5%); 2040 34%; 2045 42%; 2050 70% (subdoel synthetisch 35%);

⁶⁰ Op basis van het bereikte akkoord van de Europese Raad van 9 oktober 2023

Vanwege de beperkte alternatieven voor de luchtvaart om te verduurzamen is de sector in het Duurzaamheidskader Biograndstoffen aangemerkt als transitiesector voor de inzet van biograndstoffen. Dit houdt in dat biograndstoffen noodzakelijk zijn voor de overgang naar duurzame energiedragers, zolang de alternatieven beperkt zijn⁶¹.

Waterstof- en elektrische vliegtuigen bevinden zich beiden nog in de ontwikkelingsfase, waarbij de ontwikkeling van de elektrische vliegtuigen wel al verder is. De elektrificatie van grondgebonden operaties en ontwikkeling van materieel op waterstof is op de kortere termijn al in te zetten. Het doel is dat alle grondgebonden activiteiten vanaf 2030 zijn geëlektrificeerd, of gebruik maken van waterstof. Dit geldt als eerste voor klein materieel.

Waterstof- en energiebehoefte

In het kader van het NPE is onderzoek gedaan naar de waterstofbehoefte van de Nederlandse luchtvaart, om de nationale doelstellingen en de aankomende Europese verplichting voor het bijmengen van duurzame luchtvaartbrandstoffen richting 2030 en 2050 te halen⁶⁷. In het onderzoek is ook rekening gehouden met de verwachte technologische ontwikkelingen en geeft een concreet beeld van de energiebehoefte die voortvloeit uit de aankomende Europese verplichting. Het is daarbij goed om op het netvlies te houden dat de mandaten ook een subdoel synthetische kerosine (RFNBO) kennen.

De verwachte energie- en elektrolysecapaciteit is beschreven in Tabel 3.

Tabel 3. Verwachte energie- en elektrolysecapaciteit.

	Totale SAF behoefte (PJ)	Aandeel waterstof (PJ)	Opwekkingscapaciteit (GW)
ReFuelEU 2030 <i>Bijmengverplichting 6%</i>	10,7 PJ	3,6-4,8 PJ	0,4-0,5 GW
ReFuelEU 2050 <i>Bijmengverplichting 70%</i>	79-122 PJ	91-96 PJ	3,6-12,6 GW
Luchtvaartnota 2030 <i>Bijmenging 14%</i>	25 PJ	5,5 PJ	0,2-0,6 GW
Luchtvaartnota 2050 <i>Bijmenging 100%</i>	123-175 PJ	83-102 PJ	9,3-11,6 GW

⁶¹ Sociaal Economische Raad, 2020. Biomassa in balans. Een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen.

Conclusie

De doelen die het kabinet nationaal heeft gesteld zijn ambitieuzer dan de afspraken in Europees verband. Om dit gat te overbruggen zijn stimulerende maatregelen nodig. Als minimum gelden de aantallen uit de ReFuelEU Aviation-verordening. Deze zijn dan ook leidend geweest voor de verwerking van het NPE-kaartje aan het begin van deze paragraaf. Tegelijk moet het gat met de doelstellingen van dit kabinet dan nog wel worden gedicht. De aangekondigde productiecapaciteit voor duurzame brandstoffen (SAF) is in principe voldoende om tot 2030 aan de verwachte vraag te voldoen. Voor de doelen richting 2035 en 2050 is een opschaling nodig van met name de productie of import van synthetische kerosine. Als gevolg hiervan bestaat er onzekerheid over de hoeveelheid synthetisch kerosine die in de brandstofmix aanwezig zal zijn.

Zoals eerder genoemd is het aandeel van alternatieve aandrijfsystemen (waterstof en elektrisch) nog onzeker richting 2050, omdat de technologieën hiervoor nog in ontwikkeling zijn. Op dit moment worden deze nog niet op commerciële schaal toegepast. Voor de kortere en middellange afstanden kunnen deze energiedragers een vervanging zijn van zowel fossiele kerosine als SAF.

Sturing en keuzes

In veel gevallen zijn de mogelijkheden om de luchtvaart te vervangen door andere modaliteiten beperkt. Dit volgt uit de grote afstanden die de luchtvaart relatief snel en efficiënt overbrugt. Op een beperkt aantal trajecten is de trein wel een goed alternatief. Vanuit IenW wordt hierop ingezet vanuit de Actieagenda Trein en Luchtvaart⁶². De mogelijkheden zijn in de huidige infrastructuur echter zeer beperkt. De actieagenda richt zich daarom op slechts een handvol bestemmingen met bestaande rechtstreekse verbindingen vanuit Schiphol/Amsterdam.

⁶² Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020. Actieagenda Trein en Luchtvaart.

Voorstel invulling restopgave	Biobrandstoffen, E-fuels en H2
Nodig voor invulling restopgave	<p>Luchtvaart is op mondiaal, Europees en nationaal niveau gebonden aan doelstellingen:</p> <p>Mondiaal</p> <ul style="list-style-type: none"> - ICAO: Net-zero doel 2050. - CORSIA. <p>Europees</p> <ul style="list-style-type: none"> - ReFuelEU Aviation. - EU ETS. - Richtlijn Energiebelastingen (ETD). <p>Nationaal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nationale bijmengdoelstellingen. - Luchtvaart in Transitie: groeifondsvoorstel gericht op innovatie en onderzoek. - CO₂-plafond. - Beprijzen en bewustwording.
	<p>Randvoorwaardelijk voor het behalen van Europese verplichting en nationale doelen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opschaling van de productiecapaciteit. - Verlaging van de productiekosten. - Voldoende beschikbaarheid van grondstoffen voor de productie van biokerosine en synthetische kerosine. - Technologische innovatie en toepasbaarheid. - Opschalen van de productie van SAF, biograndstoffen, waterstof en hernieuwbare energie, het gereedmaken van infrastructuur voor toevoer en voor tank- en laadinfrastructuur. - Voor SAF is gebruik te maken van bestaande brandstofleidingen, maar voor waterstof moet de transportinfrastructuur worden aangelegd of omgebouwd. - De luchthavens moeten kunnen beschikken over een toereikende hoeveelheid hernieuwbare elektriciteit, om na 2030 het laden van elektrische vliegtuigen mogelijk te maken. Dit geldt ook voor de grondgebonden activiteiten. - Luchthavens moeten aangesloten zijn op een waterstofnet, en de tankinfrastructuur moet klaar zijn om het tanken van waterstof naar waterstof- en waterstof-elektrische vliegtuigen te faciliteren.
	<p>Beschikbaarheid energiedragers oplopend tot jaarlijks (in 2050).</p> <ul style="list-style-type: none"> - 49 PJ synthetische e-kerosine (SAF). - 30 PJ waterstof (daarvoor is ongeveer 12,5 TWh hernieuwbare elektriciteit nodig voor de elektrolyse). - 126 PJ aan Bio SAF (HEFA, Alcohol to Jet).
	<p>Aanvullend beleidsinstrumentarium voor de invulling van de restopgave.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opschaling van de productie van duurzame brandstoffen (SAF) voor de luchtvaart richting 2050 is nodig om minimaal te voldoen aan de Europese bijmengverplichting. De grootste uitdaging en opgave (in lijn met de wens om dit te stimuleren in het coalitieakkoord) ligt bij synthetische kerosine. - De bijmengdoelen die Nederland in nationaal verband heeft gesteld zijn ambitieuzer dan de afspraken in Europees verband (ReFuelEU Aviation). Er zijn stimulerende maatregelen nodig om dit verschil te overbruggen. - Concrete maatregel: stimulering van het aandeel duurzame luchtvaartbrandstoffen (SAF) dat getankt wordt bovenop de dan geldende EU-bijmengverplichting. Zo is te voldoen aan de nationale doelstelling uit het Akkoord Duurzame luchtvaart en de Luchtvaartnota.

2.3. Conclusies transitiepad mobiliteit

Bij de analyse is onderscheid gemaakt tussen de modaliteiten: personenvervoer, spoor en regionaal ov, bestelvervoer, zwaar wegtransport, mobiele machines, binnenvaart, zeevaart en luchtvaart. Door per modaliteit na te gaan hoeveel duurzame energie er nodig is om de klimaatdoelen te behalen, is er inzicht ontstaan in de totale vraag naar duurzame energiedragers, waarbij de mix van energiedragers per modaliteit verschilt. Voor wegvervoer en spoor geldt ‘elektrificeren waar mogelijk’ en is er in beperkte mate een rol voor waterstof (wegtransport). Voor de elektrificatie in het wegvervoer is het van cruciaal belang dat voldoende elektriciteit beschikbaar is. Wanneer zero-emissie voertuigen voor personen- en goederenvervoer over de weg worden verplicht maar niet geladen kunnen worden, leidt dit tot uitval en grote gevolgen voor de welvaart en welzijn. Voor scheepvaart en luchtvaart ligt deze nadruk op de inzet van bio- en synthetische brandstoffen en waterstof. In de transitieperiode zijn biobrandstoffen van groot belang om de CO₂-doelen te halen. De optelsom laat zien dat er een grote opgave ligt en er nog veel keuzes gemaakt moeten worden om een klimaatneutraal energiesysteem voor mobiliteit te realiseren. Deze transitie is echter uitsluitend te realiseren als er voldoende duurzame energie beschikbaar is voor mobiliteit en als er voldoende beleid is om de fossiele energievraag te vervangen door duurzame energie. Ondanks aankomende Europese normeringen voor de inzet van duurzame energie in vervoer en CO₂-normering voor voertuigen, blijft er een aanzienlijke restopgave van 555 PJ (waarvan 352 PJ voor de internationale modaliteiten) voor 2050. Het effect van deze normeringen richting 2030 is nog onvoldoende om de transitie zelfstandig op gang te brengen. Zonder heldere beleidskeuzes voor de beschikbaarheid van de verschillende energiedragers, actief benutten van beleidsinstrumenten en regelgeving, inzet van innovatie en energie-efficiëntie en energiebesparing, is een klimaatneutrale mobiliteit niet haalbaar. De beleidskeuzes voor mobiliteit moeten genomen worden in samenhang met de verschillende modaliteiten, de andere gebruikerssectoren en energieketens, zodat concurrentie wordt vermeden en er mogelijk synergie ontstaat en reductie-effecten ontstaan. Hierbij moet worden gekeken naar een samenspel van verplichtende en stimulerende maatregelen, de technology readiness van de verschillende technologieën, het onderling uitwisselen van technieken waar deze de transitie gezamenlijk kunnen versnellen en de mogelijkheden om energiebesparing in te zetten. Bij nieuwe beleidskeuzes is het ook van belang dat rechtvaardigheid en de verdeling van lasten worden meegenomen om iedereen in deze transitie mee te kunnen krijgen. Bovengenoemde aspecten zouden ook moeten worden meegenomen in beleid dat voortkomt uit het NPE.

Totale behoefte

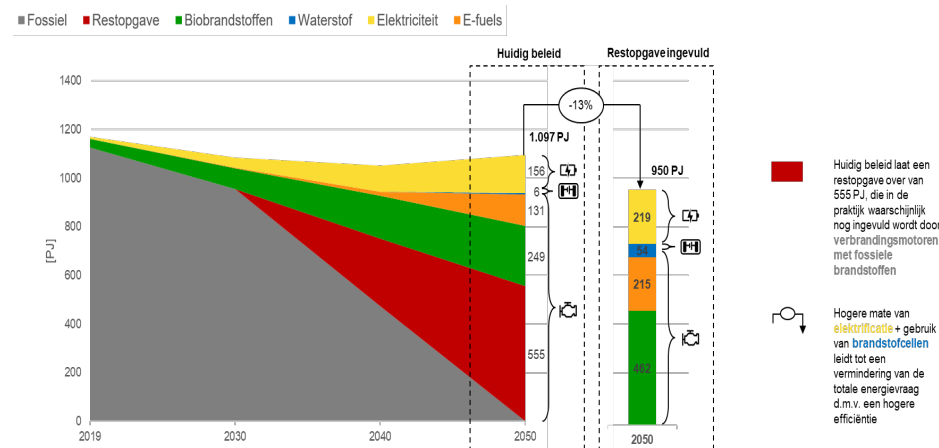
In de onderstaande tabellen is de behoefte aan energiedragers op basis van huidig en voorgenomen beleid weergegeven voor 2050, inclusief de restopgave en hoe deze kan worden ingevuld. De efficiëntieslag als gevolg van de reeds doorgevoerde transitie naar elektrische aandrijving is in deze scenario's al meegenomen. Figuur 22 geeft een heldere visualisatie weer van onderstaande tabellen.

Tabel 4. Totale behoefte bestaand/voorgenomen beleid in PJ in 2050 (afgerond)

Energiedragers bestaand/voorgenomen beleid (PJ)	Hernieuwbare elektriciteit	Hernieuwbare waterstof	Bio-brandstoffen	RFNBO's (exclusief H2)	Rest-opgave	Totaal
Personenvervoer	74		16		62	152
Collectief vervoer (ov)	13	0,3	0,1		2	15
Bestelvervoer	17		2		21	40
Zwaar wegtransport	33	6	14		31	84
Mobiele werktuigen	1		2		40	43
Binnenvaart	1		4		47	52
Zeevaart	17		130	50	283	480
Luchtvaart			81	81	69	231
Totaal	156	6	249	131	555	1097

Tabel 5. Potentieel totaalbeeld van behoefte op basis systeemargumenten in PJ (afgerond)

Potentieel beeld energiedragers 2050 (PJ)	Hernieuwbare elektriciteit	Hernieuwbare waterstof	Biobrandstoffen	E-Fuels	Totaal
Personenvervoer	99				99
Collectief vervoer (ov)	14	1			15
Bestelvervoer	21		7		28
Zwaar wegtransport	41	11	11		63
Mobiele werktuigen	19				19
Binnenvaart	8	12	11	10	41
Zeevaart	17		307	156	480
Luchtvaart		30	126	49	205
Totaal	219	54	462	215	950



Figuur 22. Doorrekening alle modaliteiten op basis van vastgesteld en voorgenomen beleid tot 2050 (PJ) met separaat een beargumenteerd eindbeeld 2050 waarbij de restopgave is ingevuld

2.4. Uitvoeringsagenda mobiliteit en energiesysteem

Voor het halen van de CO₂-doelstellingen zijn aanvullende investeringen en beleid nodig. Package-deals met combinaties van “energiedrager, tank & laadinfrastructuur en voer/vaartuigen” zijn hierbij vereist, inzetten op alleen energiedragers volstaat niet. Om de

verduurzaming van de mobiliteitssector uit te voeren, moet er worden gekeken naar de hieronder volgende acties op korte, middellange en lange termijn.

Personenvervoer

Korte termijn

Om de uitrol van elektrisch rijden te faciliteren, is een steeds snellere uitrol van laadinfrastructuur voor zowel lichte als zware voertuigen gewenst. Waarbij netcongestie moet worden vermeden. Het is cruciaal de uitrol hiervan als prioriteit te stellen bij netbeheerders, voor het uitbreiden van hun netcapaciteit. De benodigde vraag naar netcapaciteit op de betreffende locaties brengen NAL-regio's ook al in voor het provinciale MIEK-proces.

Tevens zal de betaalbaarheid van elektrische auto's ten opzichte van conventionele auto's moeten verbeteren, om de kabinetsambitie van 100 zero-emissieverkoop per 2030 te kunnen halen. Op termijn zullen de voertuigprijzen van elektrische voertuigen en voertuigen op fossiele brandstoffen gelijk worden, maar tot dan is een toename van elektrische voertuigen alleen te versnellen door de aanschaf ervan te stimuleren. Een andere optie om de Total Cost of Ownership van de elektrische voertuigen te ondersteunen, is het verhogen van de brandstofaccijnzen. Zo ontstaat een prijsvoordeel.

Middellange termijn

Op termijn wordt een dekkend netwerk van laadinfrastructuur naar doelstellingen van de NAL gerealiseerd. Daarnaast komen er steeds meer voertuigen op de markt die bidirectioneel kunnen laden en ontladen. Met de juiste beleidsmaatregelen en investeringen in laadhubs kunnen voertuigen een oplossing bieden voor congestie en transportschaarste. Daarnaast kunnen voertuigen op deze manier flexibiliteit aan het elektriciteitsnet bieden. Fundamenteel is dat Europa de zero-emissienorm voor 2035 heeft vastgesteld. Dit betekent dat op lange termijn de Europese vloot vanzelf zal elektrificeren en dit zal leiden tot uiteindelijk klimaatneutraliteit tijdens gebruik. Echter, gegeven het feit dat auto's zo'n 20 jaar op de weg rijden, komt 2035 te laat om in 2050 voor een volledig zero-emissievloot te zorgen. Nederland heeft zelf daarom aangegeven dat het ernaar streeft om al in 2030 alle nieuwverkopen van personenauto's uitstootvrij te maken.

Lange termijn

Op de lange termijn is toename van de vereiste laadinfrastructuur nodig en moet de netcapaciteit op orde zijn. Daarbij wordt ook rekening gehouden met de flexibele energiemarkt en grootschalig gebruik van voertuigen met bidirectionele laadfuncties (V2G).

Collectief vervoer (ov) (& spoorgoederen)

Korte termijn

De grootste uitdaging op de korte termijn is het vertalen van de verduurzamingsambitie voor niet-geëlektrificeerde spoortrajecten in concrete investeringsprojecten. Dit is echter deze kabinetsperiode financieel niet inpasbaar binnen het MF. Daarnaast is het van belang zware laadinfrastructuur voor bussen aan te leggen en daar ook voldoende ruimte op het landelijke en regionale energienet voor beschikbaar te hebben. Tenslotte is het nodig om de behoefte, potentie en randvoorwaarden voor waterstofinfrastructuur voor trein en bus scherper in beeld te hebben.

Middellange termijn

Op de middellange termijn moeten alle niet-geëlektrificeerde trajecten worden geëlektrificeerd. Een concessiewisseling waarbij het bestaande materieel dat aan het einde van de levensduur is, vervangen wordt door (batterij-)elektrisch materieel is daarbij het logische moment. Op dat moment moet de spoorweginfrastructuur dan geëlektrificeerd zijn (geheel of gedeeltelijk voor batterij-elektrisch materieel). Hiervoor is voldoende aansluitcapaciteit nodig. Dit geldt overigens ook voor elektrificatie van het busvervoer en het opvangen van de autonome vervoersgroei. Afhankelijk van de economische ontwikkeling, de voortgang van de energietransitie en de marktbehoefte, kan het nodig zijn om op de middellange termijn waterstofinfrastructuur aan te leggen.

Lange termijn

Op de lange termijn liggen er kansen voor het ontwikkelen van energiehubbs waar grootschalig vraag en aanbod van hernieuwbare elektriciteit samenkomen (opwek, energie-intensieve industrie en weg/water/spoormobiliteit). Het energienetwerk van het spoor kan mogelijk een rol spelen in het verbinden van vraag en aanbod op dergelijke *hot spots* op dalmomenten in de dienstregeling. En daar vervolgens zelf van profiteren tijdens de pieken in de dienstregeling.

Bestel- en vrachtverkeer

Korte termijn

Op de korte termijn (2025/26) ligt de focus voor bestel- en vrachtverkeer op de invoering van ZE-zones in 30-40 middelgrote steden en de invoering van een vrachtwagenheffing in 2026. Ondernemers die de overstap maken naar ZE-voertuigen kunnen gebruik maken van de beschikbare subsidieregelingen SEBA (Subsidieregeling Emissieloze Bedrijfsauto's) en AanZET (Aanschafsubsidie ZE-trucks). Ook zijn er fiscale maatregelen die de overstap aantrekkelijk maken (MRB-vrijstelling tot 2025, 45% MIA/VAMIL, verlaagde rente op lening voor ZE aanschaf). Vanaf 2025 wordt de BPM-vrijstelling voor bestelauto's voor ondernemers afgeschaft. De grondslag is gebaseerd op de CO₂-emissie van het voertuig. ZE-voertuigen betalen dan alsnog geen BPM.

De uitrol van een dekkend netwerk voor laadinfrastructuur (in steden, op bedrijventerrein en langs de weg) blijft prioriteit. Hierbij hoort ook het wegnemen van problemen rond netcongestie. Om de ingroei van ZE voertuigen te faciliteren, zal de uitrol van logistieke laadinfrastructuur voor zowel lichte als zware bedrijfsvoertuigen moeten worden versneld. Het is cruciaal dat netbeheerders hiermee rekening houden bij het uitbreiden van hun netcapaciteit. De benodigde vraag naar netcapaciteit op de betreffende locaties brengen wij in kaart door het provinciale MIEK-proces. Technologische ontwikkelingen als slimme laadstrategieën en bidirectioneel laden bieden daarbij nieuwe mogelijkheden om de vraag en aanbod van elektriciteit beter met elkaar in balans te brengen. Batterij-elektrische voertuigen bieden op die manier buffermogelijkheden en draagt bij het oplossen van knelpunten op het net.

Middellange termijn

Voor het zwaar transport en vervoer van goederen maakt het kabinet prestatieafspraken met de transportsector over het terugdringen van CO₂- uitstoot. Het kabinet wil de transportsector hierbij helpen en stelt via een terugsluis van de vrachtwagenheffing middelen beschikbaar voor de aanschaf van zware elektrische voertuigen. Daarnaast is geld gereserveerd voor het gebruik van waterstof in het zwaar transport.

Er wordt momenteel onderzoek gedaan naar het invoeren van Betalen naar Gebruik vanaf 2030. Bestelvoertuigen betalen onder dit systeem een kilometerheffing (vergelijkbaar met de vrachtwagenheffing, waar bestelauto's standaard niet onder vallen). Middels een op

emissies gedifferentieerde tariefstructuur kan hiermee worden gestuurd op gebruik van schone en duurzame voertuigen volgens het principe 'de vervuiler betaalt'.

Lange termijn

Het wegvervoer zal op lange termijn (2050) zero-emissie en grotendeels elektrisch zijn. Dit heeft impact op de infrastructuur en het gebruik van voertuigen. De aanpassing van de infrastructuur en het stimuleren van ZE voertuigen vergt hoge investeringen (uitgaven) en mogelijke aanpassingen aan het huidige belastingsysteem (opbrengsten) waarin de 'vervuiler betaalt'.

Mobiele werktuigen

Korte termijn

Voor bouwmaterieel vindt op de korte termijn de verdere uitrol van het programma Schoon en Emissieloos bouwen plaats. Daarvoor zijn ook middelen beschikbaar gemaakt om de transitie vorm te geven, bijvoorbeeld via een subsidie voor aanschaf en ombouw en voor middelen die aanbestedende (Rijks)overheden ondersteunen om steeds strengere emissie-eisen te kunnen stellen bij de aanbestedingen. Ná 2030 zal zero-emissie steeds meer de norm worden in deze sector. In deze transitie blijft de toename van zero-emissiematerieel en laadinfrastructuur een uitdaging.

Middellange termijn

Voor de middellange termijn kan worden gekeken naar aanvullende middelen om de markt en aanbestedende (Rijks)overheden te ondersteunen in de transitie. Schoner, en op termijn zero-emissiebouwmaterieel is cruciaal voor de opgaves bij infrastructuur, energietransitie en woningbouw. Ook is het nodig om Europees meer aandacht te vragen voor deze transitie. Strengere emissie-eisen helpen om een grotere marktvraag en marktaanbod aan te wakkeren.

Binnenvaart

Korte termijn

Op de korte termijn is voor de verdere uitrol waterstof en andere zero-emissie toepassingen in de binnenvaart subsidiëring uit bijvoorbeeld het klimaatfonds een randvoorwaarde. Hiervoor heeft het kabinet nu €178 miljoen gereserveerd. Dit bedrag moet wel worden

gedeeld met het zwaar wegvervoer. Daarnaast is verdere subsidiëring van motorvervanging naar Stage V nodig, in lijn met eerdere subsidieregelingen. Tegelijkertijd wordt een impactassessment naar invoering van bindende emissienormen uitgevoerd. De resultaten hiervan zal gereed zijn in het vierde kwartaal van 2023. Verder zal de uitrol van walstroom infrastructuur in alle havens voortgezet worden.

Het kabinet heeft besloten om een ruime toepassing van het ETS₂ pakket. Er zal een impactanalyse worden uitgevoerd om na te gaan wat de consequenties zijn van het invoeren ervan voor de binnenvaartsector.

Middellange termijn

Op basis van de uitkomsten van bovengenoemd impactassessment kan besloten worden tot het gefaseerd invoeren van emissienormen via het inmiddels operationele emissielabel binnenvaart. Op Europees niveau komt een lobby voor de beschikbaarstelling van fondsen voor de financiering van de energietransitie in de binnenvaart. Ook zal gepleit worden voor het invoeren van Europese emissienormering, door middel van een Europees emissielabel voor binnenvaartschepen. De uitrol van waterstof-, tank- en bunkerinfrastructuur zal zowel op nationaal als Europees niveau (in AFIR-verband) worden gerealiseerd.

Lange termijn

Voor de binnenvaart zal de benodigde hoeveelheid duurzame energie in 2050 naar verwachting als volgt zijn samengesteld: 8 PJ (2,2 TWh) hernieuwbare elektriciteit in het nationale netwerk, met een landsdekkende snel-laadinfrastructuur in havens. Voor waterstof is 12 PJ nodig, voor HVO/Bio-LNG zal dit 11 PJ bedragen, en tenslotte is er 10 PJ nodig voor E-fuels (zoals synthetische diesel, methanol).

Zeevaart

Korte termijn

Nederland zet in op implementatie van de Europese afspraken uit het Fit-for-55-pakket, waaronder ETS zeevaart, FuelEU Maritime en het aanbieden van walstroom. Al op zeer korte termijn vindt de invoering plaats van Europese normering en beprijzing van broeikasgas uitstoot in de zeevaart (ETS zeevaart vanaf 2024 en FuelEU Maritime vanaf 2025). Bij herziening van deze maatregelen (vanaf 2026) zet Nederland in op verdere aanscherping.

In juli 2023 heeft de IMO de herziene broeikasgasreductie strategie vastgesteld naar netto nul uitstoot in of nabij 2050 en met tussentijdse doelen van 20% reductie t.o.v. 2008 (met een streven naar 30%) in 2030, en 70% reductie t.o.v. 2008 (met een streven naar 80%) in 2040. De komende twee jaar wordt gewerkt aan afspraken over de maatregelen die deze ambitie moeten gaan waarmaken. Deze maatregelen worden uiterlijk in 2025 vastgesteld om in 2027 in werking te kunnen treden. Nederland zet in op ambitieuze afspraken, in lijn met het Parijsakkoord. Mondiale afspraken zijn van belang voor een gelijk speelveld. Om te voldoen aan AFIR-verplichtingen wordt in de periode tot 2030 voor containerschepen, cruiseschepen en roll-on-roll-off-ferryschepen (> 5000 bruto ton) walstroom uitgerold, zodat vanaf 2030 deze schepen van walstroom kunnen worden voorzien. Verwachte energievraag van deze segmenten is 270 GWh, met focus op de haven van Rotterdam.

In de toekomst van de zeevaart zullen verschillende energiedragers een rol spelen in de verschillende segmenten van de vloot. Momenteel is nog onduidelijk welke dit zullen zijn. Zoals hierboven omschreven zullen e-fuels en biobrandstoffen beiden een belangrijke rol spelen, en zal volgens de huidige verwachting vooral een omvangrijke hoeveelheid biobrandstoffen nodig zijn om de restopgave volledig in te vullen. Met de 'Roadmap Brandstoftransitie Zeevaart' wordt inzichtelijk gemaakt hoe de brandstoftransitie naar een emissieloze zeevaart eruit zou kunnen zien.

Naar verwachting zullen de genoemde internationale instrumenten (normeren en beprijzen) vanaf ongeveer 2030 de klimaattransitie in de zeevaart kunnen dragen en voldoende stimulans bieden voor duurzame investeringen. Gezien de lange levensduur van schepen is het echter nodig om al de komende jaren de transitie in gang te zetten, om in 2050 klimaatneutraal te kunnen zijn. Daarvoor zijn aanvullende investeringsimpulsen op Europees en nationaal niveau nodig. Het ministerie van IenW heeft daarom bij het Nationaal Groeifonds een voorstel ingediend voor het Maritiem Masterplan, gericht op toepassing van duurzame technologieën in demonstratieprojecten. De eerste stap na demonstratieprojecten betreft de vroege fase van opschaling van deze duurzame technologieën. Ook deze stap moet vóór 2030 in gang worden gezet, waarbij er nog sprake is van een onrendabele top. Het kabinet reserveert daarom middelen voor de ontwikkeling van duurzame zeeschepen (Kamerstuk nummer 2023Z07697).

Vanaf 2025 zullen meerdere bedrijven in de zeehavens de ontwikkeling voor opslag en overslag van waterstoftoepassingen (ammoniak, LOHC, et cetera) opstarten. De Nederlandse havens willen zich ontwikkelen tot draaischijf voor duurzame energie in Europa. Dit biedt Nederland kansen om een koploperrol te vervullen in verduurzaming van de scheepvaart. Tegelijkertijd biedt het ook kansen voor de verduurzaming van brandstoffen voor de luchtvaart. Daarnaast draagt dit voornemen bij aan het toekomstig verdienvermogen van Nederland. Het verduurzamen van de huidige bunkerpositie legt wel een zware claim op biobrandstoffen, elektriciteit, waterstof/synfuels (ammonia, methanol). Daarnaast vergt dit veel aandacht voor ruimtelijke inpassing en stikstofruimte.

Groene scheepscorridors bieden de mogelijkheid om koplopers in de zeevaart met elkaar te verbinden en om duurzame businesscases in de praktijk te testen, inclusief de in havens benodigde infrastructuur. Nederland wil daarom inzetten op de totstandkoming van zulke corridors, en heeft hiervoor de Clydebank Declaration ondertekend. Dit initiatief van het Verenigd Koninkrijk is in 2021 gepresenteerd tijdens COP26 in Glasgow, en heeft als doel om in dit decennium tenminste zes zero-emissie-scheepvaartroutes te realiseren tussen twee (of meer) havens.

Middellange- en lange termijn

De broeikasgasuitstoot afkomstig van de zeevaart valt momenteel niet onder de nationale klimaatdoelen. Nederland heeft wel een resultaatverplichting voor de zeevaart in het kader van de Europese Green Deal en het daarmee samenhangende Fit-for-55-pakket. De Tweede Kamer is op 17 maart 2023 geïnformeerd over de keuzes die gemaakt moeten worden in het kader van het nieuwe Klimaatplan (Kamerstuk 32813-1180). In deze brief kwamen ook de internationale sectoren lucht- en zeevaart aan de orde. In opdracht van het ministerie van IenW wordt voor de zeevaart onderzoek gedaan of het mogelijk is om een verdeelsleutel te ontwikkelen, waarmee een gedeelte van de emissies van de internationale zeevaart toe zou kunnen worden gerekend aan Nederland. Op deze manier ontstaat er een integraal beeld over welke emissies uit de lucht- en zeevaart in het nationale doel voor 2050 kunnen passen. De Tweede Kamer wordt begin 2024 over de uitkomsten van dit onderzoek geïnformeerd via de jaarlijkse voortgangsbrief over het klimaatbeleid voor de zeevaart. Deze uitkomsten worden vervolgens voor lucht- en zeevaart betrokken bij het Klimaatplan 2024. Vanaf 2030 geldt de verplichting aan (kern)zeehavens om walstroom beschikbaar te stellen (AFIR). De

nationale implementatie van de RED III zal eveneens een mogelijke bijmengverplichting voor brandstofleveranciers aan de zeevaart bevatten. Doel van beide maatregelen is om ook aan de aanbodkant (energieleveranciers) de brandstoftransitie in de zeevaart in gang te zetten. Voorbereidingen voor beide instrumenten zijn reeds in gang gezet. Vanuit de AFIR komen ook verplichtingen over de beschikbaarheid van LNG-bunkerpunten. Daarnaast komen er naar verwachting in toenemende mate ook verplichtingen voor andere duurzame energiedragers. Afhankelijk van de precieze (Europese) vormgeving hiervan wordt een implementatietraject ingericht. Tot besluit: De transitieroute voor de zeevaart wordt gekenmerkt door disruptieve innovaties, waarvan de richting en de snelheid nog moeilijk te voorspellen zijn. Het is van belang nog een zekere 'openheid' te betrachten, om op voorhand geen kansrijke routes uit te sluiten.

Luchtvaart

Korte termijn

Op de korte termijn wordt ingezet op de stimulering van het aandeel duurzame luchtvaartbrandstoffen (SAF) dat getankt wordt boven op de dan geldende EU-bijmengverplichting. Op deze manier wordt voldaan aan de nationale doelstelling uit het Akkoord Duurzame Luchtvaart en de Luchtvaartnota. Daarvoor is stimulering nodig van het aandeel getankte SAF vanaf 2025, om de 14%-doelstelling in 2030 te halen. Hiermee wordt het knelpunt opgelost dat vanwege EU-wetgeving geen nationale verplichting opgelegd mag worden om de nationale bijmengdoelstelling van het kabinet te halen.

De door Shell, Neste en SkyNRG aangekondigde productiecapaciteit lijkt in principe voldoende om tot 2030 aan de verwachte vraag te voldoen. Dit is in lijn met de bijmengverplichting van de EU. In lijn met deze verplichting zal de vraag richting 2030 hoofdzakelijk bij biobrandstoffen liggen, waarbij synthetische kerosine een klein aandeel zal vervullen. De bijmengverplichting stijgt snel en komt in 2035 al uit op 20%. Dit vraagt om een forse investering, om dit te kunnen realiseren.

De behoefte aan capaciteit op elektrisch vliegen, grondgebonden activiteiten en drones moet verder worden uitgekristalliseerd. Het is al wel duidelijk dat ook hier flinke investeringen nodig zijn.

Middellange termijn

Op de middellange termijn wordt ingezet op de stimulering van het aandeel getankte SAF en de opschaling van de productie, om zo de 100% doelstelling in 2050 te halen. Hier zijn nog geen middelen voor beschikbaar. De inzet van synthetische kerosine zal gestaag toenemen richting 2050. Hiervoor moeten de productie en import tijdig worden opgeschaald. In lijn met het duurzaamheidskader biobrandstoffen wordt tegelijkertijd gewerkt naar het op termijn afschalen van biobrandstoffen in de brandstoffenmix. Voor SAF kunnen bestaande brandstofleidingen worden gebruikt, maar voor waterstof moet transportinfrastructuur worden aangelegd of omgebouwd. Hierbij moet nagedacht worden over infrastructuur, transport en opslag.⁶⁹ Ook is aansluiting op een waterstofnet noodzakelijk en moet de tankinfrastructuur gereed te zijn om het tanken van waterstof naar waterstof- en waterstof-elektrische vliegtuigen te faciliteren. Dit geldt ook voor grondgebonden activiteiten op de luchthavens.

