



Nationaal plan energiesysteem

CONCEPT



Ambtelijk werkdocument C - Transitiepaden gebruikssectoren

Inhoudsopgave

Werkdocument C - Transitiepaden gebruikssectoren	2	4. Transitiepad landbouw	84
Inleiding en leeswijzer	2	4.1. Huidige situatie	84
1. Transitiepad gebouwde omgeving	3	4.2. Mogelijke transitieroutes naar een klimaatneutrale sector	87
1.1. Afbakening sector gebouwde omgeving	3	4.3. Weging van opties en oplossingen	96
1.2. Huidige situatie	4	4.4. Sturing op het transitiepad	99
1.3. Mogelijke transitieroutes naar een klimaatneutrale sector	7	4.5. Uitvoering geven aan het transitiepad	101
1.4. Belangrijkste energie-oplossingen om in de vraag te voorzien	9		
1.5. Ontwikkelrichtingen en vraagstukken richting 2050	16		
1.6. Vraagstukken voor de sector gebouwde omgeving	18		
1.7. Robuuste ontwikkelrichtingen	19		
2. Transitiepad mobiliteit	23		
2.1. Huidige situatie	23		
2.2. Voorsorteren op toekomstbestendige mobiliteit	28		
2.3. Conclusies transitiepad mobiliteit	46		
2.4. Uitvoeringsagenda verduurzamen	46		
3. Transitiepad industrie	52		
3.1. Huidige situatie	53		
3.2. Trends en verduurzamingsmogelijkheden industrie	56		
3.3. Bandbreedtes vraagontwikkeling bij verduurzaming industrie	61		
3.4. Benodigdheden en onzekerheden voor verduurzaming industrie	67		
3.5. Transitieroutes	74		
3.6. Sturing	75		
3.7. Uitvoering	76		

Inleiding en leeswijzer

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

Het hoofddocument en de vier werkdocumenten vormen samen het concept-NPE. Op basis van dit concept start het kabinet een dialoogfase. Dit werkdocument is daarmee een uitnodiging om mee te denken en gezamenlijk de inhoud verder aan te scherpen en vraagstukken stap voor stap te beantwoorden. In de dialoog gaat het over vragen als:

- Worden de mogelijke eindbeelden voor de vraagsectoren onderschreven en wat zijn daarin de belangrijkste onzekerheden?
- Wat moet als eerste in de beleidsagenda uitgevoerd worden en welke keuzes kunnen later nog worden genomen?

Op basis van de dialoogfase werkt het kabinet de beleidsagenda voor het energiesysteem, inclusief beleid voor sturing op de sectorale transitiepaden, verder uit in het definitieve Nationaal plan energiesysteem.

In dit werkdocument 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 beleidsoogpunt.

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, die in de bijlage beschikbaar zijn voor zover het nieuwe studies betreft.

Disclaimer bij cijferbeelden

Met deze conceptversie van het NPE wil het kabinet de dialoog aangaan met alle belanghebbende partijen. Als aanknopingspunt bij het gesprek is een dergelijke dialoog gebaat bij een beeld dat kwantitatief gevoel geeft van de ontwikkelingen in het energiesysteem die aansluiten bij de ontwerpprincipes en richtinggevende keuzes die het kabinet hanteert. Tegelijkertijd is elk toekomstbeeld inherent onzeker en afhankelijk van tal van aannames. Het kabinet wil met de keuzes in het NPE bovendien vooral sturen op richting in plaats van precieze invulling. De in dit concept-NPE gepresenteerde cijfers zijn dan ook indicatief en hebben tot doel om de richting aan te geven en het gesprek over de hoofdkeuzes de komende maanden gericht te kunnen voeren. 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. In werkdocument B is per energieketen een toelichting gegeven op de herkomst van de verschillende cijfers. De cijferbeelden in dit concept-NPE zijn niet integraal doorgerekend; dit gaat gebeuren richting het definitief NPE.

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

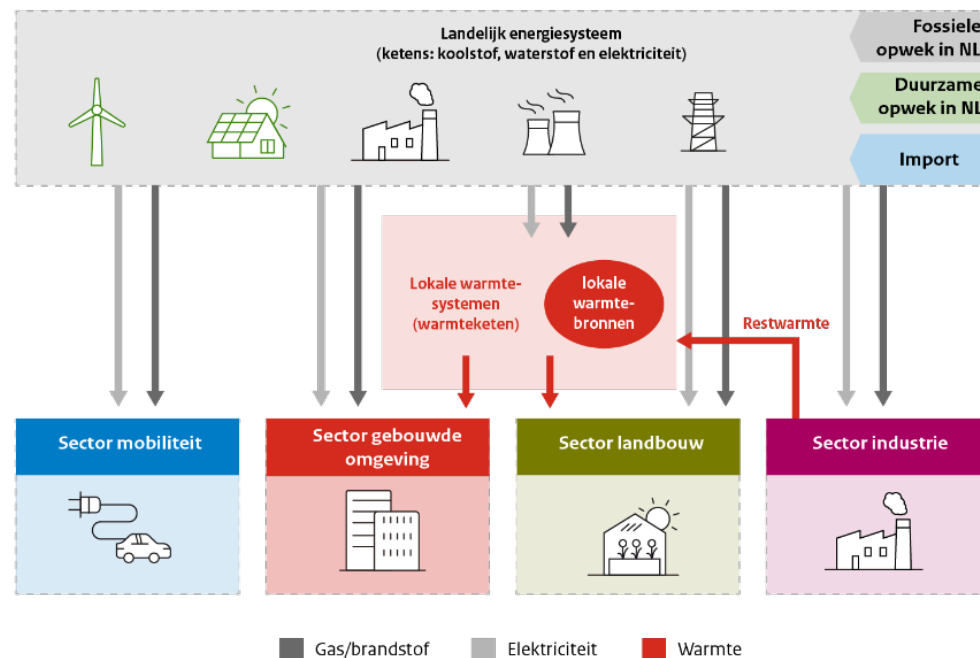
Relatie met andere sectoren en ketens

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 2050¹. 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, met soms overlap. 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.

¹ Voor toelichting op de onderdelen van het energiegebruik in de gebouwde omgeving, zie de bijlage.

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.



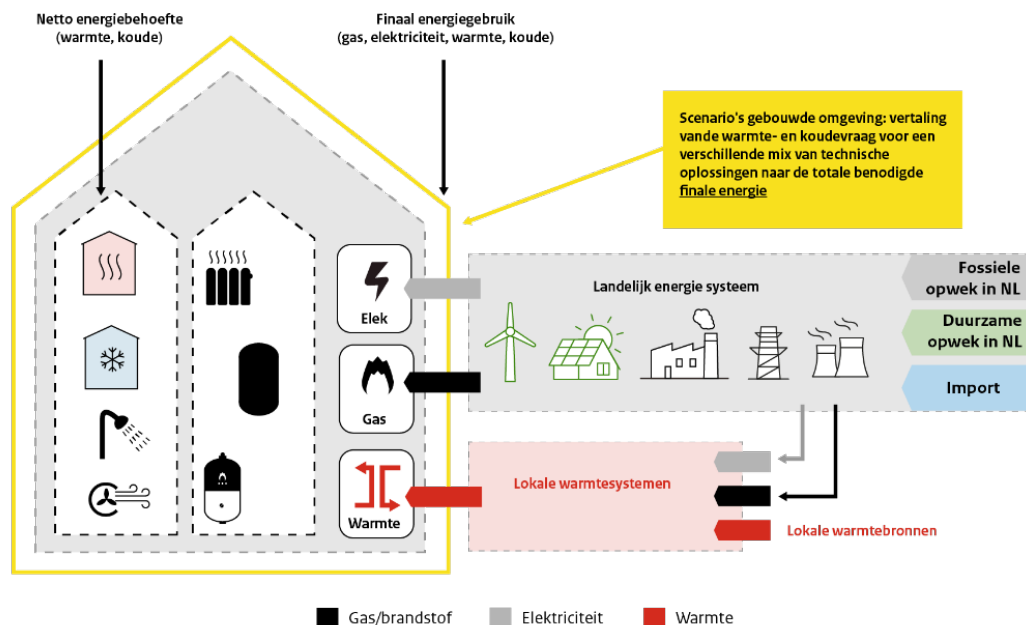
Figuur 1 Schematische weergave van de relatie tussen de sectoren en de energieketens.

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 daarom verschillende scenario's doorgerekend, die leiden tot verschillende benodigde inzet aan bronnen.²

- Voor verwarmen, koelen en ventileren 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.

- Het elektriciteitsgebruik voor verlichting en apparaten anders dan voor verwarmen, koelen en ventileren is ingeschat op basis van de raming van de KEV voor 2025 en 2030. De doelstellingen voor het verminderen van dit elektriciteitsgebruik liggen echter buiten het beleidsgebied van de GO.



Figuur 2. Schematische weergave warmte- en koudevraag.

1.2. Huidige situatie

Beschrijving gebouwvoorraad en relevante sectoren

Sectoren

De gebouwde omgeving maakt onderscheid tussen de volgende sectoren.

- Woningen: koop, corporatie, overige verhuurders.
- 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 U-bouw relevant, vanwege de verschillende gebruiksprofielen (zoals bijvoorbeeld meer koeling bij utiliteitsbouw 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

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 hebben 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.

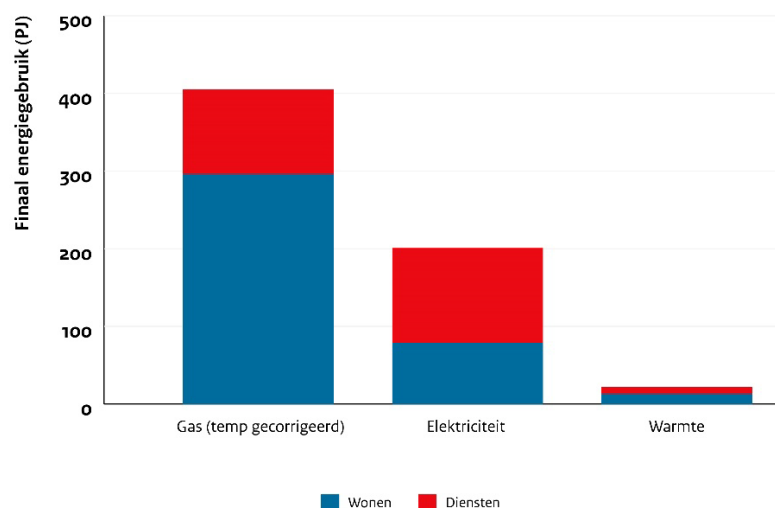
³ CBS, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82900NED/table?fromstatweb>

⁴ Kamerbrief over voorjaarsbesluitvorming Klimaat | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

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

Visualisatie van huidige 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



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 duurzaam gas, als elektriciteit als warmte nodig. Dit betekent dat alle ketens relevant zijn voor de gebouwde omgeving. De afweging tussen welk aardgasvrij alternatief voor verwarmen het meest aantrekkelijk is voor een gebouw of een wijk, hangt dan ook mede af van de prijs van de benodigde energiedrager. Daarnaast spelen de kosten voor de benodigde

aanpassingen (isolatie, aanleg warmtenet en dergelijke) een rol en is het 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.

Met name warmtenetten zijn vaak lokaal, met gebruik van lokale duurzame warmtebronnen. 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 lagetemperatuurwarmtenet (aanvoertemperatuur tussen 35 ° en 55 °) of all-electric-warmtepomp is voldoende isolatie nodig omdat het systeem met lage temperatuur werkt in het afgiftesysteem (<55 ° 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 het woningtype en de isolatiegraad.

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 na de zomer starten. Het gaat onder andere over de volgende maatregelen.⁷

- Introductie van een emissiehandelssysteem voor de gebouwde omgeving vanaf 2027⁸.

⁶ KEV 2022, tabellen 30 en 31

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

⁸ Brief over klimaatpakket van 26 april

- 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 uitfaseren 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.
- In de herziening van de Europese Richtlijn energiebelastingen (ETD) is een voorstel opgenomen dat de belasting op elektriciteit niet hoger mag zijn dan die op aardgas. Het aanpassen van de tariefverhouding kan de overstap van aardgas naar elektriciteit stimuleren.

Zeeknapte beschrijving van de nationale beleidsinzet voor de doelen van 2030

De doelen voor de gebouwde omgeving zijn opgenomen in het beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving⁹ en het beleidsprogramma klimaat en energie (zie ook de bijbehorende lijst met maatregelen die dienen als input voor de KEV). De indicatieve doelstelling vanuit het coalitieakkoord was een restemissie van 10 Mton¹⁰. Om dit te halen zijn de volgende doelen geformuleerd.

- 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 verduurzaamd binnen de wijkaanpak.
- 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.

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:
 - Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW) voor de ondersteuning van gemeenten.
 - Nationaal Isolatieprogramma.
 - Programma hybride warmtepompen.

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 beschreven in de

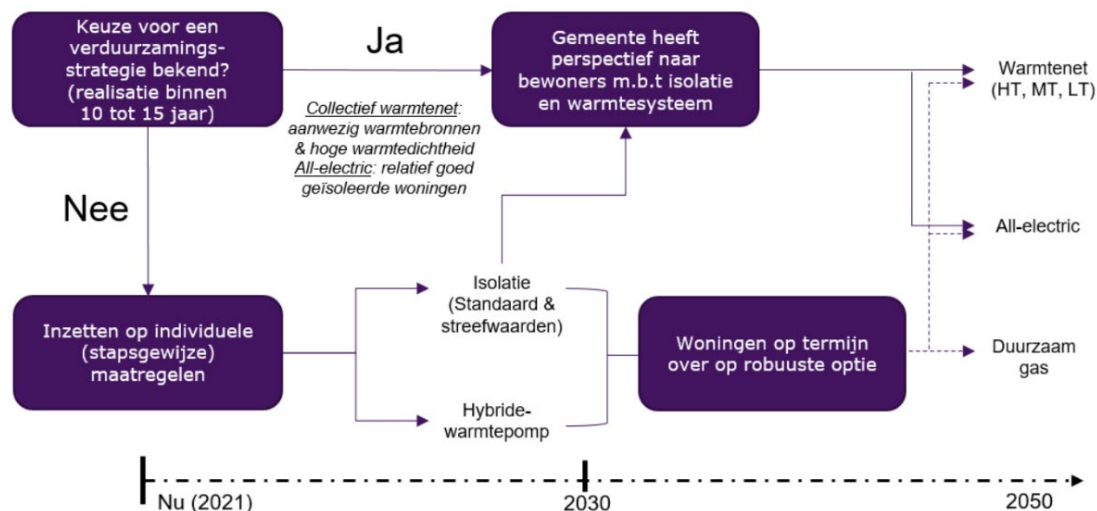
⁹ [Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

¹⁰ [Kamerbrief over uitwerking coalitieakkoord onderdeel Klimaat en Energie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

¹¹ [Kamerbrief standaard voor woningisolatie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

¹² [Voorjaarsbesluitvorming-klimaat.pdf](#)

kamerbrief over de visie op het warmtesysteem¹³, en verder uitgewerkt in het hierboven beschreven Programma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving (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 of met bijvoorbeeld bewonersinitiatieven of lokale energiecoöperaties. Gemeenten hebben in 2022 hun transitievisies warmte vastgesteld. Hierin gaven ze aan welke wijken tot en met 2030 gepland staan, en welke alternatieven voor aardgas potentieel beschikbaar zijn. In deze transitievisies zijn twee soorten aanpak opgenomen: aardgasvrij en aardgasvrij-ready. Gezien de significante opgave die de gebouwde omgeving heeft, is het van belang om ook in wijken waarvoor tot 2030 nog geen robuuste verduurzamingsoptie voorhanden is 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.

Wat isolatie betreft, is in 2021 de Standaard voor woningisolatie vastgesteld. Deze standaard geeft aan wanneer de woning goed genoeg is geïsoleerd om aardgasvrij te kunnen worden¹⁴. De vervanging van een ketel door (ten minste) een hybride warmtepomp is verder beschreven in de kamerbrief over de uitwerking van de normering verwarmingsinstallaties¹⁵.

1.3. Mogelijke transitieroutes naar een klimaatneutrale sector

Belangrijkste trends en onzekerheden binnen de sector

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

- Het aantal 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. De KEV schat voor 2030 in dat er tussen 2022 en 2030 circa 700.000 nieuwbouwwoningen bij zullen komen, waarvan zo'n 500.000 woningen een warmtepomp krijgen, en ongeveer 200.000 een warmtenetaansluiting. De doelstellingen voor nieuwbouw liggen hoger dan 700.000 tot 2030.

Opties om de vraag te beperken

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.

¹³ Kamerbrief visie transitie warmtesysteem | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

¹⁴ Standaard voor woningisolatie | Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl

¹⁵ Kamerbrief over reikwijdte normering verwarmingsinstallaties | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

- 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.
- 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. Uit CBS-metingen blijkt dat in 2022 25% minder energie is gebruikt dan in 2021. Ongeveer 10% punten hiervan wordt veroorzaakt doordat 2022 een warmer jaar was, maar dan blijft er nog circa 15% over door een combinatie van getroffen maatregelen en zuiniger gedrag, met het laatste waarschijnlijk als de grootste reden. De vraag is wel of deze gedragseffecten – in een jaar met zeer hoge energieprijzen – structureel zijn. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) gaat in de KEV 2022 uit van een structureel effect door gedrag tussen 0 en 10%.

Over energiezuinige gebouwen.

- In 2021 is de Standaard voor woningisolatie vastgesteld¹⁶, die de maximale netto warmtevraag van de woning laat zien in kWh/m² per jaar, en daarmee een waarde is 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 kunnen worden verwarmd met temperaturen < 70 ° ('MT-geschikt'), voor naoorlogse woningen zijn dat temperaturen < 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 leidt dus 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 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.

¹⁶ Zie voetnoot 6



Figuur 5. De energiebespaarschijf.

Relatieve besparing versus absolute besparing

Door 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.

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

Hoofdcategorieën

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 / warmtenetten¹⁷.
 - Middentemperatuurwarmtenet (MT) (55-75 °-aanvoer, vaak circa 70 °).
 - Lagetemperatuurwarmtenet (LT) (30-55 °-aanvoer, meestal ongeveer 50 °).
 - Zeerlagetemperatuurwarmtenet (ZLT) of bronnet (<30 °-aanvoer), in combinatie met een individuele warmtepomp.

Korte beschrijving van de hoofdcategorieën:

- Stand-alone (duurzaam) gasketel

De stand-alone gasgestookte ketel is op dit moment de meest gebruikte manier van verwarmen. De optie met een stand-alone (HR)ketel is daarom wel weergegeven in het overzicht, maar zal niet op grote schaal voorkomen vanwege de normering voor efficiënte verwarmingsinstallaties (normering hybride), waardoor gasketels op termijn zullen worden uitgefaseerd.

- Individuele all-electric-warmtepomp met individuele bron

Hierbij wordt per eindgebruiker of per gebouw een elektrische warmtepomp ingezet voor

¹⁷ De indeling in temperatuurniveaus voor warmtenetten is gebaseerd op de vraag of ruimteverwarming en tapwater direct uit het systeem zijn te leveren. Deze indeling wordt in de meeste literatuur [ECW, TKI,] zo

gehanteerd, en staat ook net zo in de WCW. Maar in (internationale) literatuur zijn ook wel eens andere indelingen te vinden.

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. De woning moet dus goed geïsoleerd zijn en een LT-afgiftesysteem hebben. Daarnaast moet in de woning ruimte zijn voor een boilervat 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, hoeft de woning niet zo goed geïsoleerd te zijn als voor de installatie van een volledig elektrische warmtepomp. Ook hier 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 dezelfde eisen als een all-electric-warmtepomp, te weten ruimte voor een warmtepomp met boilervat. Maar het ZLT/bronnet is dus de bron, waardoor geen buitenunit of bodembron meer nodig is, én een hogere COP wordt 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 en de 55 °, meestal circa 50 °. De warmte uit het net is bij een goed geïsoleerde woning/gebouw rechtstreeks te gebruiken voor 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 in de woning voor ruimteverwarming en bereiding van warm tapwater. 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:

- Elektrisch verwarmen kan behalve met een warmtepomp ook met een elektrische boiler, elektrische kachels of bijvoorbeeld infraroodpanelen. Maar omdat deze vormen van elektrisch verwarmen veel elektriciteit vragen per kWh geleverde warmte (rendement maximaal 100%, ofwel COP=1) én daarom volgens het Bouwbesluit voor ruimteverwarming niet als hoofdverwarming mogen worden gebruikt¹⁸. Wel zijn sommige oplossingen als bijverwarming te gebruiken.
- 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; 2) duurzame bronnen leveren meestal geen HT-warmte; 3) HT-warmtenetten zijn niet zo efficiënt, het is beter om de woning te isoleren en op MT te verwarmen om zo meer energie te besparen.

¹⁸ *Bouwbesluit artikel 6.55.*

Subcategorieën

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

- Duurzaam gasketel (stand-alone en/of hybride).
 - 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 subindeling te maken, op basis van de (warmte)bron.

- De indeling van warmtenetten is gebaseerd op de temperatuur van het net, niet de temperatuur van de bron. 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 of wijk 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.

De eigenschappen van een woning of gebouw, de aard van het gebruik en het gedrag van de gebruikers of bewoners bepalen hoeveel capaciteit de warmtevoorziening moet kunnen leveren en wat het jaarlijks energieverbruik is. Goed geïsoleerde of goed te isoleren gebouwen zijn met minder warmte te verwarmen. Hierdoor is lagetemperatuurverwarming,



Figuur 6. Overzicht technische oplossingen voor verwarmen.

zoals een LT-warmtenet of een warmtepomp met een lagetemperatuurwarmte-afgiftesysteem, een mogelijkheid. Moeilijk te isoleren gebouwen hebben hogetemperatuurverwarming nodig ($>70^{\circ}$). Deze gebouwen kunnen aangesloten worden op een midden- of hogetemperatuurwarmtenet of met duurzaam gas worden verwarmd. In slecht te isoleren woningen kunnen doorgaans ook hybride warmtepompen worden gebruikt, waarmee het gasverbruik vergaand is te reduceren.

Bij de Standaard voor woningisolatie is een onderscheid gemaakt tussen vooroorlogse woningen (circa 1,5 miljoen) en naoorlogse woningen (circa 6,5 miljoen). Hierbij geldt dat vooroorlogse woningen in principe met MT-warmte te verwarmen zijn (circa 70° temperatuur in het afgiftesysteem) en naoorlogse woningen met LT-warmte (ca 55°). Bij verdergaande isolatie of aanpassingen aan het afgiftesysteem 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.

Voor warmtenetten is de locatie van een gebouw van belang. Het aanleggen van een warmtenet is alleen rendabel als er een geschikte bron is, en voldoende afname met zo min mogelijk transportverlies. Een warmtenet is vaak vooral een logische oplossing bij grotere clusters (een of meerdere wijken) van relatief dichte bebouwing, in de nabijheid van een warmtebron. Deze dichtbebouwde gebieden hebben vaak veel gestapelde bouw, waar een individuele warmtepomp niet past door een gebrek aan binnen en/of buitenruimte. Maar afhankelijk van de bron kunnen ook kleinere clusters interessant zijn. Voor warmtenetten is het wel een voorwaarde dat er voldoende ruimte in de ondergrond beschikbaar is. Dat kan in dichte stedelijke bebouwing soms lastig zijn. Voor een hogetemperatuurwarmtenet kan de warmtebron bijvoorbeeld industriële restwarmte of geothermie zijn.

Lagetemperatuurwarmtenetten zijn met bijvoorbeeld restwarmte of aquathermie te voeden, of met systemen die gebruik maken van seizoensopslag van duurzaam opgewekte energie. Ook kan via warmtenetten op lagere temperaturen uitwisseling tussen warmte- en koudevraag van gebouwen plaatsvinden.

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.

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. 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 PVGO¹⁹) en bekend en verwacht EU-beleid.
- Isolatie naar de Standaard voor woningen, en gebouwen die tot 2030 aan de Renovatiestandaard gaan voldoen, zijn ook wat isolatie en energie-efficiëntie betreft klaar voor de toekomst (maar niet per definitie aardgasvrij).
- Verwarmingsinstallaties: hybride installatie of beter (all-electric, duurzaam warmtenet) (enkele uitzonderingen).
- Gebruik van duurzame gassen. In 2050 gebruiken alle hybride installaties voor de ketel een duurzaam gas.
- Warmtenetten waar robuust en rendabel.
- Afhankelijk van duidelijkheid over beschikbaar warmtealternatief kiezen voor in één keer aardgasvrij of stapsgewijs verduurzamen.

Rekenmethode en uitgangspunten

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'.²⁰ 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.

Beschrijving van de vier scenario's

Er is een viertal scenario's gemaakt om de mogelijke transitiepaden te verkennen, waarbij is ingezet op realistische scenario's. 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 geldt een minimum beschikbaarheid van circa 2 bcm (billion cubic meters) gas (aardgasequivalenten, wat overeenkomt met circa 60 PJ). Dit is in lijn met het

¹⁹ BZK (2022). *Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving*.

²⁰ <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-eq1ee3fc8ca678f160oad673fcd5249abe59ab36/pdf>

Klimaatakkoord, de Startanalyse en de bijmengdoelstellingen uit het CA 2022²¹. Alleen in scenario 2 is uitgegaan van een grotere beschikbaarheid van duurzaam gas. 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 onbeperkt (zie ontwikkelpad warmteketen). Alleen bij scenario 4 is uitgegaan van een grotere beschikbaarheid van MT-warmte. 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.
- 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 er vanuit dat alle woningen worden geïsoleerd tot de Standaard voor woningisolatie (voor- en naoorlogs, afhankelijk van bouwjaar), 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)
 - Koeling: er zit circa 44 PJ aan koelbehoefte in. Dit kost ongeveer 9 PJ aan elektriciteit. Nader onderzoek moet uitwijzen of dit voldoende koeling betreft of dat de koelbehoefte naar verwachting harder zal stijgen.

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.

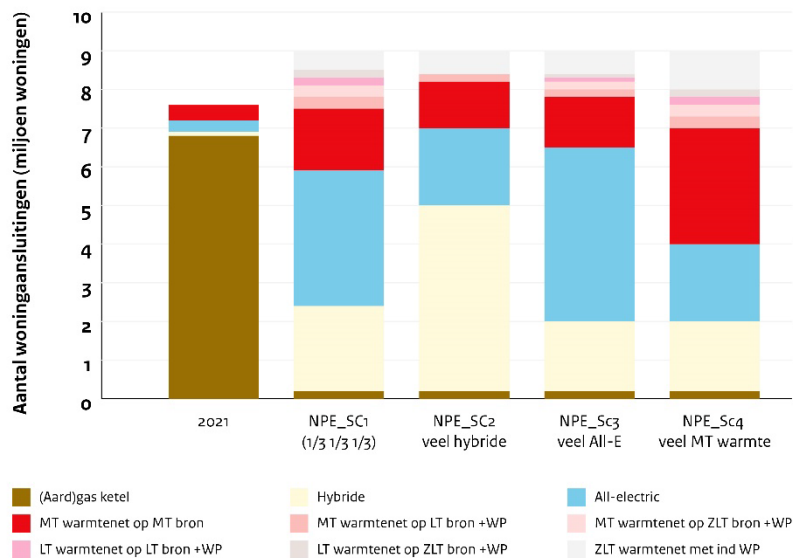
²¹ Kamerbrief over uitwerking coalitieakkoord onderdeel Klimaat en Energie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

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.

- 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 *Werkdocument 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 is voor veel woningen een alternatief op duurzaam gas aantrekkelijk, en zullen minder gemeenten en gebouw eigenaren kiezen voor een warmtenet of warmtepomp.
- 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 gebouw eigenaren 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 2050.²³
 - Het aantal gebouwen met een hybride installatie resulteert in een behoefte aan duurzaam gas van circa 2 bcm aardgas(equivalenten).
- Scenario 4: veel (MT)-warmte
 - 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 warmtenetten op basis van (Z)LT-bronnen zal dus qua behoefte aan energiedragers meer op scenario 3 lijken dan op scenario 4.

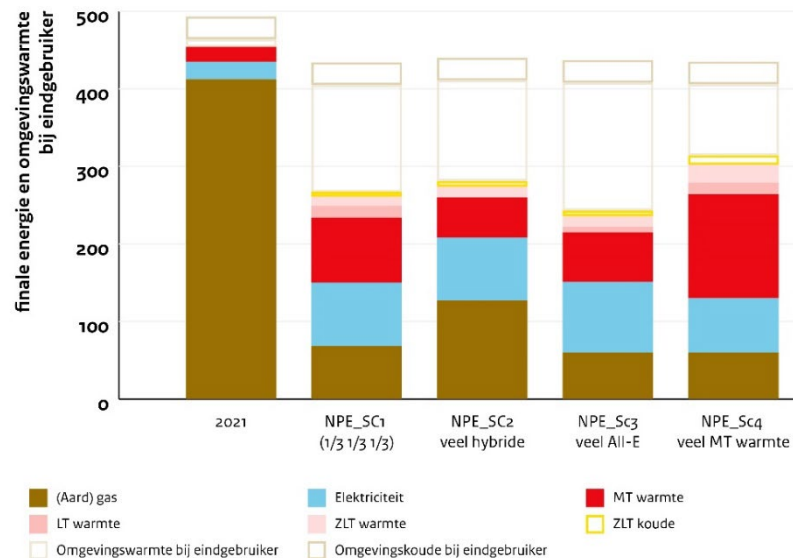
²³ Zie voor verdere toelichting het hoofdstuk over de warmteketen (werkdocument B, hoofdstuk 4).

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



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).

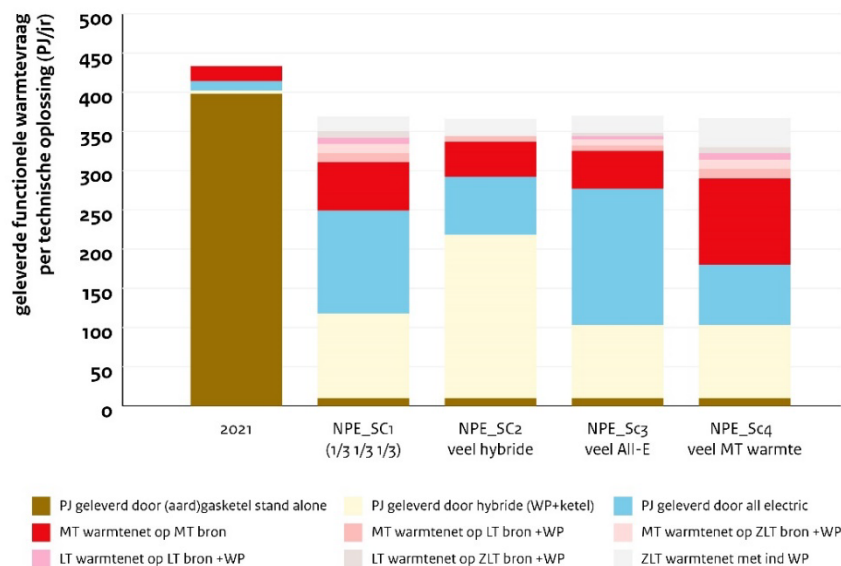
Het aandeel per technische oplossing voor de totale warmtevraag inclusief utiliteitsbouw (diensten) is weergegeven in Figuur 8. Let op: de logica achter deze figuren is als volgt: als er staat dat 100 PJ wordt geleverd door een hybride installatie, is dat dus deels door de warmtepomp en deels door de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



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

Finale energiebehoefte per scenario

De benodigde finale energie is aangegeven in Figuur 9. De finale energie is de energie die aan de eindgebruiker – in dit geval dus bij de meterkast – wordt geleverd.



Figuur 9. Scenario's warmtealternatieven – finale energie.

Dit betreft hier dus de finale energie. Zoals blijkt is er 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.

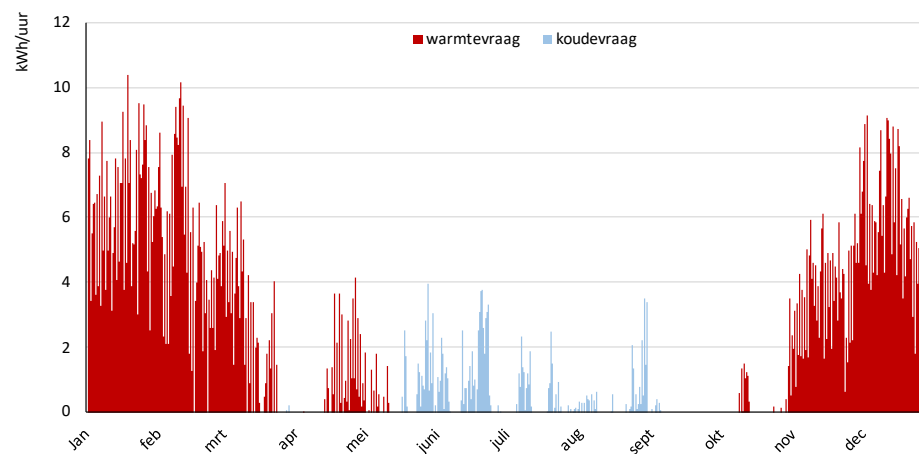
Voor de invulling van de finale warmtevraag zijn verschillende warmtebronnen nodig. Wanneer een ZLT-warmtebron wordt gebruikt om MT-warmte te produceren, dan kost dat elektriciteit. Deze inzet van warmtebronnen en overige dragers voor de levering van warmte wordt besproken in het NPE- *Ontwikkelpad warmteketen* (hoofdstuk 4 in *Werkdocument B – Ontwikkelpaden energieketen*s).