Nederland zal niet alle benodigde waterstof zelf produceren, er moet dus ook gekeken worden naar importmogelijkheden.

De luchthavens moeten kunnen beschikken over een toereikende hoeveelheid hernieuwbare elektriciteit, om na 2030 het laden van elektrische vliegtuigen mogelijk te maken en de grondgebonden activiteiten te kunnen elektrificeren.

Lange termijn

Voor de doelen richting 2050 is een opschaling nodig van met name de productie en import van synthetische kerosine. Omdat dit nog in ontwikkeling is, is de exacte hoeveelheid synthetische kerosine die in de brandstofmix aanwezig zal zijn nog niet vast te stellen. In de ReFuelEU-verordening zorgt een submandaat voor een minimum aandeel synthetische kerosine dat in ieder geval in de luchtvaart zal worden ingezet.

In lijn met het duurzaamheidskader biobrandstoffen maakt de luchtvaartsector gebruik van andere alternatieven in plaats van fossiel en biobrandstoffen.

Richting 2070 zal de technologische ontwikkeling het naar verwachting mogelijk maken om op korte afstanden elektrisch te vliegen. Hiermee neemt de behoefte aan hernieuwbare elektriciteit toe. Daarnaast zullen waterstof- en waterstof-hybride vliegtuigen mogelijk inzetbaar zijn op de langere afstand, waardoor de vraag naar waterstof ook zal toenemen.

3. Transitiepad industrie

Dit hoofdstuk beschrijft het 'sectoraal transitiepad industrie' als onderdeel van het Nationaal plan energiesysteem (NPE). Dit hoofdstuk geeft op hoofdlijnen inzicht in de verschillende verduurzamingsdoelstellingen, -instrumenten en sturing voor een duurzame Nederlandse industrie en geeft een doorkijk naar de uiteenlopende bandbreedtes van de potentiële toekomstige energievraag van deze duurzame industrie. Hierbij is er een nauwe wisselwerking met het Nationaal Programma Verduurzaming Industrie (NPVI) en de Routekaart Verduurzaming Industrie.

Het kabinet stuurt stevig op het transitiepad voor CO₂-reductie in de industrie. De industrie geeft invulling aan het grootste deel van de Nederlandse verduurzamingsopgave en reduceert t.o.v. 1990 haar uitstoot met 67% in 2030 en zal ingevolge het ETS netto CO₂-neutraal zijn in 2039. Uit de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2023⁶³ blijkt dat de industrie op schema ligt om deze doelstellingen te behalen. Normering, beprijzing en randvoorwaardelijk beleid moeten dit blijven garanderen.

Het kabinet streeft naar een duurzame economie in internationale context met sterke industriële clusters voor verdienvermogen van de toekomst, strategische autonomie en economische weerbaarheid. Om dit doel te bereiken wil het kabinet bedrijven zo veel mogelijk laten investeren in verduurzaming in Nederland. Het kabinet stelt hiervoor o.a. middelen beschikbaar via regelingen en schept de benodigde randvoorwaarden (bijvoorbeeld infrastructuur, vergunningen, en een Europees level playing field van normering en beprijzing).

Dit heeft impact op het toekomstige Nederlandse energiesysteem. De specifieke verduurzamingsopties en energiedragers waar internationale bedrijven in zullen investeren

zijn afhankelijk van ontwikkelingen op de energiemarkt, Europees beleid en de infrastructurele randvoorwaarden die de overheid kan creëren. Het samenbrengen van vraag, aanbod en transport van toekomstige duurzame energiedragers vergt daarmee maatwerk en coördinatie. Middels dataverzameling via de CES'en en maatwerkafspraken, sturing via het NPVI, en prioritering via het MIEK; wordt incrementeel een steeds scherper beeld gecreëerd van de uiteindelijke vraag naar energiedragers en de randvoorwaarden die de overheid daarvoor kan creëren. Bedrijven maken binnen deze randvoorwaarden een keuze binnen hun verduurzamings- en/of vestigingsstrategie.⁶⁴

Om het NPE zo nauw mogelijk aan te laten sluiten op het NPVI, is de tekst van dit hoofdstuk sterk gestoeld op de Kamerbrief 'Een nationaal programma voor versnelde verduurzaming van de industrie'⁶⁵, de Routekaart Verduurzaming Industrie⁶⁶ en bestaande beleidslijnen uit onder andere 'Het verschil maken met strategisch en groen industriebeleid',⁶⁷ 'Actuele situatie energie-intensieve industrie',⁶⁸ 'Voortgang Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (MIEK)'⁶⁹ en 'Voortgang Maatwerkafspraken'.⁷⁰ Voor de actuele stand van het Nederlandse industriebeleid geven de meest recente versies van genoemde programma's de juiste informatie weer.

Dit hoofdstuk schetst achtereenvolgens

- Huidige kenmerken van de Nederlandse (energie-intensieve) industrie.
- Beleidsdoelstellingen voor verduurzaming van de industrie.
- Beleidsinstrumenten voor verduurzaming van de industrie
- Sturing, creatie randvoorwaarden en beeldvorming vraag energiedragers
- Verduurzamingsopties voor de industrie en belangrijke factoren.
- Huidig beeld bandbreedtes vraagontwikkeling energiedragers in de industrie.

⁶³ PBL, (2023). *Klimaat- en Energieverkenning 2023*.

⁶⁴ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 14.

⁶⁵ Kamerstuk 29826, nr. 176 en Guidehouse. (2023). *Analyse voor Programma Verduurzaming Industrie*.

⁶⁶ Kamerstuk 29826, nr. 196 en Nationaal Programma Verduurzaming Industrie, (2023). *Routekaart verduurzaming industrie 1.0*.

⁶⁷ Kamerstuk 29826, nr. 147.

⁶⁸ Kamerstuk 29826, nr. 170.

⁶⁹ Kamerstuk 29826, nr. 155.

⁷⁰ Kamerstuk 29826, nr. 173.

3.1. Kenmerken Nederlandse industrie

Onder 'industrie' verstaat dit hoofdstuk zowel de basisindustrie en de verwerkende industrie als de maakindustrie. Volgens deze afbakening draagt de industrie voor 12% direct bij aan het bbp (2020). Het is een sector waarin ruim achthonderduizend mensen werkzaam zijn. Nog eens honderduizenden mensen werken in bedrijven die de industrie ondersteunen.⁷¹ De Nederlandse industrie is sterk geïntegreerd in internationale ketens en kent een financieel aandeel van 30% in onze totale export van goederen en diensten⁷² en voorziet in Nederlandse en Europese basisbehoeften.

De Nederlandse economie is gebaat bij een sterke en adaptieve industrie. Zo verdient Nederland voor wat betreft de goederenexport voor ongeveer de helft van zijn boterham in het buitenland aan productie in de basis-, maak- en verwerkende industrie. Daaraan is bovendien een compleet ecosysteem van Nederlandse bedrijven verbonden: mkb-bedrijven die direct goederen en diensten leveren of afnemen van de industrie. De industrie is daarmee een van de belangrijkste motoren achter de economie en zorgt voor bedrijvigheid en werkgelegenheid.

De industrie is op dit moment verantwoordelijk voor 44% van het Nederlandse eindverbruik van energie en zo'n 32% van de broeikasgasuitstoot vanaf Nederlands grondgebied. Voor een groot deel valt dit voor rekening van bedrijven in de zogeheten energie-intensieve sectoren: de chemie, de raffinagesector, de kunstmestindustrie en de staalindustrie. Deze zijn samen goed voor 77% van de energievraag en 55% van de emissies van de industrie.⁷³ Twaalf grote energie-intensieve bedrijven – de 'grote twaalf', samen verantwoordelijk voor ruim 60% van de industriële CO₂-uitstoot in Nederland – hebben sleutelposities. Veel bedrijven zijn voor hun bedrijfsactiviteiten afhankelijk van de 'grote twaalf', vanwege de bestaande ketenrelaties.

⁷¹ Kamerstuk 29826, nr. 147, p. 1.

⁷² Bron: CBS Nationale Rekeningen 2021V (berekeningen TNO).

⁷³ Aandeel in de klimaatsector industrie (som van B Delfstoffenwinning, C Industrie, E Water en afvalbeheer, F Bouwnijverheid). Bronnen: Energierekeningen, op basis van netto energieverbruik: StatLine - Aanbod en gebruik energie; energiedragers, huishoudens en bedrijven (NR) (cbs.nl); Emissierekeningen, op basis

Mede omdat de industrie in onze Europese basisbehoeften voorziet, is het stoppen of verplaatsen van vervuilende industrie in algemene zin geen bestendige oplossing. Het mondiale klimaat en de fysieke leefomgeving zijn er in veel gevallen niet bij gebaat als bedrijvigheid en uitstoot worden verplaatst naar het buitenland. Voor de brede welvaart, inclusief de transitie naar een duurzame economie, heeft Nederland voldoende verdien capaciteit nodig om dat te financieren. Met een sterke industrie is de economie bovendien meer gediversifieerd en schokbestendig dan een economie die zich alleen op diensten richt.⁷⁵ Bovendien is de industrie de launching customer voor het ontwikkelen en toepassen van veel sleuteltechnologieën die nodig zijn voor de grote transitie naar een duurzame samenleving.⁷⁶

Het kabinet streeft daarom naar behoud van de strategische basisindustrie, vanzelfsprekend binnen de grenzen van wat er kan in Nederland.⁷⁷

Chemie

- De Nederlandse chemie is met ongeveer € 70 miljard omzet en ongeveer € 20 miljard toegevoegde waarde de grootste energie-intensieve subsector. De sector is goed voor zo'n 45.000 banen.
- Nederland is door zijn ligging en grote raffinagesector een grote producent van energie- en grondstofintensieve bulkchemie (15% van de EU-kraakcapaciteit).
- Deze bulkproducten zijn hard nodig in Europa voor onze plastics, bouwmaterialen, vezels, kleding, coatings, medicijnen en voedingsmiddelen.
- 80% van deze bulk is voor de Europese markt, voornamelijk binnen de Antwerp-Rotterdam-Rhine-Ruhr Area (ARRRA-cluster), goed voor 40% van de Europese chemieproductie.
- De chemie groeit nog steeds hard. Er zijn vooral veel hoogwaardige materialen nodig voor onder meer de transitie naar een klimaatneutrale en circulaire economie.

van totaal bkg emissies: StatLine - Emissies naar lucht door de Nederlandse economie; nationale rekeningen (cbs.nl).

⁷⁴ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 9.

⁷⁵ Kamerstuk 29826, nr. 147, p. 3.

⁷⁶ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 4.

⁷⁷ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 4.

- De Nederlandse chemie is sterk geïntegreerd: op en tussen de clusters en sites, maar ook upstream met de raffinagesector.
- Ondanks deze stevige positie zijn er ook marktontwikkelingen met een nadeel voor de positie van de Nederlandse basischemie: goedkope ethaanexport uit de Verenigde Staten zorgt voor een concurrentienadeel voor Nederlandse naftakrakers. Ook de ethyleenexport uit de Verenigde Staten en het Midden-Oosten groeit.
- De emissies van de chemie betreffen 19 Mt CO₂. De emissie-intensiteit is daarmee ongeveer 1 Mt CO₂/miljard euro toegevoegde waarde.

Raffinage

- Nederland heeft door zijn ligging een grote, op export gerichte raffinagesector (40% van Noordwest-Europa; 80% export naar de EU).
- De sector kent € 25 miljard tot € 35 miljard omzet, ongeveer € 2 miljard toegevoegde waarde en zorgt voor 5.500 banen.
- 60% van de brandstofconsumptie in Nederland komt voor rekening van de internationale scheep- en luchtvaart; 40% voor binnenlandse mobiliteit.
- Er is in Nederland een sterke integratie tussen raffinage en chemie (vooral Shell- en Exxon-raffinaderijen). Vrijwel alle geproduceerde nafta en lpg wordt downstream gebruikt voor productie van basischemie (olefines).
- Raffinage heeft daarmee een sleutelrol in de verduurzaming van grondstoffen van de chemie; ongeveer 20% van olie-inzet in Nederland gaat naar de chemie.
- Op basis van het transitiepad mobiliteit (zie hoofdstuk 2) zal de toekomstige brandstofvraag sterk dalen door elektrificatie van personenvervoer en een deel van het zwaar wegtransport.
- Voor een deel van het zwaar wegtransport, de scheepvaart en de luchtvaart zal de brandstofvraag grotendeels door waterstof (draggers) en koolstofhoudende brandstoffen ingevuld moeten worden op basis van duurzame biograndstoffen, secundaire grondstoffen (recycalaat) en niet-fossiele CO₂ en waterstof (synthetisch). Voor strategische autonomie is een zekere mate van binnenlandse raffinage/duurzame brandstofproductie dus van blijvend belang.
- Er is op dit moment een sterke groei van bioraffinage in Rotterdam, met recente investeringen van Neste (€ 2 miljard) en Shell (€ 1 miljard) in next-generation biofuel fabrieken.

- De emissies van de raffinagesector betreffen 10 Mt CO₂. De emissie-intensiteit is daarmee ongeveer 2 Mt CO₂/miljard euro toegevoegde waarde. Slechts 5% van de uitstoot van de raffinagesector vindt direct tijdens de productie plaats (scope 1). 95% van de uitstoot komt vrij bij het gebruik van de eindproducten; vooral de verbranding van transportbrandstoffen (scope 3).

Staal

- De Nederlandse staalproductie vindt voor het overgrote deel plaats bij Tata Steel. Het bedrijf is goed voor ongeveer € 5 miljard omzet, € 3 miljard toegevoegde waarde en 11.000 directe banen.
- Met de productie van 7 miljoen ton staal per jaar is Tata Steel een van de grootste staalsites van de EU.
- Het hier geproduceerde staal wordt bijna niet in Nederland verder verwerkt. Het merendeel van de Nederlandse industrie gebruikt laagwaardiger staal dat niet van Tata Steel afkomstig is.
- De markt voor staalplaten in Europa groeit met ongeveer 1,5-2% per jaar. Grootste markten voor Tata Steel zijn de auto-industrie, packaging, engineering en constructie.
- Voor de EU is er een toename in geïmporteerd staal. Het handelstekort is opgelopen tot 18 Mt in 2021. Concurrentie uit Azië leidt tot overcapaciteit in de EU. Consolidatie en sluiting worden dan ook verwacht. Staal heeft een relatief lage Return On Investment.
- IJmuiden is een relatief gunstig gelegen site in Europa voor de import van grondstoffen en energie. Doordat Tata Steel beschikt over een pelletfabriek kan het goedkoper erts verwerken dan zijn Europese concurrenten.
- Staal is een product dat we in de circulaire economie van de toekomst blijven gebruiken voor bijvoorbeeld auto's, apparatuur, defensiematerialen en windmolens. In een wereldeconomie die steeds meer circulair wordt zal wel een afnemende behoefte zijn aan primair staal (uit ruwe ijzererts).

- De grootste vraag zal zijn of duurzame staalproductie (Direct Reduced Iron; DRI) op waterstof in Nederland op termijn concurrerend is.⁷⁸
- De emissies van de staalsector betreffen 12 Mt CO₂. De emissie-intensiteit is daarmee ongeveer 4 Mt CO₂/miljard euro toegevoegde waarde. De staalproductie gaat daarnaast gepaard met gezondheidsproblemen in de omgeving. Ook is Tata Steel verreweg de grootste industriële stikstofuitstoter van Nederland.

Kunstmest

- De kunstmestsector kent ongeveer € 2 miljard omzet, € 0,5 miljard toegevoegde waarde en 1.100 banen bij twee bedrijven (Yara 600 en OCI 500).
- In Nederland gaat het bij Chemelot om een sterk geïntegreerde site met downstream-productie van melamine (OCI), nylon (Fibrant) en acrylonitrol (AnQore). Yara betreft een stand-alone site, maar maakt naast kunstmest ook AdBlue, een additief voor schonere diesel.
- De wereldwijde kunstmestmarkt groeit met ongeveer 3% per jaar. Nederland is de grootste producent van stikstofkunstmest in West-Europa en exporteert meer dan 95% van de productie. De consumptie van stikstofkunstmest in de EU is constant op ongeveer 10 Mt en daalt in Nederland en Duitsland.
- Nederland produceert kunstmest op basis van aardgas (7-8% Nederlands verbruik) dat wordt omgezet naar waterstof, waarbij 95% van de CO₂-emissies vrijkomen.
- De EU heeft in principe voldoende kunstmestproductie (10 Mt) voor strategische autonomie, maar door de hoge gasprijs ligt de ammoniakproductie grotendeels stil. De vraag wordt ingevuld door import uit Rusland (hoewel het volume sterk is gedaald in 2022) en Egypte, met veel hogere CO₂-uitstoot.
- De EU is ook zeer sterk afhankelijk van fosfaat- en kaliummeststoffen uit Marokko/Rusland, respectievelijk Belarus/Rusland (nu importverbod Belarus). Deze producten worden in Nederland niet gemaakt.
- De EU-kunstmeststrategie bestaat uit diversificatie van de import (Egypte, Qatar, Oman, Algerije), productie van organische kunstmest uit mestvergisting, inzet van biogas voor kunstmestproductie en uiteraard verhoging van duurzame productie met groene

- waterstof of ammoniak. Op de lange termijn vindt de transitie plaats naar kringloop- en precisielandbouw. Daarbij is minder kunstmest nodig.
- De emissies van de kunstmestsector betreffen 4 Mt CO₂. De emissie-intensiteit is daarmee ongeveer 8 Mt/miljard euro toegevoegde waarde.

3.2. Doelstellingen verduurzaming industrie

CO₂-eq. Reductie

- Het huidige CO₂-reductiedoel van de industrie in Nederland is 29,1 Mton restemissies in 2030, dit betreft een vermindering van 67% t.o.v. 1990. Hiervan wordt 18,3 Mton reductie geborgd via de CO₂-heffing industrie en 4 Mton via de maatwerkenpak. Het EU ETS stuurt op een netto nul uitstoot van de ETS-sectoren elektriciteit en industrie in Europa in 2039.

Energiebesparing

- In de herschikking van de Energy Efficiency Directive (EED) is een hoofddoel afgesproken van 11,7% reductie van het energiegebruik in de Europese Unie in 2030. Dit is ten opzichte van prognoses van het energiegebruik voor 2030 uit het EU-referentiescenario uit 2020. Het doel is op EU-niveau bindend voor finaal energiegebruik en indicatief voor primair energiegebruik. De nationale bijdrages voor primair en finaal energiegebruik zijn indicatief. De streefwaarden per sector in Nederland worden uitgewerkt. Voor het vaststellen van het nationale doel en de sectorale streefwaarden voor energiebesparing zijn eind dit jaar alle relevante adviezen gereed. Een nieuw kabinet kan op basis daarvan direct een definitief besluit nemen.

Waterstofproductie en -consumptie

- Het kabinet heeft ten aanzien van elektrolysecapaciteit doelstellingen van 500 MW in 2025, ten minste 4 GW in 2030 en ambitie voor doorgroei naar 8 GW in 2032. (met inbegrip van 500 MW aan waterstofproductie op zee).
- Lidstaten worden via de Renewable Energy directive (RED) verplicht er met subsidies en/of normering voor te zorgen dat het gebruik van RFNBO's in de industrie in 2030 42% (en in 2035 60%) bedraagt van het totale waterstofgebruik. De industrie mag hiervoor

⁷⁸ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 9.

waterstof(dragers) uit binnen- en buitenland gebruiken. De huidige verwachting is dat ~35 PJ aan RFNBO's nodig is in 2030.⁷⁹

Verduurzaming brandstofproductie

- De Renewable Energy Directive (RED III) kent de verplichting aan lidstaten om te bewerkstelligen dat de brandstofleveranciers ofwel een aandeel hernieuwbare energie in het eindverbruik van energie in de vervoerssector in 2030 van ten minste 29% (dit was voorheen 14%) behalen, dan wel een besparing van de broeikasgasketenuitstoot tegen 2030 van ten minste 14,5% behalen (nieuw). Daarnaast geldt de nieuwe aanvullende verplichting dat de lidstaten van de brandstofleveranciers moeten verlangen dat zich in de hoeveelheid aan de vervoerssector geleverde energie een gecombineerd aandeel van geavanceerde biobrandstoffen (met inbegrip van biogas) en van hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong in 2025 ter grootte van ten minste 1% en in 2030 5,5% bevindt, waarbij geldt dat het aandeel hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong in 2030 daarvan ten minste 1% is. Voor lidstaten met zeehavens verlangt de wijzigingsrichtlijn hernieuwbare energie dat het aandeel hernieuwbare brandstoffen van niet biologische oorsprong in de totale hoeveelheid aan zeeschepen geleverde energie ten minste 1,2% bedraagt en aan luchtvaartuigen ten minste 1,5%.⁸⁰

Verduurzaming grondstofgebruik

In het NPCE⁸¹ is de ambitie geformuleerd om in 2050 klimaatneutraal, fossielvrij en circulair te zijn. Circulair zijn betekent dat in ieder geval het grondstoffengebruik voor de Nederlandse productie en consumptie zodanig wordt teruggebracht dat het binnen de planetaire grenzen en de daaruit volgende 'veilige operationele ruimte' voor Nederland valt. Daarnaast zijn in het NPCE en voor zestien prioritaire productgroepen specifieke doelen uitgewerkt. Het internationale karakter van het gebruik van (fossiele) koolstofdragers als grondstof in de chemie maakt het ingewikkeld om nationaal eenzijdig op duurzame koolstofdragers over te stappen. Desalniettemin willen we aansturen op het minimaliseren van fossiel gebruik in de koolstofketen (zie verdiepingsdocument C, hoofdstuk 3).

- De Europese Unie heeft als doelstelling om in 2050 circulair te zijn en heeft de ambitie uitgesproken om in 2030 minimaal 20% van de in de chemie gebruikte fossiele koolstof te vervangen door duurzame koolstof.⁸²
- Het Nederlandse doel, zoals opgenomen in de Roadmap Chemische Recycling Kunststof 2030 NL, is om in 2030 10% van de Nederlandse reguliere kunststofproductie te vervangen door kunststofproductie op basis van recycelaat uit chemische recycling.
- Europees doel vastgelegd in wetgeving: 50% recycling van plasticverpakkingen in 2025.
- Vanaf 2027 wordt een nationale verplichting voor plasticproducenten ingevoerd om de toepassing van gerecycled of biobased plastic te stimuleren. Het voornemen is om de verplichting te laten oplopen naar 25%-30% plastic recycelaat of biobased plastic in 2030.⁸³ Deze verplichting is van toepassing op alle plastics die in Nederland en voor de Nederlandse markt worden geproduceerd.

Overige verduurzamingsdoelstellingen

- In het kader van stikstofreductie is er een indicatief NO_x-emissiereductiedoel vastgesteld voor de sector industrie van 38% in 2030 ten opzichte van 2019.⁸⁴
- In 2030 wil het kabinet 500.000 woningen aangesloten hebben op restwarmte (Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving, juni 2022) (zie ook Verdiepingsdocument C, hoofdstuk 1).
- Europees doel: in 2030 moet jaarlijks 5 Mt CO₂ worden verwijderd uit de atmosfeer en permanent opgeslagen met behulp van koploperprojecten.

⁷⁹ Kamerstuk 2023Z18774

⁸⁰ Wetsvoorstel Milieubeheer RED-III

⁸¹ Kamerstuk 32852 nr. 225 Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030.

⁸² Sustainable Carbon Cycles. Europese Commissie (2021).

⁸³ Kamerstuk 32813 nr. 1230 - Voorjaarsbesluitvorming Klimaat.

⁸⁴ Kamerstuk 34682, nr. 114.

3.3. Beleidsinstrumenten verduurzaming industrie

Hieronder volgt een omschrijving van de hoofdzakelijke instrumenten waarmee het kabinet stuurt op de genoemde doelstellingen in hoofdstuk 3.2 t.a.v. verduurzaming van de industrie. Deze lijst is niet-uitputtend. Daarnaast hebben ook veel beleidsinstrumenten van bijvoorbeeld aanbodketens (zie Verdiepingsdocument B) impact op de verduurzamingsroutes van de industrie. Er is een onderverdeling gemaakt naar normerende en beprijzende instrumenten enerzijds en stimulerende instrumenten anderzijds. Hierbij wordt niet alleen gekeken naar verduurzaming van de huidige industrie, maar ook naar de opbouw van nieuwe duurzame industrie.

Normeren en beprijzen

European Union Emissions Trading System (EU ETS)

Het European Union Emissions Trading System (EU ETS) brengt elk jaar een afnemende hoeveelheid rechten tot CO₂-uitstoot in omloop middels veiling en toewijzing. Deze rechten zijn verhandelbaar. Bedrijven kunnen ofwel uitstoot reduceren, danwel rechten aankopen tegen een oplopende prijs. Deze prijs is gestegen van €5,- per ton CO₂ in 2017 naar tussen de €80,- en €90,- per ton in Q3 2023.

Begin 2023 hebben de Europese Raad en het Europees Parlement de herziening van het bestaande emissiehandelssysteem ETS aangenomen (EC 2023d). Het emissierechtenplafond wordt sneller afgebouwd en leidt nu zonder aanpassing tot een volledige afbouw van nieuw uit te geven emissierechten vanaf 2039.

Nationale CO₂-heffing (CO₂ minimumprijs)

Om bedrijven versneld te verduurzamen is er sinds 1 januari 2021 een nationale heffing op CO₂-uitstoot in de industrie, bovenop de EU-ETS. De Nederlandse Emissieautoriteit (Nea) voert de regeling uit. Het tarief van de heffing wordt voor ETS-deelnemers verminderd met de prijs van een emissierecht in het ETS (EUA). Voor de installaties die wel onder de heffing maar niet onder het EU ETS vallen, geldt dat zij wel het volledige tarief voor dat jaar moeten betalen. Een deel van de jaarlijkse CO₂-uitstoot van installaties onder de heffing wordt vrijgesteld van de CO₂-heffing. De totaal vrijgestelde uitstoot neemt jaarlijks af tot 2030.

Het in 2023 geldende tarief van de CO₂-heffing is € 55,94. De termijnkoers van het EU ETS was begin 2023 € 73,27. Voor ETS-installaties zou de te betalen heffing over 2023 daarmee komen te liggen op € 0. Voor niet-ETS bedrijven zou de te betalen heffing over 2023 komen te liggen op € 55,94.

Bij Voorjaarsbesluitvorming 2023 zijn een aantal aanscherpingen van de heffing aangekondigd:

- Ophogen tarief CO₂-heffing per 1-1-2025 passend bij opgave uit het Coalitieakkoord van 4 Mton (op basis van tariefstudie PBL)
- Verlenging CO₂-heffing industrie tot en met 2032 (prijspad obv PBL-studie)
- Ophoging minimum CO₂-prijs elektriciteitssector en industrie o.b.v. tariefstudie
- Aanpak AVI's: aanscherping CO₂-heffing AVI's in de CO₂-heffing industrie en inbouwen prikkels in het beprijzingsinstrumentarium om recycling te stimuleren
- Bij maatwerkafspraken worden dispensatierechten voor aanvullende CO₂-reductie ingeleverd.

Vanaf 2023 gelden daarnaast nieuwe scherpere benchmarks binnen de CO₂-heffing. Een EU ETS benchmark is een maatstaf voor hoeveel ton CO₂ er vrijkomt voor het maken van een bepaald product.

Koolstofverwijdering (negatieve emissies) zijn momenteel niet ondergebracht in de systematiek van de CO₂-heffing. Er wordt bezien of en hoe dit wel zou kunnen plaatsvinden. Zie verdiepingsdocument B hoofdstuk 3 voor meer informatie over koolstofverwijdering.

Energiebesparingsplicht

Per 1 juli 2023 is de energiebesparingsplicht aangescherpt. Als onderdeel hiervan is de erkende maatregelenlijst (EML) geactualiseerd, de terugverdientijdmethodiek aangepast en is een onderzoeksplicht voor intensieve energiegebruikers geïntroduceerd. Extra inzet op toezicht en handhaving en actieve communicatie vanuit de overheid en brancheverenigingen zal de naleving van de plicht bevorderen⁸⁵. De energiebesparingsplicht verplicht bedrijven en instellingen met een energiegebruik vanaf 50.000 kWh elektriciteit of 25.000 m³ aardgasequivalent alle mogelijke energiebesparende maatregelen met een terugverdientijd van vijf jaar of minder te treffen. Naast energiebesparende maatregelen zijn

⁸⁵ Kamerstuk 30196, nr. 818.

nu ook maatregelen voor de productie van hernieuwbare energie en maatregelen voor het vervangen van een energiedrager verplicht, mits deze maatregelen de emissie van CO₂ reduceren en een terugverdientijd van vijf jaar of minder hebben. Verder is de doelgroep uitgebreid naar bedrijven en instellingen die vergunningsplichtig zijn en bedrijven die deelnemen aan het Europese emissiehandelssysteem. De doelgroep is daarmee uitgebreid met circa 20.000 bedrijfslocaties en er vallen nu circa 105.000 bedrijfslocaties onder de plicht. Bedrijven en instellingen die onder de energiebesparingsplicht vallen, moeten uiterlijk op 1 december 2023 rapporteren over de maatregelen ter verduurzaming van het energiegebruik.

Voor grote energiegebruikers, waarbij het energiegebruik van de milieubelastende activiteit in enig kalenderjaar groter is dan 10.000.000 kWh elektriciteit of 170.000 m³ aardgasequivalenten, wordt een onderzoeksplicht geïntroduceerd. Deze verplichting houdt in dat vierjaarlijks een onderzoek naar alle mogelijke maatregelen ter verduurzaming van het energiegebruik door de activiteiten van deze bedrijven wordt verricht. Een basislijst met generieke maatregelen, een isolatiescan en een scan naar aandrijfsystemen maken deel uit van dit onderzoek. De geïdentificeerde maatregelen worden opgenomen in een uitvoeringsplan. Het bevoegd gezag kan op basis van het onderzoek en het beoordeelde uitvoeringsplan toezicht houden op het uitvoeren van de energiebesparende maatregelen.

Zoals gezegd vormt de energiebesparingsplicht een cruciaal onderdeel van het klimaat- en energiebeleid. Het kabinet heeft daarom aangekondigd om in 2027 de energiebesparingsplicht nog verder aan te scherpen door de terugverdientijd van vijf jaar te verhogen naar zeven jaar (Kamerstuk 32 813, nr. 1230).

Ten slotte zijn in de EU Energie Efficiëntie Richtlijn (EED) regels gesteld aan het maximale energieverbruik en moeten grote bedrijven verplicht een energie-audit uitvoeren. In het kader van EU Fitfor55 en REPowerEU is er een akkoord bereikt over een herschikking van deze richtlijn. Hierbij is het ambitieniveau naar boven bijgesteld. De consequenties voor de industrie worden de komende maanden verder uitgewerkt.

Handhaving Wet milieubeheer

De NEa is primair verantwoordelijk voor de uitvoering van, het toezicht op en de naleving van de Wet milieubeheer en de raffinagereductieverplichting. De NEa beheert het Register hernieuwbare energie en het Register raffinagereductie-eenheden die gezamenlijk een centrale rol in de systematiek hernieuwbare energie vervullen. De systematiek hernieuwbare energie kent een samenspel van (private) verificaties en (publiek) toezicht, aangevuld met handhavende maatregelen. De normen voor de verificatie en verificateurs worden in het Besluit energie vervoer en de Regeling energie vervoer vastgesteld.

Handhaving RFNBO-gebruiksdoel Renewable Energy Directive

Voor het realiseren van het RED-doel tot 42% RFNBO-gebruik in 2030 en 60% in 2035 in de industrie, is het kabinet voornemens te werken met een jaarverplichting en vraagsubsidies (zie kopje 'stimuleren'). Voor de jaarverplichting wordt toegewerkt naar een formele internetconsultatie in de eerste helft van volgend jaar. In de loop van 2024 voorziet het kabinet het definitieve voorstel aan de Kamer te kunnen voorleggen, met oog op inwerkingtreding in 2026. Dit is wel afhankelijk van Europese definities die nog niet uitgekristalliseerd zijn. De komende maanden wordt op basis van een extern onderzoek bepaald welk niveau voor de jaarverplichting wenselijk is en welke flexibiliteitsmechanismen nodig zijn (een zogeheten ingroeipad). Ook het sanctiebeleid bij het niet-voldoen aan de jaarverplichting wordt ontwikkeld. Daarbij wordt gekeken naar de effecten op kosteneffectieve CO₂-reductie en marktwerking, en in hoeverre het niveau aansluit op de gestelde randvoorwaarden.

Normeren en beprijzen Nationaal Plan Circulaire Economie

In het Nationaal Plan Circulaire Economie⁸⁶ is een groot aantal (verkenningen tot) normerende en beprijzende maatregelen opgenomen. Dit gaat om algemene maatregelen, maatregelen voor prioritaire productketens en ondersteunende maatregelen. Hiermee wordt een optimale benutting van gebruikte grondstoffen en een vermindering van primaire grondstoffen gestimuleerd.

⁸⁶ Kamerstuk 32852, nr. 225.

Normeren en beprijzen kunststofdoelstellingen.

In de voorjaarsbesluitvorming heeft het kabinet besloten om een nationale verplichting in te voeren voor de toepassing van een minimumaandeel recycleat en biogebaseerd plastic. Het voornemen is om de norm op te laten lopen tot 25% - 30% recycleat of biogebaseerd plastic in 2030. Om bedrijven te ondersteunen bij deze versnelde transitie naar een circulaire plasticketen wordt in totaal €267 miljoen uit het Klimaatfonds onder voorwaarden beschikbaar gesteld, waarvan €69 miljoen reeds toegekend. De precieze vormgeving van de stimulering wordt op dit moment verder uitgewerkt⁸⁷.

Maatregelen Voorjaarsbesluitvorming 2023

Er zijn daarnaast per voorjaarsbesluitvorming een aantal andere maatregelen aangekondigd door het Kabinet die nog nader zullen worden uitgewerkt

- Aanpassingen tariefstructuur energiebelasting.
- Normering inzet fossiele bronnen voor nieuwe warmte-opwek

Stimuleren

Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++)

Met de SDE++ zet het kabinet in op de productie van hernieuwbare energie en andere technieken die leiden tot CO₂-reductie. In 2020 is de regeling verbreed, waardoor verschillende nieuwe technieken zijn toegevoegd die een belangrijke rol kunnen spelen in de verduurzaming van de industrie. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de afvang en permanente opslag van CO₂ (CCS), de afvang en het gebruik van CO₂ (CCU), elektrificatie door middel van elektrische boilers of industriële warmtepompen en de productie van waterstof door middel van elektrolyse. De Tweede Kamer is op 17 februari 2023 geïnformeerd over de volgende openstelling van de SDE++ vanaf september 2023. Hiervoor is een openstellingsbudget van € 8 miljard beschikbaar.⁸⁸ In de nieuwe aanvraagronde van de SDE++ moeten zogenaamde 'hekjes' in het budget ervoor zorgen dat subsidieaanvragen met inzet van minder rendabele technieken meer kans maken op subsidie. Voor CCS begrenst het kabinet de publieke stimulans voor CCS via de 'Zeef' en 'Horizon', aangezien het om een transitietechnologie gaat. De Zeef bepaalt dat SDE++ alleen beschikbaar is voor CCS in industriële toepassingen

waarvoor op de korte termijn geen kosteneffectieve alternatieven zijn; de Horizon bepaalt dat er na 2035 geen SDE++ meer beschikbaar is voor fossiele CCS.

Energie Investeringsaftrek (EIA)

Via de Energie Investeringsaftrek (EIA) kunnen bedrijven die investeren in CO₂ reductie, energiebesparing, of duurzame opwek; 45,5% van de investeringskosten in mindering brengen op de fiscale winst. Dit levert gemiddeld 11% voordeel, naast een potentieel lagere energierekening. Maatregelen dienen op de energielijst te staan. Voor 2023 is er een budget van € 249 miljoen.

Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE)

De Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE) betreft een subsidie voor energiebesparende en duurzame maatregelen in het bedrijfspand. Dit gaat om zonneboilers, warmtepompen, isolatiemaatregelen, of aansluiting op een warmtenet. In 2023 is het budget verhoogd, van € 350 miljoen naar € 560 miljoen. Subsidie voor kleinschalige windturbines en zonnepanelen is nog tot eind 2023 beschikbaar. Er is in 2023 een budget van € 30 miljoen.

Milieu-investeringsaftrek (MIA)/Willekeurige afschrijving milieu-investeringen (Vamil)

De Vamil biedt de mogelijkheid 75% van een investering op een willekeurig moment af te schrijven. Door af te schrijven in het jaar waarin dat het beste uitkomt, vermindert de fiscale winst. Voor Vamil is in 2023 een budget van €25 miljoen beschikbaar.

Dankzij de MIA kunnen bedrijven profiteren van een extra aftrekmogelijkheid van de fiscale winst; bovenop de andere fiscale aftrekmogelijkheden zoals de willekeurige afschrijving. Afhankelijk van de maatregel mag tussen de 27% en 45% van het investeringsbedrag extra ten laste worden gebracht van de winst over het kalenderjaar waarin het bedrijfsmiddel is aangeschaft. Het bedrijfsmiddel waarin wordt geïnvesteerd moet voor beide regelingen op de Milieulijst staan.

⁸⁷ Kamerstuk 32813, nr. 1292

⁸⁸ Kamerstuk 31239, nr. 377.

Versnelde Klimaatinvestering Industrie (VEKI)

De regeling Versnelde Klimaatinvestering Industrie (VEKI) stimuleert de implementatie van bewezen technologie met een terugverdientijd van méér dan vijf jaar. De VEKI-regeling ondersteunt vooral de investeringen in procesefficiency. Het gaat daarbij om bedrijfsspecifieke aanpassingen van nieuwe, maar beschikbare en bewezen technologie. De ombouw van fossiele energiedragers naar elektriciteit (elektrificatie) past daarin. In 2023 is er € 138 miljoen voor de VEKI-regeling. Dit wordt gefinancierd uit het Klimaatfonds.

MKB groen regeling

Verruimt de omvang van het borgstellingskrediet in de BMKB-regeling van 50% naar 75% van het kredietbedrag. Daarmee kunnen financiers gemakkelijker en sneller kredieten verstrekken aan mkb'ers die groene investeringen doen (bedrijfsmiddelen zoals opgenomen op de EIA-lijst, middelen verbonden aan energie-investeringen en aanpassingen of vervangingen van bedrijfspanden naar minstens label C).

In ontwikkeling: Stimulans RFNBO-gebruiksdoel Renewable Energy Directive

Naast productiesubsidies (zoals omschreven in het hoofdstuk over de waterstofketen) wordt voor de industrie verkend in welke mate vraagsubsidies bijdragen aan de invulling van het RED-doel op RFNBO-gebruik. Externe onderzoeken en consultaties maken voorts duidelijk dat ook (potentiële) industriële waterstofgebruikers bij de overstap op hernieuwbare waterstof nog tegen kosten of financiële risico's aanlopen. Het kabinet ziet subsidies aan de vraagzijde daarom als een noodzakelijk sluitstuk om de overstap op hernieuwbare waterstof te faciliteren en zo het RED-doel te kunnen halen. Door het subsidiëren van ombouw- en/of gebruikskosten in de opstartjaren van de hernieuwbare waterstofmarkt kunnen bedrijven meer hernieuwbare waterstof gebruiken, met behoud van hun concurrentiepositie. Daarom zijn deze vraagsubsidies een belangrijke aanvulling op de jaarverplichting, die de concurrentiepositie van de industrie kan verslechteren. Daarnaast kunnen vraagsubsidies, in aanvulling op productiesubsidies, helpen om het aanbod van hernieuwbare waterstof te vergroten, zoals het kabinet voor de eerste importvolumes beoogt via H2Global. Om de vormgeving van vraagsubsidies te bepalen wil het kabinet de komende maanden een schriftelijke consultatie uitzetten waarin verschillende opties worden voorgelegd met oog op de besluitvorming over de inzet van middelen uit het Klimaatfonds.

In ontwikkeling: Nationale Investeringsregeling Klimaatprojecten Industrie (NIKI)

De NIKI-regeling is in ontwikkeling voor toepassing van technologieën die bewezen zijn op demonstratieschaal, op (grote) commerciële schaal. Het beoogde hoofddoel van de NIKI is het reduceren van CO₂- en andere broeikasgasemissies in de industrie. Voor 2023 waren de volgende thema's beoogd:

- Grootschalige procesefficiency en -verbeteringen
- Hernieuwbare chemische productie
- Elektrificatie
- Synthetische brandstofproductie en (geavanceerde) bio-raffinage
- Waterstof (productie van waterstof met andere technieken dan elektrolyse en niet-energetische toepassingen van waterstof)

De NIKI kan in de toekomst worden aangevraagd voor investeringssteun, exploitatiesteun of beide. De ambitie voor publicatie en openstelling is 2024, met een budget van maximaal € 242 miljoen. Deze tijdslijn en vormgeving van de regeling is afhankelijk van Europese goedkeuring.

Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+)

De Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+) regeling is een regeling voor innovatieve projecten die leiden tot CO₂-reductie. Dit betreft projecten voor het testen van technologie na de onderzoeksfase in een pilot en/of demonstratieproject op schaal in een bedrijfsspecifieke context. De DEI+-regeling ondersteunt maximaal drie innovatie pilot- en demonstratieprojecten van dezelfde technologie. De DEI+-regeling is in 2023 opengesteld met een totaalbudget van € 65 miljoen. Daarnaast is het minimumbedrag in de DEI+-regeling verlaagd naar €30.000, om de regeling toegankelijk te maken voor een bredere groep bedrijven en toepassingen.

Nationaal Groeifonds (NGF)

Het Nationaal Groeifonds investeert in projecten die een zo groot mogelijke bijdrage leveren aan duurzame en structurele economische groei. Het gaat om gerichte investeringen op 'Kennisonwikkeling' en 'Onderzoek, ontwikkeling en innovatie'.

Momenteel lopen er gehonoreerde voorstellen op de volgende onderwerpen die raken aan de verduurzaming van de industrie:

- Circulaire Zonnepanelen: Dit voorstel richt zich op de ontwikkeling en industrialisatie van nieuwe zon-pv-technologieën en zorgt voor de ontwikkeling van de volgende generatie volledig circulaire zonnepanelen. Het Nationaal Groeifonds investeert maximaal € 412 miljoen in het project. Van dit bedrag is € 135 miljoen definitief toegekend en € 177 miljoen voorwaardelijk toegekend. Daarnaast is er € 100 miljoen geserveerd voor een mogelijke lening voor één van de consortiumdeelnemers.
- Circular Batteries: Het project richt zich op het realiseren van een sterke positie voor de Nederlandse maakindustrie in de mondiale batterijketen, waarbij duurzaamheid en circulariteit centraal staan. Het Nationaal Groeifonds investeert maximaal € 296 miljoen in het project. Van dit bedrag is € 118 miljoen voorwaardelijk toegekend en € 178 miljoen als een reservering.
- GroenvermogenNL en Groenvermogen II: GroenvermogenNL helpt bij de enorme klimaatopgave door het innovatieve ecosysteem rond groene waterstof en groene chemie op te schalen. GroenvermogenNL versnelt de totstandkoming van een ecosysteem voor groene waterstof en groene chemie in Nederland. Voor dit project is € 250 miljoen toegekend uit het Nationaal Groeifonds in 2022. Daarnaast is € 250 miljoen voorwaardelijk toegekend, waarmee € 1250 miljoen aan investeringen kan worden ontsloten. Met de honorering van GroenvermogenNL uit de 1e ronde van het Nationaal Groeifonds is inmiddels voor het totale GroenvermogenNL programma € 838 miljoen beschikbaar gesteld uit het Nationaal Groeifonds.
- Circular Plastics NL: Dit project wil de recycling van kunststoffen nationaal een impuls geven door huidige knelpunten weg te nemen op het gebied van ontwerp van materialen, sortering van afval, mechanische en chemische recycling en opschaling. Voor dit project is € 220 miljoen toegekend uit het Nationaal Groeifonds in 2022. Hiervan is € 124 miljoen omgezet in een definitieve toekenning, een bedrag van € 96 miljoen is voorwaardelijk toegekend.

Important Project of Common European Interest (IPCEI)

Een Important Project of Common European Interest (IPCEI) is een geïntegreerd Europees project dat bestaat uit meerdere nationale projecten van bedrijven en/of onderzoeksinstituten uit diverse EU-lidstaten die complementair zijn, synergie hebben en

bijdragen aan verduurzaming, digitalisering, soevereiniteit en een gelijk speelveld voor bedrijven. Momenteel neemt Nederland deel aan één IPCEI die relevant is voor de verduurzaming van de industrie: de IPCEI waterstof. Dit bestaat uit:

- Technologie (wave 1 HyzTech);
- Waterstofproductie door elektrolyse (wave 2 HyzUse);
- Import en opslag (wave 3 RHATL); en
- Waterstoftoepassingen in mobiliteit en transport (wave 4 Mobility and Transport).

Hiervoor zijn de volgende bedragen beschikbaar gesteld: € 35 miljoen voor wave 1, € 783,5 miljoen voor wave 2, € 600 miljoen voor wave 3 en naar verwachting 200 miljoen voor wave 4.

Stimulerende maatregelen Nationaal Plan Circulaire Economie

In het Nationaal Plan Circulaire Economie⁸⁹ is een groot aantal (verkenningen tot) stimulerende maatregelen opgenomen. Dit gaat om algemene maatregelen, maatregelen voor prioritaire productketens en ondersteunende maatregelen. Hiermee wordt een optimale benutting van gebruikte grondstoffen en een vermindering van nieuwe primaire grondstoffen gestimuleerd.

Stimulerende maatregelen opbouw nieuwe duurzame industrie

Om de transities voor het toekomstige energiesysteem mogelijk te maken, is inzet in de duurzame maakindustrie benodigd. Deze urgentie wordt ook in de EU gevoeld. Hiervoor heeft de Europese Commissie een voorstel gepubliceerd waarin Europese maakindustrie voor groene technologieën door middel van versnelde vergunningverlening sneller van de grond moet komen: de Net Zero Industry Act (NZIA). In de NZIA zijn een aantal technologieën als strategisch opgenomen. Deze strategische technologieën zijn eindproducten, componenten of productie equipment van onder andere elektrolyzers, zon-PV, batterijen, windenergie, warmtepompen en CCS. Deze groeimarkten zijn in lijn met aanverwante beleidskaders, zoals het Nationaal Groeifonds en het perspectief op de Nederlandse Economie⁹⁰.

⁸⁹ Kamerstuk 32852, nr. 225.

⁹⁰ Kamerstuk 33009, nr. 131.

De NZIA hangt nauw samen met de recente wijzigingen van de staatssteunkaders, specifiek het Tijdelijk Crisis en Transitie Steunkader (TCTF) en de verruiming van de Algemene Groepsvrijstellingsverordening (AGVV). Beide verruiming geven lidstaten meer ruimte om de productie van schone technologieën te stimuleren. Op 19 juni jl. is in dit kader een marktconsultatie afgerond voor een nieuwe subsidie ten behoeve van de maakindustrie in waterstof: productielijnen en fabrieksomgevingen. Het kabinet onderzoekt de potentie deze route ook voor de opbouw van andere duurzame industrie te benutten.

3.4. Sturing en creëren van randvoorwaarden en zicht op benodigde energiedragers

Het kabinet streeft naar een duurzame economie in internationale context met sterke industriële clusters voor verdienvermogen van de toekomst, strategische autonomie en economische weerbaarheid. Om dit doel te bereiken wil het kabinet bedrijven zo veel mogelijk laten investeren in verduurzaming in Nederland. Bovenstaande instrumenten geven een sterke stimulans daartoe. Onderzoeken van de Boston Consulting Group en Guidehouse maken duidelijk dat binnen de verschillende ontwikkelpaden voor verduurzaming van de energie-intensieve sectoren, er mogelijkheden zijn voor Nederlandse bedrijven om hier te kunnen verduurzamen. Gegeven de randvoorwaarden die het kabinet o.a. met bovenstaande instrumenten schept voor duurzame productie in Nederland, kunnen individuele bedrijven besluiten of zij in Nederland verduurzamen of hun productie hier matigen. Dit betreft private investeringsbeslissingen. Dit betekent dat niet per se de transitie van de gehele huidige industrie in Nederland binnen de randvoorwaarden mogelijk is. Zo kan de beschikbaarheid van duurzame energie en grondstoffen (met name koolstof) en bijbehorende infrastructuur niet overal tegelijk mogelijk gemaakt worden.

Er is een beeld nodig van de concrete verduurzamingsmogelijkheden (zie hoofdstuk 3.5) waarin industrieën zullen investeren; om zicht te krijgen op de vraag naar energiedragers en – infrastructuur. In welke mogelijkheden bedrijven investeren, is afhankelijk van verschillende factoren.

De verduurzaming van de Nederlandse industrie staat niet los van de mondiale markt. In de Kamerbrief van 16 december 2022⁹¹ ging het kabinet in op de langetermijneffecten van de

structureel hoge energieprijzen in combinatie met mogelijk marktversturende subsidies van andere landen, zoals de Inflation Reduction Act (IRA) in de Verenigde Staten en huidige leveringsproblemen van grondstoffen.

Ook spelen op de lange termijn internationale prijsontwikkeling van en concurrentie op gebied van hernieuwbare energie een rol (bijvoorbeeld goedkope waterstofproductie in landen met gunstigere omstandigheden). Dit heeft invloed op de verhouding tussen Nederlandse productie en import en op het concurrentievermogen van de Nederlandse industrie. Verder zal er internationale competitie plaatsvinden op grondstoffen die nodig zijn voor de energietransitie, klimaattransitie en een fossielvrije koolstofketen.

Meer lokaal zien we belangrijke factoren als de tijdigheid van aanbod van duurzame energie en vergunningen, coördinatievraagstukken rond vraag en aanbod, maar ook aan vormgeving van (financieel) instrumentarium voor de benodigde ondersteuning en de executiekracht om plannen en afspraken over de energie-infrastructuur tijdig te realiseren, zowel nationaal als op clusterniveau. En natuurlijk spelen ook cruciale randvoorwaarden die onze economie breder raken: de beperkingen in fysieke ruimte (onder meer de voorziene benodigde ruimte voor productie, transport en opslag van energie, implicaties voor vestigingsbeleid en benodigde ruimte voor industrie), in stikstofruimte en in voldoende gekwalificeerd personeel.

Verder bestaat speelt de beschikbaarheid van benodigde (hernieuwbare) baseload (stabiel aanbod van elektriciteit) een grote rol voor de industrie. Ook bestaan er onzekerheden rond het investeren in elektrificatie door de industrie, op het moment dat er nog niet voldoende hernieuwbaar aanbod is.

Bovengenoemde factoren vragen naast de instrumenten uit hoofdstuk 3.3. sterke regie op de verduurzaming van de industrie om de ambitie waar te kunnen maken. Besluitvorming én uitvoering moeten sterk versneld worden om enerzijds strategische industrie te behouden en te vergroenen, en anderzijds nieuwe duurzame industrie aan te trekken.⁹² Er is sturing nodig op de randvoorwaarden waarbinnen de industrie kan verduurzamen. Hierbij gaat het over maatregelen met impact op:

- Beschikbaarheid, prijs en mate van stabiliteit van duurzame energie

⁹¹ Kamerstuk 29826, nr. 171.

⁹² Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 10.

- Aanleg van infrastructuur
- Vergunningverlening
- Beschikbaarheid en prijs van duurzame grondstoffen
- Mate van level playing field voor mondiale concurrentie.
- Beschikbaarheid van fysieke ruimte en stikstofruimte.
- Veiligheidsvereisten en -kaders.
- Regelgeving en duurzaamheidsvereisten.
- Risicomitigatie bij coördinatievraagstukken (kip-eivraagstukken).
- Informatiepositie van bedrijven (bijvoorbeeld zicht op vraag en aanbod restwarmte).

In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe het Kabinet programmatisch stuurt op: het realiseren van deze randvoorwaarden; het bieden van investeringszekerheid voor verduurzamingsprojecten; en daarmee het creëren van incrementeel zicht op de benodigde energiedragers en -infrastructuur en op de rol die de industrie heeft in het toekomstige energiesysteem.

Gegeven de randvoorwaarden die het kabinet schept voor duurzame productie in Nederland, kunnen individuele bedrijven besluiten of zij in Nederland verduurzamen of hun productie hier matigen. Dit betreft private investeringsbeslissingen; welke in de energie-intensieve industrie vaak worden genomen door hoofdkantoren in het buitenland, die een brede investeringsafweging maken.

Programma's voor regie op verduurzaming van de industrie

Hieronder wordt omschreven met welke specifieke industrieprogramma's actief sturing wordt gegeven. Via inzichten uit maatwerkafspraken en CES'en, kan het NPVI energievraag en knelpunten in kaart brengen en waar nodig adresseren in het MIEK of andere programma's. In de Routekaart Verduurzaming Industrie staan de reeds voorziene besluitvormingsmomenten.

⁹³ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 10.

⁹⁴ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 11.

Nationaal Programma Verduurzaming Industrie (NPVI)

Besluitvorming én uitvoering moeten sterk versneld worden om enerzijds strategische industrie te behouden en te vergroenen, en anderzijds nieuwe duurzame industrie aan te trekken. Daarom heeft het Kabinet een nieuw overkoepelend programma gelanceerd, het Nationaal programma Verduurzaming Industrie (NPVI), met een tweeledig doel.

- Op korte termijn zo veel mogelijk onduidelijkheden wegnemen over de benodigde randvoorwaarden voor verduurzaming, waaronder inzicht in aanbod van groene elektriciteit en waterstof. Daarnaast duidelijkere strategische planvorming voor 2030 (ook aan private zijde), zodat wederzijds afhankelijke investeringsbeslissingen van de industrie en andere stakeholders, zoals netbeheerders, synchroon kunnen worden genomen.
- Sturen op versnelde realisatie van deze investeringen die leiden tot verduurzaming van bestaande industrie én vestiging van nieuwe duurzame productiefaciliteiten. Hiertoe worden regie en gebiedsgerichte uitvoering, inclusief mandaat, op nationaal en clusterniveau strak georganiseerd.⁹³

In de stuurgroep NPVI worden publiek-private belangen samengebracht. Partijen nemen in de stuurgroep samen de verantwoordelijkheid voor de succesvolle uitwerking en uitvoering van het beleid en de realisatie, inclusief maatschappelijke betrokkenheid.⁹⁴ Vanuit hun eigen mandaten stemmen zij inzet op elkaar af middels richtinggevende afspraken. De stuurgroep werkt langs drie sporen.⁹⁵

- *Sturing op de benodigde randvoorwaarden voor verduurzaming.* Een groot deel van de keuzes loopt mee in de Routekaart Verduurzaming Industrie, die de komende maanden wordt opgeleverd en die de inhoudelijke onderlegger voor het NPVI zal zijn. De routekaart vormt een leidraad voor de acties in de clusters en voor besluitvorming bij de overheid. Het NPVI zoekt daarbij nadrukkelijk de verdieping, bijvoorbeeld met behulp van externe deskundigen. Dat kan bijvoorbeeld gaan over de snelheid van vergunningverlening, kwetsbaarheden in waardeketens of impact op de leefomgeving.
- *Confrontatie van vraag en aanbod.* De start voor de confrontatie van vraag en aanbod is de concrete vraagarticulatie van bedrijven in de genoemde vijf clusters via de CES'en. Een doel van het NPVI is om deze vraag nog concreter en scherper te krijgen. Daarom wordt

⁹⁵ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 12.

ook de uitvoeringsstructuur van de clusters verder versterkt met onder meer een clusterregisseur. De industrie en de netbeheerders kunnen deze vraag vervolgens matchen met het aanbod in de tijd: is er voldoende aanbod van groene energie, is de benodigde energie-infrastructuur tijdig gereed, welke clusters hebben wanneer toegang tot groene energie? Zoals gezegd vindt er binnen NPVI ook een confrontatie plaats met de vraag en aanbod van het gehele energiesysteem en alle sectoren. Die kan leiden tot nadere afwegingen tussen sectoren en binnen het energiesysteem. Daarnaast wordt met decentrale overheden gekeken naar randvoorwaarden: is er bijvoorbeeld voldoende fysieke en milieuruimte voor verduurzamingsprojecten? En wat betekent het voor de verduurzamingsplannen van bedrijven in clusters waar die confrontatie leidt tot de conclusie dat niet alles kan op het gewenste moment? Is dan nog te voorkomen dat daarin vertraging optreedt?

- *Realisatie*. Het derde spoor is sturing op realisatie: realisatie van plannen, investeringen en concrete projecten. Het gaat daarbij zowel om concrete verduurzamingsprojecten bij bedrijven (binnen de poort) als de daarvoor benodigde energie-infrastructuur (buiten de poort). De stuurgroep NPVI zit dicht op de praktijk. Ongetwijfeld zullen bij de realisatie van plannen en projecten onvoorziene omstandigheden opkomen, en kunnen externe factoren (zoals tekorten aan gekwalificeerd personeel) knellend werken. Een ander voorbeeld is vergunningverlening. Bij verduurzamingsplannen van grote industriële ondernemingen zijn regelmatig tientallen nieuwe vergunningen per bedrijf nodig. De doorlooptijden daarvan kunnen een knelpunt vormen in het krappe tijdspad voor het halen van de doelen voor 2030. In de stuurgroep zal worden bezien op welke manier er tijdig over aanvragen van bedrijven kan worden besloten. Het doel is om in de stuurgroep dit type vraagstukken snel te kunnen escaleren naar het niveau van beslissers.

In het NPVI wordt ook gekeken naar de doorvertaling van het Europese voorstel voor de Net Zero Industry Act (NZIA) naar Nederlands beleid⁹⁶. De Commissie doet voorstellen voor:

- versnelling van vergunningverlening (one-stop-shop, beschikbaarheid informatie, maximale doorlooptijden, prioritering projecten op bovengenoemde onderwerpen en aanwijzing van projecten als overstijgend publiek belang);

- een doelstelling om in 2030 in de EU jaarlijkse capaciteit beschikbaar te hebben om 50 miljoen ton CO₂ op te slaan door olie- en gasproducenten te verplichten hier een bijdrage aan te leveren;
 - opname van duurzaamheids- en weerbaarheidscriteria voor netto-nul technologieën bij openbare aanbestedingen of veilingen;
 - oprichting Net Zero Industry Academies en ontwikkeling leerprogramma's voor om- en bijscholing voor netto-nul industrieën;
 - Mogelijkheid om netto-nul proeftuinen (net-zero regulatory sandboxes) op te richten.
- Het NPVI coördineert tevens het 'Actieplan cluster 6: gericht op oplossingen'⁹⁷. Dit betreft een casus-gerichte aanpak, gericht op het oplossen van knelpunten voor concrete bedrijfscasussen samen met deze bedrijven en relevante partners en het breder toepassen van geleerde lessen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de instrumenten uit hoofdstuk 3.3 en de sturende programma's uit voorliggend hoofdstuk. De kern van de aanpak bestaat uit:
- Focus op beschikbaarheid van energie(-infrastructuur) en financieel instrumentarium;
 - Op korte termijn aan de slag met concrete bedrijfscasussen in de regio;
 - Op langere termijn toewerken naar beter inzicht in kansrijke oplossingen;
 - Meerjarige aanpak waarbij opgedane lessen constant worden gedeeld en waar mogelijk breed toegepast;
 - Versterking van de mens- en organisatiekracht van Cluster6;
 - De aanpak draagt bij aan de doelstellingen van het NPVI.

Direct onder de stuurgroep van het NPVI wordt op managementniveau het 'Regieteam Cluster6' ingericht. Deelnemers aan dit team zijn de Cluster6-organisatie en -regisseur, de nationale en regionale netbeheerders, IPO, VNG, RVO en het ministerie van EZK. Het regieteam houdt het overzicht over de lopende casussen zal de knelpunten bespreken die binnen de casusteams niet kunnen worden opgelost. Wanneer het regieteam ook niet tot een oplossing kan komen, kunnen deze knelpunten via de clusterregisseur worden geëscaleerd naar de stuurgroep NPVI.

⁹⁶ Kamerstuk 22112, nr. 3673.

⁹⁷ Bijlage bij Kamerstuk 29826, nr. 197.

Routekaart Verduurzaming Industrie

De Routekaart Verduurzaming Industrie⁹⁸ brengt relevante besluitvormingsmomenten richting 2040 binnen de (rijks)overheid (beleidstrajecten en infrastructuurprojecten) en de industrie (investeringsbeslissingen) in kaart. Dit dient als handleiding voor de volgordelijkheid en onderlinge afhankelijkheid van beslissingen en mijlpalen, en geeft daarmee meer zekerheid aan zowel private als publieke partijen, zodat zij afgewogen beleids- en investeringsbeslissingen kunnen nemen. Daarmee is het vertrekpunt van de Routekaart het faciliteren van de industriële sector in Nederland (incl. raffinage, staal, kunstmest en chemie), binnen wat redelijk en zowel publiek als economisch haalbaar is. Besluiten zijn in kaart gebracht voor verschillende programmalijnen van het NPVI: clusters; vraag & toepassing; productie & import; infrastructuur & opslag; markt; randvoorwaarden. De programmalijnen bevatten besluiten ten aanzien van de waardeketens elektriciteit, koolstof, waterstof en warmte. De Routekaart houdt zoveel mogelijk rekening met de internationale context. Zoals EU-regelgeving (Greendeal, Fit for 55, CBAM, REPowerEU, NZIA, CRMA etc.) en internationale ontwikkelingen op het gebied van verduurzaming van de waardeketens. Deze regelgeving en ontwikkelingen zijn van invloed op het Nederlandse ontwikkelperspectief op het gebied van verduurzaming van de industrie, en daarmee op de Nederlandse positie in dit speelveld.

Cluster Energie Strategieën (CES'en)

De Cluster Energie Strategie is een 2-jaarlijkse cyclus waarin de verduurzamingsplannen van de Nederlandse industrie in kaart worden uitgevraagd. Deze verduurzamingsplannen vormen de basis voor een gedeelde analyse door industrie en netbeheerders naar de benodigde energie infrastructuur van de toekomst. De CES wordt opgesteld door de vijf geografische geclusterde industriële regio's (Rotterdam/Moerdijk, Zeeland, Noordzeekanaalgebied, Noord-Nederland en Chemelot) en door de overige zware industriële bedrijven die zich provinciaal verenigen, deze groep wordt samen cluster 6 genoemd.

⁹⁸ Kamerstuk 29826, nr. 196 en Nationaal Programma Verduurzaming Industrie, (2023). Routekaart verduurzaming industrie 1.0.

In het najaar van 2023 is de derde ronde van de CES gestart. Tijdens deze ronde worden de verduurzamingsplannen en infrastructuur uit voorgaande CES'en geëvalueerd, aangescherpt en aangevuld. Om de kwaliteit van deze CES-ronde te verhogen zijn een aantal acties ondernomen.

In deze ronde wordt gebruik gemaakt van een landelijke Data Safe House platform waarin de industrie op een veilige manier hun verduurzamingsplannen met de netbeheerders kunnen delen. Dit platform zorgt voor een goede gedeelde basis voor de gezamenlijke analyse door netbeheerders en industrie naar de energie infrastructuur van de toekomst. Ook wordt er een nieuwe verdiepende uitvraag gedaan bij een geselecteerde groep van energie intensieve industrie. In deze uitvraag wordt onderzocht wat de verduurzamingsplannen zijn in de verdere toekomst (tot 2050) en wat opties zijn om flexibiliteit te leveren in de toekomst. Daarnaast zijn vijf Clusterregisseurs aangesteld die een aanjagende rol spelen in het tot stand komen van de CES'en. Voor cluster 6 wordt ook een clusterregisseur gezocht, die – nadat deze is voorgedragen door cluster 6. Deze regisseurs nemen ook deel aan de stuurgroep NPVI.

Het CES rapport beschrijft per geografisch cluster, of per provincie in het geval van cluster 6, energie-infrastructuurprojecten die nodig zijn voor de energietransitie. Dit kunnen verzwaringen van het elektriciteitsnet zijn, of bijvoorbeeld voorstellen voor waterstof- of warmtenetten. Als een project van belang is op nationaal schaalniveau, urgent, toekomstbestendig en klimaatwinst oplevert kan het project worden opgenomen in het (provinciale) MIEK. Dit betekent dat het project wordt opgenomen in de investeringsplannen van de netbeheerders en prioriteit krijgt. De definitieve MIEK-projecten staan in het MIEK-overzicht 2022.⁹⁹

Maatwerkafspraken

In het coalitieakkoord is een nieuwe aanpak aangekondigd om de verduurzaming van de industrie verder te versnellen. Het kabinet biedt de 10 tot 20 grootste industriële uitstoters in Nederland de mogelijkheid van de zogenaamde maatwerkafspraken. Die aanpak kan ondersteuning op maat aanbieden voor verduurzaming in Nederland. De ambitie is om in

⁹⁹ Kamerstuk 29826, nr. 155, p. 2.

2030 3,5 Mt extra CO₂-reductie te behalen, bovenop de (indicatieve) emissiereductie die het coalitieakkoord op andere manieren al realiseerbaar achtte. Met de maatwerkenpak zet het kabinet een stap extra bovenop het Klimaatakkoord. De maatwerkenpak kent daarmee een aanvullende doelstelling, maar maakt ook gebruik van het generieke instrumentarium, waaronder de SDE++ regeling en de CO₂-heffing. Met de maatwerkenpak wil het kabinet grote uitstoters met veel ambitie om die uitstoot te verlagen binnen het redelijke en billijke helpen nog sneller te verduurzamen en hun impact op de leefomgeving te verminderen. Daarmee zorgt het kabinet ervoor dat zij blijven investeren in Nederland, versterkt het kabinet het vestigingsklimaat en behoudt het de duurzame werkgelegenheid voor Nederland.¹⁰⁰ Via de maatwerkenpak worden, in aanvulling op de CES'en, de concrete verduurzamingsambities van grote bedrijven zichtbaar en wordt de vraag richting het energiesysteem nog concreter. Onlangs is de Kamer geïnformeerd over de voortgang van de maatwerkenpak. Anno september 2023 is er met 8 bedrijven een EoP overeengekomen. De overeengekomen principes worden concreet en gedetailleerd uitgewerkt en vastgelegd in een overeenkomst (Joint Letter of Intent). Met alle bedrijven met wie een EoP is getekend wordt nu overlegd over een JLOI, voor 5 bedrijven is inmiddels een concept JLOI beschikbaar. Met de plannen die zijn opgenomen in deze JLOI's wordt er in totaal 7,8-8,7 Mton CO₂ reductie binnen de industrie gerealiseerd. Na ondertekening worden onderdelen van de JLOI uitgewerkt in wederkerige, bindende maatwerkafspraken. De komende maanden zet het kabinet zich maximaal in om met bedrijven uit de top 20 industriële uitstoters waar versnelling in CO₂-reductie mogelijk is ook tot ondertekening van EoPs te komen.¹⁰¹ Maatwerk kan via de CES'en aanleiding vormen om MIEK-projecten te versnellen, vanwege de klimaatwinst en een duidelijk commitment van industriële partijen.¹⁰²

Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (MIEK)

In het MIEK komen de infrastructuurbehoeften van verschillende sectoren bijeen en wordt (nogmaals) de link gelegd met verschillende infrastructuurprogramma's. Binnen het MIEK worden de risicovolle energie-infrastructuurprojecten voor industrie en andere sectoren vastgesteld en ontwikkeld. Het doel is om met meer regie over de hele keten, de infrastructuur van opwek tot afname, en door het wegnemen van knelpunten in de

besluitvorming van projecten de aanleg van energie- en grondstoffeninfrastructuur te versnellen en systeemintegratie te bereiken. Om onzekerheden te reduceren, zijn netbeheerders van het elektriciteitsnet voortaan verplicht MIEK-projecten op te nemen in hun investeringsplannen. Vanwege schaarste kunnen netbeheerders niet alle infrastructuurprojecten tijdig realiseren. Daarom heeft het kabinet onlangs besloten om MIEK-projecten een prioritaire status te geven. In het MIEK is ook aandacht voor verbindingen met buurlanden, zoals de Delta Rhine Corridor. De stuurgroep NPVI neemt meer regie op de vraagarticulatie en ontwikkeling van de zes CES'en binnen het MIEK om het kip-ei probleem tussen industrie en netbeheerders aan te pakken. Zo gaat de stuurgroep NPVI met de industrieclusters en in samenhang met de maatwerkenpak, de toekomstige energiebehoefte beter in kaart brengen en helpen de onzekerheden van de verduurzamingsplannen te reduceren. Hierdoor hebben netbeheerders meer zekerheid over de benodigde infrastructuur en kunnen ze nog beter vooruit programmeren.¹⁰³

Energiesysteem-programma's indirect rakend aan verduurzaming industrie

Daarnaast is er een wisselwerking tussen de inzichten vanuit het NPVI en andere beleidsprogramma's met betrekking tot het energiesysteem. Samenwerking met deze programma's is van groot belang voor het vormgeven van de randvoorwaarden voor verduurzaming van de industrie.