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 dagen en uren.



Figuur 10. Voorbeeld van de netto warmte- en koudevraag van een goed geïsoleerde woning. Berekend voor klimaatjaar KNMI 2017 (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, wordt momenteel verder onderzocht. Hieruit moet blijken of er in de winter voldoende elektriciteit is om de vraag te dekken. Of dat een winter(piek)vraag aan elektriciteit extra flexibel opwekvermogen vraagt, waardoor een elektriciteitsvraag vanaf een bepaalde hoeveelheid via duurzaam gasgestookte elektriciteitscentrales of grootschalige opslag moet worden opgewekt.

De warmtevraag in de gebouwde omgeving is maar in zeer beperkte mate flexibel. Vraagsturing kan hier nauwelijks iets verbeteren. Mensen willen nu eenmaal verwarmen als het het koudst is, en koelen als het het warmst is. Op zeer kleine tijdschaal, tot minder dan 1 à 2 uur, is het mogelijk de verwarming tijdelijk uit te schakelen zonder dat de woning te veel afkoelt. Een oplossing om pieken 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 nodig en grootschalige seizoensopslag.

In het NPE-*Ontwikkelpad warmteketen* (hoofdstuk 4 in *Werkdocument B – Ontwikkelpaden energieketens*) 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. Deze piek is echter per gemiddelde woning 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 urgenter 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.

- Warmtepompen op zichzelf veroorzaken geen congestie maar totale elektrificatie van gebouwde omgeving doet dit wel (met zon-PV, elektrisch vervoer en warmtepompen als

belangrijkste ontwikkelingen). Momenteel is er vooral sprake van invoedingscongestie van zon-PV.

- Voor hybride warmtepompen worden weinig problemen voorzien, omdat de cv-ketel op piekmomenten bijspringt.
- Voor volledig elektrische warmtepompen geldt zo'n flexibiliteit niet, waardoor versneld netverzwaren noodzakelijk kan zijn (zie ook volgende punt) bij grootschalige gelijktijdige uitrol van all-electric. Ook moeten woningen en andere gebouwen die een kleinverbruikers aansluiting hebben, die nog geen 3x25-aansluiting hebben en op all-electric over willen gaan, een zwaardere aansluiting aanvragen. Hiervoor kunnen lange wachttijden (oplopend tot 2 jaar) gelden.
- In aanvulling op het vorige punt: Op termijn lijkt niet de warmtepomp de bottleneck voor de benodigde netcapaciteit in een wijk te zijn, maar eerder het opwekvermogen van PV. Wel is het belangrijk om warmtepompen slim aan te kunnen sturen. Om zo de vraag tijdelijk af te schakelen, of juist een teveel aan opwek van PV slim te benutten. Bijvoorbeeld door een warmtepomp voor de productie van tapwater.

1.5. Ontwikkelrichtingen en vraagstukken richting 2050

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.

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 elektriciteitsstelsel 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-electriciteit geleverd, terwijl er veel vraag is naar elektriciteit voor verwarming in de gebouwde omgeving. Vanuit de analyse van de elektriciteitsketen²⁴ is het al wél duidelijk dat de flexibiliteitsbehoefte in de winter ingevuld kan worden. Wel wordt nog onderzocht wat daarvoor de beste manier is. Hierbij speelt onder andere 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. Ook voor zonnepanelen en elektrisch laden zijn netverzwaringen nodig. De flexibilisering van warmtepompen kan het net op specifieke momenten ontlasten en de onbalans tussen opwekking en consumptie verminderen. Concluderend is het vanuit het perspectief van de beschikbaarheid van elektriciteit waarschijnlijk goed mogelijk om 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 aandachtspunt dat verwarmen met all-electric-warmtepompen alleen goed mogelijk is in goed geïsoleerde gebouwen met een afgiftesysteem dat geschikt is voor lage temperaturen.

De beschikbaarheid van duurzame 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 vooralsnog met een inschatting van 50 PJ gewerkt en voor 2050 met rond de 100 PJ. Hierbij is het wel van belang om MT-bronnen te benutten, en waar deze niet beschikbaar zijn in te zetten op (zeer) laagtemperatuurwarmtenetten. 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.

Voor een deel van de woningvoorraad is verwarmen met een hybride warmtepomp met duurzaam gas de optie met de laagste maatschappelijke en eindgebruiskosten. Duurzaam gas moet hiervoor beschikbaar zijn, omdat deze woningen 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). Dit is een significant volume in vergelijking met de voorspelde gasconsumptie voor de gebouwde omgeving in de scenario's uit het vorige hoofdstuk (60-127 PJ). 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 op termijn inzetbaar, in combinatie met een hybride warmtepomp. Wel is de verwachting dat waterstof (zie ontwikkelpad waterstofketen) de komende jaren schaars zal zijn (zeker tot 2040) en dat Nederland ook op de lange termijn een netto-importeur zal blijven (+/- 50% import afhankelijk). 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.

²⁴ Dit komt onder meer naar voren in de 'Adequacy Outlook' van TenneT. Zie ontwikkelpad elektriciteitsketen (werkdocument B, hoofdstuk 1) voor meer details.

- De beschikbaarheid van groen gas.
- De beschikbaarheid 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 loopt de ontwikkeling van warmtenetten in relatie tot de businesscase 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 kan goed worden ingespeeld op de zeer flexibele energievraag vanuit de gebouwde omgeving.
 - Tempo waarin elektriciteitsnetten kunnen worden verzwaaard.
- 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 naar 6 miljoen huizen die worden gekoeld is nu ca 5-10 PJ extra elektriciteitsvraag in de zomer. Die toename overlapt flink met het profiel van opwek zon-PV. Er wordt in 2023 een andere studie gedaan 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 vraagstukken en vooralsnog voorziene gewenste ontwikkelrichtingen voor de GO beschreven.

1.6. Vraagstukken voor de sector gebouwde omgeving

Vraagstuk 1: Maatschappelijke waarde concreet maken en meenemen bij keuze voor type warmtevoorziening

Doel van het beleid is bevorderen dat bij de energietransitie systemen worden ontwikkeld die toegevoegde maatschappelijke waarde hebben. Vraagstuk 1 is daarmee de basis voor de verdere ontwikkelrichtingen.

- Vanuit het nationale energiesysteem kunnen er voordelen zitten aan bepaalde technische oplossingen, terwijl deze lokaal geen of niet voldoende meerwaarde hebben. Een voorbeeld hiervan is de mogelijkheid om lokaal energie op te slaan. Zo zijn overschotten aan energie te benutten en de piekvraag aan energie te beperken. Een ander voorbeeld is het ontwikkelen van een energie-efficiënter systeem, waardoor minder schaarse en hoogwaardige bronnen zoals gas en elektriciteit nodig zijn. Het systeem kan daardoor mogelijk slanker worden uitgevoerd en/of vraagt minder ruimtelijke impact. Deze maatschappelijke waarden zijn nog deels onbekend en komen niet altijd vanzelf terug in de businesscase van wijkplannen of gebouweigenaren. Ook wanneer gemeenten een systeem kiezen, komen deze opties niet altijd expliciet aan de orde. Relevant voor de maatschappelijke waarde is eveneens de behoefte aan koeling en de toegevoegde waarde van het leveren van koeling (voor comfort en gezondheid). Hier moet nader onderzoek naar worden gedaan.
- Op het moment dat vanuit het NPE duidelijke inzichten beschikbaar zijn over welke typen warmte- en koudevoorziening maatschappelijke voordelen hebben, of welke criteria bij de keuze een rol moeten spelen, dan moet daar ook echt rekening mee worden gehouden. Door gemeenten bij de wijkaanpak en door gebouweigenaren bij individuele keuzes.
- Maatschappelijke waarden zijn breder dan maatschappelijke 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. Ook dit vraagt om verdere uitwerking.

Mogelijke uitwerking

- Voor het bevorderen dat systemen worden ontwikkeld in lijn met maatschappelijke waarde, zijn verschillende aanpakken beschikbaar, onder andere via informatie en communicatie, normering, beprijzen of het verlenen van subsidies.

- Duidelijk communiceren naar het NPLW welke overwegingen vanuit maatschappelijke waarde mee te nemen, kan een eerste stap zijn. Een andere logische keuze is (extra) subsidie te geven voor oplossingen die hieraan bijdragen.

Nader uit te onderzoeken: Om welke maatschappelijke waarden gaat het dan?

- Op dit moment is nog niet volledig duidelijk hoe het energiesysteem van de toekomst er idealiter uit gaat zien. Toch zijn er al ontwikkelrichtingen bekend waarvan het kabinet al weet dat ze toegevoegde waarde hebben. Dit betreft met name het beperken van de benodigde energie (gewenste ontwikkelrichting 1: neem energiebesparing en energie-efficiëntie mee in de overweging) en het nut van flexibiliteit in de benodigde energievraag (gewenste ontwikkelrichting 2: flexibiliteit van de vraag). Een derde gewenste ontwikkelrichting betreft het nut om zoveel mogelijk duidelijk te maken waar de eindoplossing eenduidig en bekend is. Dan hoeven daar niet onnodig gasnetten te blijven liggen en kunnen warmtenetten efficiënt worden benut.
- Een ander belangrijk onderwerp is 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.

Vraagstuk 2: Eindgebruikerskosten én businesscases in lijn brengen met maatschappelijke waarde

Als de maatschappelijke waarde van een oplossing bekend is, moeten de kosten voor de eindgebruiker en de businesscase van de oplossing in lijn worden gebracht met de maatschappelijke waarden. Zo zorgen financiële prikkels voor de juiste keuze. Hierbij is vanzelfsprekend rekening te houden met betaalbaarheid en rechtvaardigheid. Op dit moment zijn de eindgebruikerskosten niet altijd in lijn met de maatschappelijke waarde – voor zover deze al bekend is. Bovendien is het inzicht in de maatschappelijke waarde van verschillende oplossingen nog niet helemaal bekend. (zie vraagstuk 1).

Toelichting: Op dit moment zijn de prijzen bijvoorbeeld niet altijd in lijn met het 'energie-efficiëntie' principe. Grootverbruikers betalen bijvoorbeeld minder voor energie dan

kleinverbruikers. Hierdoor hebben collectieve warmtepompen, hoewel zij mogelijk meer elektriciteit gebruiken, een financieel voordeel.

Mogelijke uitwerking

- Bij het in lijn brengen van eindgebruikerskosten met maatschappelijke waarde valt te denken aan:
 - De juiste verhouding tussen elektriciteitsprijs en gasprijs.
 - Verschillende prijzen voor een energievraag op piekmomenten en dalmomenten.
 - Subsidie voor opslag of flexibiliteit in het systeem inbouwen.

1.7. Robuuste ontwikkelrichtingen

Gezien bovenstaande analyse en de nog bestaande onzekerheden geldt:

- Bestaand beleid en programma's blijven de basis (onder andere de Standaard voor woningisolatie, regie bij gemeentes, NPLW²⁵, doelstellingen PVGO en het IBO-klimaat²⁶).
- Alle verduurzamingsroutes zijn nodig in de transitie naar een klimaatneutrale warmtevoorziening in 2050.

Er zijn wel enkele **nieuwe accenten** aan te brengen, voortkomend uit de perspectieven op het hele energiesysteem en op de lange termijn (zie sectie 'overwegingen vanuit het nationale energiesysteem'). Onderstaande **ontwikkelrichtingen** beschrijven deze accenten.

Gewenste ontwikkelrichting 1: Aandacht voor energiebesparing en efficiëntie, en het beperken van de piekvraag bij de keuze voor een energiesysteem

Bij de keuze voor een alternatief energiesysteem meer expliciet kijken naar energie-efficiëntie. Dit past ook bij de EED-doelstellingen. Zoals beschreven bij vraagstuk 2 is kostenefficiëntie (nog) niet altijd gelijk aan energie-efficiëntie. Energie-efficiëntie, en met name het beperken van de vraag in de winter op piekmomenten, kan daarom als extra criterium worden meegenomen bij de keuze voor een systeem. Het is ook mogelijk om financiële prikkels in te bouwen om dit te bevorderen.

²⁵ [Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie / Programma Aardgasvrije Wijken \(nplw.nl\)](#)

²⁶ [Aanbieding IBO Klimaat / Kamerstuk / Rijksoverheid.nl](#)

Onderbouwing/ Waarom is dit belangrijk?

- De ketenanalyses laten zien dat duurzame gasen schaars en mogelijk duur worden. Bovendien ligt er (voorlopig), vanwege de sterk groeiende vraag naar elektriciteit, ook een grote druk op het elektriciteitssysteem. Zelfs bij een volledig duurzame elektriciteitssector zal elektriciteit in de winter niet in overvloed aanwezig zijn. Systemen die de behoefte aan schaarse hoogwaardige energiedragers verminderen, hebben daarom vanuit systeemperspectief een toegevoegde waarde.

Mogelijke uitwerking

Welke systeem het meest geschikt is, hangt onder andere af van de beschikbare bronnen, het type gebouwen en het type wijk. Wel kunnen de volgende overwegingen worden meegegeven:

- Daar waar warmtenetten de druk op gas- en elektriciteitsgebruik ontlasten of andere maatschappelijke waarden invullen, dit ook financieel ondersteunen en terug laten komen in de eindgebruikerskosten (juiste prijsprikkels).
 - Toelichting: In Nederland is een aanzienlijke hoeveelheid energie in de vorm van warmte beschikbaar. Deze warmte is voornamelijk bruikbaar als energiebron voor de gebouwde omgeving en voor glastuinbouw. Met name warmtebronnen op LT- of MT-niveau (> 35 °) verlagen de druk op hoogwaardige bronnen. Het gebruik van ZLT-bronnen vereist nog een significante input van elektriciteit. Hierbij heeft de configuratie met de minste elektriciteitsvraag energetisch de voorkeur. Daarnaast kan bij warmtenetten gekeken worden naar het integreren van collectieve opslag, die de benodigde piekvraag vermindert. Dit wordt verder uitgewerkt in de warmteketen.
- Een all-electric-warmtepomp gaat efficiënt met energie om en levert daardoor in principe een besparing op. Een sterke inzet op volledig elektrische warmtepompen bij woningen waar dat kan (nu of op termijn) zorgt daarom voor een grote besparing. Ook is er onderscheid tussen de verschillende bronnen van verschillende warmtepompen. Een slimme regeling van de warmtepomp is van belang: een flexibele inzet 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. Zie verder ontwikkelrichting 2.

- Strengere eisen aan de efficiëntie van verwarmingsinstallaties. Door de normering op dit vlak is deze richting al in gang gezet.²⁷ Vanaf 2026 is het verplicht om bij vervanging van de cv-ketel over te stappen op een efficiënter systeem, mits de woning of gebouw daarvoor geschikt is. Hybride 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 de meeste 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 van duurzame gasen. In alle scenario's is er blijvend duurzaam gas nodig voor de verwarming van een deel van de GO. Productie van groen gas wordt gestimuleerd door de bijmengverplichting in de GO.
- Versneld isoleren richting de Standaard. Voor naoorlogse woningen betekent isoleren tot de Standaard dat de woning in de meeste gevallen met de huidige radiatoren met LT-warmte kan worden verwarmd. In sommige gevallen moet wel nog iets aan het afgiftesysteem worden gedaan.
- Maatschappelijk vastgoed wordt versneld gerenoveerd naar de Renovatiestandaard, als invulling op de 3% renovatieverplichting uit de EED.
- Meer kennis en informatie over LT-afgifte: LT-afgifte maakt het mogelijk zo efficiënt mogelijk met een warmtepomp of (Z)LT-bron te verwarmen. Voldoende isolatie en LT-afgifte zijn dus voorwaardelijk voor verdere energie-efficiëntie.

Gewenste ontwikkelrichting 2: Flexibilisering warmtevraag

Zoals eerder toegelicht, heeft de gebouwde omgeving bij uitstek een piekbehoefte in de vraag, zowel op seizoenniveau als op kleinere tijdschaal van dagen en uren.

²⁷ Warmtepomp de norm vanaf 2026: goed voor klimaat en de energierekening | Nieuwsbericht | Rijksoverheid.nl

Onderbouwing

Om te voorkomen dat onnodig veel flexibel opwekvermogen nodig is, is het nuttig om de piekvraag te beperken. In de gebouwde omgeving zijn daar verschillende mogelijkheden voor.