Programma Energie Hoofdinfrastuctuur (PEH)

Met het Programma Energie Hoofdinfrastuctuur (PEH) wordt er gewerkt aan de ruimtelijke planning van nationale energie-infrastuctuur (op het gebied van transport, conversie en opslag) op land, met als tijdshorizon 2050 en in goede afweging met de andere opgaven in het ruimtelijk domein. Hierin is onder andere aandacht voor het gegeven dat met name rondom industriële clusters en aanlandpunten van wind op zee grote extra ruimteclaims voor nationale energie-infrastuctuur worden voorzien. Hiermee vormt het PEH tevens het kader voor de projecten van nationaal belang waarvoor het Rijk zelf de ruimtelijke inpassing verzorgt met behulp van de Rijkscoördinatieregeling. Dit vraagt om extra zorgvuldige omgang met de bestaande ruimte binnen industriële clusters en om met meer samenhang

¹⁰⁰ Kamerstuk 29826, nr. 173, p. 2.

¹⁰¹ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 16.

¹⁰² Kamerstuk 29826, nr. 155, p. 3.

¹⁰³ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 17.

te kijken naar ontwikkelingen daarbinnen. Dat doen we bijvoorbeeld door bij de keuzes over (elektrische) aanlanding in het programma Verkenning Aanlanding Wind Op Zee 2031-2040 ook direct te kijken naar benodigde ruimte voor elektrolyse. Ook is dit onderwerp van de overleggen met provincies die onder leiding van de minister voor Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening over provinciale ruimtelijke arrangementen worden gevoerd.¹⁰⁴

Prioriteringskader Netinvesteringen

Met het prioriteringskader neemt het kabinet vanaf het Investeringsplan 2024 meer regie op de volgorde van uitbreidingen van het elektriciteitsnet. Hierbij krijgen projecten van nationaal en provinciaal belang via het MIEK een prioritaire status. De belangrijkste netverzwaringen voor de vijf industrieclusters worden hierin meegenomen.¹⁰⁵

Landelijk Actieprogramma Netcongestie

De verduurzaming van het energiesysteem leidt tot een forse toename van de vraag naar transportcapaciteit op het elektriciteitsnet. Om ervoor te zorgen dat er meer transportcapaciteit beschikbaar komt en de beschikbare capaciteit efficiënter gebruikt wordt, is het Landelijk Actieprogramma Netcongestie opgesteld.¹⁰⁶ Dit actieprogramma werkt aan drie sporen.

- Sneller bouwen en realiseren van netuitbreidingen.
- Sterker sturen op betere benutting van het net door de capaciteit op het elektriciteitsnet optimaal te gebruiken.
- Vergroten van flexibele capaciteit door industrie en bedrijfsleven.

Het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) is gezamenlijk opgesteld door netbeheerders, ACM, medeoverheden, het Rijk en marktpartijen om samen breed te kijken naar landelijke en regionale oplossingen voor netcongestie en te zorgen dat meer bedrijven aangesloten kunnen worden. Als onderdeel hiervan:

- Deelt het LAN kennis, praktijkervaringen en informatie over de flexibele inzet van elektriciteit

- Wordt een Bestuurlijk Aanjager aangesteld die in gesprek gaat met industriële bedrijven en brancheorganisaties om behoeften uit te wisselen
- Wordt gewerkt aan simpelere regels en contracten en tarieven die flexibel elektriciteitsgebruik in de industrie stimuleren

De industrie en het bedrijfsleven spelen een grote rol in het vergroten van beschikbare flexibiliteit. Als het lukt om flexibele capaciteit optimaal te benutten, dan is dit een belangrijke stap vooruit voor het energiesysteem. Tegelijkertijd biedt het kansen aan bedrijven en de industrie. Het aanbieden van flexibele capaciteit zorgt bovendien voor lagere energiekosten en biedt mogelijkheden voor de ontwikkeling en uitrol van innovatieve en slimme oplossingen.¹⁰⁷

Programma Noordzee

Het programma Noordzee specificeert o.a. de aangewezen windenergiegebieden op zee.¹⁰⁸

Routekaart Wind op Zee

Uitwerking te nemen stappen t.a.v. de aangewezen windenergiegebieden in Programma Noordzee; met inachtneming van het ontwikkelkader windenergie op zee.

Programma Verkenning Aanlanding Wind op Zee (VAWOZ)

De programma's Verbindingen Aanlanding Wind Op Zee (VAWOZ 2031-2040) en Aanlanding Wind Op Zee Eemshaven onderzoeken kansrijke aanlandingsmogelijkheden van wind op zee tot en met 2040, met doorkijk naar 2050. Daarvoor is van belang om in de zomer van 2023 vanuit NPVI inzicht te hebben in waar en wanneer (tijd en locatie) welke hoeveelheden elektronen, moleculen en elektrolyzers nodig zijn vanuit de industrie. Begin 2025 worden het programma VAWOZ 2031-2040 en een langetermijnprogrammering voor aanlandingen voor de periode 2031-2040 vastgesteld. Hiermee samenhangend zullen besluiten over achterliggende energie-infrastructuur op land worden genomen.¹⁰⁹

¹⁰⁴ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 32.

¹⁰⁵ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 31.

¹⁰⁶ Kenmerk 2022D55676, Bijlage bij Kamerstuk 29023, nr. 385.

¹⁰⁷ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 32.

¹⁰⁸ Kamerstuk 35325, nr. 5.

¹⁰⁹ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 17.

Energie Infrastructuur Plan Noordzee (EIPN)

Het EIPN is momenteel in ontwikkeling en naar verwachting in 2024 gereed. Dit schetst een richtinggevend beeld van de ontwikkeling van de benodigde infrastructuur voor windenergie op zee in de periode 2030 tot 2050. Het EIPN brengt in beeld waar en wanneer welke infrastructuur nodig is voor: de verdere realisatie van windenergie op zee na 2030; de productie van waterstof op zee (hierbij wordt ook gekeken naar scenario's voor het hergebruiken van bestaande gasinfrastructuur voor waterstoftransport); verbinding naar het Nederlandse vasteland en (energiehubs op zee van) omringende Noordzeelanden.

Nationaal Waterstofprogramma

De centrale opgave van het Nationaal Waterstof Programma (NWP) is het onderzoeken en stimuleren van de bijdrage van waterstof aan het realiseren van de energietransitie. Hiervoor is de Routekaart Waterstof ontwikkeld. Deelnemers aan het Nationaal Waterstof Programma (NWP) laten in de Routekaart Waterstof zien hoe zij vooruitgang willen boeken bij de ontwikkeling van de Nederlandse waterstofmarkt. De Routekaart stelt doelen voor hernieuwbare waterstof in 2030 voor en beschrijft welke acties nodig zijn om die doelen te behalen. Voorgenomen Europees beleid vormt mede de basis van de Routekaart.

Programma's die raken aan verduurzaming grondstofstromen

Naast bovengenoemde programma's met een directe impact op het toekomstig energiesysteem zijn er ook een aantal programma's die vanuit het NPVI integraal worden gezien. Dit zijn:

- Nationaal Programma Circulaire Economie
- Nationale Grondstoffenstrategie

3.5. Verduurzamingsopties industrie

Zoals in hoofdstuk 3.4 aangegeven, is er een sterke samenhang tussen de randvoorwaarden die voor verduurzaming kunnen worden gecreëerd en de verduurzamingsopties waar bedrijven in zullen investeren. Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende verduurzamingsopties van de Nederlandse energie-intensieve industrie; en de

randvoorwaarden waarop sturing nodig is. De investeringsbeslissingen van de industrie met betrekking tot deze opties binnen de gecreëerde randvoorwaarden, bepaalt de specifieke impact op het energiesysteem en de vraag naar duurzame energiedragers en koolstof (zie hoofdstuk 3.6).

Belangrijk om hierbij te vermelden is dat de randvoorwaarden waar sturing op nodig is, deels door externe partijen zijn aangedragen en niet noodzakelijkerwijs een kabinetsstandpunt vertegenwoordigen. Via het NPVI zal het kabinet zich buigen over de benodigde randvoorwaarden voor verduurzaming van de industrie.

Daarnaast is er een sterke link tussen verduurzaming van de industrie, circulair gebruik van grondstoffen, zoals geschetst in het NPCE, en de inzet van kritieke grondstoffen, zoals geschetst in de Nationale Grondstoffenstrategie.¹¹⁰ Zie hiervoor ook Verdiepingsdocument E, hoofdstuk 1 over circulariteit en grondstoffengebruik en de samenhang hiervan met de energietransitie.

Verduurzamingsopties energie-intensieve industrie

Verduurzamingsopties energieverbruik chemie

Naftakrakers staan aan het begin van een keten van chemische tussen- en eindproducten. Aanpassingen aan de naftakrakers betreffen combinaties van de aanpak van emissies van de onvermijdelijke restgassen en alternatieven voor de fossiele naftavoeding. De fossiele restgassen worden nu gebruikt als brandstof voor de krakers. Restgassen kunnen omgezet worden in waterstof en CO₂, waarbij de waterstof wordt gebruikt voor emissievrije brandstof en de CO₂ wordt opgeslagen. Restgassen kunnen ook verder bewerkt worden tot grondstof voor bijvoorbeeld methanol. Verschillende onderzoeksconsortia, met enkele grote spelers in de Europese chemiesector, onderzoeken elektrische verhitte als emissievrije brandstof voor het kraakproces. Andere Europese projecten onderzoeken waterstof als brandstof voor stoomkraken. Voor krakers wordt momenteel elektrificatie voorzien in de periode 2030-2040.

¹¹⁰ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2022). Grondstoffen voor de grote transitie. Bijlage Kamerstuk 32852, nr. 224.

Verduurzamingsopties grondstoffen chemie

Het uitgangspunt vanuit de koolstofketen (verdiepingsdocument B, hoofdstuk 3) is om het gebruik van fossiele koolstof richting 2050 tot een minimum te beperken. In het geval van kunststoffen en chemicaliën is het vervangen van fossiele koolstof met duurzame koolstof een belangrijke uitdaging. Alternatieve grondstoffen voor bestaande processen zijn onder meer biogene nafta (uit bioraffinage), synthetische nafta, of uit plastics geproduceerde pyrolyseolie (chemische recycling). Door pyrolyse van plasticafval ontstaat een olieproduct dat een deel van de benodigde naftagrondstof kan vervangen. Chemische recycling is relatief energie-intensief en leidt tot koolstofverliezen. Uit kunststoffen kunnen ook direct nieuwe plastics worden geproduceerd via mechanische recyclage, maar dat kan ten koste gaan van de kwaliteit. Geavanceerdere recyclageprocessen die plastics oplossen (solvolyse) maken de productie van nieuwe hoogwaardige polymeren mogelijk, maar deze processen zijn nog in ontwikkeling. Naast de verduurzaming van bestaande processen zijn ook innovatieve processen in ontwikkeling, waarbij bijvoorbeeld nieuwe soorten plastics worden geproduceerd die beter bij de beschikbare duurzame feedstock passen. De chemische industrie voorziet op termijn toenemende inzet op chemische recycling. Het kabinet voorziet verschillende stappen om de verduurzaming van het grondstoffengebruik te stimuleren. Zie hiervoor ook verdiepingsdocument B, hoofdstuk 3,5 (Beleidsagenda koolstofketen).

Verduurzamingsopties raffinage

Raffinaderijen lijken voor 2030 in te zetten op het gebruik van koolstofarme waterstof die wordt geproduceerd uit raffinagegas dat als restgas vrijkomt bij raffinage van aardolie. Daarbij blijven fossiele grondstoffen voorlopig nog de basis. Op beperkte schaal lopen er ook initiatieven tot productie en gebruik van groene waterstof. Pyrolyse en andere chemische recyclingtechnieken worden nu ontwikkeld, net als een breed scala aan biobased technieken. Ook de raffinagesector zal (net als de chemie) op termijn in grotere mate moeten overstappen op het gebruik van duurzame koolstofdragers. Het gebruik van duurzame koolstof voor de chemie beperkt evenwel op termijn ook de beschikbaarheid van duurzame koolstof voor brandstoffenproductie. Voldoende beschikbaarheid van duurzame koolstofdragers is dan ook van groot belang voor zowel de chemie als de raffinagesector om te kunnen verduurzamen.

Tegelijkertijd ontplooiën verschillende bedrijven in Rotterdam initiatieven om de bestaande bioraffinagecapaciteit drie keer zo groot te maken, tot 10% van de Nederlandse raffinagecapaciteit. De plannen bestaan deels uit nieuwbouw en worden deels opgezet vanuit bestaande bouw.

Volgens een recente (impact)analyse van FuelEU Maritime, het FF55-pakket voor internationale scheepvaart, zal de vraag naar hernieuwbare en niet-fossiele brandstoffen toenemen. Met name de vraag naar biodiesel (bioFAME) voor schepen die nu op zware stookolie varen, en biomethaan voor schepen die nu op LNG varen. Alternatieven als ammoniak uit groene waterstof en synthetische methanol worden nog niet of nauwelijks toegepast in de scheepvaart, en ingeschatte kosten voor de scheepvaart liggen hoger. Voor synthetische brandstoffen uit waterstof en niet-fossiele CO₂ worden vooralsnog enkele kleine pilots voorzien.

Verduurzamingsopties staal

Technisch gezien zijn er verschillende routes voor de ontwikkeling van klimaatneutrale staalproductie. In de eerste plaats kan ijzerproductie geëlektrificeerd worden, waarbij ijzererts elektrochemisch wordt gereduceerd tot ijzer. Dit proces is nog in ontwikkeling en er liggen grote uitdagingen in de opschaling. Het geproduceerde ijzer wordt verder tot staal verwerkt in een elektrische vlamboogoven (Electric Arc Furnace, EAF). Een tweede alternatief is indirecte elektrificatie (via groene waterstof). Groene waterstof wordt dan toegepast bij de productie van direct reduced iron (DRI). IJzererts wordt hierbij gereduceerd tot ijzer door gebruik van waterstof in plaats van koolstof. Het DRI-proces met aardgas wordt al langer toegepast, grootschalige productie van DRI met waterstof wordt naar verwachting ruim voor 2030 mogelijk. Bij gebruik van waterstof levert dit proces waterdamp op in plaats van CO₂-rijk hoogovensgas. Ook in dit geval wordt het geproduceerde ijzer verder verwerkt in een EAF.

Productie zou ook beperkt kunnen worden tot staalproductie, door import van 'groene' ijzerbriketten die per schip naar Nederland worden vervoerd en in een EAF worden verwerkt. Tot slot kan ook CO₂-afvang en -opslag (CCS) worden toegepast op de hoogovens (al dan niet in combinatie met processen met andere CO₂-emissie reductietechnieken, bijvoorbeeld in combinatie met Hlsarna82) en op DRI op aardgas.

Verduurzamingsopties kunstmest

In de kunstmestindustrie is duurzame productie van ammoniak de centrale uitdaging voor de energietransitie. Ammoniak wordt nu geproduceerd uit waterstof en stikstof, waarbij waterstof uit aardgas wordt geproduceerd via steam methane reforming. Bij dit proces komt CO₂ vrij. Een belangrijk deel van de CO₂-uitstoot bij ammoniakproductie is een relatief zuivere stroom uit de omzetting van aardgas in waterstof. Afvang en opslag van deze CO₂ kan worden toegepast om CO₂-emissies te reduceren, maar de productie is dan nog wel op fossiel aardgas gebaseerd. Naast gebruik van aardgas kan vergassing van biograndstoffen of afvalstromen worden ingezet. Ammoniak kan verder ook op basis van waterstof uit elektrolyse worden geproduceerd met hernieuwbare elektriciteit. In geval van ureum, wat een koolstofhoudende stof is, vergt productie dan wel een aanvullende koolstofbron. Ammoniak kan makkelijker vloeibaar worden gemaakt dan waterstof. Technologie voor grootschalig vervoer van ammoniak per schip is beschikbaar, en wordt op dit moment als een belangrijke importroute voor waterstof gezien (grootschalig transport van waterstof per schip is nog in ontwikkeling).

Uitwerking verduurzamingsopties en randvoorwaarden

Elektrificatie

Elektrificatie van de industrie functioneert als vliegwiel voor de Nederlandse energietransitie. Dit kan bijdragen aan gestage uitrol van wind op zee en in het geval van hybride oplossingen bijdragen aan het verminderen van netcongestie. De elektriciteitsvraag uit de industrie nabij aanlandingslocaties maakt wind op zee inpasbaar, ondanks de beperkingen van het transport en distributienet landinwaarts, en is cruciaal voor de businesscase voor wind op zee. Versnelling van de industriële verduurzaming en versnelling van de uitbouw van wind op zee gaan zodoende hand in hand. Dit raakt daarmee sterk aan het hoofdstuk inzake de elektriciteitsketen (Verdiepingsdocument B, hoofdstuk 1). Elektrificatie binnen de industrie kan in vier varianten worden beschouwd:

- Warmteproductie (power-to-heat).
- Elektriciteit (elektronen) voor de productvorming (power-to-product).
- Aandrijving (kracht, elektromotoren).
- Gebruik van elektrische en/of magnetische velden voor scheiding en directe energietoevoer voor chemische reacties (chemical transistor).

Elektrificatie van aandrijving is ook verbonden met procesefficiëntie. Het gebruik van elektrische en/of magnetische velden voor scheiding en directe energietoevoer voor chemische reacties staat nog relatief ver van de markt. Dit betreft momenteel vooral niche-inzet. Ditzelfde geldt voor plasmachemie op het grensvlak van gebruik van magnetische velden en power-to-heat. De CO₂-reductie door elektrificatie wordt richting 2030 vooral bepaald door power-to-heat en power-to-product. Power-to-product staat momenteel vooral in de aandacht vanuit de productie van hernieuwbare waterstof (elektrolyse van water).

Rondom grootschalige elektrificatie van de industrie spelen een aantal factoren waar het kabinet zich in het kader van het NPE en het NPVI over buigt (zie hoofdstuk 3.4). Tot 2030 is er beperkt groene stroom beschikbaar, wat een remmende werking kan hebben op vroegtijdige investeringen in elektrificatie. Vanaf 2030 is er juist een groot vermogen wind op zee beschikbaar. Elektrificatie in industrieclusters is dan essentieel om hoge maatschappelijke netcongestiekosten te vermijden. Tegelijkertijd is er onzekerheid over prijsontwikkelingen, leveringszekerheid en infrastructuur. Dit remt mogelijk elektrificatie.

Prijsontwikkeling van elektriciteit (zowel in dal- als piekmomenten) en prijsverhouding tussen energiedragers (ook internationaal) spelen een belangrijke rol bij de keuzes die bedrijven gaan maken. Momenteel zijn er nog grote bandbreedtes in de verwachte mondiale productie van verschillende energiedragers, waardoor prijsontwikkeling met veel onzekerheden is omgeven. Mogelijk stellen bedrijven investeringsbeslissingen uit tot deze bandbreedtes kleiner zijn.

Daarnaast is het voor elektrificatie van belang dat de businesscase voor bedrijven ook op middellange termijn sluitend is. Industriële partijen die onderdeel zijn van winnende wind op zee-consortia verzekeren zich van hernieuwbare energie tegen een overeengekomen prijs. Andere partijen moeten PPA's afsluiten waarvoor de prijs hoger ligt. Dit kan invloed hebben op investeringsbeslissingen voor latere jaren.

Ook is het de vraag in hoeverre elektrificatie gestimuleerd kan worden wanneer er nog niet voldoende (direct) hernieuwbaar aanbod is. Door de beperkte hoeveelheid groene stroom is tot nu toe de staatssteunruimte beperkt om het gebruik van bijvoorbeeld e-boilers te stimuleren met SDE++. Ook is elektrificatie in gevallen mogelijk duurder dan behoud van

minder duurzame installaties in combinatie met CO₂-beprijzing, zelfs met financiële steun. Er is duidelijkheid nodig of stimulering van elektrificatie mogelijk is bij indirect aanbod (waarbij gekeken wordt naar het aandeel groene elektriciteit in de totale mix i.p.v. PPA's), of vooruitlopend op de directe levering van groene elektronen.

Ook de nettarieven hebben invloed op de businesscase voor elektrificatie. Door investeringen in de elektriciteitsnetten, zullen de nettarieven naar verwachting stijgen. Sterke stijging van de nettarieven betekent een negatieve prijsprikkel voor het gebruik van elektriciteit. Dat werkt negatief in tegen ander beleid, dat via subsidiëring en regulering het gebruik van elektriciteit in de industrie aantrekkelijker wil maken.

Een aanzienlijk deel van de elektrificatie van de industrie behoeft baseload, zoals fornuizen of krakers op hoge temperatuur. Het CO₂-vrij maken van het elektriciteitssysteem in 2035 op basis van intermitterende bronnen raakt daarmee aan de productiemogelijkheden van de industrie. Afhankelijkheid van intermitterende bronnen, in combinatie met een baseload-afhankelijke industrie, kan de productiemogelijkheden in Nederland remmen. De snelheid van verduurzaming van het elektriciteitssysteem kan daarom niet zonder meer vooruitlopen op verduurzaming van de industrie. Voor succesvolle elektrificatie van de industrie zullen dus passende oplossingen gevonden moeten worden voor momenten met weinig hernieuwbaar aanbod, bijvoorbeeld door gebruik te maken van energie-opslag, hybride processen of het gebruik van (nabijgelegen of on-site) regelbaar vermogen. De beschikbaarheid van piekvermogen is daarmee essentieel, maar die kent op dit moment nog onzekerheden.

Tijdige realisatie van CO₂-vrije flexibiliteit vraagt nu al investeringen in piekcentrales die weinig uren draaien.¹¹¹ Momenteel kijkt het kabinet daarom naar instrumentering vanuit het Klimaatfonds voor onder meer CO₂-vrije gascentrales. Daarbij is de vraag in hoeverre er binnen de huidige beleidskaders voldoende CO₂-vrije piekvermogen beschikbaar zal komen om een stabiel energieaanbod kan borgen. Aanbieders van dergelijk piekvermogen moeten enerzijds een business kunnen realiseren bij piekprijzen, terwijl anderzijds de gemiddelde kosten voor afnemers realistisch moeten blijven (zie hiervoor ook elektriciteitsketen in

Verdiepingsdocument B, hoofdstuk 1). Verder dienen centrales op de juiste plekken te staan in verband met onshore netcongestie. In het Programma Energie Hoofdinfrastructuur (PEH) en het Programma Verkenning Aanlanding Wind op Zee (VAWOZ)¹¹² beziet het kabinet daarom de mogelijkheid tot het aanwijzen van voorkeursgebieden voor bijvoorbeeld waterstofproductie. Het is daarbij belangrijk hoe handhaving op deze voorkeursgebieden kan plaatsvinden.

Voor baseload zijn er ook kansen vanuit het huidige systeem. Er is voor ongeveer 3 GW aan warmte-kracht-koppelingen (WKK's) beschikbaar bij de industrie, die als gevolg van elektrificatieplannen mogelijk uitgeschakeld worden. Dit zijn, na ombouw, potentieel goede kandidaten om lokaal de leveringszekerheid te garanderen met piekcentrales (mede afhankelijk van de elektriciteitsmarkt). Kernenergie (ofwel via grote centrales, ofwel via Small Modular Reactors (SMR's)) zou ook een deel van de baseloadvraag kunnen invullen. Dit is naar verwachting niet op korte termijn beschikbaar gezien de doorlooptijd van de bouw van grote centrales en de benodigde doorontwikkeling van SMR's.

Het Nederlandse elektriciteitssysteem staat bovendien niet los van het Noordwest Europese elektriciteitssysteem. Het is nodig om te bezien hoe de internationale balanceringsmiddelen middels import en export er in een jaar uit ziet, wat de invloed is op invulling van de vraag en prijs, of aanvullende import/export van elektriciteit of moleculen nodig is en wat hier qua infrastructuur voor nodig is.

Ook behoeft elektrificatie voldoende en tijdige infrastructuur. Voor de binnenlandse industrie kan wind op zee slechts een beperkt deel van het jaar elektriciteit leveren, totdat richting 2035 het onshore net verzwakt is, bijvoorbeeld via tijdige upgrade naar of aanleg van 380kV/150kV stations en andere verbindingen, zon-PV een gedeelte van de vraag kan invullen, of de Delta Rhine Corridor stroom kan transporteren vanaf de kust. Tot die tijd speelt de eerdergenoemde vraag in hoeverre elektrificatie gestimuleerd kan worden, terwijl er nog niet voldoende hernieuwbaar aanbod naar de betreffende locatie getransporteerd kan worden. Daarbij is er behoefte aan eenduidige, versnellende basis voor stimulering van

¹¹¹ *Expertteam Energiesysteem 2050. (2023). Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050, p. 46.*

¹¹² *Kamerstuk 33561, nr. 52.*

elektrificatie van de industrie. Er is duidelijkheid nodig of bij stimuleringsmogelijkheid van elektrificatie gekeken wordt naar het aandeel groene elektriciteit in de totale mix, merit order voor nieuw aanbod en/of PPA's.

Verder speelt de verwachte uitvoeringscapaciteit bij netbeheerders voor verzwinging en aansluiting een belangrijke rol bij investeringsbeslissingen in elektrificatie. Het kabinet werkt onder andere met het Actieplan groene en digitale banen en het Landelijk Actieprogramma Netcongestie¹¹³ aan de beschikbaarheid van voldoende uitvoerende kracht in de energietransitie.

Daarnaast spelen voor elektrificatie van de industrie voor wat betreft infrastructuur ook lokaal onzekerheden. Voor individuele aansluitingen geldt het 'first come first serve'-principe, waarmee een aansluiting op zich kan laten wachten. Verzwinging van het net of aanlanding in een industriecluster is dus nog geen garantie op daadwerkelijke aansluiting. Daarnaast zijn tijdige on-site aanpassingen nodig voor de aansluiting, wat afhankelijk is vergunningverlening. Het kabinet werkt aan de hand van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie aan maatregelen om deze onzekerheden terug te dringen.

Tot slot kunnen genoemde onzekerheden op lokaal niveau tot een coördinatievraagstuk leiden. Onzekerheid over afname door de industrie kan leiden tot onzekerheid over voldoende aanbod van hernieuwbare elektriciteit. Bedrijven nemen namelijk veelal pas een investeringsbeslissing bij zekerheid van aansluiting op wind op zee en/of een PPA voor duurzame energie op een gegarandeerd tijdstip. Elke minuut productiebeperking voor verbouwing en afwachting van aansluiting kost immers geld. Die garantie kan pas gegeven worden na aanbesteding van een windpark. Onzekerheid over afname van de hernieuwbare elektriciteit (en daarmee een bepaalde elektriciteitsprijs), kan echter op zijn beurt weer leiden tot terughoudendheid bij aanbieders om zich in te schrijven op wind op zee-tenders.

Door proactief infrastructuur aan te leggen hebben de clusters een groot concurrentievoordeel om nieuwe activiteiten aan te trekken. Hier geldt dat aanbod (in dit geval van energie-infrastructuur) ook zijn eigen vraag kan creëren.

¹¹³ Kenmerk 2022D55676, Bijlage bij Kamerstuk 29023, nr. 385.

Waterstof

Waterstof is een belangrijke verduurzamingsroute voor de industrie. Deze verduurzamingsmogelijkheid raakt zeer sterk aan de paragraaf inzake de waterstofketen (Verdiepingsdocument B, hoofdstuk 2) en kent daarmee een wisselwerking. De Nederlandse industrie consumeert momenteel naar schatting 180 PJ waterstof per jaar,¹¹⁴ en is na Duitsland de grootste waterstofgebruiker binnen de Europese Unie. Waterstof wordt momenteel vooral ingezet als grondstof voor de productie van ammoniak en in de raffinage. Hierbij wordt waterstof met name geproduceerd uit aardgas of industriële restgassen, wat gepaard gaat met een aanzienlijke uitstoot van broeikasgassen. Waterstof komt verder vrij als bijproduct in een aantal industriële processen in de (petro)chemische sector.

De vraag naar waterstof zal de komende periode toenemen. Ingegeven door enerzijds verduurzamingsagenda's binnen de industrie om productieprocessen waar mogelijk CO₂-vrij of CO₂-arm te maken en anderzijds Europese regelgeving over bindende doelen voor gebruik van hernieuwbare waterstof in de industrie en mobiliteitssector (onder meer de Nederlandse invulling via de raffinageroute). Voor de kunstmestindustrie geldt dat de waterstofvraag mogelijk afneemt als gevolg van groene ammoniakimport (waardoor de conversiestap van waterstof naar ammoniak niet meer nodig is). Alle industriële clusters hebben in hun Cluster Energie Strategie (CES) aangegeven dat hernieuwbare en koolstofarme waterstof een belangrijke rol gaat spelen in hun verduurzamingsstrategieën.

Een directe, volledige overstap van waterstof uit aardgas naar hernieuwbare waterstof wordt op de korte termijn onrealistisch geacht, gelet op de maximale uitrolsnelheid van elektrolyseprojecten, wind op zee-capaciteit voor waterstofproductie en ondersteunende infrastructuur. Daarnaast vergt grootschalige inzet van waterstof ingrijpende aanpassingen aan industriële installaties. Voorts zijn diverse Carbon Capture and Storage (CCS) projecten aangekondigd om waterstofproductie koolstofarm te maken. Voor waterstof uit circulaire processen, bijvoorbeeld verwaarden van afvalstromen waarbij ook andere grondstoffen vrijkomen, is doorgaans geen alternatief.

¹¹⁴ TNO & CBS. (2020). *The Dutch hydrogen balance, and the current and future representation of hydrogen in the energy statistics*. TNO.

Om in de vraag naar hernieuwbare waterstof te voorzien, wordt ingezet op zowel binnenlandse productie als import. Het streven is om in 2030 circa 4 GW aan elektrolysecapaciteit te hebben gerealiseerd, met een sterke doorgroei naar 8-12 GW in 2035. Voor wat betreft import wordt behoren verschillende waterstofdragers tot de mogelijkheden, zoals ammoniak, liquid organic hydrogen carriers (LOHC), methanol en vloeibare waterstof. Op korte termijn zal naar verwachting het grootste deel van de import in de vorm van ammoniak plaatsvinden. Ammoniak kan direct worden gebruikt als grondstof en mogelijk ook als brandstof of kan worden gekraakt om het om te zetten naar waterstof (en moleculaire stikstof, N₂).

Bij de verduurzaming van industriële processen door de inzet van waterstof spelen een aantal factoren omtrent de benodigde hernieuwbare elektriciteit, infrastructuur, prijsontwikkeling, veiligheid, certificering, innovatie, maatschappelijke acceptatie en human capital een cruciale rol.

Voor de productie van hernieuwbare waterstof is veel hernieuwbare elektriciteit nodig. De verhoogde ambities voor wind op zee, met inbegrip van waterstofproductie op zee, voorzien in deze behoefte. Belangrijk is dat deze ambities in samenwerking met belanghebbenden worden gerealiseerd met zowel oog voor andere gebruikers en functies van de Noordzee als andere verduurzamingsopties in industrie, mobiliteitssector, gebouwde omgeving en landbouw die ook een beroep doen op hernieuwbare elektriciteit. Ook speelt de prijs van elektriciteit ten opzichte van derde landen een grote rol.

In sommige gevallen spelen bij waterstof vergelijkbare coördinatieproblemen rond infrastructuur als bij elektrificatie. Zo kan onzekerheid over een vergunningstraject leiden tot beperkte vraagarticulatie, terwijl die nodig is voor aanleg. Voorts ondervindt realisatie van CO₂-infrastructuur, benodigd voor de productie van koolstofarme waterstof, vertraging.

Ook spelen hier (net als bij elektrificatie) factoren rond prijsontwikkeling en financiering; zoals de mate waarin waterstofproductie gestimuleerd kan worden bij beperkt aanbod van hernieuwbare elektriciteit (in verband met de staatssteunkaders), effect van netaanlegkosten (nettarieven) en internationale prijsontwikkelingen. Daarnaast is er in bepaalde situaties sprake van dubbele energiebelasting, bijvoorbeeld bij doorleveren van

raffinaderijgas aan derde partijen voor waterstofproductie en teruglevering aan de raffinaderij.

De opschaling van waterstof brengt verder nieuwe situaties en bijbehorende veiligheidsrisico's met zich mee. Het veiligheidsvraagstuk raakt alle sectoren. Vanuit het Rijk wordt een generieke set met uitgangspunten ontwikkeld voor het omgaan met veiligheid rond de energietransitie. Deze worden uitgewerkt in een serie richtsnoeren voor waterstofveiligheid gericht op gasvormige waterstof. Voorts worden richtsnoeren ontwikkeld voor een veilige bedrijfsvoering met ammoniak (onder meer op- en overslag, transport). Ook is van belang dat vergunningverleners en handhavers over voldoende veiligheidskennis beschikken voor de uitvoering van hun taken.

Om aan te tonen dat aan de Europese criteria voor hernieuwbare waterstof wordt voldaan, moet certificering worden gebruikt. Dit geldt voor zowel in EU geproduceerde waterstof als voor geïmporteerde waterstof. Op basis van conceptregelgeving zijn eind 2022 onder coördinatie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) certificatiepilots uitgevoerd. Daarbij zijn certificatieschema's gebruikt die reeds door de Europese Commissie zijn erkend om de duurzaamheid van biobrandstoffen aan te tonen. Zodra de definitieve regelgeving is vastgesteld, kunnen deze en andere certificatieschema's erkend worden door de Europese Commissie.

Missiegedreven innovatie is noodzakelijk voor de realisatie van succesvolle waterstofketens. Veel producten en diensten die onderdeel van de waterstofmarkt (gaan) zijn, bestaan nog niet, moeten nog worden geoptimaliseerd en opgeschaald, zijn nog niet marktrijp of zijn nog te duur. Innovatie betreft (de integratie van) technologie, economie, ecologie, sociologie, beleid en human capital. Ondersteuning is nodig op alle niveaus van technisch gereedheid (Technology Readiness Levels, TRL's). Van fundamenteel en toegepast onderzoek tot experimentele ontwikkeling, pilots en demonstratie. Voorts bevordert normering ook innovatie.

De (ruimtelijke) impact van waterstof wordt op termijn steeds duidelijker door de groeiende rol van waterstof. Diverse ruimtelijke programma's houden rekening met het benodigde ruimtebeslag voor hernieuwbare en koolstofarme waterstof. Voor het maatschappelijk draagvlak is goed omgevingsmanagement en het zoeken naar meekoppelkansen bij de

uiteindelijke ruimtelijke inpassing cruciaal. Daarnaast moet richting het bredere publiek duidelijk worden gemaakt waarom waterstof een essentiële energiedrager en grondstof is binnen het toekomstige klimaatneutrale energie- en grondstoffensysteem.