Mogelijke uitwerking

De piekvraag op verschillende tijdschalen is op verschillende manieren te beperken

- Piekvraag op zeer kleine tijdschaal (tot maximaal enkele uren)

1. 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.
 2. Flexibele inzet van warmtepompen: Warmtepompen kunnen warmte opslaan in het boilervat 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.
 - Eindgebruikers moeten toegang hebben tot energiecontracten met dynamische prijzen. Hierdoor ontstaat een financiële prikkel om in te spelen op tekorten en overschotten op de elektriciteitsmarkt.

- Piekvraag van enkele uren tot enkele dagen

- 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 warmteketen.
- Een andere mogelijke oplossing voor het beperken van een piekvraag op lokaal niveau is een Energy Hub. Dit is een lokaal knooppunt in een geïntegreerd energiesysteem. Hierbij wordt het aanbod van een of meer energiedragers, door een of meer conversie en/of

opslagstappen, efficiënt wordt afgestemd op de energievraag. Door het slim afstemmen van de lokale vraag met het lokale aanbod van energie zijn investeringen in infrastructuur, met name buiten de Energy Hub, slechts beperkt nodig²⁸.

Gewenste ontwikkelrichting 3: Sneller concreet worden met gemeentelijke plannen & meer aandacht voor maatschappelijke waarden

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. De (inhoudelijke) vereisten van een warmteprogramma worden vastgelegd in het Besluit gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Bgiw).

Verder is wenselijk dat gemeenten de overwegingen over maatschappelijke waarde meenemen in de keuze voor een oplossing (zie vraagstuk 1). Dit moet nog verder worden uitgewerkt. Daarbij is het belangrijk dat het maatschappelijk meest gewenste alternatief ook aantrekkelijk is voor de eindgebruiker.

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 volloopprijs voor warmtenetten.

²⁸ [TSE Sl Energy Hubs 20212.pdf \(topsectorenergie.nl\)](#)

Mogelijke uitwerking

- Gemeenten voeren regie over de keuzes voor een aardgasvrije warmtevoorziening, zij hebben concrete handvatten nodig hoe zij de maatschappelijke waarden kunnen meenemen in de overwegingen.
- Mogelijk is de energie-efficiëntie en piekvraag van een warmte-alternatief mee te nemen in de update van de startanalyse.
- Projecten ten behoeve van infrastructuur worden niet ondersteund.

Productie van groen gas of andere hernieuwbare energie wordt uitgesloten van de NIKI.

Daarvoor is ander instrumentarium reeds beschikbaar, zoals de SDE++.

2. Transitiepad mobiliteit

Dit subhoofdstuk 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 is om in te vullen. Dit komt omdat het huidige beleid niet voldoende is om de doelstellingen 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.

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). Nationale mobiliteitssectoren stootten in 2021 30,5 Mton CO₂-equivalenten uit, wat neerkomt op zo'n 18% van de totale uitstoot in Nederland. Het NPE gaat zowel in op de nationale als de internationale mobiliteit. 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. Momenteel komt de omvang van het wegverkeer, herstellende van de COVID-jaren, in 2022 weer boven het niveau van 2019 uit, met de bijbehorende toename van uitstoot aan broeikasgassen. Hierna zet naar verwachting een structurele daling in van de broeikasgasemissies door de snelle toename van het aantal elektrische auto's en de steeds grotere inzet van biobrandstoffen. De uitstoot in 2030 wordt daarmee in de KEV 2022 geraamd op 28,2 Mton CO₂-eq. Deze ligt daarmee in 2030 zo'n 20% lager dan in 2019 en 13% lager dan in 1990. Daarmee ligt mobiliteit achter op de reductieopgave van het kabinet. Het in april 2023 aangekondigde klimaatpakket gaat echter wel uit van een extra reductie van 4 Mton in 2030²⁹.

Daarnaast dragen (energieleveranties aan) internationale binnenvaart, lucht- en zeevaart 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 verplichting opgenomen voor lidstaten

rekenen 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. 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.

²⁹ Kamerbrief over Voorjaarsbesluitvorming klimaat, 26-04-2023

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

om ook in deze sectoren tot een reductie van broeikasgasuitstoot te komen. In plaats daarvan is het maken van afspraken over emissiereducties in deze sectoren belegd bij de twee gespecialiseerde agentschappen van de Verenigde Naties: International Maritime Organization (IMO) en International Civil Aviation Organization (ICAO).

Vooraf 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. Er zijn internationale afspraken over het terugdringen van de bijbehorende emissies (zowel in de luchtvaart als in de scheepvaart, en zowel over de energieleveranties als over de toepassing in schepen en vliegtuigen) en deze zijn constant in ontwikkeling. Hieronder wordt voor de internationale sectoren vooral ingegaan op de bunkerbrandstoffen (de brandstoffen voor luchtvaart en de maritieme sector), omdat die voor het Nederlandse energiesysteem het meest relevant zijn. De bunkerbrandstoffen die vanuit Nederland aan de internationale lucht- en scheepvaart zijn geleverd, waren in 2021 goed voor 43,8 Mton CO₂-eq uitstoot. Deze emissies overstijgen daarmee de binnenlandse uitstoot in de mobiliteitssector.

In lijn met de verwachte groei van de luchtvaartsector, 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 reduceren. In de wereldwijde zeevaart is in recente jaren ook een toename van uitstoot te zien door de groeiende wereldhandel. Tegelijkertijd is het energieverbruik per schip door efficiëncymaatregelen juist afgenomen. De ontwikkelingen van de CO₂-eq-uitstoot van in Nederland geleverde bunkerbrandstoffen aan de luchtvaart, zeevaart en binnenvaart volgen een eigen pad, als gevolg van vastgesteld en voorgenomen beleidsmaatregelen volgens de KEV. In onderstaande tabel is dat pad aangegeven.

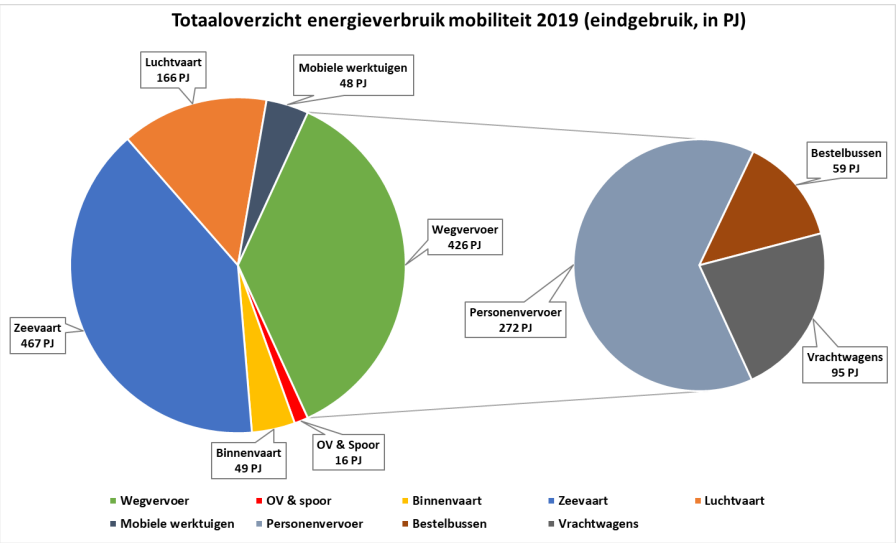
Tabel 1. CO₂-eq uitstoot van broeikasgassen van in Nederland geleverde bunkerbrandstoffen

	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 8 modaliteiten te identificeren, ieder met eigen karakteristieken en daarmee ook eigen transitiepaden.

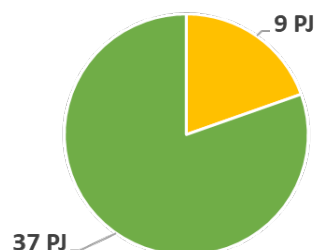
1. Personenvervoer
2. Spoorvervoer en regionaal ov
3. Bestelvervoer
4. Zwaar wegtransport
5. Mobiele werktuigen
6. Binnenvaart
7. Zeevaart
8. Luchtvaart

Hieronder de indicatie van hoeveelheden energiegebruik 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)



■ Elektriciteit (nog niet 100% hernieuwbaar) ■ Biobrandstoffen

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 weinig invloed 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.

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.*

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 hebben de verduurzaming al grotendeels ingezet. Winst valt nog te halen in het uitfasen van de laatste dieseltreinen en de transitie naar zero-emissie ov-bussen. Daarnaast is de potentie van modal shift naar spoor en ov voor personen en goederen een relevante ontwikkeling om in duurzame mobiliteit sectorbreed haalbaar te maken.

Spoor: reizigers en goederen, hoofdrailnet (HRN), regionaal & internationaal

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 mln 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.

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 hoofdrailnet en de bedrijven en terminals aldaar. Op deze 'first mile/ last mile' zorgt

³⁵ *Interne gegevens ProRail*

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

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

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.

Bus, tram en metro

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. Trams en metro's, ook wel 'light rail' genoemd, zijn in Nederland volledig geëlektrificeerd en rijden sinds 2019 op 100% groene stroom.

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.

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 (B7⁴⁰). 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 1990⁴⁵. 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. 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.

³⁸ CBS reizigerskilometers 2019.

³⁹ Bestuursakkoord / Zero Emissie Bus.

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)).

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, vervoerstromen van en naar Nederland (cbs.nl)).

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

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 betreft een heel diverse categorie en dat maakt het verzamelen en samenbrengen van gegevens hierover moeilijk. In dit plan ligt de focus op het bouw materieel. Daar is een concreet programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) op gericht, dat de sector bedient met instrumenten (zoals subsidies en middelen voor strengere aanbestedingseisen) om te verduurzamen. Deze sector behelst circa 20 PJ. Door SEB neemt sinds 2022 het aandeel zero-emissie toe, met name batterij-elektrisch. Op andere types mobiele werktuigen, zoals tractoren of groenmaterieel, is op dit moment beperkt zicht wat verduurzaming betreft. Het gaat om circa 30 PJ van de 50 PJ, wat neerkomt op 3,5 Mton CO₂-uitstoot.

Binnenvaart

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

De gemiddelde energiebehoefte van de binnenvaart is 35 PJ per jaar. Uit cijfers van het CBS blijkt verder dat de binnenvaart in 2020 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. De Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) houdt prognoses bij voor vraag naar lading⁴⁷.

⁴⁷ <https://inland-navigation-market.org/?lang=nl>

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.

Zoals toegelicht in paragraaf 1.1 kent Nederland grote bunkervolumes. 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), 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.

De broeikasgasuitstoot afkomstig van de zeevaart valt momenteel niet onder het nationale klimaatdoel. Nederland heeft wel een resultaatverplichting voor de zeevaart in het kader van de Europese Green Deal. Indien er in IMO aangescherpte afspraken worden gemaakt ter invulling van het Parijsakkoord heeft Nederland ook daarvoor een resultaatverplichting. De Tweede Kamer is op 17 maart 2023 geïnformeerd over de keuzes die gemaakt moeten worden ten behoeve van het nieuwe Klimaatplan⁴⁸. 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 zo 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- en zeevaart in het nationale doel voor 2050 kunnen passen. De Tweede 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.

⁴⁸ Kamerstuk 32813-1180

Luchtvaart

Luchtvaart is mondiaal georganiseerd en georiënteerd. Hierdoor is het van groot belang om binnen deze sector internationaal samen te werken en afspraken te maken. Luchtvaart is een 'hard-to-abate' sector en kent op dit moment weinig technologische alternatieven voor fossiel.

Nederland heeft in 2019⁴⁹ 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 internationale luchtvaart ("afzet voor bunkers")⁵⁰. Op basis van een emissiefactor kun je een kg brandstof omrekenen naar een kg CO₂. 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 gebruikt⁵¹.

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

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

In bovenstaande tabel 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.

⁴⁹ [Hoeveel vliegbewegingen zijn er van en naar Nederland? \(cbs.nl\)](https://www.cbs.nl/Statline/#/CBS/nl/dataset/84596NED/table?ts=1676559326551)

⁵⁰ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/84596NED/table?ts=1676559326551>

2.2. Voorsorteren op toekomstbestendige mobiliteit

In de mobiliteit wordt een overstap gemaakt van fossiele naar duurzame energiedragers die bijdragen aan de verduurzaming van de sector en daarmee aan de gewenste CO₂-reductie. 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. 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. Op basis van de Europese besparingsdoelen voor 2030 wordt in het definitieve NPE een indicatieve energiebesparingsdoelstelling voor deze sector opgenomen.

Verduurzamen

Voor het verduurzamen van mobiliteit zijn diverse opties beschikbaar. Voor wegverkeer wordt vooral gekeken naar elektrificeren met batterijen en in mindere mate met waterstof. In de transitieperiode zijn 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 zijn in de zeevaart en de luchtvaart slechts zeer beperkt direct toepasbaar. Bij het verduurzamen moeten in ieder geval de volgende randvoorwaarden aanwezig zijn: de energiedragers, de tank- of laadinfrastructuur en de vaar/voertuigen. In de volgende paragrafen wordt dit per modaliteit verder toegelicht. Regelgeving wordt op verschillende niveaus gemaakt. Mondiaal via bijvoorbeeld ICAO of IMO, Europees via de Green Deal en Fit For 55. Landelijk gebeurt dat via bijvoorbeeld het klimaatakkoord, het coalitieakkoord en de sectoragenda's (de Luchtvaartnota en de nationale Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens). In dit hoofdstuk licht het kabinet

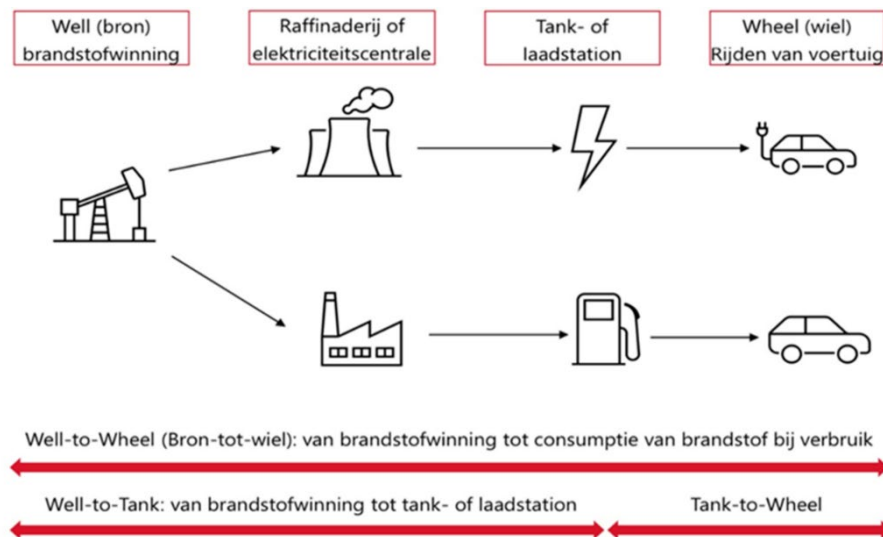
⁵¹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/10/21/voortgang-co2-plafond-internationale-luchtvaart>

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

per modaliteit toe welke regelgeving van toepassing is. Echter vooraf een korte uitleg over de 2 verschillende typen regelgeving die er zijn op de uitstoot van mobiliteit:

- Beleid dat kijkt naar het reduceren van emissies in de gehele keten, zoals ETS, RED, FuelEU Maritime en ReFuelEU Aviation.
- Beleid dat kijkt naar de directe emissies van het voertuig, zoals de Europese emissienormen voor personenauto's en zware bedrijfsvoertuigen, het bevorderen van de aanschaf van schone voertuigen zoals de clean vehicle directive en de Europese doelstelling voor nieuwverkoop zero-emissie voertuigen per 2035.

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 onderstaand figuur 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

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 voorwaarden zijn.

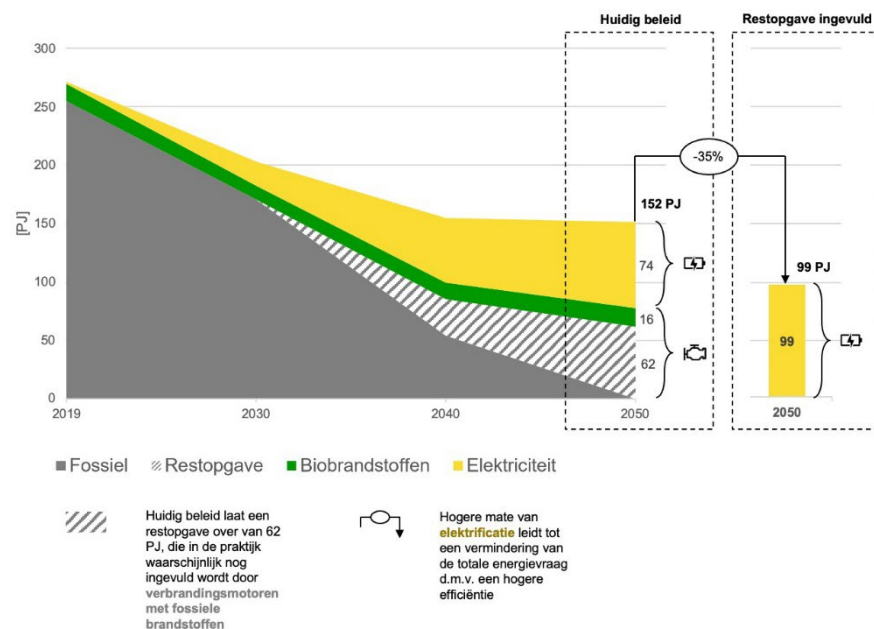
Per modaliteit wordt het volgende in kaart gebracht:

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

De groene tabellen bij elke modaliteit geven aan hoe de restopgave in potentie is in te vullen.