Zonder voldoende en goed gekwalificeerd personeel komt de opschaling van waterstof in Nederland niet snel genoeg en veilig van de grond. Daarom moet er worden geïnvesteerd in het opleiden van mensen die bijvoorbeeld elektrolyzers en installaties kunnen bouwen en veilig weten om te gaan met waterstof en waterstofdragers. Deze vaklieden zijn er nu nog te weinig, zeker waar het technisch geschoold personeel betreft. Hier is een rol weggelegd voor onderwijs, overheid en bedrijfsleven. Binnen de Topsector Energie en GroenvermogenNL is de human capital-agenda een van de aandachtspunten. Ook bij vergunningverlening behoort voldoende capaciteit te zijn.

Carbon Capture and Storage (CCS)

De afvang, het transport en de ondergrondse opslag van CO₂ (CCS) is een belangrijke (overgangs)technologie in de verduurzaming van de in Nederland gevestigde industrie en essentieel voor Nederland om de CO₂-reductiedoelstelling voor 2030 te behalen. In combinatie met het gebruik van biograndstoffen of door directe CO₂-afvang uit de atmosfeer kan CCS bijdragen aan de realisatie van koolstofverwijdering (negatieve emissies) –waarmee netto CO₂ aan de atmosfeer wordt onttrokken – die nodig zijn voor het halen van de klimaatdoelen voor 2050 (zie ook Verdiepingsdocument B, hoofdstuk 3, over koolstofverwijdering en de koolstofketen). CCS wordt al decennialang wereldwijd commercieel toegepast. Het kan zorgen voor snelle en kosteneffectieve emissiereducties bij verschillende industriële processen, onder meer bij fossiele waterstofinstallaties en afvalverbrandingsinstallaties. Het CCS-proces vereist elektriciteit, met name voor de afvang en compressie of vervloeiing van de CO₂. Bij de productie van deze elektriciteit komt op dit moment ook CO₂ vrij, waardoor de netto CO₂-reductie van CCS afneemt. Desondanks is er sprake van een significante netto CO₂-reductie. De verwachting is dat het CO₂-afvangproces in de toekomst efficiënter zal worden en de elektriciteitsproductie in Nederland duurzamer, waardoor de netto CO₂-reductie allengs zal toenemen.

De mate waarin de industrie kan inzetten op CCS is afhankelijk van de tijdige beschikbaarheid van CO₂-infrastructuur, met name van de projecten Aramis en Porthos. De

ontwikkeling van CO₂-infrastructuur is uitdagend, aangezien het gaat om grote complexe projecten met meerdere stakeholders, wederzijdse afhankelijkheden en meerdere benodigde vergunningen.

Daarnaast ontbreken marktprikkels om in een vroeg stadium te starten met de ontwikkeling van lege gasvelden en aquifers (ondergrondse zouthoudende waterlagen) voor CO₂-opslag. De ontwikkelingstrajecten zijn doorgaans langer dan voor CO₂-afvang, waardoor het risico ontstaat dat CO₂-opslag niet tijdig beschikbaar komt. Om die reden is extra financiering beschikbaar gesteld voor Energie Beheer Nederland (EBN) van € 45 miljoen voor deelname aan de eerste onderzoeksfase van opslaglocaties ter versnelling en het terugbrengen van risico's van dit proces.

Industriële (rest)warmte

Industriële (rest)warmte kan (mits duurzaam opgewekt) een hernieuwbare warmtebron vormen voor de industrie zelf of voor andere sectoren, wanneer hernieuwbare energiedragers in de processen als input gebruikt worden. Restwarmte is warmte die bij het proces zelf niet nuttig te gebruiken is. Deze warmte wordt weggekoeld of geloosd. Het is laagwaardige warmte, meestal warm water tot 120 °C. Er zijn industriële bedrijven die deze warmte kunnen gebruiken. Denk aan tankopslagbedrijven of mineralenfabriek waarbij lagetemperatuur warmte volstaat. Daarnaast kan in het geval van nabijgelegen wijken, warmte worden uitgekoppeld naar regionale warmtenetten.

De grootste warmtevraag van de energie-intensieve industrie zit echter bij stoom. Binnen de inrichtingsgrens van een bedrijf kan ook geproduceerde stoom overblijven die, in de huidige procesopzet, niet meer nuttig kan worden gebruikt. Dit is doorgaans gekoppeld aan te lage druk en temperatuur van de resterende stoom. Deze stoom kan men direct naar de lucht lozen of eerst condenseren en dan lozen als water met eventueel restwarmte naar de lucht (koelmedium). Het komt ook regelmatig voor dat de gecondenseerde stoom nodig is als proces- of demiwater binnen de inrichting, en dus alleen maar gecondenseerd hoeft te worden. Zeker als de niet meer bruikbare stoom een relatief hoge druk en temperatuur heeft, kan het interessant zijn deze intern te gebruiken voor de productie van elektriciteit of als aandrijfkracht met behulp van een stoomturbine. De optie voor aandrijving zien we uitfaseren ten faveure van elektromotoren. Overgebleven stoom in een bedrijf wordt vrijwel

altijd omgezet in elektriciteit. Dit noemen we aftapwarmte, of aftapstoom. Potentiële leveranciers van aftapstoom zijn afvalverbrandingsinstallaties en industriële bedrijven waarbij er geen andere economische optie voor de restgassen is dan de productie van elektriciteit.

Het omzettingsrendement is echter laag en de enthalpie (reactiewarmte) is beter te benutten als processtoom in een ander industrieel verwarmingsproces. De niet-buikbare stoom is weer op te waarden via damprecompressie (open warmtepomp) en binnen of buiten het bedrijf in te zetten. Het aanbod van industriële restwarmte heeft een sterke connectie met de paragraaf over de gebouwde omgeving en de warmteketen in dit NPE (Verdiepingsdocument B, hoofdstuk 4).

Voor benutting van het potentieel aan restwarmte-aanbod vanuit de industrie is voldoende informatie nodig voor industriële partijen over potentiële restwarmtebronnen (temperatuur, debiet en soort). Daarnaast betreffen warmtenetten vaak grotere samenwerkingsverbanden tussen meerdere partijen. Dit vraagt stevige governance van warmtenetten om te zorgen voor voldoende invoeding en afname, ook bij fluctuaties door verduurzaming (bijvoorbeeld door isolatie in de gebouwde omgeving of verbetering van energie-efficiëntie in de industrie).

Daarnaast hebben potentiële aanbieders van restwarmte behoefte aan incentives voor het leveren van restwarmte aan gebouwde omgeving. Op dit moment levert de CO₂-reductie binnen de gebouwde omgeving geen voordeel op voor de industrie die de restwarmte levert. Ook lopen partijen aan tegen hoge investeringskosten voor industriële restwarmtenetten.

Binnen de SDE++ is de uitkoppeling van industriële restwarmte opgenomen. Verruiming van de mogelijkheden kan in kaart gebracht worden. Hiervoor is een minimaal thermisch vermogen van 2 MWth nodig en is stoom uitgesloten. In de herziening van de Wet collectieve warmtevoorziening is een ophaalrecht voor restwarmte voorzien.

Biograndstoffen

Duurzame biograndstoffen gaan voor de toekomstige industrie een belangrijke bron van duurzame koolstof vormen. Fossiele grondstoffen worden op dit moment in de industrie gebruikt voor de opwekking van procesenergie, maar ook als grondstof voor materialen en producten. Voor productie van veel chemische basisproducten is koolstof onmisbaar. In de transitie naar een klimaatneutrale economie is het van belang dat ook de grondstoffen voor materialen en producten uit duurzame koolstof worden gemaakt. Biograndstoffen nemen CO₂ uit de atmosfeer op tijdens de groei, en zijn daarom een duurzame koolstofbron voor de industrie. De hoeveelheid beschikbare duurzame biograndstoffen is beperkt. Conform het SER-advies 'Biomassa in balans' (2020) moeten biograndstoffen dan ook zo hoogwaardig mogelijk worden ingezet: als grondstof voor de chemie, in de bouw en in toepassingen waar geen goede alternatieven voor bestaan, zoals lucht- en scheepvaartbrandstoffen. Deze verduurzamingsmogelijkheid voor de industrie raakt sterk aan de paragraaf over de koolstofketen (Verdiepingsdocument B, hoofdstuk 3) in dit NPE, en de overwegingen die daar zijn geschetst.

Een belangrijk knelpunt in de toepassing van biograndstoffen in de industrie is de lage prijs van ruwe olie, in de kunststoffenmarkt een overaanbod van virgin kunststoffen. Gegeven die internationale marktrealiteit zijn er op dit moment onvoldoende prikkels voor de industrie om de omschakeling naar duurzame koolstof te maken. De beprijzing van fossiele CO₂-emissies via ETS en de nationale CO₂-heffing maken gebruik van fossiele grondstoffen na 2030 duurder en biograndstoffen competitiever. Echter, deze beprijzingsmechanismen geven alleen een prikkel voor het verlagen voor de scope 1 proces-emissies, maar niet voor het verduurzamen van de embedded carbon.

De SER adviseerde in 2020 om biograndstoffen met prioriteit in te zetten als grondstoffen voor chemicaliën en materialen, en fors en met extra urgentie in te zetten op de opbouw en opschaling. In de kamerbrief over het Duurzaamheidskader Biograndstoffen is deze lijn overgenomen.¹¹⁵

¹¹⁵ Kamerstuk 32813, nr. 617.

Het succes van het biobrandstoffenbeleid (CO₂-reductie, investeringen in Nederland) is met het juiste beleid ook te realiseren voor de chemische industrie. Op nationaal niveau heeft het kabinet recent de nationale verplichting aangekondigd voor een minimum aandeel recyclelaaf of biograndstoffen voor binnenlands geconsumeerde plastics, waarmee het gebruik van een oplopend percentage recyclelaaf en biograndstoffen richting 2030 verplicht wordt. Dit is in lijn met, maar vooruitlopend op, Europees beleid. Dit zal een extra vraag genereren voor duurzame biograndstoffen en recyclelaaf.

Zowel bestaande als innovatieve processen zijn cruciaal voor de transitie naar duurzaam grandstoffengebruik. Het huidige kabinetsbeleid is tot nu toe vooral gericht op verduurzaming van bestaande assets. Het faciliteert daarmee grote bedrijven. Aanvullend beleid gericht op opbouw en opschaling van disruptieve technologieën kan helpen de toepassing van biograndstoffen te vergroten voor 2030. Het kabinet werkt met verschillende innovatieregelingen aan het ontsluiten van dit potentieel.

Specifiek voordeel van biograndstoffen is dat de biotische CO₂ is onttrokken aan de atmosfeer. Biograndstoffen zijn een kansrijke route voor het realiseren van koolstofverwijdering. Dat betekent dat er netto bij gebruik bijvoorbeeld in de bouw over de hele keten CO₂ wordt onttrokken aan de atmosfeer en wordt vastgelegd in nuttige toepassingen. De stimulering en waardering van deze zogenaamde koolstofverwijdering wordt komende tijd verder uitgewerkt. Daarnaast is de CO₂-reductie van gebruik van biograndstoffen voor bioplastics onderbelicht. De inzet van duurzame kunststoffen bespaart de productie van nafta, vermindert de emissie bij afvalverbranding en kan daarnaast een bijdrage leveren aan (tijdelijke) koolstofverwijdering door vastlegging van CO₂ in bijvoorbeeld plastics of bouwmaterialen.

Recycling

Recycling zal een belangrijke bron van koolstof gaan vormen, en wordt ook behandeld in de paragraaf over de koolstofketen in dit NPE (Verdiepingsdocument B, hoofdstuk 3). Er bestaat een onderscheid tussen mechanische en chemische recycling. Mechanische recycling is het verwerken van kunststofafval tot grandstof, zonder chemische verbindingen af te breken. Kunststofafval wordt bij voorkeur mechanisch gerecycled om grandstoffen terug te winnen door de relatief hoge energie- en materiaal-efficiëntie.

Plasticafval dat niet mechanisch te recycelen is, kan chemisch gerecycled worden. Kunststof wordt dan door middel van een chemisch proces teruggebracht naar kleinere bouwstenen van het materiaal (monomeren), zodat daar opnieuw kunststof van gemaakt kan worden. Chemisch recycelen kan via vier technologieroutes: oplossen (dissolutie), depolymeriseren, pyrolyseren en vergassen. Hiervan kan pyrolyse (thermochemische recycling) op korte termijn het snelst opgeschaald worden naar een grote bijdrage aan plasticvolume en aan substantiële CO₂-vermindering. Uiteindelijk is een mix van deze vier technieken noodzakelijk. Thermochemische recycling als pyrolyse en vergassen kent nadelen: materiaalverlies en een verhoogd energieverbruik. Het beleid is erop gericht om op de korte termijn technologieën te stimuleren die technologisch volwassen, efficiënt en opschaalbaar zijn, om zo de hele keten op gang te brengen. Daarnaast moet de ontwikkeling van technologieën met een hogere materiaalefficiëntie en lager energieverbruik gestimuleerd worden. Dat zijn de technologieën van de toekomst.

Voor benutting van het potentieel aan recycling in de industrie spelen twee onzekerheden. Ten eerste is er nog geen duidelijkheid over de definitie van de massabalans-regels die gehanteerd zullen worden (op Europees niveau en eventueel al eerder op nationaal niveau, bijvoorbeeld IBO-fiche nationale recyclelaafnorm). Deze regels bepalen op welke wijze ingaande plasticafvalstromen mogen worden toegerekend aan de uitgaande (plastic)stromen. Dit speelt met name bij pyrolyse, een vorm van thermochemische recycling, en bijvoorbeeld niet bij mechanische recycling, dissolutie en depolymerisatie. De precieze uitwerking van deze regels is van groot belang voor de business case van industriële partijen: de grandstof wordt duurder, maar de markt betaalt alleen hogere prijzen voor dat deel van het product dat officieel 'gerecycled' heet.

Bedrijven ervaren daarnaast onduidelijkheid ten aanzien van de beoordeling van en de handhaving bij de einde-afvalstatus voor recyclingproducten, bijvoorbeeld pyrolyse-olie. Dit zorgt voor onzekerheid over de potentiële toepassingsmogelijkheden en daarmee afzet zekerheid. Een gevolg is onzekerheid over investeringen. Dit wordt door veel geplande chemischerecycling-projecten gezien als een belangrijk knelpunt in het realiseren van de plannen.

In alle gevallen van recycling geldt dat de logistiek rond inzameling een belangrijke uitdaging vormt. Naarmate recycling specifiekere product- en materiaalstromen betreft, is de logistiek complexer en zijn er minder schaalvoordelen.¹¹⁶ Wat hier ook een rol speelt is de toekomstige mix aan koolstofproducten die in de afvalstroom belanden. Op dit moment zijn die zeer heterogeen en bevatten ze veel verschillende soorten plastics. Het toepassen van circulaire ontwerpprincipes kan bijdragen aan minder heterogene afvalstromen en daarmee aan het verbeteren van het recyclingaandeel.¹¹⁷ Het stimuleren van meer homogeniteit kan onder meer worden bewerkstelligd door productstandaarden, waarbij EU-beleid een belangrijke rol speelt.

Carbon Capture and Utilisation or Usage (CCU)

Bij Carbon Capture and Utilisation or Usage (CCU) wordt CO₂ afgevangen (of uit de lucht gehaald), waarna dit gebruikt wordt als grondstof voor brandstoffen, chemicaliën en materialen. Bij CCU moet onderscheid worden gemaakt tussen kortdurend gebruik ('usage'), tijdelijke en permanente vastlegging ('utilisation'):

- Onder kortdurend gebruik valt bijvoorbeeld de uitkoppeling van CO₂ richting kassen, gebruik in frisdrank, gebruik voor droogijs in de zorg en gebruik als verdovingsmiddel in slachthuizen.
- Onder tijdelijke vastlegging valt bijvoorbeeld de vastlegging in brandstoffen, plastics, medicijnen en verf.
- Onder permanente vastlegging valt bijvoorbeeld de vastlegging in beton.

Al deze vormen worden binnen Nederland als CCU gezien. Permanente vastlegging via CCU kan als een alternatieve opslagroute en is vergelijkbaar met CCS (zie hiervoor). Het uitkoppelen van CO₂ richting kassen wordt ondersteund binnen de SDE++-regeling. CCU met een tijdelijke vastlegging is nog pril; veel routes zijn nog ver verwijderd van markttoepassing. Daarnaast is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen CCU op fossiele CO₂ en CCU op biogene CO₂.

Afgevangen CO₂ kan in de toekomst in aanvulling op koolstofhoudende reststromen en biograndstoffen een belangrijke koolstofbron gaan vormen. Ook deze verduurzamingsroute

komt terug in de paragraaf over de koolstofketen van dit NPE (verdiepingsdocument B, hoofdstuk 3). CCU heeft daarmee een cruciale rol in de grondstoffentransitie richting een fossielvrije economie. Er zijn echter ook uitdagingen: CCU-routes voor de productie van koolstofhoudende producten of brandstoffen vragen veel energie. Er is minder energie nodig voor het afvangen van CO₂ uit industriële productieomgevingen, waar het in relatief hoge concentraties aanwezig is, dan uit atmosferische lucht. Om koolwaterstoffen te maken uit CO₂ is naast elektriciteit ook waterstof (H₂) nodig. In de komende decennia worden veel ontwikkelingen verwacht waardoor sommige CCU-routes waarschijnlijk tussen 2030 en 2040 op commerciële schaal kunnen worden toegepast. Hoewel nog veel onzekerheden bestaan rondom CCU, met name bij tijdelijke vastlegging, is innovatie cruciaal zodat CO₂ als koolstofbron kan dienen.

Voor de inzet van CCU door de Nederlandse industrie spelen een aantal randvoorwaarden. Zowel Europees als nationaal is er nog geen specifiek beleid voor CCU. Binnen Europa zijn er wel ontwikkelingen:

- Begin 2024 komt een EU Carbon Management Strategy, waar CCU onderdeel van is.
- CCU is mogelijk in het ETS na de Fit for 55 herziening. De delegated act met specifieke regels wordt uitgewerkt in 2023.
- Er is een concept Carbon Removal Certification Framework naar buiten gebracht, waar CCU ook een rol in heeft, hoewel veel specificaties nog uitgewerkt moeten worden.

Het uitvoeren van een levenscyclusanalyse (LCA) is cruciaal. Veel technologieën vergen forse input van energie en/of waterstof; en de duurzaamheid van deze input is vaak doorslaggevend voor het klimaateffect. Met de huidige elektriciteitsmix in het Nederlandse systeem leidt implementatie van energie-intensieve varianten van CCU tot een toename van CO₂-emissies in de keten. In opdracht van de EU is een richtlijn voor LCA-analyse

¹¹⁶ TNO. (2022). Een klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland.

¹¹⁷ Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050. Expertteam Energiesysteem 2050 (2023)

ontwikkeld.¹¹⁸ Maar er is geen versnelde/vereenvoudigde analyse methodiek beschikbaar waarmee snel de milieueffecten vast te stellen zijn.

De potentiële besparing binnen de gehele keten (ook internationaal) blijft veelal onderbelicht. Het sturen op reductie van scope 1-emissies zorgt voor een impuls om projecten voor directe uitstootreductie te ontwikkelen, zonder oog te hebben voor de verdere keteneffecten. Er is ook behoefte aan stimulans voor deze ketenprojecten en voor waardering van de daarmee gepaarde emissiereductie.

Procesefficiëntie

Procesefficiëntie of energiebesparing is een van de belangrijkste en meest kostenefficiënte verduurzamingsmogelijkheden. Energiebesparing verwijst naar alle energiebesparende maatregelen om het energiegebruik te verminderen en kan bereikt worden door zowel proces- als gebouwgebonden maatregelen. Het uitvoeren van energiebesparende maatregelen met een terugverdientijd van 5 jaar of minder is verplicht. In de Erkende Maatregelenlijst (EML) staan maatregelen, onderverdeeld in Gebouw, Faciliteiten en Processen, waarmee organisaties aan hun plicht kunnen voldoen.

Procesefficiency is generiek te definiëren als de opbrengst aan gewenst product in verhouding tot de gebruikte middelen/inspanningen. Gebruikte middelen of inspanningen kunnen betrekking hebben op menskracht, grondstoffen, materialen, energie, kapitaal, enzovoort. Een procesefficiency-beschouwing is afhankelijk van de gekozen systeemgrens en kan bijvoorbeeld betrekking hebben op een apparaat, installatie, fabriek of locatie. Zo kan een efficiëntieverbetering op het niveau van een apparaat of installatie tot een verslechtering leiden op fabrieks- of locatieniveau. Dit laatste gebeurt vooral bij sterke interactie over de systeemgrenzen heen. Energie-efficiëntie, procesintensivering en procesintegratie zijn belangrijke routes voor CO₂-reductie in scope 1 (directe uitstoot) en scope 2 (energiegebruik). Afhankelijk van het productieproces kan materiaalefficiëntie neerslaan als een scope 3 effect (uitstoot van een andere organisatie in de keten die grondstoffen delft of verwerkt); of als een scope 1 of 2 effect (wanneer verwerking van

minder materiaal leidt tot energiebesparing of CO₂-uitstootreductie). Belangrijk voor procesefficiency is automatisering door geavanceerde procesregeling (advanced process control of APC) en optimalisatie.

In veel gevallen leiden investeringen in een volledig nieuw proces o.b.v. andere (hernieuwbare) energiedragers ook tot een finale energiebesparing. Daarmee kan het ook voorkomen dat bedrijven vanwege verwachte overstap op nieuwe processen efficiëntieverbeteringen bij bestaande processen achterwege laten.

Procesefficiency beperkt de vraag naar energie en grondstoffen. Het maximale besparingspotentieel voor de industrie door procesefficiency in 2030, ten opzichte van de Klimaat- en Energieverkenning 2021, wordt geschat op 29 PJ.^{119,120}

Op basis van het rapport Project 6-25 Technology Validation¹²¹ is te concluderen dat op korte termijn (2025) door de inzet van vijftien technologieën circa 3 Mt reductie valt te realiseren (scope 1 en 2).

Er spelen een aantal onzekerheden bij het daadwerkelijk realiseren van deze reductie.

Ervaring uit onder andere de energieconvenanten leert dat vooral energie-efficiëntie maatregelen, ondanks dat ze zich terugverdienen, vaak moeilijk tot implementatie komen. Een reeks van knelpunten ligt hieraan ten grondslag. Daarnaast is het onderwerp procesefficiency lastig in te passen in de huidige subsidie-instrumenten.

Flexibilisering

Flexibilisering van industriële processen (meer of minder energie gebruiken) biedt een beperkte mogelijkheid om hernieuwbare, intermitterende energiebronnen te integreren in het energienet. De industrie kan een beperkte rol spelen in flexibiliteit (buiten conversie en opslag) door schakelbare processen (Demand Side Respons: DSR). Dit betekent dat de industrie flexibeler omgaat met productie. De productie kan deels of geheel worden stilgelegd als netcongestie door te hoge afname dreigt, maar ook worden opgevoerd als er een overvloed aan elektriciteit op het net is. Dit draagt bij aan het gedeeltelijk voorkomen van netcongestie landinwaarts en daarmee gepaard gaande systeemkosten. Ook kan dit een

¹¹⁸ European Commission, Directorate-General for Energy, Ramirez Ramirez, A., El Khamlichi, A., & Markowz, G. (2022). LCA₄CCU – Guidelines for life cycle assessment of carbon capture and utilisation, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/161308>

¹¹⁹ PDC & Royal HaskoningDHV. (2020). Project 6-25 Technology Validation.

¹²⁰ PBL & RVO. (2021). Reflectie op Cluster Energiestrategieën (CES 1.0).

¹²¹ PDC & Royal HaskoningDHV. (2020). Project 6-25 Technology Validation.

verdienkans zijn voor schaalbare processen. Hierbij valt wel op te merken dat veruit het merendeel van de industrie gebaat is bij een constante energievoorziening (baseload).

Een aanzienlijk deel van de industriële elektrificatie betreft baseload, zoals fornuizen/krakers op hoge temperatuur. Deze processen zijn alleen tegen zeer hoge kosten flexibel te maken.¹²² Dit komt onder andere door hoge CAPEX, dus investering in grotere productiecapaciteit dan direct nodig om flexibel te kunnen switchen, en door kosten voor vaker afkoelen of opwarmen van een installatie. Dit betekent tevens een verlies aan procesefficiency. Sturen op flexibilisering (inclusief benodigde overdimensionering) kan daarmee ten koste gaan van sturen op energiebesparing.

Daarnaast is er voor industriële partijen niet altijd voldoende zicht op flexibiliteitsopties die zij zouden kunnen bieden en het verdienvermogen dat daarmee gepaard kan gaan. Via het innovatie-instrumentarium werkt het kabinet aan nieuwe toepassingen om hier beter zicht op te kunnen realiseren. De Energy Outlook bekrachtigt de noodzaak van zicht op het flexpotentieel.¹²³

3.6. Bandbreedtes vraagontwikkeling bij verduurzaming industrie

Er is een grote diversiteit aan verduurzamingsopties, met diverse factoren die bepalen in welke optie bedrijven zullen investeren (hoofdstuk 3.5). Daarnaast staan er nog diverse besluiten op stapel die van invloed zijn op de randvoorwaarden voor verduurzaming van de industrie. Via afstemming met verschillende beleidsprogramma's in het Nationaal Programma Verduurzaming Industrie (NPVI) stuurt het kabinet op de randvoorwaarden waarbinnen de industrie kan verduurzamen (hoofdstuk 3.4). Dit creëert investeringszekerheid voor verduurzamingsprojecten. Gegeven deze randvoorwaarden besluiten individuele bedrijven op welke wijze zij verduurzamen of dat zij hun productie hier matigen. Daarmee ontstaat incrementeel zicht op de benodigde energiedragers en infrastructuur en op de rol die de industrie heeft in het toekomstige energiesysteem.

Dit hoofdstuk schetst het huidige beeld van de impact-bandbreedtes van verschillende verduurzamingsroutes op de vraag naar energie- en koolstofdragers. Hiervoor zijn verschillende recente (scenario)analyses naast elkaar gezet. Dit is niet bedoeld als een compleet overzicht. Het toont vooral dat de scenario's – en daarmee bandbreedtes voor de toekomstige energievraag – van de industrie op dit moment nog sterk uiteenlopen. Zoals gesteld worden deze bandbreedtes incrementeel versmald via de sturing zoals omschreven in hoofdstuk 3.4.

Deze analyses zijn uiteraard gebaseerd op verschillende aannames en toekomstbeelden en zijn daarmee niet een-op-een vergelijkbaar. Voor de specifieke aannames wordt naar de eigenstandige analyses verwezen. Waar van toepassing staat een korte omschrijving van de scenario's die in de betreffende analyse zijn gebruikt. Alle scenario's zijn bedoeld om klimaatneutraliteit in 2050 zo dicht mogelijk te benaderen. Waar ze in verschillen is de productiehoeveelheid van de basisindustrie (voor eigen gebruik en voor export) en de mate waarin het volledige productieproces in Nederland plaatsvindt. De vraag op de lange termijn is vooral tegen welke prijs de groene energiedragers worden verhandeld. Dit bepaalt in welke verduurzamingsopties bedrijven investeren.

Onderzoeken van BCG en Guidehouse maken duidelijk dat binnen de verschillende ontwikkelpaden voor verduurzaming van de energie-intensieve sectoren, er mogelijkheden zijn voor Nederlandse bedrijven om hier te kunnen verduurzamen. Gegeven de randvoorwaarden die het kabinet schept voor duurzame productie in Nederland, kunnen individuele bedrijven besluiten of zij in Nederland verduurzamen of hun productie hier matigen. Dit betreft private investeringsbeslissingen. Dit betekent dat niet per se de transitie van de gehele huidige industrie in Nederland binnen de randvoorwaarden mogelijk is. Zo kan de beschikbaarheid van duurzame energie en grondstoffen (met name koolstof) en bijbehorende infrastructuur niet overal tegelijk mogelijk gemaakt worden. Deze conclusie wordt ondersteund door de rapportage van het expertteam NPE, waarin deze onzekerheden worden benadrukt.¹²⁴

¹²² DNV GL (2020). *De mogelijke bijdrage van industriële vraagresponso aan leveringszekerheid*. <https://www.dnv.nl/Publications/de-mogelijke-bijdrage-van-industriële-vraagresponso-aan-leveringszekerheid-190655>

¹²³ Expertteam Energiesysteem 2050. (2023). *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050*, p. 47.

¹²⁴ Expertteam Energiesysteem 2050. (2023). *Energie door perspectief*, p. 85; 98.

Tabel 6. Overzicht van de bandbreedte van de potentiële toekomstige vraag uit verschillende analyses (energetisch en non-energetisch); in TWh/jaar

Energiedrager	2030		2040		2050		
	Vraag Il3050	Vraag CES	Vraag Il3050	Vraag CES	Vraag Il3050	Vraag CES	Vraag GH ¹²⁵
Elektriciteit ¹²⁶	55-77	79	78-104	111	88-156	117	4-17
Waterstof ¹²⁷	43-48	69	51-73	91	47-113	101	10-117
Methaan	71-87	102	32-53	62	2-45 ¹²⁸	48	-
Biograndstoffen	4-10	20	13-17	20	12-62	21	-
Olie	80-93	-	37-75	-	12-70 ¹²⁹	-	-

Netbeheer Nederland – Het energiesysteem van de toekomst: de Il3050-scenario's

Het doel van de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (Il3050) is inzicht te bieden in scenario's om uiterlijk in 2050 tot een klimaatneutraal energiesysteem te komen. De scenario's dienen de onzekerheid te vangen die inherent is aan het voorspellen van toekomstige ontwikkelingen én de netwerkbedrijven in staat te stellen voor uiteenlopende maar realistische toekomstbeelden de noodzaak van investeringen te toetsen. De gekozen scenario's, bedoeld als 'realistische uitersten' van het toekomstige energiesysteem, zijn ontwikkeld door de netwerkbedrijven. De nadruk in de verkenning ligt daarom op de aannames met grote effecten voor de energie-infrastructuur, zoals elektrificatie, duurzame gassen en warmtenetten.

De scenario's voor de industrie zijn gemaakt met behulp van het Carbon Transition Model (CTM). Dit openbare model bevat alle individuele bedrijven die aan het ETS-systeem

¹²⁵ Guidehouse heeft een beperkt deel van de energie-intensieve bedrijven geanalyseerd en alleen basisproductie gemodelleerd (geen vervolgstappen en productieprocessen). Ook keek Guidehouse vooral naar de implicaties voor de vraag naar waterstof en elektriciteit. De analyse kan daarom niet direct worden vertaald naar de gehele industriële vraag en geeft een sterk lagere energievraag weer dan andere analyses.

¹²⁶ Exclusief H₂-productie. Inclusief datacenters en groei.

¹²⁷ Dit betreft de brutovraag, dus exclusief eigen waterstofproductie industrie, en exclusief vraag naar restgassen op eigen terrein (geen transport nodig).

deelnemen plus een aggregatie van de overige bedrijven binnen elke subsector. De scenario's uit het CTM zijn gekoppeld aan de bredere Il3050 ETM-scenario's die het overkoepelende energiesysteem beschrijven. De input van (vertegenwoordigers van) industriële bedrijven is gebruikt om deze scenario's op te stellen. Hierbij is tevens rekening gehouden met nieuwe industrie die in Nederland kan ontstaan voor de productie van gerecyclede, biogene en synthetische producten. De scenario's zijn aangevuld met de elektriciteitsvraag van datacenters (aparte categorie), om de vraag gelijk te stellen met de Cluster Energie Strategieën (CES'en). De waterstofvraag betreft vraag waarvoor transportnet nodig is, dus geen lokale productie en gebruik van bijvoorbeeld restgassen. De studie gaat (afhankelijk van het scenario) uit van beperkte komst van nieuwe industrie.

Decentrale Initiatieven (DEC)

Nederland streeft naar regionale actie door de particuliere businesscase van klimaatneutrale technieken te ondersteunen. De industrie transformeert naar meer gebruik van biobased en circulaire grondstoffen. Maar omdat duurzame energie vooral als variabel aanbod op grote schaal beschikbaar is, de acceptatie van CCS beperkt is, en er verder beperkt sturing op is, verdwijnt een deel van de energie-intensieve basisindustrie uit Nederland.

Nationaal Leiderschap (NAT)

Nederland streeft naar een energetisch efficiënt systeem binnen de Nederlandse mogelijkheden en stuurt nationaal sterk op de invulling van de energiemix. De overheid bevordert de ontwikkeling van nieuwe industrieën (onder andere synthetische bunkerbrandstofproductie voor zover mogelijk binnen de grenzen van het Nederlandse energiesysteem) en stimuleert elektrificatie van de bestaande industrie.

¹²⁸ Exclusief gebruik van restgassen op eigen terrein (geen transport). Inclusief dit gebruik komt de totale vraag op 74-89 TWh in 2030 en op 4-87 TWh in 2050.

¹²⁹ Dit betreft de vraag naar fossiele olie en het gebruik van gerecyclede fossiele moleculen. Er wordt daarnaast een deel van de niet-energetische vraag naar olie vanaf 2030 ingevuld met pyrolyseolie, gemaakt van gerecyclede plastic. Dit betreft aanvullend op de fossiele vraag in 2030 ongeveer 7-13 TWh en in 2050 ongeveer 4-57 TWh.

Europese Integratie (EUR)

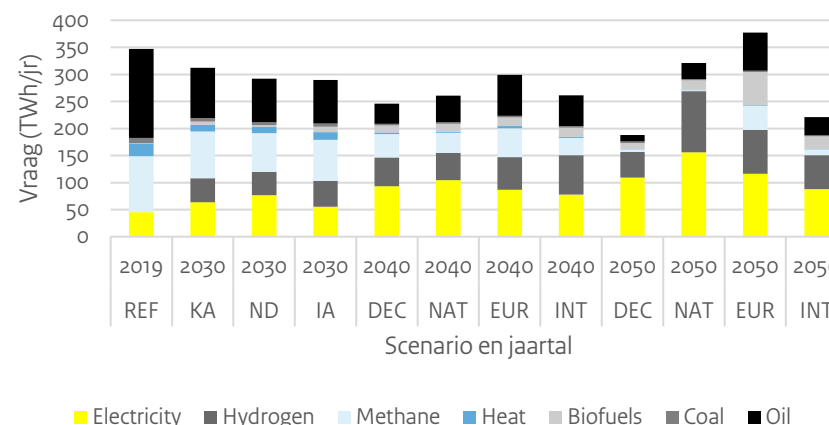
Nederland streeft naar een integraal en efficiënt Europees energiesysteem: landen stemmen hun energiebeleid onderling af en maken daarbij gebruik van elkaars bronnen. De industrie verduurzaamt dankzij elektrificatie en de inzet van Europese¹³⁰ duurzame biograndstoffen, recycleert en waterstof, als brandstof en grondstof. CCS wordt grootschalig toegepast, onder meer voor energie-opwek met koolstofverwijdering (BECCS) en voor de productie van blauwe waterstof. Ook CO₂ uit omliggende landen wordt in Nederland opgeslagen.