Daarbij wordt ook ingegaan op aanvullend beleid en beleidsinstrumentarium dat daarbij nodig kan zijn.

Personenvervoer



Figuur 14. Doorrekening energieverbruik personenvervoer tot 2050, alsmede doorrekening gewenst eindbeeld in 2050.

Conclusie uit dit figuur: **62 PJ aan restopgave die beleidsmatig nog moet worden ingevuld.**

Bronnen:

- PBL, onderliggende detailgegevens KEV 2022
- KiM, Energieketens voor CO₂ -neutrale mobiliteit (2022)

Achtergrond cijfers

Het energieverbruik (in PJ) tot en met 2040 is gebaseerd op onderliggende detailgegevens van de KEV 2022. 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 verdeling van energiedragers is afgestemd met de betreffende beleidsmedewerkers van IenW.

Meegenomen beleid

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

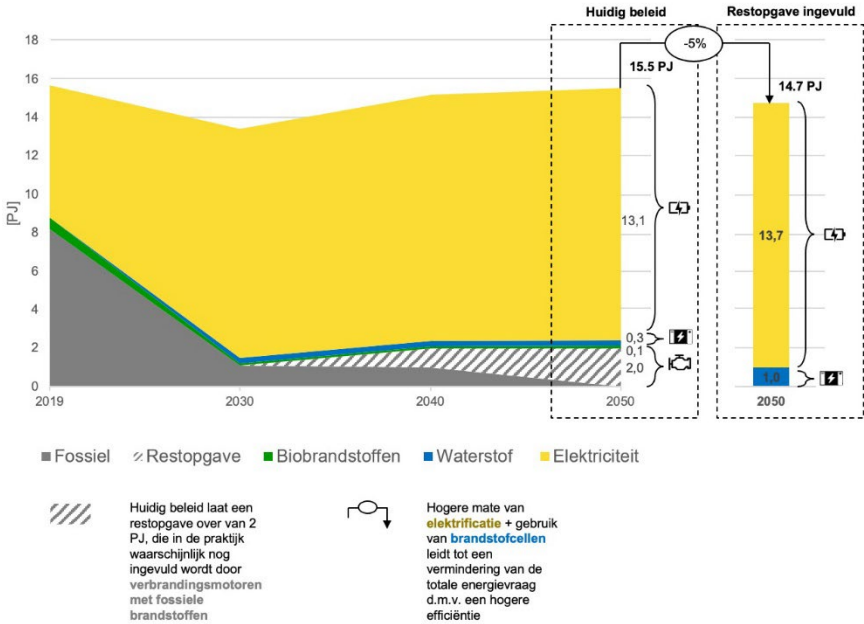
- De effecten van fiscale stimulering voor elektrisch rijden zoals gepland tot en met 2025, evenals de ambitie voor 100% EV-nieuwverkoop in 2030.
- De CO₂-normen voor personen- en bestelauto's, die voor 2030 en 2035 zijn aangescherpt.
- Maatregelen die resulteren in CO₂-reductie voor werkgebonden personenmobiliteit.

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, mits de benodigde hernieuwbare elektriciteit aanwezig is.

Voorstel invulling restopgave:	Volledig elektrificeren personenwagenpark in 2050
Nodig voor invulling restopgave	Aanvullend beleid voor versnelling aandeel batterij-elektrische auto's tot 100% in 2050 - Uitrol laadpalen in lijn met groei elektrische auto's (ook op verzorgingsplaatsen) - Stimulering aanschaf elektrische auto - Het aantal en omvang van milieuzones vergroten Beschikbaarheid van energiedragers oplopend tot jaarlijks (in 2050): 99 PJ (27,5 TWh) hernieuwbare elektriciteit in het nationale netwerk, in een landsdekkende laadinfrastructuur. Aanvullend beleidsinstrumentarium. - Elektrisch rijden moet voordeliger blijven dan rijden met een fossiel voertuig om de groei van emissievrije auto's te accommoderen. Met het huidige beleid ligt de verkoop van emissievrije auto's op circa 60% in 2030, waardoor de doelstelling in 2050, een emissievrij wagenpark, onzeker is. Om dit streven toch in beeld te houden, zijn behalve normeringsmogelijkheden ook fiscale en financiële prikkels voor aanschaf en gebruik van een EV voor zowel zakelijke rijders als ook particulieren (zoals de MRB-gewichtscorrectie) een optie. - Betalen Naar Gebruik (eventueel op basis van uitstoot). - Bi-directioneel laden (V2G) faciliteren, zodat de batterij wordt ingezet voor zowel duurzame mobiliteit als de energiebuffer. De komende periode zal het kabinet gebruiken om de knelpunten voor de grootschalige toepassing weg te nemen. V2G levert in potentie baten voor spelers in de E-mobilitywaardeketen en de maatschappij als geheel. V2G levert in potentie drie typen baten op: • Lagere investeringen in het elektriciteitsnet door het voorkomen van regionale congestie en het reduceren van de piekvraag. • Lagere kosten van energie door goedkope back-up-levering van elektriciteit en het optimaliseren van inkoop aan goedkope duurzame energie. • Lagere CO₂-uitstoot voorkomt de inzet van grijze back-up-elektriciteitsproductie door op fossiel gestookte elektriciteitscentrales en het beter benutten van duurzame productie door het voorkomen van het afschakelen van lokale opwek van hernieuwbare elektriciteit. - Het V2G-potentieel is alleen te benutten als de knelpunten worden opgelost die vermeld staan in het rapport 'V2G - Waarde en Weg Voorwaarts'.

Spoorvervoer en regionaal ov (bus, tram, metro)



Figuur 15. Doorrekening energieverbruik spoorvervoer en regional OV tot 2050, alsmede doorrekening gewenst eindbeeld in 2050.

De doorrekening van cijfers voor 2050 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid. Onder andere het Bestuursakkoord Zero Emissie Regionaal Openbaar Vervoer per Bus (BAZEB) is hier als beleidsmaatregel in opgenomen. Het is van belang om te benoemen dat voor spoor en OV een vrij duidelijk beeld bestaat over hoe de verduurzaming ingevuld kan worden, alleen de financiering en realisatie is nog een uitdaging. Zo wordt in het CE Delft scenario uitgegaan van verduurzaming van regionale lijnen na 2030, terwijl deze nog niet financieel gedekt zijn (m.u.v. de Maaslijn en 4 waterstof-treinen in Groningen). In de doorrekening is er daarom voor gekozen om vanaf 2030 het dieselgebruik voor spoor gelijk te houden.

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.

De wat-vraag is duidelijk voor ov & spoor

De resterende opgave wordt naar verwachting ook grotendeels ingevuld door elektrificatie. Het elektrificeren zorgt voor zowel een energie-efficiëntieslag alsmede een verduurzamingslag. Deze techniek is het meest energie-efficiënt, gebaseerd op bestaande en vertrouwde techniek en relatief de goedkoopste optie. In bussen wordt vooral ingezet op batterij-elektrificatie. Nog nieuw en innovatief in deze context zijn batterij-elektrische locomotieven op het spoor.

Waterstof is een mogelijk alternatief, ook al is het op dit moment nog minder energie-efficiënt, zeer beperkt beschikbaar en duurder. In het WLO Hoog-scenario komt waterstof echter wel in beeld doordat in dat scenario volledige elektrificatie onder druk staat. Dit vanwege netcongestie, ruimtelijke inpassingsproblemen en gezette tijden van energiegebruik. In potentie kan waterstof een bijdrage leveren aan het verminderen van de knelpunten. Het gebruik ervan zorgt voor een verlaging van de piekbelasting op het net, die het opladen van batterijen veroorzaakt. Waterstof kan gedurende de hele dag geproduceerd worden uit elektriciteit, en is op te slaan in een buffer⁵³. Bovendien is het aan te voeren van buiten de regio. Bijvoorbeeld als restproduct uit de energiesector, in tijden van overproductie van stroom uit zon en wind⁵³. Vanwege conversieverlies en schaarste, en de mogelijkheid om te elektrificeren, kan het wenselijk zijn om de problemen eerst met batterij-elektrificatie op te lossen en in het laatste geval naar waterstof te kijken.

Realisatie verduurzaming en de restopgave

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 (ongeveer 572 km x circa € 2 miljoen/km = indicatief € 1,1 miljard). Voor reizigerstreinen is in beeld wat er tot 2042 moet gebeuren om dieseltreinen uit te faseren, in het 'plan emissievrij personenvervoer' van ProRail. Voor spoorgoederen zijn nog 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 financieel belegd) 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 enkele situatie zijn waterstofdistributie, -opslag en -tankfaciliteiten op opstel terreinen 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.

Het huidige beleid zet in op verdere verduurzaming, zoals bijvoorbeeld de verplichte elektrificatie van spoorlijnen onder de Europese Transport en Vervoer Netwerken Verordening (TEN-T). Dit is echter nog niet vertaald in concrete projecten of budgetreserveringen, en in deze kabinetsperiode vanuit het Mobiliteitsfonds ook niet meer voorzien, of financieel inpasbaar.

Spoor & ov voor de energietransitie

Het spoor en ov kenmerken zich, ten opzichte van het wegvervoer, door een hoge energie-efficiëntie per reizigerskilometer of tonkilometer. Daarbij opgeteld dat dit vervoer in verhouding tot andere modaliteiten ook relatief schoon is, geeft mogelijkheden om deze modaliteiten in te zetten voor het verduurzamen van mobiliteit als geheel. In dat kader lopen al 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 & actieve mobiliteit, en daarna pas op automobilititeit. Vroegtijdig het openbaar vervoer inregelen zorgt voor een blijvende modal shift. Tegelijkertijd is er op dit moment, als gevolg van onder meer de arbeidsmarktkrapte en de veranderende reizigersvraag, 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 Luchtvaart⁵⁴. De mogelijkheden zijn echter beperkt binnen de huidige infrastructuur. De actieagenda richt zich op zes

⁵³ CE Delft, 2022

⁵⁴ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020. Actieagenda Trein en Luchtvaart.

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.

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 leidt. 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 in het Coalitieakkoord.⁵⁵ Daarnaast onderzoekt de spoorgoederenvisie welke rol het spoor zou moeten spelen de verplaatsing van nieuwe energiedragers zoals ammoniak en grondstoffen in de circulaire economie.

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.

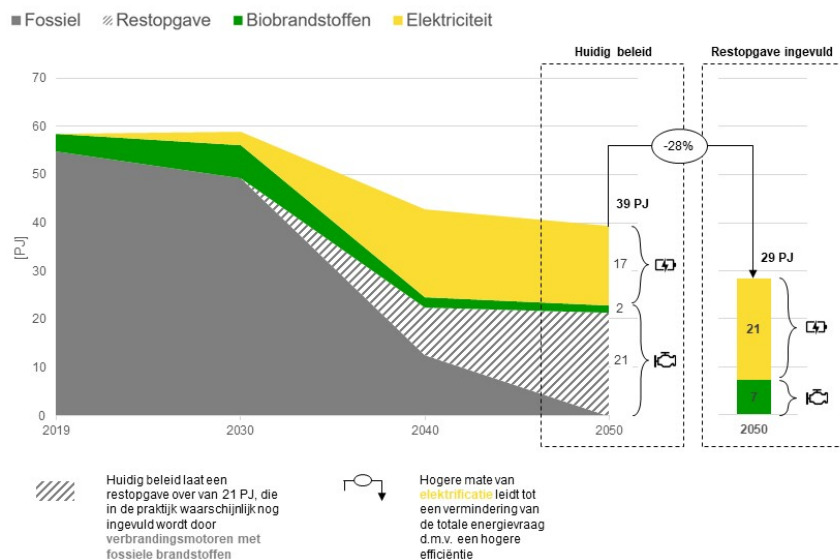
Conclusie

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 (indicatief € 1,1 miljard), 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 een enigszins beperkte netcongestie (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 eveneens forse aanvullende investeringen. Ten slotte kan de potentie van een modal shift naar spoor en OV voor het energie- en CO₂-besparing voor het mobiliteitsstelsel als geheel relevant zijn.

Voorstel invulling restopgave	Elektriciteit
Nodig voor invulling restopgave	Aanvullend beleid (vooral financiering) voor versnelling elektrificatie Randvoorwaardelijk - Wegnemen problemen rond netcongestie - Zware laadinfrastructuur nodig voor bussen (aansluitingen net) - Aanvullend beleid voor versnelling elektrificatie van nog niet-geëlektrificeerde trajecten (circa 572 km) - Eventueel aanleg waterstofinfrastructuur voor bus en treinen - Aansluitingen elektriciteitsnet voor te ontwikkelen spoor & stations - Slimme energiehub waar het spoornet als elektriciteitsinfrastructuur wordt ingezet voor afname groene opwek, maar ook om laadhub aan te hangen voor batterijbussen, treinen en andere modaliteiten. Beschikbaarheid van energiedragers oplopend tot jaarlijks (in 2050) - 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.

⁵⁵ Kamerbrief over visie op de toekomst van het spoorgoederenvervoer 7-4-2022

Bestelvervoer



Figuur 16. Doorrekening energieverbruik bestelvervoer tot 2050, alsmede doorrekening gewenst eindbeeld in 2050.

De doorrekening van cijfers voor 2050 is gebaseerd op huidig vastgesteld en voorgenomen beleid, op basis van onderliggende detailgegevens bij de KEV 2022, 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)
- Subsidieregeling emissieloze bedrijfsauto's (SEBA) en emissieloze vrachtauto's (AanZET)
- Stimuleren logistieke laadinfrastructuur
- Renewable Energy Directive (RED)

Naast de toename van elektrische voertuigen gaat de KEV 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 oplossing⁵⁶.

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%)⁵⁷. 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	In de voorjaarsbesluitvorming heeft het kabinet aanvullende klimaat-maatregelen aangekondigd. Onder andere is afgesproken, dat het kabinet investeert 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. 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.
	Het huidige belastingstelsel in Nederland bevat nog meer (indirecte) voordelen in de vorm van fiscale vrijstellingen, kortingen en aangepaste belastingtarieven die het gebruik van fossiele energie en fossiele grondstoffen (onbedoeld) kunnen bevorderen en hiermee de transitie naar een klimaatneutrale mobiliteit vertragen. In het Coalitieakkoord is afgesproken om de mogelijkheden te onderzoeken om deze financiële prikkels af te 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

⁵⁶ KIM-onderzoek naar energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit

⁵⁷ <https://elaad.nl/stroomvraag-op-bedrijventerreinen-voor-opladen-elektrische-voertuigen-gaat-fors-toenemen/>

sterke impuls voor de aanschaf van elektrische bestelauto's die volledig zijn vrijgesteld van BPM.

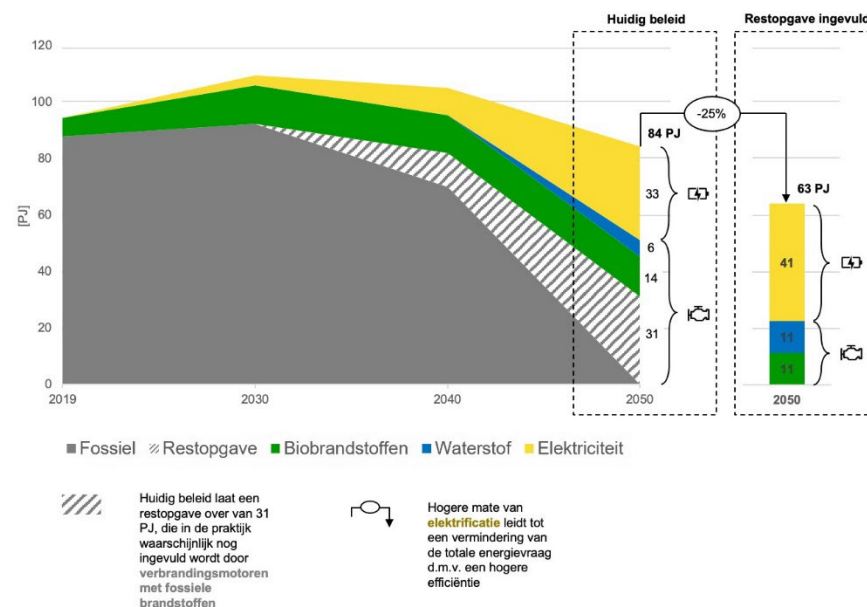
Vanaf 2030 betalen autobezitters niet meer voor autobezit, maar voor autogebruik. Het kabinet wil de huidige motorrijtuigenbelasting (MRB) hervormen naar een kilometerafhankelijke belasting voor personen- en bestelauto's. Automobilisten betalen in het nieuwe systeem voor het daadwerkelijk gebruik van 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 auto's 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, alsmede doorrekening gewenst eindbeeld in 2050.