Internationale Handel (INT)

Nederland is een 'multinational' die strategisch gebruikmaakt van de internationale energie- en grondstoffenmarkten. De markt wordt geholpen door ondersteunende algemene prikkels, subsidies en CO₂-beprijzing. Waterstof en andere klimaatneutrale energiedragers worden geïmporteerd uit landen waar ze relatief gunstig te produceren zijn. De industrie verduurzaamt dankzij elektrificatie en inzet van waterstof (ook als grondstof). Door de wereldwijde handelsketens verdwijnt een deel van de energie-intensieve industrie naar het buitenland. In plaats daarvan worden meer halffabricaten geïmporteerd, die in Nederland verder worden verwerkt.

¹³⁰ Dit betreft een overgenomen omschrijving uit de Il3050 rapportage. Over het algemeen borgt het kabinet duurzaamheid van grondstoffen via duurzaamheidskaders; en niet via een geografische beperking.

Vraag naar energiedragers vanuit industrie uit Il3050



Figuur 23. Bandbreedtes van toekomstige vraag naar energiedragers per jaar vanuit de industrie voor verschillende scenario's uit de tussenrapportage Il3050

Overige verduurzamingsmogelijkheden per jaar

- Aanbod restwarmte
 - 2030: tussen de 3 en 4 TWh (energetisch)
 - 2040: tussen de 4 en 7 TWh (energetisch)
 - 2050: tussen de 3 en 11 TWh (energetisch)
- Aanbod flexibiliteit (alleen op basis van weerjaar 2012¹³¹)
 - 2050: tussen de 1 en 3 TWh power-to-heat (alleen bij overschot)
 - 2050: tussen de 2 en 5 TWh Demand Side Respons (bij overschot en tekort)
- Toepassing CCS (voornamelijk energiesector; energievraag opgenomen in bovenstaande vraag)
 - 2050: tussen de 0 en 33 Mt CO₂ totaal (in hoge scenario's deels import)
 - 2050: tussen de 0,2 en 5 Mt CO₂ Nederlandse industrie
- Toepassing CCU (energievraag opgenomen in bovenstaande energievraag)
 - 2050: tussen de 1 en 17,1 Mt CO₂ (in hoge scenario's deels import)

¹³¹ Gebruik van andere weerjaren heeft een grote impact op dit beeld. Momenteel loopt een doorrekening van meerdere weerjaren, waarmee een beter profiel richting 2050 kan worden afgegeven.

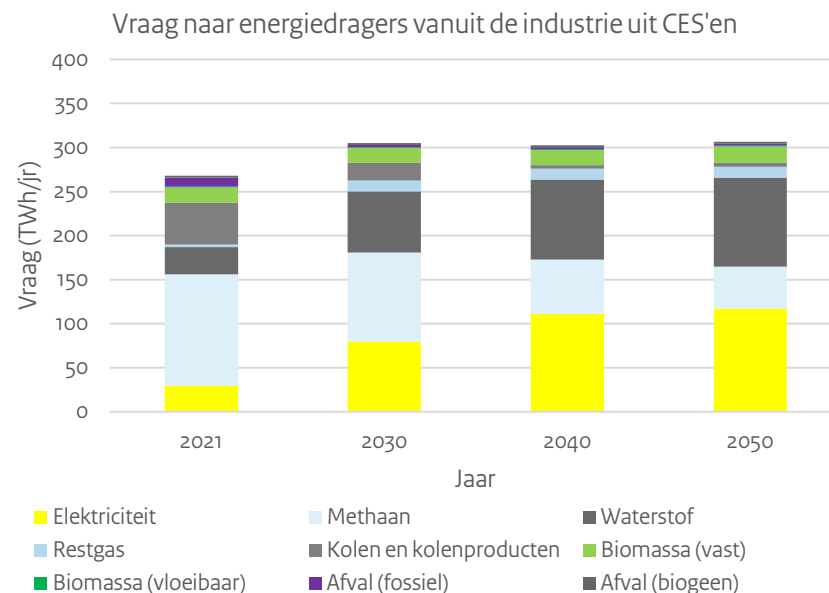
Opvallende zaken in de I13050-analyse

- Richting 2030 en 2040 lijken de bandbreedtes van de vraag naar duurzame energiedragers vrij beperkt.
- Richting 2050 is er sprake van grote variatie. De bandbreedte tussen het hoogste en het laagste niveau betreft een factor 2 voor elektriciteit en waterstof, een factor 5 voor biograndstoffen, een factor 6 voor olie en een factor 20 voor methaan.
- Ook de totale vraag naar energiedragers verschilt sterk. De energie- en grondstoffenvraag vanuit de industrie varieert van ongeveer -35% tot +25% in respectievelijk I13050 Regionaal en I13050 Europees, als gevolg van een generieke groei of krimp veronderstellingen van -1% tot +1% op jaarbasis.
- De balans tussen elektronen en moleculen verschilt sterk per scenario.
- De studie voorziet in alle scenario's enige rol voor fossiele energiedragers voor met name plastics, bunkerbrandstoffen en blauwe waterstof. In DEC en NAT betreft de olie-inzet in de chemie voor een relatief groot deel pyrolyse-olie. In EUR en INT betreft dit grotendeels fossiele olie. Directe emissies van fossiele inzet worden afgevangen. Dit betekent dat CCS nodig blijft om emissies te reduceren, dat emissies in de keten blijven bestaan en dat negatieve emissies noodzakelijk zijn.
- Opvallend is dat vooral de brandstoffenproductie en de chemie de energie- en grondstoffenvraag bepalen.
- Voor NAT, EUR en INT halveert de productie van raffinage van (bunker)brandstoffen in combinatie met nieuwe e-refining (NAT en EUR) in vergelijking tot de huidige productie.¹³² Ondanks deze productiebeperking stijgt de vraag naar energiedragers voor raffinage zéér sterk (met name in NAT) door beperktere conversierendementen van de productie van e-fuels ten opzichte van huidige brandstofproductie. Dit verklaart ook de relatief hoge vraag naar waterstof in deze scenario's. In DEC loopt productie van raffinaderijen terug tot 14% van de huidige niveaus, waarmee alleen de minimale behoefte van de chemische industrie bediend wordt.
- In EUR is er sprake van een grote vraag naar biograndstoffen, doordat dit het enige scenario is dat geen krimp van de chemie voorziet.
- Het aanbod van restwarmte en flexibiliteit vanuit de industrie is in de scenario's beperkt.

¹³² In deze scenario's is er geen sprake van raffinage voor export.

PBL – Reflectie op Cluster Energie Strategieën 2022 (CES 2.0)

In opdracht van de stuurgroep PIDI (Programma Infrastructuur Duurzame Industrie) heeft PBL een analyse gemaakt van de Cluster Energie Strategieën 2.0. In CES 2.0 is de vraag naar energie-infrastructuren beschreven die ontstaat bij uitvoering van plannen of ambities van bedrijven om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, en als gevolg van de verwachte groei en vestiging van nieuwe bedrijven (zowel industrie als datacenters). Uitvoering van deze plannen en ambities vergt veelal wel nog een finale investeringsbeslissing, die afhankelijk is van infrastructuur en randvoorwaarden. Daarom wordt in de reflectie ook wel gesproken over 'effecten op energie en emissies als gevolg van "plannen en denkbare emissiereducties" van bedrijven'. De CES'en worden in 2023 herijkt.



Figuur 24. Toekomstige energievraag industrie uit de PBL-analyse van de CES'en

Overige verduurzamingsmogelijkheden per jaar

- Aanbod CO₂
 - 2030: 92 Mt fossiel, 4 Mt biogeen; 17 Mt CCS-projecten en 0,3 Mt CCU-projecten voorzien
 - 2040: 16 Mt fossiel, 10 Mt biogeen
 - 2050: 16 Mt fossiel, 10 Mt biogeen
- Aanbod restwarmte
 - 2030: 19 TWh
 - 2040: 27 TWh
 - 2050: 30 TWh
- Aanbod flexibiliteit
 - 2030: 23 TWh
 - 2040: 33 TWh
 - 2050: 33 TWh

Opvallende zaken in de analyse van de CES'en

- De energievraag naar genoemde energiedragers komt overeen met de hogere scenario's van de i3050 voor 2030 en 2040. Dit heeft te maken met het feit dat in deze analyse de verduurzamingsplannen van industrieclusters zelf zijn doorgerekend. Daarmee ontbreken de scenario's die een krimp van de industrie voorzien.
- Dit verklaart ook de relatief hoge waterstofvraag, aangezien dit ook geldt voor de raffinagesector.
- Er is relatief weinig verschil tussen de gespecificeerde vraag naar energiedragers in 2030, 2040 en 2050. Dit is het gevolg van het feit dat de CES'en voornamelijk gericht zijn op concrete verduurzamingsplannen voor 2030. Er is minder aandacht voor projecten op de lange termijn, waardoor de jaren 2040 en 2050 met een grotere onzekerheid zijn omgeven. Richting 2050 lijken de CES'en daarmee meer aan te sturen op het Europese scenario van de i3050 (excl. De vraag naar fossiele olie). De vraag naar olie als energiedrager staat niet in Figuur 24, omdat de CES'en alleen de huidige vraag naar olie specificeren en niet de toekomstige.
- Er is sprake van een relatief hoge methaanvraag.
- Er is sprake van een relatief geringe stijging van het gebruik van biograndstoffen.

- De CES'en gaan uit van een relatief hoge eigen waterstofproductie door de industrie. De nettovraag naar waterstof is in 2050 volgens de CES'en slechts 20 TWh.
- Het valt op dat besparing op elektriciteit door efficiencyverbetering of afbouw van activiteiten nauwelijks wordt genoemd in de CES'en; de besparing is minder dan 1 TWh.

Guidehouse – Analyse voor Programma Verduurzaming Industrie

Guidehouse komt tot drie ontwikkelpaden om te analyseren waar verschillende keuzes van de industrie en overheid ons brengen en welke consequenties deze hebben. Deze paden zijn opgesteld op basis van de data van het MIDDEN-project. Hierbij is slechts een beperkt deel van de energie-intensieve bedrijven geanalyseerd en is alleen basisproductie gemodelleerd (geen vervolgstappen en productieprocessen). Ook keek Guidehouse vooral naar de implicaties voor de vraag naar waterstof en elektriciteit. De analyse kan daarom niet direct worden vertaald naar de gehele industriële vraag en geeft een sterk lagere energievraag weer dan andere analyses. De analyse gaat uit van een mix van technologieën voor verduurzaming (dus bijvoorbeeld geen volledige elektrificatie van het kraakproces). De ontwikkelpaden kunnen per cluster, per sector of per bedrijf verschillen. Ze geven aan binnen welke bandbreedte de ontwikkeling zal liggen en welke (publieke en private) keuzes daarop van invloed zijn.

Productie en uitvoer

- Hoge industriële productie blijft behouden in Nederland; alleen mogelijk met maximale circulariteit inclusief importen van afval/grondstoffen.
- Nederland behoudt de rol van producent voor omliggende landen (exporten).
- Import van voornamelijk energie, grondstoffen en halffabricaten voor verdere verwerking.
- Door grote vraag een sterke waterstofsector die concurreert met directe elektrificatie.

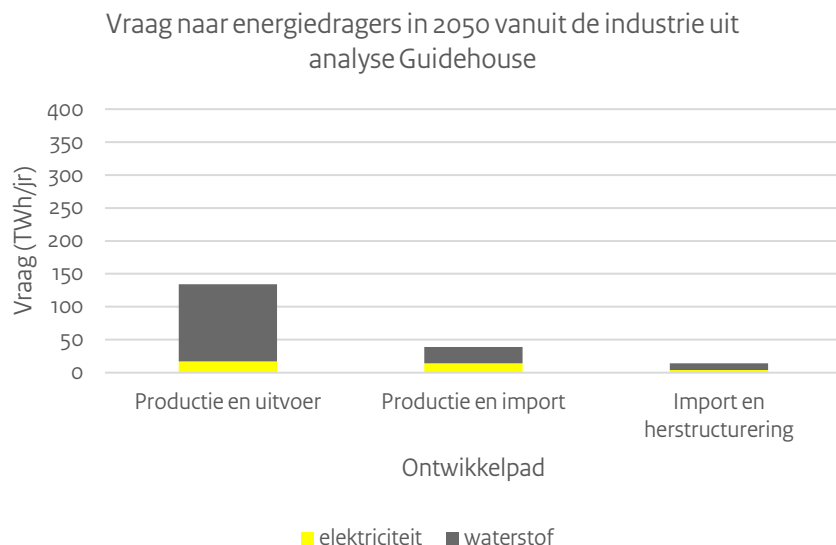
Productie en import

- Waterstofvraag wordt gestuurd door brandstoffensector in Rotterdam en Zeeland.
- Vraag vanuit behandeling van bio-olie-, pyrolyse-olie- en synthetische brandstoffenproductie.
- De methanol- en de staalsector zijn bepalend in de elektriciteitsvraag in clusters Noord-Nederland en Noordzeekanaalgebied.
- Elektriciteitsgebruik voor secundair staalproductie (EAF) en methanolsynthese.

- De plasticsector is bepalend in de elektriciteitsvraag in de drie clusters Chemelot, Rotterdam-Moerdijk en Zeeland.
- De staalsector bepaalt de waterstofvraag in het Noordzeekanaalgebied.

Import en herstructurering

- De industrie herstructureert en richt zich voornamelijk op productie voor eigen gebruik; import van basisproducten en circulaire verwerking van eigen afval zijn hierbij nodig.
- Voor het aanvullen van behoeftes komt meer nadruk op import van energie-intensieve basisproducten.
- De rol van Nederland als doorvoerland is sterk afgenomen.
- Door lagere industriële vraag is er minder ontwikkeling van de waterstofsector en daardoor een kleinere aandeel waterstof en hoger aandeel elektrificatie.



Figuur 25. Toekomstige energievraag uit de Guidehouse-analyse

Dilemma’s rondom verduurzaming van de industrie in relatie tot het energiesysteem

Uit de verschillende analyses valt een aantal generieke dilemma’s op te maken die spelen bij de verduurzaming van de industrie.

- Onderzoeken van de Boston Consulting Group en Guidehouse maken duidelijk dat binnen de verschillende ontwikkelpaden voor verduurzaming van de energie-intensieve sectoren, er mogelijkheden zijn voor Nederlandse bedrijven om hier te kunnen verduurzamen. Gegeven de randvoorwaarden die het kabinet schept voor duurzame productie in Nederland, kunnen individuele bedrijven besluiten of zij in Nederland verduurzamen of hun productie hier matigen. Dit betreft private investeringsbeslissingen. Dit betekent dat niet per se de transitie van de gehele huidige industrie in Nederland binnen de randvoorwaarden mogelijk is. De verschillende scenario-analyses laten zien dat een verduurzaming van een groot aandeel van de binnenlandse bunkerbrandstofproductie veel vraagt van het toekomstige energiesysteem. Met name de productie van synfuels door middel van CCU. Gezien de grote impact hiervan op de benodigde hoeveelheden koolstof, waterstof en elektriciteit, is het zaak een scherp beeld te hebben van ontwikkelingen die de verduurzaming van de raffinagesector beïnvloeden. De hoeveelheden bunkerbrandstoffen die in de toekomst in Nederland worden geproduceerd, zijn afhankelijk van onder meer de ontwikkeling van de mobiliteitssector (elektrificatie personenvervoer), ontwikkelingen van de brandstoffen zelf (welke volumes moeten met welke regelmaat worden getankt), toekomstige geografische productieketens, de ontwikkeling van Nederland als logistieke hub en de internationale prijsontwikkeling van energiedragers en transport. Daarnaast is de raffinagesector op dit moment nauw verbonden met de chemiesector. Tijdige ontwikkeling van de benodigde randvoorwaarden, waaronder het benodigde energiesysteem, is afhankelijk van tijdig zicht op deze ontwikkelingen, terwijl een eenduidig beeld van deze ontwikkelingen op zijn beurt weer afhankelijk is beschikbaarheid van randvoorwaarden. Het NPVI buigt zich over dit coördinatievraagstuk.
- Er is een grote behoefte aan duurzame koolstof, ook wanneer koolstof alleen voor essentiële toepassingen wordt gebruikt. Dit geldt bijvoorbeeld voor de productie van brandstoffen en productie in de chemie. De beschikbaarheid van duurzame koolstofdragers in Nederland is relatief laag, terwijl import in de vorm van biograndstoffen of secundaire grondstoffen (recycalaat) om zeer grote volumestromen

vraagt. De Nederlandse industrie heeft mogelijk wel locatievoordelen door relatief grootschalige verwerking van biograndstoffen, en nabijheid van opslagmogelijkheden. Zeker in scenario's met een hogere bunkerbrandstofproductie kan concurrentie ontstaan met andere toepassingen van duurzame koolstof.

- De meeste analyses voorzien enige rol voor fossiele energiedragers in 2050, bijvoorbeeld voor plastics, bunkerbrandstoffen en blauwe waterstof. Dit zou betekenen dat CCS nodig

blijft om emissies te reduceren en dat resterende emissies in de keten gecompenseerd moeten worden met koolstofverwijdering. De beleidsinzet voor de koolstofketen is dat het gebruik van fossiele koolstofdragers wordt geminimaliseerd, bij voorkeur tot nul in 2050. De haalbaarheid en consequenties hiervan zullen verder moeten worden onderzocht (zie ook verdiepingsdocument B, hoofdstuk 3).

4. Transitiepad landbouw

In dit hoofdstuk wordt het transitiepad van de landbouw tussen nu en 2050 beschreven. Omdat het energieverbruik tussen de glastuinbouw en de overige landbouwsectoren erg verschilt, worden per paragraaf de glastuinbouw en de overige landbouwsectoren apart beschreven. In de verschillende paragrafen wordt het volgende besproken: de huidige situatie in de landbouw, de interactie met het energiesysteem, de mogelijke transitieroutes naar een klimaatneutrale landbouw en de keuzes en beleidsmaatregelen die nodig zijn om de transitieroutes te realiseren.

4.1. Huidige situatie

Beschrijving van de relevante deelsectoren binnen de landbouw

Binnen de landbouw maken we voor deze notitie onderscheid tussen de glastuinbouw en de overige landbouwsectoren. Onder glastuinbouw verstaan we het beschermd telen waarbij men gebruikmaakt van een kas. Hierdoor is men in staat om gewassen (groenten en sierteelt) te telen die anders niet (gedurende het hele jaar) in Nederland kunnen worden geteeld. Onder de overige landbouwsectoren verstaan we de veehouderij en de akkerbouw. Grotendeels komt ongeveer 90% van het energiegebruik binnen de landbouw voor rekening van de glastuinbouw en 10% van overige landbouwsectoren.¹³³ Binnen de landbouw worden ook verschillende vormen van (duurzame) energie opgewekt. Denk aan aardwarmte in de glastuinbouw en wind- en zonne-energie in de overige landbouwsectoren.

Glastuinbouw

Het gematigde klimaat in Nederland met relatief koele zomers en zachte winters is gunstig voor de teelt van glastuinbouwproducten. De Nederlandse glastuinbouw kenmerkte zich de laatste decennia door een relatief hoge fysieke productie en waarde, maar ook door hoge kosten per m² kas. De grootste delen van het glastuinbouwareaal van ongeveer 10.000 hectare bevinden zich in Zuid-Holland (met name Westland en Oostland), Noord-Holland (West-Friesland, Noord-Holland Noord en Aalsmeer), Noord-Brabant (verspreid over de

provincie inclusief relatief veel solitaire bedrijven) en Limburg (noord). De glastuinbouwsector kenmerkt zich door een grote diversiteit aan bedrijven, met onder meer verschillende gewassen, teeltmethoden en schema's, energiebehoefte en omvang. Energievraag vanuit de glastuinbouw is in belangrijke mate seizoensafhankelijk. De vraag naar warmte is in de winter groter.

Momenteel wordt in de glastuinbouw met name aardgas gebruikt als brandstof voor warmtekrachtkoppelinginstallaties (wkk's) en ketels om kassen te verwarmen. De wkk wordt ook gebruikt om elektriciteit op te wekken. De CO₂ die daarbij vrijkomt, wordt gebruikt als meststof in de kassen. De belangrijkste transitie-opgaven in de glastuinbouw zijn die van de overstap op duurzame alternatieven voor aardgas (duurzame warmte, inkoop hernieuwbare elektriciteit en CO₂) en energiebesparing. Een deel van de elektriciteit die nu met de wkk's wordt opgewekt, wordt aan het elektriciteitsnet geleverd¹³⁴. Dit draagt in de praktijk vaak bij aan de stabilisatie van het elektriciteitsnet.

Overige landbouwsectoren

In de landbouw (de veehouderij en de akkerbouw) wordt er energie verbruikt voor de verwarming en het koelen van stallen en voor het telen, bewaren en drogen van de gewassen in de akkerbouw. Die energie wordt momenteel verbruikt in de vorm van elektriciteit, aardgas en diesel. Het energieverbruik is relatief beperkt ten opzichte van de glastuinbouw. Naar verwachting zal de toekomstige energievraag in de landbouw stabiel blijven dankzij een toename aan automatisering en verdere energie-efficiëntie in de huidige bedrijfsvoering. De visserij valt qua uitstoot onder de categorie mobiliteit in de Klimaat en Energieverkenning van PBL. De uitstoot van de visserij is te herleiden naar het gebruik van fossiele brandstoffen. Het verbruik van stook- en smeerolie was in 2021 in de grote zeevisserij 37 miljoen liter. In de kottervisserij (kustvaart en binnenvaart) werd er 139 miljoen liter gasolie verbruikt.¹³⁵ Landbouwvoer- en werktuigen draaien momenteel op fossiele brandstoffen (diesel). In de toekomst zou dat bijvoorbeeld kunnen op (groene) waterstof en

¹³³ KEV 2022.

¹³⁴ In 2020: 6,1 TWh (22 PJ), netto elektriciteit (verkoop – inkoop): 2,8 TWh (10 PJ). Energiemonitor Glastuinbouw 2020, Wageningen Economic Research.

¹³⁵ Energiegebruik en -kosten – Kottervisserij, Agrimatie, WUR, 2022

elektriciteit. Deze deelsector valt qua uitstoot grotendeels onder mobiliteit/zware werkvoertuigen.

Huidig eindverbruik in de deelsectoren

Glastuinbouw

In 2021 werd door de glastuinbouw 6,6 TWh (10,3 PJ) aan elektriciteit verbruikt en 116,2 PJ aan aardgas. Daarnaast werd 6,6 PJ aan warmte gebruikt uit geothermie of restwarmte en 2 PJ aan biobrandstoffen. Met de 116 PJ aardgas werd in 2021 door de inzet van WKK's 37,4 PJ aan elektriciteit geproduceerd. Daarvan werd 24 PJ geleverd aan het net en 13,4 PJ werd door de sector zelf verbruikt. Tegelijkertijd werd met deze inzet van aardgas in wkk-installaties 60PJ aan warmte geproduceerd die in de glastuinbouw is ingezet.

In 2021 werd 14 PJ duurzame energie toegepast, waarbij restwarmte niet is meegeteld. Het gebruik van duurzame energie is hiermee in de laatste vijf jaar meer dan verdubbeld. De Nederlandse glastuinbouw paste in 2021 zes vormen van duurzame energie toe. Aardwarmte (31%) en inkoop van duurzame warmte van derden (waaronder aardwarmte en biobrandstoffen) (38%) waren de voornaamste. Andere bronnen waren biobrandstof (17%), inkoop duurzame elektriciteit (7%), herwinning van zonnepwarmte (6%) en inkoop duurzaam gas (<1%). Van de gebruikte elektriciteit werd in 2021 2,86 TWh ingekocht, waarvan 0,26 TWh groen.¹³⁶

Tabel 7. Energieverbruik glastuinbouw in 2021 in PJ per energiedrager

Energiedrager	Energieverbruik in 2021[PJ]
Elektriciteit	10
Aardgas	116
Warmte (uit externe bron)	12
Bio	2
Verkoop elektriciteit	-24
Totaal eindverbruik	117

In 2021 is 0,7 Mton CO₂ aangeleverd bij glastuinbouwbedrijven. Dit is exclusief de CO₂ die gebruikt wordt nadat het is opgewekt met een wkk op het eigen bedrijf. Het CO₂-gebruik ligt

¹³⁶ Energiemonitor glastuinbouw 2021, WEER, 2022.

duis hoger dan de 0,7 Mton in 2020. Hoeveel hoger is niet exact bekend. In een klimaatneutrale situatie is naar schatting 2,5 Mton CO₂ nodig. Dit zal voornamelijk extern worden ingekocht, al zal een klein deel lokaal met biograndstoffen worden geproduceerd.¹³⁷ De huidige inzet van CO₂ voor bemesting ligt vrijwel zeker hoger. Dat komt doordat de prijsprikkel van het gebruik van CO₂ die vrijkomt uit een aardgasgestookte wkk die hoofdzakelijk wordt aangezet op het moment dat warmte en elektriciteit kan worden gebruikt er niet of beperkt is.

Overige Landbouwsectoren

Tabel 8. Energieverbruik overige landbouw in 2020 in PJ per energiedrager

Energie Agrosectoren 2020	Energieverbruik in 2020 [PJ]					Totaal
	Elektriciteit (netto)	Aardgas	Warmte	Brandstof	Overig	
Veehouderij	4,6	2,3	0,0	7,2	0,9	15,0
Akkerbouw	1,8	2,0	0,0	5,3	0,4	9,3
Combinatiebedrijven	0,2	0,4	0,0	1,0	0,1	1,7
Totaal (exclusief glastuinbouw)	6,6	4,7	0,0	13,5	1,4	26,1

Het finaal energiegebruik in de (overige) landbouw is tussen 1990 en 2020 met 10% gedaald van 29 naar 26 PJ. In de sectoren buiten de glastuinbouw is het gebruik van energie en de ontwikkeling hierin verschillend

- In de veehouderij wordt er energie verbruikt voor het verwarmen, verkoelen, schoonhouden en verlichten van stallen en voor het 'wassen' van de lucht. Daarnaast wordt er ook motorbrandstof (circa 60% van het totale energiegebruik) verbruikt voor voederen, voederwinning en (gras)landverzorging. Het elektriciteitsverbruik is de afgelopen 15 jaar iets toegenomen, ondanks een toename in eigen opgewekte elektriciteit en energiebesparende maatregelen. Dit is waarschijnlijk te verklaren door een toegenomen mechanisering, zoals melkrobots.

¹³⁷ CO₂-behoefte glastuinbouw 2030, WEER, 2019.

- In de akkerbouw en open teelten bestaat het energiegebruik voor ruim de helft uit motorbrandstoffen (onder andere grondbewerking, oogst, beregening). Het elektriciteits- en gasverbruik dragen elk bijna voor 25% bij. Het elektriciteitsverbruik (vooral voor het drogen en bewaren van producten) is afgelopen 15 jaar behoorlijk stabiel. Bij de open teelten neemt in de aankomende jaren het energiegebruik naar verwachting iets toe. Dit komt vooral door een hoger dieselgebruik, mogelijk als gevolg van mechanisering en zwaardere machines.
- In de bloembollensector wordt er energie verbruikt voor het telen, drogen, verwerken, bewaren en plantgoedbehandeling (heetstoken, warmwaterbehandeling ter bestrijding van ziekten en plagen) van de bolgewassen. Bij de broeierij vragen de preparatie, de beworteling, de teelthandelingen, de kasperiode en de verwerking van de bloemen energie. In totaal gaat het hier om ongeveer 1 PJ.

Interactie energiesysteem, energieverbruik en energieproductie door de sector Glastuinbouw

De energievraag van de glastuinbouw bestond in 2021 voor bijna 80% van het totale energiegebruik uit warmte en voor ruim 20% uit elektriciteit. In de afgelopen jaren is een gestage groei te zien van het percentage warmte.¹³⁸ De glastuinbouwsector kenmerkt zich door een grote diversiteit aan bedrijven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen intensieve en extensieve teelten, wat te maken heeft met de verschillen tussen de geteelde gewassen. Deze verschillen uiten zich ook in de gerelateerde energiebehoefte van de verschillende teelten. Zo verschillen de benodigde temperaturen in de kassen en de hoeveelheid benodigde belichting. Dat heeft ook weer gevolgen voor de geschiktheid van energiebronnen en interactie met het elektriciteitsnet (vraag en aanbod). Ook de schaalgrote van een bedrijf en de clustering van bedrijven heeft invloed op de mogelijkheden om over te stappen op duurzame energiebronnen. Zo zijn grotere bedrijven en clusters beter in staat om aardwarmte rendabel te benutten. Clustering biedt mogelijkheden voor warmtenetten, waarbij verbindingen binnen een cluster met industrie of gebouwde omgeving ook mogelijkheden bieden.

¹³⁸ *Energiemonitor glastuinbouw 2021, WECR, 2022.*

¹³⁹ <https://www.rabobank.nl/kennis/do11327000-tuinbouwproductie-2023-lager-door-hoge-energiekosten>.

Warmte

De glastuinbouw kan al nuttig gebruik maken van warmte die wordt geleverd op relatief lage temperaturen (40–60 °C). De vraag naar warmte is op voorhand moeilijk exact te voorspellen, omdat deze afhankelijk is van de buitentemperatuur. Tomaten worden bijvoorbeeld het hele jaar door geproduceerd, maar de productie ligt in de zomer wel twee tot drie keer hoger dan in de winter.¹³⁹

Voor de warmtevoorziening worden in de sector momenteel vooral wkk's en gasketels gebruikt met aardgas als brandstof. Met wkk's worden warmte, elektriciteit en CO₂ opgewekt. De elektriciteit wordt door tuinders gebruikt, maar ook wel geleverd aan het net. Daarmee speelt de glastuinbouwsector een belangrijke rol in het opvangen van fluctuaties in vraag en aanbod op het elektriciteitsnet. In 2021 hadden glastuinbouwbedrijven naar schatting een opgesteld wkk-vermogen van ongeveer 2.500 MWe.¹⁴⁰ Gasketels worden met name door kleinere/solitaire bedrijven gebruikt als belangrijkste warmtebron. Dit areaal is relatief beperkt. Het gebruik van gasketels staat onder druk door de hoge gasprijzen. Gasketels worden ook gebruikt door grotere bedrijven, als back-up en bij piekbelasting.

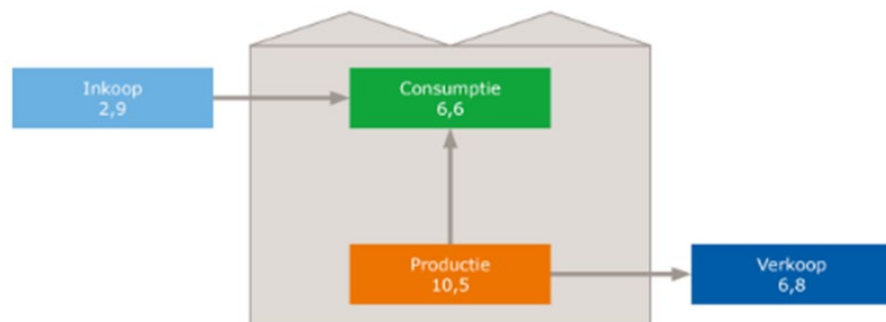
De verduurzaming van de warmtevoorziening is de afgelopen jaren in opkomst door technologische ontwikkelingen, de wil van bedrijven in de sector om te verduurzamen en stimulering door de overheid. In 2021 steeg het aandeel duurzame energie in het totale energiegebruik naar 11,9%, terwijl dit in 2010 nog 1,9% was. Het totaal aan toegepaste duurzame warmte met als oorsprong aardwarmte bedroeg in 2021 6,3 PJ. Voor biobrandstof was dit 5,8 PJ.¹⁴¹

Elektriciteit

Figuur 26 laat de elektriciteitsbalans zien in de glastuinbouw in 2021. Daaruit is het eindgebruik van de sector af te leiden, net als de inkoop van en verkoop aan het net.

¹⁴⁰ https://blueterra.nl/wp-content/uploads/2021/04/E2001_Rapport_barometer_wkk_voorjaar_2021_web_3.pdf.

¹⁴¹ *Energiemonitor glastuinbouw 2021, WECR, 2022.*



Figuur 26. Elektriziteitsbalans glastuinbouw 2021

Momenteel dragen de wkk's in de glastuinbouw bij aan de flexibiliteit in het elektriciteitssysteem. Ze zijn namelijk relatief eenvoudig aan en uit te schakelen. Deze functie wordt minder richting 2030 en zal gezien de ambitie van de sector in 2040 verdwijnen op basis van aardgasgestookte wkk's. Door het verdwijnen van aardgasgestookte wkk's zal de inkoop van elektriciteit stijgen. Daartegenover staat dat er momenteel wordt geïnvesteerd in e-boilers. Die kunnen snel elektriciteit afnemen en omzetten in warmte (die wordt opgeslagen in warmtebuffers) op momenten dat er een overschot aan elektriciteit is.

CO₂

CO₂ wordt door glastuinbouwbedrijven gebruikt als meststof in de teelt. Momenteel wordt CO₂ verkregen bij gebruik van een wkk. Wanneer de wkk verdwijnt, zal CO₂ voor de teelt alleen nog van externe bronnen verkregen kunnen worden. En op termijn alleen nog van biogene bronnen. Het overgrote deel van de toegevoegde CO₂ komt weer in de atmosfeer terecht. Onderzoek en beleid zijn erop gericht om de toepassing van CO₂ zo veel mogelijk te beperken.

De vraag naar CO₂ voor de teelt is het grootst in het late voorjaar en in de zomer, wanneer de piek van de productie wordt bereikt. Afvang van CO₂ en levering aan de glastuinbouw wordt gestimuleerd via de SDE++. Toepassing van extern geleverde CO₂ is namelijk een randvoorwaarde om bedrijven in staat te stellen hun warmtebron te verduurzamen, waardoor er emissiereductie wordt gerealiseerd.

¹⁴² Op basis van de Agramatie en 'NPE: prognose en potentie hernieuwbare energie opwek landbouw', WUR 2023.

Overige landbouwsectoren¹⁴²

Naar schatting was totaal energieverbruik in de landbouw (exclusief glastuinbouw) in 2020 lager dan de hoeveelheid hernieuwbare energie die door de landbouw werd opgewekt op en rondom het erf. Recente ramingen laten zien dat er nog veel potentie is voor het opwekken van hernieuwbare energie in de landbouw. Volgens deze ramingen werd in 2021 45% van alle gebruikte hernieuwbare energie in 2021 op landbouwgrond (erf) geproduceerd. Op het gebied van energieverbruik is de landbouw in vergelijking tot andere sectoren klein, maar de potentie op het gebied van energie-opwek in de landbouw is groot. De opwek van windenergie kan anderhalf keer zo groot worden en bij de opwek van zonne-energie is er een potentieel tot een factor 6. Bij zonne-energie is daarbij onderzoek naar en stimulering van dubbelfunctie met teelt een groot aandachtspunt. Belangrijke factoren die invloed hebben op deze groei zijn de transportcapaciteit op het net en de, vaak nog beperkte, kennis bij agrarische ondernemers.

4.2. Mogelijke transitieroutes naar een klimaatneutrale sector

Belangrijkste trends en onzekerheden in de vraagontwikkeling

Glasiubouw

Vanuit marktvraag en door internationale concurrentie was in de Nederlandse glasiubouw de afgelopen decennia een proces van intensivering gaande. Het doel was om de relatief hoge fysieke productie en de waarde van de producten per hectare in stand te houden en uit te bouwen. Dit leidde onder andere tot meer gewassen met een grotere energiebehoefte. Ook leidde het tot toenemende productie in de winterperiode met groeilicht en een toename van de energiebehoefte per m² kas.¹⁴³ Tegelijkertijd heeft de sector een voortrekkersrol gespeeld in de uitrol van aardwarmte in Nederland en wordt er steeds meer externe CO₂ ingekocht.

Er zijn ook ontwikkelingen waardoor er juist minder energie-intensief geteeld wordt, bijvoorbeeld door hoge energieprijzen, een verminderde vraag naar energie-intensievere producten, buitenlandse concurrentie of een sterkere vraag naar energie-extensievere gewassen. In deze gevallen daalde het gemiddelde energiegebruik per m² kas. Naast

¹⁴³ WEcR, Energiemonitor van de Nederlandse glasiubouw 2021.

extensivering kan de energievraag per m² kas ook dalen door energiebesparing. Door bijvoorbeeld de inzet van nieuwe kassen en energiebesparende maatregelen. Energiebesparing wordt, naast een streven van bedrijven om te verduurzamen, gedreven door kosten- en risicobeheersing.¹⁴⁴

In de sector is bereidheid om ook de gebruikte energiebronnen te verduurzamen, waardoor het gebruik van duurzame warmtebronnen is toegenomen. De afgelopen jaren hebben echter met name de verschuivingen in de ODE-tarieven (verhoging derde schijf elektriciteit) en een gunstige spark spread prikkels gegeven die juist leiden tot het gebruik van aardgasgestookte wkk-installaties. Daardoor zijn het aardgasgebruik en de emissies toegenomen. In het kabinet is afgesproken dat de vrijstelling op energiebelasting (EB) voor aardgasgebruik door elektriciteitsproductie voor eigen gebruik wordt uit gefaseerd. Dat zal het gebruik van aardgas in de wkk minder aantrekkelijk maken. Maar het is de vraag of glastuinbouwbedrijven voldoende handelingsperspectief en tijd hebben om over te stappen op duurzame energiebronnen. Bij glastuinbouwbedrijven die investeringsruimte hebben, zien we dat ze in reactie op de hoge gasprijzen energiebesparende maatregelen nemen.

Er is echter niet één duurzame energiebron die sectorbreed een oplossing biedt voor alle bedrijven. Per bedrijf zal de situatie verschillen op basis van onder andere omvang, locatie, gewas en teeltmethoden. Ook de mate van clustering met andere glastuinbouwbedrijven, industrie en/of gebouwde omgeving spelen mee in de beoordeling welke duurzame energiebronnen het beste passen. Daarnaast hebben veel bedrijven behoefte aan meerdere duurzame energiebronnen. Die hebben ze nodig om qua energievraag te kunnen voldoen aan zowel hun basis-, midden-, als pieklast en omdat een back-upvoorziening nodig is (mocht bijvoorbeeld een geothermie- of restwarmtebron tijdelijk uitvallen). Lokale en regionale oplossingen kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het realiseren van een toereikend en betrouwbaar energieaanbod die aan de verschillende type lasten kunnen voldoen.

Er zijn verschillende onzekerheden die het tempo van de energietransitie van de glastuinbouw beïnvloeden:

- De snelheid waarmee de energietransitie voortgang boekt: Welke infrastructuur wordt waar aangelegd en per wanneer? Dat heeft ook te maken met vergunningverlening. Kunnen duurzame energieprojecten nog doorgang vinden of loopt het vast op stikstofruimte?
- Het is lastig om te voorspellen hoe de grootte van het glastuinbouwareaal zich precies zal ontwikkelen in Nederland. Richting 2030 wordt in sommige ramingen een afname van het areaal verwacht van 10%.¹⁴⁵ Deze afname is echter nog niet te zien in de cijfers van de afgelopen jaren.¹⁴⁶ Vooralsnog wordt rekening gehouden met scenario's van 9.000 en 10.000 hectare glastuinbouw in 2030, 2040 en 2050. Binnen het hier beschreven transitiepad is uitgegaan van een constant areaal van 10.000 hectare.
- Is de beschikbaarheid van elektriciteit onzeker door netcongestie? Zo ja: waar, wanneer en in welke mate? Wanneer wordt het opgelost?
- Blijven de fiscale prikkels met betrekking tot het gebruik van gas en elektriciteit (zoals de energiebelasting en de inputvrijstelling wkk's voor stroom die geleverd wordt aan het net) als ze nu zijn of worden die nog aangepast?
- Welke (biogene) bronnen zijn tot wanneer beschikbaar om CO₂ te leveren aan de glastuinbouw? In welke mate blijft er sprake van concurrentie met CCS (afvangen en opslaan van CO₂)? CCS kan bedrijfseconomisch aantrekkelijker zijn dan CCU (CO₂ afvangen en omzetten in producten), omdat bedrijven die CO₂ uitstoten met CCS hun uitstoot kunnen verminderen, terwijl dit door CCU niet kan. In het klimaatakkoord is afgesproken om met de sector te verkennen hoe de prikkels op dit vlak voor de individuele bedrijven beter in lijn te brengen zijn met de doelstellingen van de energietransitie.
- Wat gebeurt er met de energieprijzen? En wat doet de overheid daar wel of niet aan om bedrijven die geïnvesteerd hebben in duurzaam energiegebruik (vaak duurzame voorlopers) te helpen door deze fase heen te komen? Dat speelt vooral doordat de duurzame energieprijs of de subsidie is gekoppeld aan de gasprijs.
- In welke mate kan de glastuinbouw (en per wanneer) gebruikmaken van groene waterstof?

¹⁴⁴ WEcR, *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2021*.

¹⁴⁵ KEV 2022.

¹⁴⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2022/06/glastuinbouw-naar-omvangsklasse-2021>.

- Bedrijven verschillen onderling sterk. De onzekerheden die spelen zijn ook vaak lokaal en regionaal bepaald. Kan een bedrijf aansluiten bij een cluster en daardoor toegang krijgen tot duurzame warmte? Zit een bedrijf in de buurt van een bron van externe CO₂? Duidelijk voorbeeld wat betreft regionale onzekerheid is de situatie in Limburg met betrekking tot het gebruik van geothermie.

Overige Landbouwsectoren

Op dit moment wordt er volop discussie gevoerd over de toekomst van de landbouw in Nederland. Aanleiding hiervoor is de stikstofdiscussie, zie ook Kamerbrief Toekomst landbouw.¹⁴⁷ Een toekomstbestendige landbouw heeft een belangrijke plaats en functie in het landelijk gebied, een vitaal platteland, onze economie, onze voedselvoorziening, en boeren kunnen er een goed inkomen mee verdienen. Groot knelpunt dat daarbij moet worden opgelost is het ruimtelijke vraagstuk. Wat voor een landbouw en voedselsysteem willen we in Nederland hebben? Hoeveel ruimte heeft de landbouw straks nog? Binnen welke milieugrenzen moet de landbouw opereren? En welke verdienmodellen zijn er straks voor de boer? De verwachting daarbij is dat er een grote transitie moet plaatsvinden om de sector toekomstbestendig te maken.

Op het gebied van energie zijn er in de landbouw zowel uitdagingen als kansen. De oorlog van Rusland in Oekraïne leidt tot een aanzienlijke verhoging van de brandstof- en energiekosten in de landbouw. Tegelijkertijd wordt daarmee het opwekken van duurzame energie door zonnepanelen, windmolens of vergisters steeds aantrekkelijker en een serieus verdienmodel. Dat is ook terug te zien in de cijfers. Zo is 72% van alle zonneparken in Nederland gebouwd op boerenland.¹⁴⁸ Tegelijkertijd draagt de energietransitie bij aan de druk op de totale hoeveelheid bruikbare grond in Nederland voor landbouw. Zonneparken zijn bijvoorbeeld financieel aantrekkelijk en zorgen ervoor dat beschikbaar landbouwgrond verdwijnt van de pacht- of koopmarkt (als de parken niet multifunctioneel worden ingericht). Daarnaast lijkt het opwekken van hernieuwbare energie wel aantrekkelijk te zijn voor de individuele ondernemer, maar loopt de ondernemer aan tegen beperkt netcapaciteit.

¹⁴⁷ Kamerstuk 30252-77.

¹⁴⁸ NPE: prognose en potentie hernieuwbare energie opwek landbouw', WUR 2023.

Trends en onzekerheden in de sectie overige landbouwsectoren die nog verder worden uitgewerkt:

- Stijgende energiekosten leiden tot meer interesse in eigen energie-opwek.
- Hernieuwbare energieproductie op agrarisch bedrijven loopt aan tegen de beperkingen van de capaciteit van het energienet.
- Netcongestie leidt tot meer interesse (uit de landbouw) in windenergie in plaats van zonne-energie, terwijl zonne-energie laagdrempeliger is voor agrarische ondernemers om toe te passen.
- Grond/land wordt steeds duurder (zowel koop als huur) in verband met het ruimtelijk vraagstuk in Nederland.
- Agrarische ondernemers willen graag hernieuwbare energie verkopen/exploiteren, maar het ontbreekt ze vaak aan kennis. Daardoor zijn ze afhankelijk van het aanbod aan projectontwikkelaars. Brancheverenigingen zoeken naar ondersteuning hiervoor.
- Het energieverbruik zal naar verwachting toenemen door de verduurzaming van de landbouw. Automatisering neemt toe (robotisering en data-gedreven bedrijfsvoering), waardoor het aantal machines en machinebewegingen ook zal toenemen (vaker het veld op om planten te behandelen, omdat er minder bestrijdingsmiddelen en mest worden gebruikt). Daarnaast zal klimaatverandering (met name droogte) er ook toe leiden dat intensievere zorg voor dier en plant nodig is (daardoor weer meer energie-intensieve handelingen, zoals water oppompen en sproeien, verkoeling etc.).
- Weinig kennis en kunde in de landbouw op het gebied van het verminderen van fossiel brandstoffenverbruik, met name met oog op piekvermogen en piekbelasting.
- Weinig tot beperkt beleid (en daardoor beperkt perspectief) op het vervangen van diesel en het ontwikkelen van alternatieven op het gebied van landbouwmachines. Initiatieven gericht op het verduurzamen van landbouwmachines zijn daardoor beperkt of komen niet (of kort) van de grond.
- Onduidelijk welke energiedragers (waterstof, methaan, accu's voor elektriciteit) voor machines en specifieke gebruiksdoeleinden (trekkers/oogstapparatuur) opgang zullen maken. Je investeert in productiemiddelen voor 5 tot 10 jaar bij machines.

- Ondernemers ervaren problemen bij de vergunningverlening als ze willen experimenteren of produceren.
- Gevoel van onzekerheid in de sector (met name in de veehouderij) over het perspectief op langere termijn.

Opties om de vraag te beperken

Glastuinbouw

In de glastuinbouw zijn nog volop mogelijkheden om door middel van energiebesparende maatregelen zowel de vraag per m² naar warmte (bijvoorbeeld door het gebruik van energieschermen) als die naar elektriciteit (bijvoorbeeld door toepassing van LED-belichting) te laten afnemen. Daarnaast kan verdere besparing plaatsvinden door energiebesparende teeltmethoden en strategieën zoals Het Nieuwe Telen (HNT).¹⁴⁹ Binnen HNT zijn nu vooral methoden beschikbaar die leiden tot besparing van basis en middenlast. Naar verwachting zullen er nog innovaties volgen die gericht zijn op energiebesparing in wintermaanden (pieklast). Ook optimalisatie van het gebruik van duurzame energiebronnen en restwarmte kan helpen om het opgestelde vermogen aan bronnen dat nodig is om aan de vraag van de sector te voldoen te beperken.

In het Convenant Energietransitie Glastuinbouw 2022-2030 is bij de afspraken tussen de overheid en de sector een energiebesparingsdoel opgenomen van 20% in 2030 en 30% in 2040 (beiden ten opzichte van het gemiddelde over 2015 tot en met 2017). Daarnaast wordt vanaf 2023 de energiebesparingsplicht uitgebreid naar onder andere de glastuinbouw. Die is hetzelfde als de algemene energiebesparingsplicht die ook al geldt voor andere bedrijven. Op basis van de Europese besparingsdoelen voor 2030 zal in het definitieve NPE een indicatieve energiebesparingsdoelstelling worden opgenomen.

Het opslaan van warmte en kaswarmte terugwinning kunnen een belangrijke rol spelen om te voorzien in de vraag naar warmte buiten de zomer. Door deze technieken neemt de energievraag per saldo niet af, maar wordt het energiesysteem wel beter in balans gebracht. Er zal dan minder vraag zijn tijdens pieken en een hogere vraag wanneer deze vanuit andere sectoren laag is.

¹⁴⁹ <https://www.kasalsenergiebron.nl/besparen/het-nieuwe-telen/>.

Overige landbouwsectoren

Sinds medio 2017 is de lijst met erkende maatregelen voor energiebesparing voor specifieke sectoren van kracht. De toepassing van deze maatregelen is de afgelopen jaren flink gestegen (6). De lijst is vooral nuttig voor bedrijven die verplicht zijn energiebesparingsmaatregelen te nemen met een terugverdientijd van minder dan vijf jaar. Dit zijn bedrijven die meer dan 50.000 kWh per jaar aan elektriciteit of meer dan 25.000 m³ gas per jaar gebruiken. Het is niet bekend welk deel van de bedrijven met de verplichting tot energiebesparende maatregelen voldoet. De implementatie van deze maatregelen is vermeld bij de individuele sectoren in de Voortgangsrapportage uit 2018. Een totaaloverzicht is gegeven in het vierde CLM-rapport Klimaat in beeld.¹⁵⁰ Samengevat is het energiegebruik in de landbouw de laatste dertig jaar, ondanks een toename in mechanisatie en automatisering, met ruim 10% gedaald. Ook zijn er flinke vorderingen gemaakt in het implementeren van energiebesparende maatregelen. Op basis van de Europese besparingsdoelen voor 2030 zal in het definitieve NPE een indicatieve energiebesparingsdoelstelling worden opgenomen.

De belangrijkste energie-oplossingen om in de vraag te voorzien

Glastuinbouw

Warmte

Bij warmte kan onderscheid gemaakt worden tussen basislast, middenlast en pieklast. Basislast wordt het hele jaar door geleverd/gevraagd. Middenlast komt bovenop de basislast buiten de zomer. Middenlast kan ook nog opgesplitst worden in lage middenlast (flanken van de zomer) en hoge middenlast (voor- en najaar). Van pieklast is sprake in de wintermaanden, afhankelijk van de temperatuur en weersomstandigheden (denk aan sneeuwval). De mate waarin bedrijven te maken hebben met basislast, middenlast en pieklast verschilt en is afhankelijk van het type teelt. Daarnaast bepalen ook het type bedrijf, de locatie, de infrastructuur en de markt samen hoe de energiemix van de warmtevoorziening eruit zal zien.

Geothermie zal in de toekomst naar verwachting de belangrijkste duurzame warmtebron voor de glastuinbouw zijn in termen van petajoules. Geothermie zal met name kunnen beantwoorden aan de warmtevraag tijdens basislast en lage middenlast. Het is een bron die

¹⁵⁰ Vierde rapport in de serie Klimaat in beeld, CLM 2020.

het hele jaar door warmte kan leveren. Naast gebruik in de sector zelf biedt dit ook mogelijkheden voor de gebouwde omgeving. Op basis van de opgebouwde ervaringen met geothermie in de glastuinbouw worden de risico's op tegenvallers bij opschaling van opwekken en gebruiken als beperkt ingeschat. Wel is er behoefte aan (een verbetering van) beleidskaders. Hierdoor ontstaat (onder andere met een beleidskader veiligheid) meer duidelijkheid over de omstandigheden waaronder geothermie kan worden opgewekt en de eisen die daarbij gelden.

Het is niet zeker dat geothermie overal kan worden toegepast. Een project in Noord-Limburg is bijvoorbeeld een aantal jaren geleden stilgelegd in verband met onzekerheid over de seismische risico's.¹⁵¹ Ook kunnen bronnen (onder andere met een beleidskader uitkoeling) optimaler worden benut. Het doorzetten van de Regeling risico's dekken voor aardwarmte (RNES Aardwarmte) is een belangrijke afspraak uit het klimaatakkoord. In de SDE++ zijn goede stappen gezet om geothermie beter te kunnen stimuleren. Bijvoorbeeld door middel van de aanpassing van de realisatietermijn en de economische levensduur en de invoering van hekjes.

Andere duurzame warmtebronnen die naar verwachting een belangrijke rol zullen spelen met betrekking tot basislast en lage middenlast zijn warmtepompen in combinatie met een warmte-koudeopslag (wko), restwarmte, biograndstoffen en aquathermie. Subsidie voor laagtemperatuurwarmte uit biograndstoffen kan niet meer worden aangevraagd bij de SDE++. De verwachting is dat daardoor het aandeel van deze energiebron in de warmtevoorziening van de glastuinbouw in tegenstelling tot eerdere prognoses niet meer zal groeien en mogelijk zal afnemen. Daarnaast hebben bedrijven een back-upvoorziening voor warmte nodig die zij kunnen inschakelen wanneer hun gebruikelijke basislastvoorziening uitvalt, bijvoorbeeld als een geothermieput of warmtenet in eigen beheer in onderhoud is.

Voor hoge middenlast en pieklast kunnen deels dezelfde en deels andere duurzame energiebronnen worden gebruikt. De bronnen die geschikt zijn voor de hoge middenlast en pieklast hebben als kenmerk dat ze snel ingezet moeten kunnen worden, in reactie op

dalingen van de buitentemperatuur. Daardoor kan bijvoorbeeld geothermie, die het jaar door een stabiele hoeveelheid warmte levert, niet worden ingezet voor hoge middenlast en pieklast. Bronnen, energiedragers en technologieën die hier wel een belangrijke rol kunnen spelen zijn warmtepompen in combinatie met een warmte-koudeopslag (wko), restwarmte, groen gas, biograndstoffen, groene waterstof¹⁵² en in mindere mate e-boilers. Warmtepompen in combinatie met een wko en restwarmte zijn echter niet voorzien om invulling te geven aan piekbelasting.

Elektriciteit

In een klimaatneutrale glastuinbouw en een CO₂-vrije elektriciteitssector is geen plek voor aardgasgestookte wkk's. Waar de glastuinbouw nu een netto leverancier van stroom is, wordt de sector daarom naar verwachting een netto afnemer. Wellicht dat er nog wel een beperkte hoeveelheid stroom aan het net geleverd wordt door middel van wkk's die draaien op biogas, biograndstoffen en groene waterstof.

Het elektriciteitsverbruik zal veranderen. Er zal bespaard worden op het gebruik van elektriciteit door slimmer belichten (met sensoren wordt de belichting bijvoorbeeld afgestemd op de hoeveelheid zonlicht) en de toepassing van LED-belichting. Aan de andere kant neemt het stroomgebruik toe door met name het groeiende gebruik van warmtepompen, onder meer in volledig elektrische kasconcepten.

Glastuinbouw kan op een andere manier een rol spelen in het balanceren van vraag en aanbod op het elektriciteitsnet. Namelijk door het afnemen van stroom op momenten dat de vraag laag is of het aanbod hoog. Glastuinbouw kan deze elektriciteit gebruiken om warmte op te slaan in buffers. Aan de volumes aan warmte die glastuinbouwbedrijven kunnen opslaan zitten echter wel beperkingen. Ook is het momenteel wel rendabel om warmte voor korte termijn (dagen) op te slaan, maar nog niet voor langere termijn (seizoensopslag).

¹⁵¹ <https://www.sodm.nl/actueel/nieuws/2018/09/06/aardwarmteproject-nabij-venlo-uit-voorzorg-stilgelegd-na-aardbeving>.

¹⁵² Waterstof kan op verschillende manieren een rol spelen voor de glastuinbouw: toepassing door glastuinbouwbedrijven zelf in een wkk, ketel of brandstofcel of door gebruik te maken van de warmte die elders vrijkomt bij de productie en verbranding van waterstof.

CO₂

Doordat bedrijven in een klimaatneutrale glastuinbouw geen gebruik meer maken van aardgasgestookte wkk's zal de CO₂ die zij nodig hebben voor de teelt extern geleverd moeten worden. Deze zal van biogene oorsprong moeten zijn om te voorkomen dat er netto broeikasgasemissies veroorzaakt worden. Ook CO₂ door direct air capture is een mogelijkheid. Daarbij wordt CO₂ rechtstreeks uit de lucht gefilterd. Wel lijken hiervoor de (rendabele) mogelijkheden in ieder geval tot en met 2040 erg beperkt. Er wordt ingezet op onderzoek om het mogelijk te maken dat de toepassing van CO₂ in de teelt zoveel mogelijk beperkt wordt.

Overige landbouwsectoren

- Onderzoek is nodig om verdere energiebesparing met betrekking tot de bedrijfsvoering in de landbouw te realiseren.
- De voornaamste energiebehoefte van overige landbouwsectoren bestaat uit het verbruik van fossiele brandstoffen. De verwachting is dat het verbruik van brandstoffen zal afnemen, maar dat de totale energiebehoefte in de nabije toekomst gelijk zal blijven. Een bepalende factor hierin zal de mogelijkheid zijn om op het eigen erf energie op te wekken. Dat kan door eigen productie van elektriciteit, warmte of groen gas. Bij het terugdringen van het verbruik van fossiele brandstof zijn de belangrijkste oplossingsrichtingen landbouwmachines op elektriciteit, waterstof en bio-brandstoffen.
- Hernieuwbare energieopwekking (zonne-energie, windenergie, biogas en waterstof) op het bedrijf stimuleren met de volgende randvoorwaarden
 - Zonne-energie, dakgebonden installaties
Een eenduidige definitie van meervoudig ruimtegebruik.
Aanpassingen in de Energiewet in het kader van Cable Pooling 2.0, zonnedaken koppelen aan bestaande aansluitingen van windmolens.
 - Windenergie, solitair op boerenerf
Vaststellen van de definitie van een boerderijmolen om als bedrijf minimaal energieneutraal te opereren op basis van gemeten jaarverbruik en zo mogelijk ook stroom voor de lokale omgeving op te wekken. Een landelijk kader biedt steun voor

provincies en lokale overheden om beleid te verruimen. Op basis hiervan is de ashoogte en de rotordiameter te variëren.

- Groengas productie:
Een open en transparant systeem van productie en levering van groen gas waarbij de revenuen evenredig over de diverse schakels verdeeld worden.
Snellere en eenvoudige vergunningverlening.
Wijziging in de bestemmingsplannen om levering aan derden (in het kader van de bijmengplicht) te vergemakkelijken.
Snel doeltreffende regelgeving ontwikkelen voor de inzet van dunne fractie en/of digestaat als groene kunstmestvervanger c.q. mestvergisting in combinatie met ammoniak strippen. Mede als maatregel in het kader van Nationaal Programma Landelijk Gebied en Aanpak Stikstof.

Volume en type energiedragers van de belangrijkste energie-oplossingen

Glastuinbouw

Ramingen van vraag en aanbod naar energie geven een beeld van de mogelijke energiemix in 2030, 2040 en 2050¹⁵³. In Tabel 9 staan per energiedrager voor de jaren 2021, 2030, 2040 en 2050 weergegeven wat het gerealiseerde of het verwachte verbruik in PJ zal zijn.

Tabel 9. Energieverbruik voor de glastuinbouw per energiedrager in PJ voor 2021, 2030, 2040 en 2050, gebaseerd op de ambitie van de glastuinbouw om in 2040 klimaatneutraal te zijn.

Energiedrager (in- en verkoop)	Energie-eindgebruik [PJ]			
	2021	2030	2040	2050
Elektriciteit	10	10	11	11
Aardgas	116	77	0	0
Warmte (water)	12	15	32	32
Bio	2	6	8	8
Waterstof	0	0	1	1
Verkoop elektriciteit	-24	-24	0	0
Totaal eindverbruik	117	100	52	52

¹⁵³ WEcR februari 2023.

Warmtevraag

Het beeld is dat er in 2040 en 2050 een warmtevraag van ongeveer 60 PJ zal zijn. In Tabel 9 bestaat dat uit de warmte die wordt geproduceerd met de ingekochte elektriciteit min het deel dat voor belichting wordt gebruikt, de warmte die wordt ingekocht (geothermie, restwarmte, aquathermie) en de warmte die wordt geproduceerd met biogronstoffen, biogas en waterstof. In 2021 was het warmtegebruik in de sector ongeveer 94 PJ. Die werd voor het grootste deel ingevuld met aardgas. In Tabel 9 bestaat dat uit de warmte die naast elektriciteit wordt geproduceerd uit aardgas met wkk's, de warmte die wordt ingekocht (geothermie, restwarmte) en de warmte die wordt geproduceerd met biogronstoffen en biogas. Richting 2030 en verder neemt de warmtevraag dus af. Ook zal deze meer en meer worden ingevuld met externe warmtebronnen en warmteopwekking met elektriciteit. De belangrijkste warmtebronnen voor de glastuinbouw in 2050 zijn naar verwachting geothermie. Die wordt gevolgd door een combinatie van elektriciteit en restwarmte of kaswarmte waarmee een warmtepomp in staat is om warmte van een hogere temperatuur te genereren en deels op te slaan in een warmte-koudeopslag. Er is een rol voorzien voor groene waterstof om de piekvraag op te vangen, maar in welke mate is nog niet duidelijk. Onderverdeeld per warmtebron ziet het als volgt uit.

Tabel 10. Basis-, midden- en piekvraag per warmtebron in de glastuinbouw in 2050.

Warmtebron	Warmtevraag [PJ]				
	Totaal	Basislast	Middenlast #1	Middenlast #2	Pieklast
Geothermie	20,1	12,3	7,8	0	0
Biogronstoffen	4,8	2	1,3	1	0,5
Aquathermie	1	0	1	0	0
E-boiler	1,1	0	0	0,3	0,8
Warmtepomp & wko	18,2	0	12,1	6,1	0
Groen gas	2,8	0	0	0,8	2
Waterstof	0	0	?	?	?
Restwarmte	12	6	4,5	1,5	0
Totaal	60,0	20,3	26,7	9,7	3,3

Er wordt in de ramingen uitgegaan van een areaal van 10.000 hectare aan glastuinbouw. Een kleiner areaal zal leiden tot een lagere warmtevraag, maar ook het aanbodpotentieel zal dan gedeeltelijk mee dalen. Dat geldt met name voor bronnen als aardwarmte, warmtepomp met wko en aquathermie.

De rol die waterstof kan vervullen voor de warmtevraag in de glastuinbouw is nog onduidelijk. Tot 2035 zal deze in ieder geval zeer beperkt zijn. In 2040 en daarna kan waterstof mogelijk helpen bij het invullen van met name pieklust. In het hoofdstuk over de waterstofketen wordt rekening gehouden met een vraag naar waterstof door de glastuinbouw van 6 PJ in 2040.

Elektriciteit

De raming van het elektriciteitsgebruik in de glastuinbouw bij een klimaatneutrale situatie varieert van 14 TWh (zie Deel B, hoofdstuk 1 Elektriciteitsketen) tot een vraag die ongeveer gelijk blijft aan het gebruik in 2020 (7,5 TWh).¹⁵⁴ Wat betreft de elektriciteitsbehoefte is de verwachting dat de verhouding van de doeleinden waar elektriciteit voor wordt gebruikt zullen verschuiven. In 2020 was het zo dat 6,5 TWh elektriciteit wordt gebruikt voor belichting en 1 TWh voor overige doeleinden.¹⁵⁵ De verwachting is dat de vraag naar elektriciteit voor belichting door de toepassing van LED zal halveren en dat het overige deel juist zal groeien door de toepassing van met name duurzame energiebronnen, warmtepompen en e-boilers.

CO₂

Bij een klimaatneutrale glastuinbouw in 2040 is er naar schatting een behoefte aan 2,5 Mton aan extern geleverde CO₂.¹⁵⁶ Om op schema te liggen in het bereiken van dat doel is in het klimaatakkoord een doel gesteld van 2,0 Mton aan extern geleverde CO₂ in 2030. Op die manier is er in 2030 minder behoefte aan de productie van CO₂ met wkk-installaties.

Overige landbouwsectoren

De inzet van energiedragers voor de overige landbouwsectoren is nog onzeker. Een aantal zaken spelen hierbij:

¹⁵⁴ Energiemonitor glastuinbouw 2020, WEER, 2021.

¹⁵⁵ Memo Werkgroep Bronnen en CO₂ tbv Convenant glastuinbouw.

¹⁵⁶ Prognoses CO₂-emissie glastuinbouw 2030, Wageningen Economic Research, 2018.

- Er is verder onderzoek nodig voor een degelijke inschatting van volume en type energiedragers die passend zijn bij de mix van dragers. Dat is nodig om zodoende zicht te geven op 2040 en verder.
- Het is niet duidelijk welke energiedragers (waterstof, methaan, accu's voor elektriciteit) voor machines en specifieke gebruikdoeleinden (trekkers/oogstapparatuur) opgang zullen maken. Je investeert in productiemiddelen voor 5 tot 10 jaar bij machines.
- De benodigde machines zijn zeer kapitaalsintensief en het is een grote uitdaging om de schone energie in het werkveld (op locatie) te krijgen.
- Het is de vraag in hoeverre ontwikkelingen van start-ups ook opgepakt door de internationaal georiënteerde agro-machine-industrie die met name is gevestigd in Duitsland, Frankrijk en de Verenigde Staten.
- Er is gebrek aan toegang tot ontwikkelings- en implementatiesubsidies voor kleinschalige familiebedrijven. Dit betekent dat de sector te weinig (gebruiks)ervaring opdoet.
- Ondernemers ervaren problemen bij de vergunningverlening als ze willen experimenteren of produceren.
- Zoals hierboven al genoemd, is er dringend aandacht nodig voor de netcapaciteit (zowel levering als afname).
- Er heerst een gevoel van onzekerheid in de sector (met name veehouderij) over het perspectief op langere termijn (denk daarbij aan de discussie over stikstof/biodiversiteit/waterkwaliteit).

Infrastructuurontwikkeling, flexibiliteitsopties en technologie-ontwikkeling

Glastuinbouw

Infrastructuur

Voor glastuinbouw is een aantal infrastructurele ontwikkelingen van belang, zoals de ontwikkeling van warmtenetwerken. Hier zijn kansen om netwerken te koppelen met gebouwde omgeving en industrie. In het geval van de gebouwde omgeving zijn er mogelijkheden om bijvoorbeeld gedeelde warmtenetten aan te leggen. Een potentieel grote synergiekans zit in het cascaderen van collectieve warmte. Wanneer de glastuinbouw gebruik kan maken van de retourwarmte uit de gebouwde omgeving neemt de ΔT ¹⁵⁷, en

daarmee de capaciteit van het warmtenet, significant toe. Wanneer cascadering de retourtemperatuur verlaagt kan ook de aanvoertemperatuur naar beneden, waardoor een breder scala aan duurzame warmtebronnen effectief kan worden ingezet. Het gaat bij warmte-infrastructuur om zowel ontwikkelingen op regionaal niveau (bijvoorbeeld Warmte Systeem Westland) als op lokaal niveau (bijvoorbeeld koppeling geothermie of restwarmte tussen een glastuinbouwcluster en woonwijk of industriecluster).

Restwarmte van de industrie, datacenters of mogelijk op termijn waterstof-productie kan onder andere benut worden in de glastuinbouw, door middel van lokale (rest)warmtenetwerken. Daarnaast is infrastructuur voor de directe toepassing van waterstof van belang voor glastuinbouwbedrijven. Want waterstof is een van de relevante warmtebronnen voor piekbelasting. De ontwikkeling van pijpleidingen (gasvormig) voor levering van externe CO₂ en infrastructuur om CO₂ via de weg (vloeibaar) te kunnen leveren is ook van belang. Door middel van (het aanleggen van) lokale CO₂-netwerken kan CO₂ per gas worden aangevoerd en gedistribueerd via het lokale netwerk. Daarbij is ook de capaciteit nodig om vloeibare CO₂ om te vormen naar gas. Dit zou wellicht een optie kunnen zijn voor bedrijven binnen grotere glastuinbouwclusters (bijvoorbeeld Westland, Oostland, Noord-Holland Noord, Noord-Limburg, etc.). Per situatie zal uit een kosten-batenanalyse moeten blijken wat het beste past.

Ook de capaciteit van elektriciteitsnetten speelt voor de glastuinbouw een belangrijke rol om de elektrificatie van de sector mogelijk te kunnen maken.

Opslag en flexibiliteit

Ook na 2030 zullen er nog enige tijd fossiel gestookte wkk's worden gebruikt in de glastuinbouw, al zal de totale capaciteit afnemen. Levering van stroom aan het net door de glastuinbouw zal verminderen. Dat komt doordat het aantal wkk-draaiuren omlaag zal gaan en doordat het naar verwachting minder aantrekkelijk wordt om stroom te leveren dat is opgewekt via gasgebruik. Tegelijkertijd is de vraag actueel of stroomlevering in Nederland in 2030 voldoende stabiel en flexibel zal zijn. Voor 2030 speelt dit al en richting 2040 verdwijnt de functie van de wkk's (op basis van fossiel) uit de glastuinbouw.

¹⁵⁷ De aanduiding ΔT (delta T) betekent het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur van een warmtenet. Hoe groter de ΔT , hoe groter het vermogen (de transportcapaciteit) die het net kan leveren.