De doorrekening van cijfers voor 2050 is gebaseerd op huidige vastgesteld en voorgenomen beleid, gebaseerd op onderliggende detailgegevens bij de KEV (KEV22) en 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
- Richtlijn hernieuwbare energie (RED)
- Nationale strategie waterstof in mobiliteit
- Vrachtwagenheffing, herziene Eurovignet-richtlijn EU in combinatie met terugsluis vrachtwagenheffing
- Convenant zero-emissie reinigingsvoertuigen
- Stimuleren logistieke laadinfrastructuur

Aangezien zero-emissievrachtwagenvervoer 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 bi-directioneel 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 haalbaar⁵⁸ 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 voor NPE 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	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. Specifiek voor zware bedrijfsvoertuigen wordt een aantal zaken genoemd. - 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) 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 nieuwverkopen. 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.

⁵⁸ 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

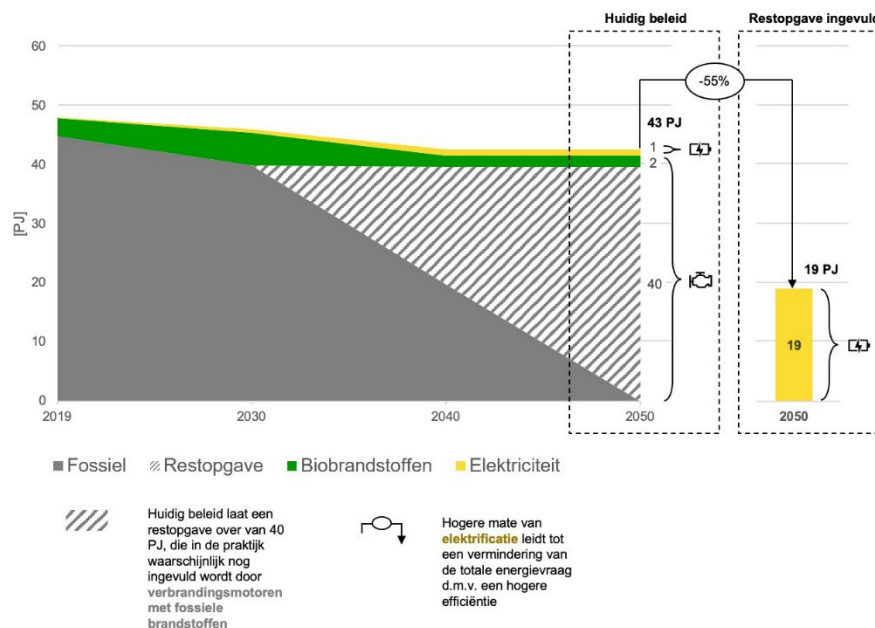
De transitie naar duurzaam vrachtvervoer bevindt zich nog in een beginfase. Op lange termijn (2050) stelt Europees bronbeleid, Euro- en CO₂-normen in combinatie met AFIR, goede randvoorwaarden voor het realiseren van klimaatneutraal vrachtvervoer in 2050. Een ambitieuze herziening van de CO₂-normen spelen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

Bovenstaande figuur 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).

In onderstaand stuk wordt gefocust op de subcategorie bouwmaterieel (werk, vaar- en voertuigen die gebruikt worden in de bouw), wat circa 20 PJ van de bovengenoemde plas vertegenwoordigt⁵⁹. Op landelijk niveau is daarvoor het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) opgericht. Via het ondertekenen van een convenant (na de zomer 2023) worden opdrachtgevers en opdrachtnemers aangespoord om schoner en (in toenemende

⁵⁹ Van de overige categorieën onder mobiele werktuigen is nog geen of slechts beperkt beeld van de opgave

mate) emissieloos bouwmaterieel in te zetten. Hiermee geeft het programma SEB invulling aan de volgende doelen:

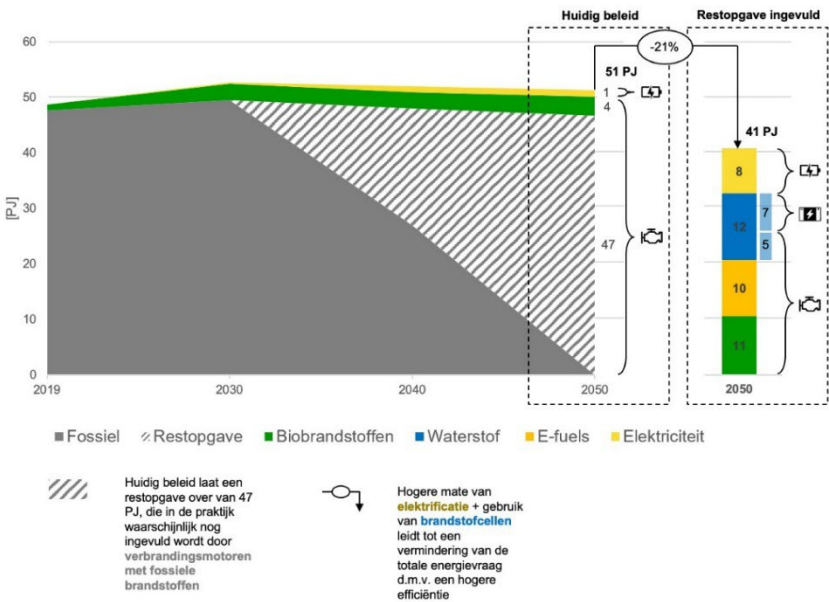
- 60% NOx-reductie ten opzichte van 2018 (PSN).
- 75% gezondheidswinst in vergelijking met 2016 (Schone Lucht Akkoord);
- 0,4 Mton CO₂-reductie ten opzichte van 2019 (Klimaatakkoord);
- Klimaatneutrale infrastructuurprojecten (Strategie KCI).

Om dit te ondersteunen, zijn er subsidies voor aanschaf en ombouw van materieel en worden ondersteunende middelen voor aanbestedende rijksdiensten en medeoverheden beschikbaar gesteld. 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 later. Gezien de doelen voor gezondheid, natuur en klimaat ligt de eindfocus van het programma SEB op ZE-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 (lichter 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 bij het bewerkstelligen van de CO₂-reductie (klimaat). Daarvoor wordt aangesloten bij het beleid energievervoer (jaarverplichting). Het is dus aannemelijk dat het programma SEB de eerdergenoemde 20 PJ richting ná 2030 en zeker richting 2050 stuurt naar nagenoeg volledige zero-emissie inzet, aangevuld met een beperkt deel hernieuwbare brandstof.

Becijferd is dat 4 tot 5 miljard euro aan investeringen nodig zijn voor de transitie zoals uitgezet in de routekaart SEB. Naar inschatting kan de overheid met een bijdrage van 2 miljard hiervoor de benodigde impuls geven. Momenteel is er ruim 1 miljard euro door het Rijk beschikbaar gesteld voor het ambitieuze niveau uit de routekaart. Het basisniveau wordt financieel ingepast door partijen die het convenant ondertekenen. Aanvullende middelen kunnen in de transitie wenselijk zijn en gericht worden ingezet via het bestaande instrumentarium van programma SEB. Daarnaast is Europese inzet 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.

Voorstel invulling restopgave	Volledig elektrisch
Nodig voor invulling restopgave	Aanvullend beleid voor versnelling aandeel batterij-elektrische mobiele machines tot 100% in 2050.
	Randvoorwaardelijk - 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

Binnenvaart



Figuur 19. Doorrekening energieverbruik binnenvaart tot 2050, alsmede doorrekening gewenst eindbeeld in 2050.

Bovenstaande grafiek is gebaseerd op 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. Door de CCR is ook een innovatief scenario gegeven dat zou kunnen leiden tot 90% decarbonisering in 2050. Dit scenario is gebruikt voor de doorrekening van energiedragers die nodig zijn om de binnenvaart in 2050 klimaatneutraal te krijgen.

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.

Beleid gericht op verduurzaming van de binnenvaart is te vinden 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. In Q3 wordt een actieagenda afgerond n.a.v. voornoemde kamerbrief. Hoewel de Green Deal en de Verklaring van Mannheim ambitieuze doelen bevatten⁶⁰ is er momenteel weinig concreet beleid voor emissiereductie.

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. Welke techniek gekozen wordt is afhankelijk van factoren als scheepstype, lading en vaarprofiel. Er is een subsidieregeling voor hermotorisering naar Stage V. Tussen nu en 2026 zullen daarnaast met subsidie van IenW 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 voornoemde Kamerbrief is aangekondigd dat in 2023 wordt onderzocht of en in hoeverre de vloot gefaseerd aan emissienormen kan worden onderworpen via het emissielabel binnenvaart. De resultaten worden verwacht in Q4. Dit is ook aangekondigd in het rapport

“Scherpe doelen, scherpe keuzes, IBO aanvullend normerend en beprijzend nationaal klimaatbeleid voor 2030 en 2050.”

De verduurzaming van de totale Nederlandse vloot kost naar verwachting tussen € 2 en € 5 miljard.

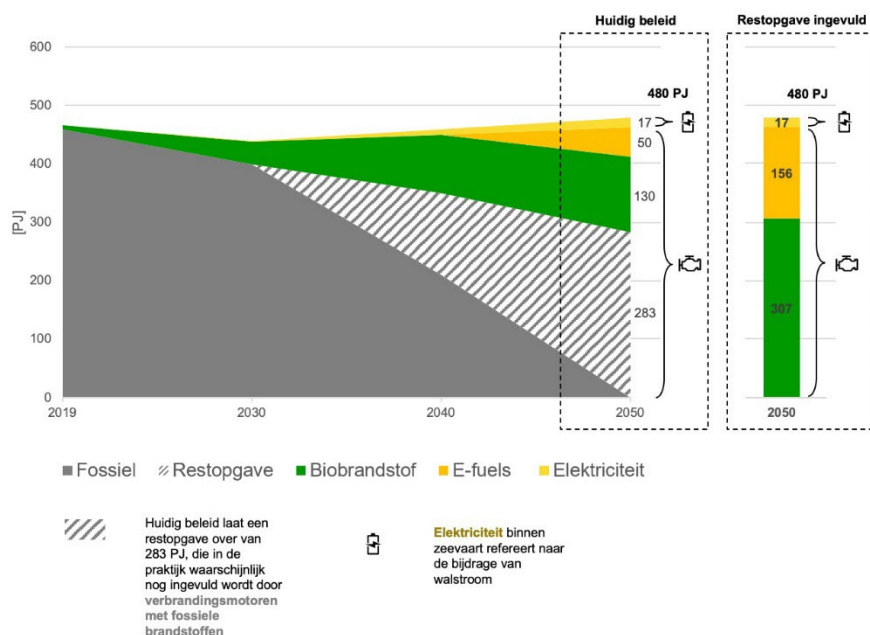
Voorstel invulling restopgave	FCEV, batterij elektrische aandrijving, verbranding van H ₂ in een motor en extra HVO.
Nodig voor invulling restopgave	Gefaseerd emissienormen invoeren via emissielabel binnenvaart. Randvoorwaardelijk bij normering is subsidiëring uit bijvoorbeeld het klimaatfonds voor verdere uitrol waterstof in de binnenvaart en andere zero-emissie toepassingen. Verdere subsidiëring van motorvervanging naar Stage V. De binnenvaartsector kan de kosten voor de energietransitie niet zelf dragen. De kostenindicatie van de CCR is het bedrag dat uit publieke middelen moet komen nadat de sector al maximaal naar draagkracht heeft bijgedragen. Beschikbaarheid van energiedragers oplopend tot jaarlijks (in 2050) - 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

Onderstaande figuur geeft de verwachte ontwikkelingen weer in de energiemix voor de zeevaart tussen 2019 en 2050. Voor de cijfers tot en met 2030 is gebruik gemaakt van onderliggende detailgegevens bij de KEV 2022. Deze cijfers zijn aangevuld met data van het CE Delft-rapport *Kosten van 'Fit for 55' voor de Nederlandse zeevaart & -havens*. Hiermee is het aandeel hernieuwbare brandstoffen voor 2030 berekend (9% biobrandstoffen). Voor de cijfers tot en met 2050 is wat betreft de totale Nederlandse bunkervraag uitgegaan van de 480 PJ zoals beschreven in het TNO-rapport *Demand for Renewable Hydrocarbons in 2030 and 2050*. De aandelen van de verschillende energiedragers zijn in het beeld met de restopgave gebaseerd op een gemiddelde van acht scenario's in de Maritime Outlook van DNV, op basis van de huidige afspraken in IMO (International Maritime Organization). Daar blijft een grote restopgave over, terwijl de verdere inzet vanuit biobrandstoffen en e-fuels komt. Elektriciteit is in deze scenario's voornamelijk meegenomen als inzet ten behoeve van

⁶⁰ *Green Deal: In 2030 de CO₂-emissies van de Nederlandse binnenvaartvloot gereduceerd te hebben met 40% tot 50% ten opzichte van 2015 en in 2050 nagenoeg uit te bannen.*

walstroom. Binnen hetzelfde rapport zijn eveneens scenario's opgesteld voor de decarbonisering van de zeevaart in 2050. Deze zijn gebruikt om de verdeling in de restopgave in 2050 (rechts in het diagram) weer te geven.



Figuur 20. Doorrekening energieverbruik zeevaart tot 2050, alsmede doorrekening gewenst eindbeeld in 2050.

Bronnen: PBL, onderliggende detailgegevens uit KEV 2022; 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); Aanpassing regelgeving voor hernieuwbare energie in vervoer. Vanaf 2021 mogen alleen de leveringen van geavanceerde biobrandstoffen aan de zeescheepvaart meetellen voor de jaarverplichting voor hernieuwbare energie in vervoer; Subsidierelaties 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.

Disclaimer: deze figuur is opgemaakt voorafgaand aan de IMO-onderhandelingen van juli 2023. De uitkomsten van die onderhandelingen kunnen tot aanpassingen leiden in bovenstaande figuur. In het definitieve NPE worden deze eventuele aanpassingen 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 met veel onzekerheid omgeven. Het tempo en de richting van toekomstige innovaties (o.a. om het aandrijfsysteem op het schip geschikt te maken voor een specifieke duurzame energiedrager) brengt bijvoorbeeld veel onzekerheid met zich mee. De toekomstige positie van LNG is vooral afhankelijk van eventuele baanbrekende innovaties in Carbon Capture and Storage en eventuele directe inzet op het schip (Utilization). Een tweede onzekerheid betreft de financiering, in combinatie met de 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. Ten derde zijn de juridische kaders voor het gebruik van duurzame energiedragers en de opslag van brandstoffen binnen IMO nog in ontwikkeling. Met name aan het gebruik van synthetische brandstoffen (bijvoorbeeld ammoniak) kleven nog risico's rondom veiligheid. Het toekomstig bunkervolume in Nederland is ook een belangrijke onzekerheid. 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 ervan uit dat het bunkervolume in Nederland, inclusief het gebruik van walstroom in de haven, ongeveer gelijk zal blijven aan het huidige niveau (circa 480 PJ). Hierbij is uitgegaan van de cijfers in de KEV 2022 voor 2030 en van TNO⁶¹ 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.

Een andere belangrijke factor is de schaalbaarheid van en de infrastructuur voor hernieuwbare brandstoffen. De uitrol van benodigde brandstoffen om klimaatneutraal te varen (bijvoorbeeld waterstof, methanol, op kortere termijn ook biobrandstoffen en tot slot mogelijk ammoniak) is wereldwijd nog in ontwikkeling. Hierbij spelen de beschikbaarheid van direct opgewekte waterstof, de import van waterstof en waterstofdragers, 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 door RVO de Roadmap Brandstoftransitie Zeevaart uitgewerkt. Deze roadmap brengt de meest waarschijnlijke transitiepaden voor de zeevaart in kaart, uitgesplitst naar

verschillende scheepstypen. Uitgangspunt van de roadmap is een klimaatneutrale zeevaart in 2050. De roadmap wordt met betrokkenheid van de gehele keten opgesteld, van brandstofproducent tot scheepseigenaar en verlader.

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. Deze strategie wordt in 2023 herzien. Nederland zet in op het uitfasen van de absolute broeikasgasemissies in 2050 (broeikasgasemissies naar nul, in lijn met het Parijsakkoord). Ook zet Nederland in op ambitieuze tussendoelen in 2030 en 2040, om tijdig vóór 2050 al op concrete reducties te kunnen sturen. In 2023 ligt naast de herziening van de strategie ook een pakket van middellangetermijnmaatregelen voor die de doelstellingen moeten helpen realiseren. Deze maatregelen zijn gericht op het normeren en beprijzen van de broeikasgasuitstoot in de zeevaart.

Op 14 juli 2021 heeft de Europese Commissie een pakket aan maatregelen gepresenteerd, met als doel om in 2030 een emissiereductie van minimaal 55% te realiseren ten opzichte van 1990: het Fit-for-55-pakket. Voor de zeevaart zijn met name de volgende onderdelen 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 het uitbreiden van het EU ETS naar de zeevaart en het normeren van de broeikasgasintensiteit van energie aan boord (FuelEU Maritime) 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

⁶¹ Demand for Renewable Hydrocarbons in 2030 and 2050, Uslu et al., 2020

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 totale extra jaarlijkse elektriciteitsverbruik ten behoeve van de zeevaart daarmee in 2030 uitkomt op 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 duurzame energiedragers verplichtingen. Afhankelijk van de precieze (Europese) vormgeving hiervan wordt een implementatietraject ingericht.

Voorstel invulling restopgave	Restopgave voornamelijk invullen met biobrandstoffen, aangevuld met synthetische hernieuwbare brandstoffen
Nodig voor invulling restopgave	<i>Roadmap Brandstoftransitie Zeevaart</i> 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. Daarnaast zal volgens de huidige verwachting vooral een omvangrijke hoeveelheid biobrandstoffen nodig zijn om de restopgave volledig in te vullen. Het ministerie van IenW wil met een 'Roadmap Brandstoftransitie' inzichtelijk maken hoe de brandstoftransitie naar een emissieloze zeevaart eruit zou kunnen zien. 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. 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 eind 2023 gepubliceerd.

Aanvullende investeringsimpulsen

De maatregelen uit het Fit-For-55-pakket, waaronder de afgesproken maatregelen gericht op het normeren en beprijzen van broeikasgasuitstoot in de zeevaart, zetten een belangrijke stap in de transitie naar het gebruik van duurzame brandstoffen in deze sector. Tegelijkertijd geeft de impactassessment van de Europese Commissie bij het 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 dit⁶². Mondiale onderhandelingen over onder meer normerings- en beprijzingsmaatregelen vinden dit jaar plaats. 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.

Het ministerie van IenW heeft daarom bij het Nationaal Groeifonds een voorstel ingediend voor 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).

Randvoorwaardelijk

- 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 voor e-fuels.
- De import van waterstof en waterstofdragers, adequate waterstofinfrastructuur en de opslag en bunkering. Mogelijk gaat ook de directe import van hernieuwbare

⁶² CE Delft, 29 november 2022, Fit for 55 and 2030 milestones for maritime shipping: A pathway towards 2050, Delft: CE Delft. Zie bijlage bij: Klimaatbeleid voor de Zeevaart | Tweede Kamer der Staten-Generaal

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 walstrooinfrastructuur in zeehavens.
- 50+106 = 156 PJ RFNB's nodig (Methanol, waterstof, mogelijk ammoniak).
- 307 PJ Biobrandstoffen (methanol, Biostookolie, HVO, bio-LNG)

Luchtvaart

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.

⁶³ Kamerbrief Principebesluit CO₂-plafond luchtvaart. Kamerbrief over Principebesluit CO₂-plafond luchtvaart | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

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 Luchtvaartnota 2020-2050. Het kabinet gaat deze doelen wettelijk vastleggen in een CO₂-plafond⁶³.

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 opgenomen⁶⁴. Volgens het in april 2023 bereikte (voorlopige) akkoord start de Europese

⁶⁴ 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%);

bijmengverplichting met 2% in 2025, vervolgens oplopend naar 6% in 2030, 20% in 2035 en 70% in 2050.⁶⁵

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

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 zijn⁶⁶.

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. Op verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft studio Gear Up een nieuwe doorberekening gemaakt aan de hand van de huidige cijfers van het voorlopige akkoord ReFuelEU Aviation van april 2023. Deze komen neer op 6% voor 2030 en 70% per

2050. De doelen die in nationaal verband zijn gesteld, liggen hoger dan de Europese bijmengverplichting in de ReFuelEU Aviation-verordening. Om deze reden maakt het onderzoek hier onderscheid tussen (zie tabel hieronder).

Bij de start van het onderzoek was de algemene oriëntatie van de Europese Commissie voor het ReFuelEU-voorstel net tot stand gekomen. Voor dit onderzoek is daarom gerekend met een percentage van 5% voor 2030, conform de cijfers van de algemene oriëntatie. In de ReFuelEU Aviation-verordening komt de bijmengverplichting neer op 6% in 2030.

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

Tabel 3. Verwachte energie- en elektrolysecapaciteit.

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

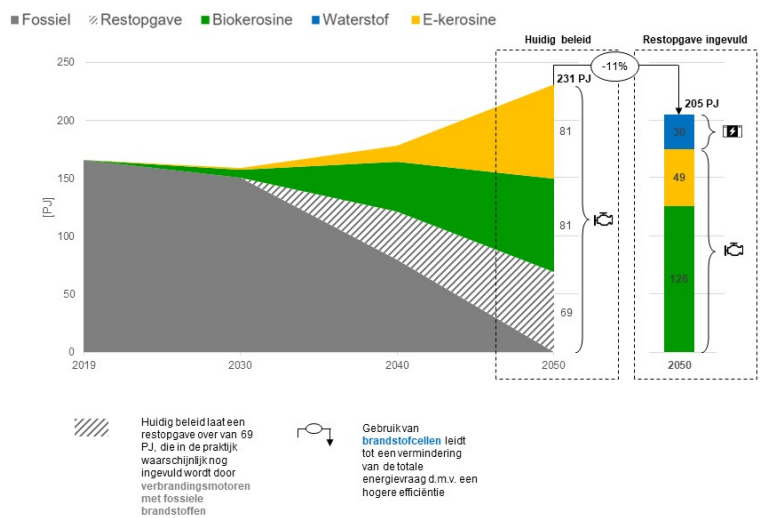
De doelen die het kabinet nationaal heeft gesteld zijn ambitieuzer dan de afspraken in Europees verband. Om dit gat te overbruggen zijn stimulerende maatregelen nodig. Als minimum gelden de aantallen uit de ReFuelEU Aviation-verordening. Deze zijn dan ook leidend geweest voor de verwerking van het NPE-kaartje hieronder. 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 van synthetische kerosine. Als

⁶⁵ Op basis van het voorlopige akkoord in de trilog, in afwachting van de definitieve wettelijke uitwerking.
⁶⁶ Sociaal Economische Raad, 2020. Biomassa in balans. Een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen.

⁶⁷ Rapport: Hernieuwbare waterstof voor luchtvaartbrandstoffen in Nederland. Studio Gear Up, 2023.

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. In dit onderzoek zijn geen uitspraken gedaan over de verwachte energievraag voor elektrisch vliegen, voor de grondgebondenactiviteiten en voor drones. Dit zal gebeuren in een aantal vervolgonderzoeken.



Figuur 21. Doorrekening energieverbruik luchtvaart tot 2050, alsmede doorrekening gewenst eindbeeld in 2050.

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

- ReFuel Aviation.
- ETS voor de luchtvaart.
- Bij deze doorrekening zijn de doelen uit de Luchtvaartnota gebruikt om de verdeling in de restopgave in 2050 (rechts in het diagram) weer te geven.

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 Luchtvaart⁶⁸. 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.

Voorstel invulling restopgave	Biobrandstoffen, E-fuels en H2
Nodig voor invulling restopgave	Luchtvaart is op mondiaal, Europees en nationaal niveau gebonden aan doelstellingen: - Mondiaal - ICAO: Net-zero doel 2050. - CORSIA. - Europees - ReFuelEU Aviation. - EU ETS. - Richtlijn Energiebelastingen (ETD). - Nationaal - Nationale bijmengdoelstellingen. - Luchtvaart in Transitie: groeifondsvoorstel gericht op innovatie en onderzoek. - CO₂-plafond. - Beprijzen en bewustwording.
	Randvoorwaardelijk voor het behalen van Europese verplichting en nationale doelen - 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.

⁶⁸ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020. Actieagenda Trein en Luchtvaart.

- 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.
Beschikbaarheid energiedragers oplopend tot jaarlijks (in 2050).
- 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).
Aanvullend beleidsinstrumentarium voor de invulling van de restopgave.
- 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. - In lijn met het IBO-fiche kan door inzet van deze maatregel circa 1,0 Mton CO₂-reductie in 2030 worden gerealiseerd, uitgaande van een subsidiebudget van €134 miljoen in 2030.

2.3. Conclusies transitiepad mobiliteit

De verschillende modaliteiten moeten samen met de overheid aan de slag om richting 2050 een transitie te hebben gemaakt naar klimaatneutrale mobiliteit. 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 restopgave van 570 PJ. Het effect van deze normeringen richting 2030 is nog onvoldoende om de transitie zelfstandig op gang te brengen. Daarnaast moet er blijven worden ingezet op energiebesparing door bijvoorbeeld in te zetten op actieve mobiliteit.

Totale behoefte

In de onderstaande tabel is de behoefte aan energiedragers op basis van huidig en voorgenomen beleid weergegeven voor 2050, inclusief de restopgave. De efficiëntieslag als gevolg van de reeds doorgevoerde transitie naar elektrische aandrijving is in deze scenario's al meegenomen.

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

Energiedragers bestaand/voorgenomen beleid (PJ)	Hernieuwbare elektriciteit	Hernieuwbare waterstof	Bio-brandstoffen	RFNBO's (exclusief H ₂)	Rest-opgave	Totaal
Personenvervoer	74		16		62	152
Collectief vervoer (ov)	13	0,3	0,1		2	17
Bestelvervoer	17		2		21	40
Zwaar wegtransport	33	6	14		31	82
Mobiele werktuigen	1		2		40	43
Binnenvaart	1		4		47	52
Zeevaart	17		130	50	283	480
Luchtvaart			80	64	84	228
Totaal	156	6	248	114	570	1094

Tabel 5. Potentieel totaal beeld van behoefte op basis systeemargumenten in PJ

Potentieel beeld energiedragers 2050 (PJ)	Hernieuwbare elektriciteit	Hernieuwbare waterstof	Biobrandstoffen	E-Fuels	Totaal
Personenvervoer	99				99
Collectief vervoer (ov)	14	1			16
Bestelvervoer	21		7		28
Zwaar wegtransport	41	11	11		62
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

2.4. Uitvoeringsagenda verduurzamen

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 BEV te ondersteunen, is het verhogen van de brandstofaccijnzen. Zo ontstaat een prijsvoordeel voor BEV ten opzichte van ICE.

Middellange termijn

Op termijn wordt een dekkend netwerk van laadinfrastructuur naar doelstellingen van de NAL gerealiseerd. Om een oplossing te bieden voor congestie en transportschaarste, en om hernieuwbare elektriciteit beter te borgen, zal Slim laden de nieuwe norm worden. Via bi-directioneel laden wordt ook flexibiliteit en opslag aan het energiesysteem geboden. 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. Mits de benodigde hernieuwbare elektriciteit aanwezig is. 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. De coalitie heeft zelf daarom bij het coalitieakkoord 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 (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 energiehubs 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 bi-directioneel 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 belastingstelsel (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 marktvrage 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.

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. Onderhandelingen over mondiale klimaatdoelen in de zeevaart, en bijbehorende normerings- en beprijzingsmaatregelen, vinden plaats in de zomer van 2023 in IMO.

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 koplopperrol 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. 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 gezocht 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- en zeevaart in het nationale doel voor 2050 kunnen passen. De Tweede 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. Vanaf 2030 geldt de verplichting aan (kern)zeehavens om walstroom beschikbaar te stellen (AFIR), en zal vanuit de RED III een mogelijke bijmengverplichting voor brandstofleveranciers aan de zeevaart gelden. 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 (in lijn met het KTF-fiche), 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.

⁶⁹ In dit NPE en hierop volgende versies wordt in de koolstofketen en de sectorpaden mobiliteit en industrie zoveel als mogelijk aangegeven hoe de NL productie en import van bunkerbrandstoffen zich ontwikkelen, wat raakt aan de motie van het lid Boucke cs waarin de regering wordt verzocht om een

visie, een plan en een groeipad tot 2030 en 2050 op te stellen ten aanzien van de productie, opslag en het transport van duurzame luchtvaartbrandstoffen, en daarbij de internationale context in de energietransitie te betrekken (Kamerstuk 31936, nr. 976)

3. Transitiepad industrie

Dit hoofdstuk beschrijft het 'sectoraal transitiepad industrie' als onderdeel van het concept Nationaal plan energiesysteem (concept-NPE). Het concept-NPE brengt vanuit verschillende energieketens (elektriciteit, waterstof, warmte, koolstof) in kaart wat de mogelijkheden zijn voor toekomstig aanbod van energiedragers en geeft vanuit 'vraagsectoren' (gebouwde omgeving, industrie, mobiliteit, landbouw) inzicht in mogelijke toekomstige vraag naar energiedragers. Hiermee kunnen de dilemma's ten aanzien van het toekomstige energiesysteem in kaart worden gebracht.

Dit hoofdstuk geeft op hoofdlijnen inzicht in de verschillende verduurzamingsroutes voor de industrie en geeft een doorkijk naar de sterk uiteenlopende bandbreedtes van de potentiële toekomstige energievraag van een duurzame industrie. Hierbij is er een zeer nauwe wisselwerking nodig met het nog in opbouw zijnde Nationaal Programma Verduurzaming Industrie (NPVI) en de Routekaart Verduurzaming Industrie.

Het kabinet heeft in het coalitieakkoord een ambitieus doel gesteld voor verduurzaming van de industrie. Om dit doel te bereiken wil het kabinet bedrijven zo veel mogelijk laten investeren in verduurzaming in Nederland in plaats van elders: liever hier groen, dan elders grijs. Met het NPVI werkt het kabinet aan de randvoorwaarden voor verduurzaming van de industrie (infrastructuur, subsidies, normering en dergelijke). Via die randvoorwaarden geven we de industrie een duidelijk handelingsperspectief op korte en lange termijn, zodat duurzame investeringen in Nederland landen. Het kabinet ziet dat alle sectoren in de basisindustrie een goede uitgangspositie hebben om hier te verduurzamen, mede op basis van de analyse van Guidehouse en het rapport van de Boston Consultancy Group over verduurzaming van de industrie. Het kabinet maakt dus geen keuzes of bedrijven of sectoren toekomst hebben in Nederland. Het is aan bedrijven om zelf keuzes te maken binnen hun verduurzamings- of vestigingsstrategie.

De uiteindelijke vraag naar energiedragers vanuit de industrie is daarmee een samenloop tussen overheidskeuzes en private investeringen. Er is een grote diversiteit aan verduurzamingsopties en er zijn nog grote onzekerheden ten aanzien van verduurzamingsmogelijkheden en internationale ontwikkelingen. Daarnaast volgen er nog belangrijke keuzemomenten voor randvoorwaarden voor de verduurzaming van de industrie. Hierdoor zijn er geen vooraf te definiëren eenduidige paden en bandbreedtes voor de industrie vast te leggen. Verduurzamingsroutes binnen de geschapen randvoorwaarden verschillen per industrie, per cluster en per bedrijf.⁷⁰

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'⁷¹ en bestaande beleidslijnen uit onder andere 'Het verschil maken met strategisch en groen industriebeleid',⁷² 'Actuele situatie energie-intensieve industrie',⁷³ 'Voortgang Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (MIEK)'⁷⁴ en 'Voortgang Maatwerkafspraken'.⁷⁵

Het hoofdstuk sluit zo nauw mogelijk aan bij de bewoording uit deze beleidslijnen. Waar mogelijk is de formulering direct overgenomen. Aangezien er nog wordt gewerkt aan een Routekaart Verduurzaming Industrie én de industrieroutes 'levende' routes zijn; zal deze tekst doorlopend moeten worden bijgewerkt naar de laatste inzichten. Voor de actuele stand van het Nederlandse industriebeleid geven de meest recente versies van genoemde programma's de juiste informatie weer.

⁷⁰ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 14.

⁷¹ Kamerstuk 29826, nr. 176 en Guidehouse. (2023). *Analyse voor Programma Verduurzaming Industrie*.

⁷² Kamerstuk 29826, nr. 147.

⁷³ Kamerstuk 29826, nr. 170.

⁷⁴ Kamerstuk 29826, nr. 155.

⁷⁵ Kamerstuk 29826, nr. 173.