Vanwege de ambitie van de sector om in 2040 klimaatneutraal te zijn, kunnen er in 2040 geen fossiel gestookte wkk's meer worden gebruikt in de glastuinbouw. Regelbaar vermogen van wkk's zoals dat er nu is, neemt dus af en verdwijnt uiteindelijk. Mogelijk zijn wkk's op waterstof een optie, maar tot 2035 zal waterstof zeer beperkt gebruikt kunnen worden door de glastuinbouw en in welke mate het gebruik daarna zal groeien is nu nog onduidelijk. Dit moet ook bekeken worden vanuit een breder perspectief (prioriteiten inzet groene waterstof en beschikbare hoeveelheid) en aan de hand daarvan eventueel worden gestimuleerd. Vanuit de glastuinbouw hangt dit perspectief ook af van de beschikbaarheid en aantrekkelijkheid van andere duurzame warmtebronnen in relatie tot onzekerheid over de beschikbaarheid en prijs van waterstof. Het is nog de vraag of wkk's gestookt met biogas na 2040 een optie zijn, omdat de door methaanslip veroorzaakte biomethaanemissie meetelt als broeikasemissie.

Warmte-koudeopslag wordt al toegepast in de glastuinbouw. Dit zal naar verwachting groeien, om in combinatie met duurzame warmtebronnen te fungeren als seizoensopslag voor warmte. Warmtebuffers voor kortere perioden (dag- en nachtritme of enkele dagen) zijn ook al aanwezig in de glastuinbouw. Uitbreiding van dergelijke buffers kan helpen om pieken en dalen in warmte en elektriciteitsnetten op te vangen. Temperatuurintegratie in de teelt kan hieraan ook bijdragen. Dat wil zeggen dat tuinders binnen een bepaalde marge kunnen variëren in de temperatuur die gehanteerd wordt tijdens de teelt van gewassen.

E-boilers kunnen in de glastuinbouw net als in de industrie, bijdragen aan warmteopslag en flexibiliteit in de gebruiksafname van elektriciteit. De rol van e-boilers is naar verwachting wel beperkt: 0,75 PJ van de in totaal 60 PJ benodigde warmte. Een e-boiler kan een glastuinbouwbedrijf niet voorzien van het grootste deel van zijn warmte en kan een wkk niet vervangen. E-boilers zullen met name worden ingezet om een piekvraag naar warmte, of een piek aanbod in elektriciteit op te vangen. Bij de genoemde mogelijkheden is vaak een kans om die beter te benutten wanneer er een koppeling is met de gebouwde omgeving. Glastuinbouw en gebouwde omgeving hebben verschillende momenten waarop het warmte- en elektriciteitsgebruik piekt en daalt. Bij aansluiting op een warmtenet waarbij er een koppeling is tussen glastuinbouw en gebouwde omgeving wordt zodoende de flexibiliteit verhoogd.

Administratieve verevening CO₂

Het helpt de energietransitie in de glastuinbouw wanneer met betrekking tot CO₂-levering er administratieve verevening kan plaatsvinden tussen CCS en CCU. Op die manier kan levering aan zowel de glastuinbouw als CCS optimaal worden ingericht en wordt de transitie binnen beide domeinen niet vertraagd. Hiertoe is een oplossing in ontwikkeling waarbij door middel van een administratieve verrekening op jaarbasis uitsluitend biogene CO₂ aan de glastuinbouw wordt geleverd en fossiele CO₂ voor CCS. Hierdoor kan de beschikbaarheid van CO₂ beter worden afgestemd op vraag en aanbod per seizoen.

Overige landbouwsectoren

In de transitie van de landbouw, de akkerbouw en de veehouderij, ligt de focus op het terugdringen van het effect op milieu, water en broeikasgassen. Energieverbruik in de landbouw draagt daar maar heel beperkt aan bij en daarmee lijkt de energietransitie op het eerste oog minder van belang. Tegelijkertijd zijn er veel mogelijke meekoppelkansen als het gaat om de energietransitie. Ook zal er naar verwachting verdere robotisering plaatsvinden in de landbouw. Verder onderzoek is nodig om de meekoppelkansen in kaart te brengen en om te bezien wat eventuele robotisering kan gaan betekenen voor de energievraag in de landbouw. Als het gaat om benodigde infrastructuurontwikkeling, flexibiliteitsopties en technologieontwikkeling is het volgende van belang:

- Uitbreiding netcapaciteit voor verdere elektrificatie energievraag.
- Ontwikkelen van mogelijkheden voor de inzet van flexibele en decentrale opslag van energie (inclusief warmte-koudeopslag).
- Verhogen van de gelijktijdigheid 'achter de meter'. Onder andere door toepassingen van ijsbankkoelers in de melkveehouderij, power to gas waarbij elektrische energie wordt omgezet in chemische energie in de vorm van gas (bijvoorbeeld in de pluimveehouderij), elektrisch verwarmen, ammoniak stripping en elektrificatie van het machinepark.
- Landbouwbedrijven kunnen mogelijk bijdragen aan flexibiliteit van het elektriciteitsnet en in de warmtevraag. Stimuleren van flexibel vermogen, koelcapaciteit en buffering van warmte-koudeopslag naast batterijopslag.
- Verdere energie-innovatie van de sector biedt kansen voor de sector en het energiesysteem. De landbouwsector kan bijvoorbeeld potentieel een rol gaan spelen in de opwek van decentrale waterstof. Dit zou deels door de sector zelf gebruikt kunnen worden, bijvoorbeeld voor landbouwvoertuigen of warmtebehoefte, maar ook door

andere gebruikers. Onderzoek is nodig om te bezien wat het productiepotentieel is en welke rol onder andere deze waterstof kan spelen in energiehubs.

4.3. Weging van opties en oplossingen

Glastuinbouw

De belangrijkste uitgangspunten bij de warmtevoorziening van de glastuinbouw zijn ten eerste energiebesparing en ten tweede waar mogelijk het stimuleren van decentrale opwek van warmte. Met dit uitgangspunt zal de voorziening van warmte aan de glastuinbouw zo beperkt mogelijk ten koste gaan van de warmtevoorziening aan andere sectoren. Er zijn bovendien versterkingskansen: warmtenetten met gebouwde omgeving, businesscase industrie vanwege levering restwarmte. Voor glastuinbouwbedrijven is het wel van belang dat de warmtebron past bij de bedrijfsvoering.

Weging van opties om de ontwikkeling van de vraag te beperken

Energiebesparing is zowel op het gebied van warmte en elektriciteit als bij de toepassing van CO₂ voor de teelt een van de randvoorwaarden om te komen tot een klimaatneutrale glastuinbouwsector in 2040. In het Convenant Energietransitie Glastuinbouw is voor 2040 een energiebesparingsdoel opgenomen van 30% (ten opzichte van het gemiddelde in de periode 2015-2017). Glastuinbouwbedrijven kunnen verschillende energiebesparende maatregelen nemen, zoals ledbelichting en het beter isoleren van kassen door middel van energieschermen. Daarnaast vindt er onderzoek plaats naar nieuwe energie-innovaties. Subsidiereregelingen zijn gericht op de uitrol van deze innovaties.

Extensieve bedrijven kunnen een groter deel van het jaar volstaan met alleen basislast dan meer intensieve bedrijven. Zij leggen ook een veel kleiner beslag op schaarse duurzame energiebronnen (zoals waterstof, biomassa en biogas), die worden gebruikt bij hoge middenlast en pieklast. Door dit type bedrijven te ondersteunen bij de overstap naar duurzame bronnen (bijvoorbeeld in vergunningstrajecten bij de aanleg van warmtenetten) wordt de kans vergroot dat zij de transitie kunnen doormaken. Hierdoor wordt het risico verkleind dat hun areaal door intensieve bedrijven wordt overgenomen als zij stoppen.

Overige landbouw

De weging van opties en oplossingen voor de overige landbouw wordt meegenomen in het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector waar het volgend kabinet stappen in zal moeten zetten.

Weging van energie-oplossingen

Glastuinbouw

Door de diversiteit van de glastuinbouwsector en de verschillen in lokale mogelijkheden is er geen sprake van één preferente transitieroute voor de gehele sector. Verder bepaalt het type teelt tot op zekere hoogte welke warmteoplossingen meer en minder geschikt en nodig zijn. Elk gewas heeft zo zijn eigen temperatuurbehoeften in de kas en ook de teeltcycli verschillen. Naast het type teelt hebben ook temperatuur en weersomstandigheden grote invloed op de warmtevraag. Dit leidt tot het eerder beschreven onderscheid tussen basislast, (lage en hoge) middenlast en pieklast. Bij ieder type last passen bovendien verschillende warmtebronnen.

Vanuit het perspectief van leveringszekerheid en betaalbaarheid bieden geothermie en restwarmte veel voordeel voor de verduurzaming van zowel de sector als het energiesysteem in het algemeen, zeker wanneer dit in collectief verband kan. Voor geothermie geldt dat het een stabiele bron is, die bedrijven goed kan voorzien van hun doorlopende basisbehoefte aan warmte. Een beperking van geothermie is echter dat de bron niet overal in Nederland beschikbaar is en dat het bedrijven niet kan voorzien in hun hoge middenlast en pieklast aan warmtebehoefte. Ditzelfde geldt grotendeels voor restwarmte, waarbij ook de nabijheid en betrouwbaarheid van de bron een belangrijke rol speelt. Daarnaast geldt voor aardwarmte dat er koppelingen mogelijk zijn met de warmtebehoefte in de gebouwde omgeving en dat de industrie kan profiteren van de verwaarding van restwarmte als deze in de glastuinbouw wordt gebruikt. Warmtepompen in combinatie met een wko bieden glastuinbouwbedrijven de mogelijkheid om – bovenop hun basisvoorziening van warmte zoals restwarmte of aardwarmte – opgeslagen warmte, op basis van elektriciteitsvoorziening, te gebruiken buiten de zomerperiode.

Om het beslag van de sector op schaarse energiebronnen (waterstof, biomassa en biogas) te beperken, is het uitgangspunt dat tuinders aan de hand van hun lokale mogelijkheden en het

type bedrijf als primaire energieoplossing kijken naar aard- en restwarmte in collectief verband en naar warmtepompen in combinatie met een wko. Met deze bronnen kan het grootste deel van de basislast en lage middenlast worden voorzien. Ook voor hoge middenlast spelen warmtepompen in combinatie met een wko en restwarmte een rol, maar komen ook de eerder genoemde schaarse energiebronnen en e-boilers in beeld die nodig zijn voor pieklast en als back-upwarmtevoorziening. Deze bronnen bieden ook mogelijkheden voor tuinders die geen toegang hebben tot collectieve warmteoplossingen, al is het zeer de vraag of dit betaalbaar zal zijn.

Overige landbouw

De weging van opties en oplossingen voor de overige landbouw wordt meegenomen in het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector waar het volgend kabinet stappen in zal moeten zetten.

Prioriteiten bij het beperken van vraag en het ontwikkelen van energieoplossingen

Glastuinbouw

Ieder bedrijf kan zelf maatregelen nemen om de vraag naar energie in een klimaatneutrale glastuinbouw zo veel mogelijk te beperken. Voor verduurzaming hebben glastuinbouwbedrijven wel gelijktijdig toegang nodig tot duurzame warmte, elektriciteit en externe CO₂, als vervanging van de faciliteiten die nu worden geboden door een aardgasgestookte wkk. Bij duurzame energievoorzieningen zijn ook leveringszekerheid en back-upvoorzieningen een vereiste.

Met betrekking tot warmte zijn basislast en lage middenlast in termen van PJ samen goed voor bijna 80% van de totale energievraag van de glastuinbouw. Deze vraag kan in een klimaatneutrale glastuinbouw met name door aardwarmte, restwarmte en warmtepompen in combinatie met wko worden ingevuld. Waterstof, biogas en biomassa zijn dan in veel mindere mate nodig, maar spelen wel een cruciale rol in de energiemix om ervoor te zorgen dat aardwarmte, restwarmte en warmtepompen kunnen worden toegepast en kunnen renderen.

Optimalisatie van het gebruik van het opgestelde vermogen van duurzame warmtebronnen stelt meer bedrijven in staat om te verduurzamen. Ook beperkt dit het benodigde opgestelde vermogen aan duurzame warmtebronnen. Hiervoor zijn netwerken nodig die zijn aangesloten op meerdere bronnen. Aangesloten bedrijven zijn hierdoor ook minder kwetsbaar voor uitval. Dit betekent ook dat er een kleiner risico is dat bedrijven gebruik moeten maken van back-upvoorzieningen die draaien op schaarse energiebronnen. Optimaal gebruik van warmte in netwerken draagt ook bij aan betere businesscase.

Voor een optimaal gebruik van opgestelde warmtebronnen is clustering van bedrijven van belang. Een cluster kan bestaan uit glastuinbouwbedrijven, maar er kan ook sprake zijn van een cluster met industrie en/of gebouwde omgeving. Het ligt daarom voor de hand om clustering van bedrijven/arealen te stimuleren. Bedrijvigheid leent zich het beste in gebieden waar duurzame opties voorhanden zijn, maar ook andere factoren wegen mee. Denk aan bedrijfseconomische factoren in relatie tot ligging, waterbeschikbaarheid, etc). Voor elektrische oplossingen, met name warmtepompen en daarnaast e-boilers, is het voor de sector van belang dat aanbod en infrastructuur op orde zijn. Hoewel er in de sector vraag is naar elektriciteit kan ze ook een rol spelen in het in balans brengen van pieken en dalen van die vraag, door middel van de opslag van warmte voor later gebruik.

Duidelijkheid over de hierboven genoemde onderwerpen draagt bij aan voldoende zekerheid voor ondernemers dat duurzame bronnen beschikbaar zullen zijn, zodat ze investeren in verduurzaming en uiteindelijk in klimaatneutraal telen. Dit perspectief (in combinatie met de logistieke positie van Nederland en de ligging ten opzichte van belangrijke exportmarkten) speelt een belangrijke rol in het aanjagen van private investeringen in duurzame energiebronnen.

Overige landbouw

De prioriteiten bij het beperken van de vraag en het ontwikkelen van energieoplossingen voor de overige landbouw wordt meegenomen in het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector waar het volgend kabinet stappen in zal moeten zetten.

Huidige beleidsdoelen en beleidsinzet voor de transitie naar klimaatneutraal

Relevante beleidsdoelen

De Landbouw streeft een indicatief restemissiedoel na van 17,9 Mton CO₂-equivalenten in 2030¹⁵⁸. Belangrijk aanvullend beleid om dit restemissiedoel te halen is de gecombineerde stikstofaanpak, oftewel de gebiedsgerichte aanpak (NPLG). Deze aanpak wordt op dit moment opgesteld in samenwerking met de provincies.

Glastuinbouw

De glastuinbouw heeft de ambitie om zowel klimaatneutraal als economisch rendabel te zijn in 2040¹⁵⁹. Het restemissiedoel voor 2030 van 4,3 Mton CO₂-equivalenten is bepaald om hierop te koersen¹⁶⁰. Dit betekent een extra reductie van 1,0 Mton ten opzichte van de afspraken uit het coalitieakkoord. In de brieven aan de Tweede Kamer over een samenhangend pakket voor de energietransitie van de glastuinbouw (22 april 2022) en de voorjaarsbesluitvorming over aanvullende klimaatmaatregelen (26 april 2023) wordt de kabinetsinzet voor de energietransitie van de glastuinbouw nader toegelicht.

Overige landbouwsectoren

De beleidsdoelen voor de overige landbouw wordt meegenomen in het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector waar het volgend kabinet stappen in zal moeten zetten.

Bij bestaande beleidsdoelen gaat het onder meer om:

- Veehouderij en akkerbouw:
 - In het coalitieakkoord is de reductieopgave voor de klimaatopgave vertaald naar 5 Mton CO₂-equivalenten in 2030. Er is geen specifieke opgave voor energiegebruik in stallen.
- Landbouwvoertuigen en werktuigen zijn onderdeel van mobiele werkvoertuigen. Er is geen specifiek emissiereductiedoel opgenomen in het Klimaataakkoord voor de subcategorie landbouwvoertuigen. Uiterlijk in het tweede kwartaal van 2023 wil het ministerie van LNV in samenspraak met de sectoren (en in overleg met het ministerie van lenW) een actieplan landbouwvoertuigen presenteren. Dit actieplan moet de

verduurzaming – denk aan waterstof en elektrificatie van landbouwvoertuigen versnellen.

Beleidsinzet voor het halen van de 2030-doelen

Glastuinbouw

Kern van de aanpak om de klimaatdoelen voor de glastuinbouw te bereiken, is het afbouwen van de afhankelijkheid van fossiele energiebronnen door energiebesparing en de inzet van duurzame alternatieven en alternatieve (bij voorkeur biogene) CO₂-voorziening. Om deze ambitie waar te maken, moet er in 2030 ongeveer 20% besparing, 30 PJ aan duurzame alternatieven en minimaal 2 Mton aan alternatieve CO₂-voorziening gerealiseerd worden¹⁶¹. Hierbij gelden verschillende uitgangspunten, waaronder de voortzetting van de publiek-private aanpak. Onderdeel hiervan is ten eerste een balans tussen stimulering, beprijzing en normering, ten tweede borging van de klimaatdoelen, ten derde voldoende handelings- en economisch perspectief voor ondernemers en ten slotte consistentie en voorspelbaarheid van beleid.

Met de sector is afgesproken dat er een individueel CO₂-systeem met vlakke heffing wordt ingevoerd. Daarmee wordt uitstoot beprijsd, waardoor individuele bedrijven worden gestimuleerd om energiezuinig te produceren. Ook wordt de beweging naar een klimaatneutrale productie geborgd. Het streven is om de hoogte van de heffing, en daarmee de prijs voor broeikasgasuitstoot, langjarig en vooraf duidelijk te maken, zodat de tuinder deze kan betrekken in de investeringsbeslissing. Dit systeem treedt per 1 januari 2025 in werking.

In het coalitieakkoord is afgesproken om het verlaagde aardgasstarief in de energiebelasting voor de glastuinbouw per 1 januari 2025 af te schaffen. Daarnaast wordt de inputvrijstelling voor gasgestookte wkk's beperkt. Voor deze fiscale maatregelen geldt dat ze per 2030 volledig zijn ingegroeid én dat het kabinet in augustus 2023 op basis van een nog te verschijnen impactanalyse eventueel besluit tot een ingroeipad met substantiële stappen vanaf 2025. De inputvrijstelling voor gasgestookte wkk's wordt beperkt tot het deel van de

¹⁵⁸ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/04/26/voorjaarsbesluitvorming-klimaat>

¹⁵⁹ <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2b15b6c2504f87dofcd6bf3e80bcfb94c7455830/pdf>

¹⁶⁰ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/04/26/voorjaarsbesluitvorming-klimaat>

¹⁶¹ [Convenant Energietransitie Glastuinbouw 2022-2030](#).

elektriciteitsproductie dat aan het net wordt geleverd. De exacte uitwerking van de maatregel loopt nog als onderdeel van het Belastingplan 2024.

De kosten voor glastuinbouwondernemers die gas gebruiken voor de verwarming van hun kas en elektriciteitsproductie nemen fors toe. De energiebesparingsplicht wordt medio 2023 uitgebreid en gaat dan ook voor de glastuinbouw gelden. Per 2027 wordt de terugverdientijd verhoogd van 5 naar 7 jaar.

Het innovatieprogramma Kas als Energiebron (KaE) stimuleert energiebesparing en het gebruik van duurzame energie in de glastuinbouw. De subsidieregelingen Marktintroductie Energie Innovaties glastuinbouw (MEI) en Energie-efficiëntie Glastuinbouw (EG) zijn onderdeel van KaE en worden jaarlijks opengesteld voor aanvragen. De MEI-subsidieregeling richt zich op investeringen in innovatieve energiesystemen en innovatieve kassen met een marktpenetratie van minder dan 5%. De ingediende subsidieaanvragen worden beoordeeld op hun bijdrage aan de ontwikkeling van een klimaatneutrale glastuinbouw. De EG-subsidieregeling verstrekt tot maximaal 25% subsidie voor nieuwe, energie-efficiënte apparatuur, installaties of machines. Beide regelingen worden ook de komende jaren opengesteld. Daarnaast zijn voor beide subsidieregelingen middelen toegekend uit het Klimaatfonds.

De infrastructuur voor warmte, externe CO₂, waterstof en elektriciteit is een randvoorwaarde voor het behalen van de beoogde klimaatdoelen in de glastuinbouw. Vooral het realiseren van warmte-infrastructuur is een knelpunt. Daarom is er een nieuw warmte-instrument voor glastuinbouw ontwikkeld, dat een investeringssubsidie verleent voor onderdelen van de warmte-infrastructuur die buiten andere subsidiekaders vallen. Denk aan netten met een ruimere dimensionering van het distributienet of om technische koppelingen tussen warmtenetten/warmtebronnen en resterende transportleidingen. Doel van het nieuwe subsidie-instrument is het realiseren van de indicatieve restemissiedoelstelling voor 2030, uit het convenant Energietransitie Glastuinbouw 2022-2030, en de daarvoor benodigde infrastructuur voor 14 PJ warmtelevering in 2030. Voor dit instrument loopt een aanvraag voor financiering uit het Klimaatfonds.

Het Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (MIEK) bevat afspraken over projecten die van nationaal belang zijn voor het nationale energiesysteem. De verschillende regionale industriële clusters hebben de ambitie om stappen te zetten in het (her)gebruik van industriële warmte in de glastuinbouw. In het BO MIEK is daarom besloten warmteprojecten niet op te nemen in het eerste MIEK. Wel is er bij de infrastructuur voor CCS aandacht voor het benutten van meekoppelkansen, zoals de levering van CO₂ aan de glastuinbouw.

Naast specifieke instrumenten voor de glastuinbouw worden er ook generieke stimuleringsregelingen ingezet, waaronder de SDE++, de Energie-investeringsaftrek (EIA) en de MIA/VAMIL, waarbinnen de 'Groen Label Kas' is opgenomen.

Overige landbouwsectoren

De restemissiedoelen voor de landbouw in 2030 worden bereikt met de uitvoering van het Klimaatakkoord (2019), de maatregelen uit het coalitieakkoord en het aanvullende klimaatpakket met maatregelen waarover in het voorjaar van 2023 is besloten. Het beleid bestaat onder meer uit technische en managementmaatregelen uit het Klimaatakkoord, en uit de gecombineerde aanpak van stikstof, klimaat, natuur en water in het landelijk gebied (via het NPLG) dat op dit moment verder wordt uitgewerkt. Daarnaast worden de landbouwsectoren in hun transitie ondersteund met het nieuwe Transitiefonds en het Klimaatfonds. Het Transitiefonds wordt ingezet voor de gecombineerde aanpak in het landelijk gebied. Het Klimaatfonds speelt een belangrijke rol bij de energietransitie binnen de landbouw en dan met name bij de glastuinbouw. Denk aan het verbeteren van de energie-infrastructuur, het omschakelen naar duurzame brandstoffen, energiebesparing en het stimuleren van hernieuwbare energieopwekking (inclusief waterstof).

Een eerste belangrijk aandachtspunt voor de landbouw en het landgebruik is de voorzetting van de afspraken uit het Klimaatakkoord. Een ander aandachtspunt is het op poten zetten van synergie tussen de sectoren op het gebied van de energietransitie en de transitie naar een circulaire economie. Daarnaast dragen de huidige investeringen ook al bij aan realisatie van het doel van een klimaatneutraal Nederland in 2050.

4.4. Sturing op het transitiepad

Glastuinbouw

Het uitgangspunt voor de glastuinbouw is dat duurzame warmte, elektriciteit en externe CO₂ gelijktijdig beschikbaar moeten zijn, zodat bedrijven de overstap kunnen maken naar duurzame energievoorziening. Duurzame energiebronnen moeten naast beschikbaar ook bedrijfseconomisch rendabel en aantrekkelijker zijn dan het gebruik van aardgas. Onder de huidige marktomstandigheden is dit niet het geval. Mede daarom is het van belang om technische en bedrijfseconomische modellen voor de toepassing van duurzame energiebronnen door te ontwikkelen. Het gaat daarbij niet alleen om onderzoek en innovatie, maar ook om steeds bredere commerciële toepassing. Dit geldt zowel voor de toepassing van duurzame energiebronnen en energiebesparing, maar ook voor het energiesysteem in zijn geheel: hoe kan de glastuinbouw een optimale rol spelen binnen het nieuwe energiesysteem door het benutten van elektriciteit als vraag laag is en/of het aanbod hoog en door middel van de opslag van warmte?

Ondernemers zijn gebaat bij duidelijkheid. Niet alleen vanwege hun perspectief als ondernemer, maar ook voor het aanjagen van investeringen. Dit geldt voor normerende maatregelen, beprijzende maatregelen, subsidiemaatregelen en randvoorwaarden. Maar bijvoorbeeld ook voor de realisatie van (warmte) infrastructuur. Hierdoor kunnen (meer) bedrijven decentrale opwek in een cluster gebruiken en wordt de gerealiseerde duurzame warmtecapaciteit optimaal benut. Daarnaast moet elektrificatie mogelijk zijn binnen de capaciteit van het net.

Vervolgens moeten ondernemers de tijd hebben om de transitie van hun bedrijf in gang te zetten en af te ronden. Deze trajecten kosten, bijvoorbeeld vanwege vergunningverlening, veel tijd. Bedrijven willen zeker verduurzamen (zoals blijkt uit de ambitie van de sector om in 2040 CO₂-neutraal te zijn), ook omdat er richting 2040 geen plek meer is voor aardgas. Tegelijkertijd zijn ze al vijf à tien jaar bezig om gezamenlijke voorzieningen – zoals een warmtenet – van de grond te krijgen. Wel kunnen ze nu sneller energiebesparende maatregelen nemen; de sector is ook bereid om hierin te investeren. Daarnaast zorgen gedragsverandering en andere teeltmethoden ook voor veel energiebesparing. Wel ervaren

bedrijven het aanpassen van hun teeltmethode nog als een risico; kennisdeling kan die aardeling wegnemen.

De klimaatplannen van het kabinet van april 2023 bevatten een restemissiedoel voor de glastuinbouw van 4,3 Mton in 2030.¹⁶² Het Convenant Energietransitie Glastuinbouw 2022-2030 bevat aanvullende doelen. Het gaat en eerste om een besparing van fossiele warmte en fossiele elektriciteit van ongeveer 20% in 2030 ten opzichte van het gemiddelde over 2015 tot en met 2017. Het tweede doel is de realisatie van ongeveer 30 PJ aan duurzame energiealternatieven. De doelen zijn zo bepaald dat de sector – als de doelen worden gehaald – op schema ligt om de ambitie ‘klimaatneutraal in 2040’ te verwezenlijken.

Het convenant bevat ook de ambitie voor een klimaatneutrale en rendabel producerende glastuinbouwsector in 2040. De hieruit voortvloeiende doelen zijn:

- In 2040 is de restemissie 0 Mton. Er is in de sector dan geen ruimte voor CO₂-emissies, methaanslip, het gebruik van aardgas, etc.
- Alle CO₂ die de sector voor de teelt gebruikt, moet extern worden geleverd.
- Het overgrote deel van de sector zal voor pieklast alleen elektra afnemen, enkele uitzonderingen daargelaten van wkk's op waterstof, biomassa en biogas. Dit heeft gevolgen voor de netcapaciteitsdoelstelling voor 2040.
- Het convenant bevat al een energiebesparingsdoel bij een klimaatneutrale glastuinbouw: ongeveer 30% ten opzichte van het gemiddelde over 2015 tot en met 2017.

De doelen en instrumenten uit het convenant zijn op elkaar afgestemd. Vooralsnog wordt ervan uit gegaan dat de instrumenten en maatregelen toereikend zijn om de doelen te bereiken.

Overige landbouw

De sturing op het transitiepad voor de overige landbouw wordt meegenomen in het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector waar het volgend kabinet stappen in zal moeten zetten.

¹⁶² Kamerbrief klimaatplannen, april 2023

Inzet beleidsinstrumenten

Glastuinbouw

In 2023 wordt de energiebesparingsplicht voor de glastuinbouw ingevoerd. Het innovatierogramma KaE zet onder meer in op energiebesparing door middel van onderzoek, het stimuleren van Het Nieuwe Telen (HNT) en het stimuleren van de toepassing van energiebesparende technieken via de MEI- en EG-regelingen.

Daarnaast is er een nieuw warmte-instrument voor glastuinbouw ontwikkeld, dat een investeringssubsidie verleent voor onderdelen van de warmte-infrastructuur die buiten andere subsidiekaders vallen. Deze regeling richt zich vooral op de ontwikkeling van warmtenetten die klaar zijn voor de in de toekomst voorziene warmtevraag.

De SDE++ stimuleert de exploitatie van verschillende duurzame technieken, die van belang zijn voor de energietransitie van de glastuinbouw, zoals aardwarmte, warmtepompen en CCU.

Overige landbouw

De inzet van beleidsinstrumenten voor de overige landbouw wordt meegenomen in het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector waar het volgend kabinet stappen in zal moeten zetten.

4.5. Uitvoering geven aan het transitiepad

Glastuinbouw

Op dit moment speelt de glastuinbouw een belangrijke rol in de balancerings van het elektriciteitsnet door op afroep elektriciteit op te wekken of te verbruiken (om te zetten). De huidige maatregelen maken het voor tuinders onaantrekkelijk om aardgas te verbruiken. Hierdoor neemt met name de flexibele productiecapaciteit af. Dit betekent dat er keuzes moeten worden gemaakt of en zo ja hoe deze flexibiliteit in de toekomst kan worden ingevuld. Dit is met name een keuze die de elektriciteitssector moet maken. Benodigde keuze: wanneer is het energiesysteem fossielvrij? Keuzemoment: bij voorkeur 10 jaar van tevoren, gezien de levensduur van wkk's van 10+ jaar.

De glastuinbouw kan een belangrijke rol spelen in het bufferen van warmte. De sector kan de eigen vraag verminderen of warmtebuffers delen als er een piekvraag naar warmte is van bijvoorbeeld de gebouwde omgeving. Dit gaat vooral op voor pieken in de dag- of

weekvraag, al behoort ook seizoenbuffering tot de mogelijkheden. Dit vraagt wel om koppeling van warmtenetten en om een marktmechanisme. Hiervoor is niet een bepaald keuzemoment mogelijk. Daarnaast moeten de keuzes op lokaal niveau worden gemaakt, omdat warmte niet over een langere afstand te transporteren is.

Benodigde (lokale) keuze: kan de warmte-infrastructuur en het marktmechanisme van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw worden gekoppeld en zo ja, hoe? Keuzemoment: Bij de aanleg van warmte-infrastructuur.

De keuze moet worden gemaakt of de rijksoverheid een rol wil en kan nemen in het faciliteren en stimuleren van het verplaatsen van tuinbouwbedrijven naar gunstigere locaties qua warmtevoorziening, alsmede het moderniseren of stoppen of van bedrijven. Het stimuleren van clustering van tuinbouwbedrijven op locaties waar warmtebronnen beschikbaar zijn, kan een oplossing zijn voor bedrijven die nu in een gebied zitten waar geothermie of restwarmte niet mogelijk is. Daarnaast leidt clustering van bedrijven op deze locaties ook tot een betere businesscase voor de warmte-infrastructuur. Gezien de benodigde snelheid van de energietransitie en de maatregelen die op de sector afkomen, lijkt het belangrijk om hier binnen een jaar uitsluitel over te geven.

Benodigde keuze: Neemt de overheid een rol in de relocatie van bedrijven? Keuzemoment: Bij voorkeur binnen 1 jaar.

Welke rol gaat de overheid spelen in de waterstofmarkt? Gaat de overheid sturen, zodat er ook waterstof beschikbaar komt voor specifieke sectoren of wordt dit (volledig) overgelaten aan de markt? Significante beschikbaarheid van waterstof voor toepassing in de glastuinbouw wordt in ieder geval voor 2035 niet verwacht. Voor investeringsbeslissingen zou het nuttig zijn als deze vraag zo'n 10 jaar eerder wordt beantwoord. Het NPE kan hier te zijner tijd wellicht duidelijkheid over verschaffen. Benodigde keuze: Neemt de overheid een rol bij de inrichting van de waterstofmarkt? Keuzemoment: Bij voorkeur binnen 2 jaar.

Gezien de ambitie van de glastuinbouwsector om in 2040 klimaatneutraal te zijn, moet met name de warmte-infrastructuur in tuinbouwgebieden de komende jaren worden ontwikkeld. De eerste projecten zijn gestart, maar de komende jaren is een versnelling nodig. Dit is een doorlopend proces tot 2040.

Daarnaast moet het elektriciteitsnet genoeg capaciteit hebben om de elektrificatie van de warmtevoorziening voor de hogere middenlast en pieklast aan te kunnen. Met name voor

de bedrijven die nu geen wkk hebben, is een verzwaring van de aansluiting en meer netcapaciteit een voorwaarde voor verduurzaming. Gezien de afschaffing van het verlaagde tarief van de energiebelasting voor de glastuinbouw zullen met name extensieve bedrijven de komende jaren investeren in elektrificatie. Om hierin te voorzien, moet de komende 5 jaar netverzwaring plaatsvinden.

Waterstofinfrastructuur is voor glastuinbouwbedrijven van belang, omdat dit vooral voor pieklast een relevante warmtebron is. Op dit moment ontwikkelt de tuinbouwsector hier de eerste plannen voor. De benodigde infrastructuur moet rond 2035 operationeel zijn.

Ook voor de levering van CO₂ via pijpleidingen (gasvormig, regionale en lokale netwerken) en per as (vloeibaar) moet infrastructuur worden ontwikkeld. Daarbij is ook capaciteit nodig om vloeibare CO₂ om te vormen tot gas. Dit is met name interessant voor grotere clusters van bedrijven. Per situatie moet uit een kosten/batenanalyse blijken wat het beste past.

Binnen de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) wordt onderzocht of het huidige en voorgenomen beleid ervoor zorgt dat de sector zijn doelen en ambities op het gebied van het verminderen van de CO₂-uitstoot haalt. Op basis van deze cijfers wordt gekeken of aanvullende maatregelen of instrumenten nodig zijn om het transitiepad bij te stellen.

Voor de glastuinbouw voert WECKR ieder jaar een onderzoek uit naar het energieverbruik in de Glastuinbouw. Op basis van deze Energiemonitor monitort het ministerie van LNV de voortgang van de energietransitie in de glastuinbouw en kan het transitiepad indien nodig worden bijgesteld.

Daarnaast wordt er voor het individueel CO₂-sectorsysteem (in ontwikkeling) gezocht naar mogelijkheden om het energieverbruik op bedrijfsniveau te monitoren. Hiermee wordt het mogelijk om de CO₂-emissie van de glastuinbouw op bedrijfsniveau te monitoren.

Overige landbouw

De uitvoering van de sturing op het transitiepad voor de overige landbouw wordt meegenomen in het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector waar het volgend kabinet stappen in zal moeten zetten.