Dit hoofdstuk schetst achtereenvolgens

- Huidige kenmerken van de Nederlandse (energie-intensieve) industrie.
- Verduurzamingsmogelijkheden van deze industrie op hoofdlijnen.
- Vraagontwikkeling naar energiedragers in de industrie (bandbreedtes uit scenariostudies).
- Belangrijkste onzekerheden en dilemma's bij deze verduurzaming.
- Beleidsdoelstellingen voor verduurzaming van de industrie.
- Sturing op en uitvoering van deze beleidsdoelstellingen.

3.1. Huidige situatie

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 achthonderdduizend mensen werkzaam zijn. Nog eens honderdduizenden mensen werken in bedrijven die de industrie ondersteunen.⁷⁶ De Nederlandse industrie is sterk geïntegreerd in internationale ketens en kent een financieel aandeel van 30% in onze totale export van goederen en diensten.⁷⁷ Daarmee is deze sector van ongekend belang voor ons land.

De industrie is 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.^{78,79}

Ons land kent vijf industriële regio's waar de energie-intensieve bedrijvigheid is geclusterd: Rotterdam/Moerdijk, Zeeland (Terneuzen en omstreken), Noordzeekanaalgebied, Noord-Nederland (Eemshaven-Delfzijl en Emmen) en Chemelot (regio Geleen). De overige industriële bedrijven (waaronder ook grote energieverbruikers), buiten deze regionale clusters, hebben zich verenigd in een cluster 6, waarin zij kijken naar hun behoeften en mogelijkheden voor een succesvolle transitie.

Twaalf grote energie-intensieve bedrijven – de 'grote twaalf', samen verantwoordelijk voor ruim 60% van de industriële CO₂-uitstoot in Nederland – hebben sleutelposities in deze

industriële clusters. Veel bedrijven in de zes clusters zijn voor hun bedrijfsactiviteiten afhankelijk van de 'grote twaalf', vanwege de bestaande ketenrelaties.

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.
- De chemie groeit nog steeds hard. Er zijn vooral veel hoogwaardige materialen nodig voor onder meer de transitie naar een klimaatneutrale en circulaire economie.

De sector omvat in Nederland:

- Energie-intensieve, bulk basischemie (in de clusters – 75% omzet);
- Kennisintensieve, hoogwaardige specialty chemicals (in clusters en verspreid over het land – 25% omzet).
- De Nederlandse chemie is sterk geïntegreerd: op en tussen de clusters en sites, maar ook upstream met de raffinagesector.
- Nederland is door zijn ligging en grote raffinagesector een grote producent van energie- en grondstofintensieve bulk chemie (meer dan 15% van de kraakcapaciteit in de EU).
- Deze bulkproducten zijn hard nodig in Europa voor onze plastics, bouwmaterialen, vezels, kleding, coatings, medicijnen en voedingsmiddelen.
- 80% van deze bulk wordt geëxporteerd naar Europa, voornamelijk binnen de Antwerp-Rotterdam-Rhine-Ruhr Area (ARRRA-cluster), goed voor 40% van de Europese chemieproductie.
- 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.
- Export naar landen buiten Europa betreft vooral hoogwaardige chemie; Europa is nog altijd netto-exporteur van specialty chemicals.

⁷⁶ Kamerstuk 29826, nr. 147, p. 1.

⁷⁷ Bron: CBS Nationale Rekeningen 2021V (berekeningen TNO).

⁷⁸ 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 van totaal bkg emissies: StatLine - Emissies naar lucht door de Nederlandse economie; nationale rekeningen (cbs.nl).

⁷⁹ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 9.

- Hoogwaardige chemie komt tot bloei binnen 'industrial ecosystems': triple helix communities waar grote bedrijven, start-ups, onderzoekscentra, en universiteiten nauw samenwerken, zoals nu al op Chemelot.
- 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 en verder benzine naar de Verenigde Staten en Afrika).
- De sector kent € 25 miljard tot € 35 miljard omzet, ongeveer € 2 miljard toegevoegde waarde en zorgt voor 5.500 banen.
- Naar verwachting zal de toekomstige brandstofvraag gestaag dalen door elektrificatie van personenvervoer en een deel van het vrachtvervoer, hierdoor ontstaat overcapaciteit in Europa.
- Voor een deel van het heavy-duty road transport, de scheepvaart en de luchtvaart zal de brandstofvraag grotendeels door waterstof en low-carbon fuels ingevuld moeten worden: duurzame brandstoffen op basis van duurzame biograndstoffen, afval en CO₂ (synthetisch).
- 60% van de brandstofconsumptie in Nederland komt voor rekening van de internationale scheep- en luchtvaart; 40% wordt ingezet voor Nederlands weg- en watertransport.
- Er is momenteel een sterke groei van bioraffinage in Rotterdam, met recente investeringen van Neste (€ 2 miljard) en Shell (€ 1 miljard) in next-generation biofuel fabrieken.
- 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 door Dow, SABIC en Shell Moerdijk voor productie van basischemie (olefines)
- in de Botlek/Pernis worden lokaal in een geïntegreerd cluster uit diverse raffinagestromen aromaten, bouwmaterialen, plastics, en dergelijke geproduceerd.
- Raffinage heeft daarmee een sleutelrol in de verduurzaming van grondstoffen van de chemie; ongeveer 20% van olie-inzet in Nederland gaat naar de chemische sector (waarvan het grootste deel nafta/lpg voor krakers).

- Voor strategische autonomie is raffinage/duurzame brandstofproductie dus van blijvend belang.
- Slechts 5% van de uitstoot van de raffinagesector vindt direct tijdens de productie plaats (scope 1). 95% van de uitstoot zit in het eindproduct (scope 3), waarvan 85% via brandstoffen en 15% via de basischemie.
- De emissies van de raffinagesector betreffen 10 Mt CO₂. De emissie-intensiteit is daarmee ongeveer 2 Mt CO₂/miljard euro toegevoegde waarde.

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. Internationaal gezien is het een middelgrote productielocatie.
- De markt voor staalplaten in Europa groeit met ongeveer 1,5-2% per jaar. Grootste markten voor Tata Steel zijn automotive 32%, packaging 16% (meeste absolute winst), engineering 22% en constructie 33%.
- Voor de EU is er een toename in geïmporteerd staal. Het handelstekort van de EU 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.
- Vanwege de focus op hoogwaardig staal verwerkt Tata Steel slechts 15-20% schrootijzer (gemiddeld is dit in de EU 40-50%). De EU exporteert nu netto schroot.
- 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.
- De staalproductie gaat gepaard met gezondheidsproblemen in de omgeving. Daarnaast is Tata Steel verreweg de grootste industriële stikstofuitstoter van Nederland. Het bedrijf werkt met een eigen roadmap en programma aan inperking hiervan.
- Het merendeel van de Nederlandse industrie gebruikt staal dat niet van Tata Steel afkomstig is. Het hier geproduceerde staal wordt bijna niet in Nederland verder verwerkt, behalve voor toepassingen in elektriciteitsopwekking.

- De emissies van de staalsector betreffen 12 Mt CO₂. De emissie-intensiteit is daarmee ongeveer 4 Mt CO₂/miljard euro toegevoegde waarde.

Kunstmest

- De kunstmestproductie zou als onderdeel gezien kunnen worden van de chemiesector, maar wordt vanwege haar energievraag separaat behandeld. De sector kent ongeveer € 2 miljard omzet, € 0,5 miljard toegevoegde waarde en 1.100 banen bij twee bedrijven (Yara 600 en OCI 500).
- De wereldwijde kunstmestmarkt groeit met ongeveer 3% per jaar. Nederland is de grootste producent van stikstofkunstmest in West-Europa. Meer dan 95% van de Nederlandse productie is bedoeld voor export, vooral naar de EU. De consumptie van stikstofkunstmest in de EU is constant op ongeveer 10 Mt en daalt in Nederland en Duitsland.
- In Nederland wordt kunstmest geproduceerd op basis van aardgas (7-8% van het Nederlandse 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-ammoniak en -kunstmest, waarvan een groot deel uit Rusland (hoewel het volume sterk is gedaald in 2022) en Egypte, met veel hogere CO₂-uitstoot. Kunstmestprijzen zijn hierdoor sterk gestegen, met grote impact op voedselproductie en -prijzen, ook elders in de wereld.
- De EU is 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. Stikstofkunstmest kan slechts deels circulair geproduceerd

worden via terugwinning uit afvalwater en mestvergisting. Stikstof wordt opgenomen in de bodem, een deel ontsnapt via de atmosfeer, een deel komt terecht in planten en via stofwisseling in afvalwater (mens) en dierlijke mest.

- 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 emissies van de kunstmestsector betreffen 4 Mt CO₂. De emissie-intensiteit is daarmee ongeveer 8 Mt/miljard euro toegevoegde waarde.

Belang industrie

De industrie is met 12% van het bbp (2020) een belangrijke pijler onder de Nederlandse gediversifieerde economie en draagt bovengemiddeld bij aan export, innovatie, productiviteit en hoogwaardige banen. Ook in allerlei toeleverende sectoren en ondersteunende diensten die deel uitmaken van industriële ecosystemen. 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.⁸⁰

De Nederlandse economie is dus 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. Voor de brede welvaart, inclusief de transitie naar een duurzame economie, heeft Nederland voldoende verdiencapaciteit 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.⁸¹

Nederland heeft met zijn sterk geïntegreerde en innovatieve industrie, kennisinfrastructuur en geografische ligging een uitstekende uitgangspositie om internationaal koploper

⁸⁰ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 4.

⁸¹ Kamerstuk 29826, nr. 147, p. 3.

klimaatneutrale en circulaire industrie te worden. De energie-intensieve basisindustrie gebruikt weliswaar veel energie (grootweg de helft van het Nederlandse primaire energieverbruik), maar heeft tegelijk een strategische positie aan het begin van veel waardeketens. 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 niet bij gebaat als bedrijvigheid en uitstoot worden verplaatst naar het buitenland. Het kabinet streeft daarom naar behoud van de strategische basisindustrie, ook al is deze energie-intensief en gebruikt ze veel grondstoffen. De verduurzaming van de industrie zal zo veel mogelijk hier plaats moeten vinden, vanzelfsprekend binnen de grenzen van wat er kan in Nederland.⁸²

Dit zien we terug in het specifieke belang van de energie-intensieve sectoren voor het Nederlandse verdienvermogen. De Nederlandse chemie is een diverse, innovatieve sector, waarin goede kansen voor een koploperspositie in de duurzame transitie liggen. De Nederlandse chemie is sterk geïntegreerd, zowel horizontaal, tussen de clusters en sites, als verticaal met bijvoorbeeld de raffinage- en kunststofindustrie. De chemie kent energie-intensieve bulk basischemie en kennisintensieve hoogwaardige fijnchemie. De basischemie is hard nodig voor onze plastics, vezels, coatings, medicijnen en voedingsmiddelen. De sector heeft een sleutelrol in de circulaire economie. Hoogwaardige chemie komt tot bloei in industrial ecosystems, waar grote bedrijven, start-ups, onderzoekscentra en universiteiten samenwerken, zoals nu al op Chemelot gebeurt. De raffinagesector is groot in Nederland, maar zal ingrijpend moeten veranderen: de sector moet leverancier worden van groene brandstoffen en groene chemische grondstoffen. Veel van de bestaande assets lijken te kunnen worden hergebruikt voor de productie van groene producten. De kunstmestsector is onderdeel van de chemische industrie. Dit is een kleine, efficiënte, zeer exportgerichte industrie met meerdere opties voor verduurzaming. In de basismetalsector kent Nederland een efficiënte, hoogwaardige staalfabriek op een gunstige ligging qua aanvoer en afvoer. Staal is een product dat we bovendien vandaag en in de circulaire economie van de toekomst blijven gebruiken. Zo gebruiken we staal onder

andere voor onze auto's, huisapparatuur, defensiematerialen en windmolens. De fabriek staat wel voor de grote uitdaging om snel minder belastend te worden voor de leefomgeving. De grootste vraag zal zijn of duurzame staalproductie (Direct Reduced Iron; DRI) op waterstof in Nederland op termijn concurrerend is.⁸³

3.2. Trends en verduurzamingsmogelijkheden industrie

Algemene trends

De verduurzaming van de industrie speelt zich af tegen een achtergrond van een ingrijpend veranderende wereld. Door de coronacrisis, de oorlog in Oekraïne en de energiecrisis zijn energieprijzen wereldwijd veranderd. Een op fossiele energie gebaseerde industrie is hierdoor kwetsbaar gebleken.⁸⁴ Geopolitieke omstandigheden hebben daarmee hernieuwde nadruk op strategische autonomie en leveringszekerheid gelegd.

De Verenigde Staten hebben de Inflation Reduction Act geïntroduceerd en ook de EU en de afzonderlijke lidstaten treffen volop maatregelen om aantrekkelijk te zijn voor investeringen in industriële verduurzaming, zoals het Carbon Border Adjustment Mechanism en de Net-zero Industry Act. Met de Nederlandse en Europese transitie naar een duurzame samenleving ontstaat daarnaast vraag naar nieuwe producten en productietechnologieën, en daarmee ontstaan nieuwe markten. Deze veranderingen maken de kansen van versnelde verduurzaming van de industrie groter.⁸⁵

Parallel hieraan staat de industrie ook centraal in de transitie naar een circulaire economie. In het Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE)⁸⁶ besteedt het kabinet onder andere aandacht aan de circulaire kansen voor bedrijven in Nederland. De industrie vormt het begin van de materiaalketen en gebruikt dus veel grondstoffen. Tegelijkertijd is de industrie de beoogde afnemer van afvalstromen, zoals te recyclen plastics, die met nieuwe technologie circular teruggebracht worden in de keten, en staat ze aan de voet van tal van ontwikkelingen in de biobased chemie. Door het gebruik van duurzame producten en brandstoffen nemen de emissies van huishoudens en van mobiliteit af. Biobased

⁸² Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 4.

⁸³ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 9.

⁸⁴ Zie ook de brief Actuele situatie energie-intensieve industrie. Kamerstuk 29826, nr. 170.

⁸⁵ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 2.

⁸⁶ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030.

productieketens bieden duurzame kansen voor de landbouw. Nederland kan met zijn sterke fossiele grondstofinfrastructuur een sleutelrol spelen in de transitie naar een groene grondstofeconomie in Noordwest-Europa. In het bijzonder in het ARRA-cluster, dat mondiaal tot de top 3 chemieclusters behoort en waar 40% van de chemische productie in Europa plaatsvindt.⁸⁷

Er wordt dus op veel fronten gewerkt aan elementen die raken aan de verduurzaming van de industrie. Tegelijkertijd kan de onderlinge verbinding versterkt worden om de ambitieuze doelen voor verduurzaming van de industrie te behalen.

Verduurzamingsmogelijkheden

De Nederlandse industrie kent een zeer diverse scope aan verduurzamingsmogelijkheden. Hierna worden de hoofdroutes voor verduurzaming van de industrie geschetst die impact hebben op het energiesysteem en de koolstofketen. 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.⁸⁸ Zie hiervoor ook werkdocument D, hoofdstuk 1 over circulariteit. Vanaf paragraaf 3.4 wordt nader ingegaan op de dilemma's voor het energiesysteem die spelen rondom deze verduurzamingsmogelijkheden en de bandbreedtes voor de vraag naar energiedragers uit verschillende systeemstudies.

Elektrificatie

Elektrificatie van de industrie functioneert als vliegwielt voor de Nederlandse energietransitie. 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 energietransitie gaan zodoende hand in hand. Dit raakt daarmee sterk aan het hoofdstuk inzake de elektriciteitsketen (Ambtelijk werkdocument 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 procesefficiency. 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 groene waterstof (elektrolyse van water).

Waterstof

Waterstof is een belangrijke verduurzamingsroute voor de industrie. Deze verduurzamingsmogelijkheid raakt zeer sterk aan de paragraaf inzake de waterstofketen (Ambtelijk werkdocument B, hoofdstuk 2) en kent daarmee een wisselwerking. De Nederlandse industrie consumeert momenteel naar schatting 180 PJ waterstof per jaar,⁸⁹ 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

⁸⁷ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 5.

⁸⁸ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2022). Grondstoffen voor de grote transitie. Bijlage Kamerstuk 32852, nr. 224.

⁸⁹ TNO & CBS. (2020). The Dutch hydrogen balance, and the current and future representation of hydrogen in the energy statistics. TNO.

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 uitroolsnelheid 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 waterstof koolstofarm te maken. Voor waterstof uit circulaire processen, bijvoorbeeld verwaarden van afvalstromen waarbij ook andere grondstoffen vrijkomen, is doorgaans geen alternatief. 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 doorgroei naar 8 GW in 2032. Voor wat betreft import wordt ingezet op verschillende waterstofdragers, zoals ammoniak, liquid organic hydrogen carriers (LOHC), methanol en vloeibare waterstof. Op korte termijn lijkt ammoniak het grootste aandeel te hebben in de import; dit is direct als grondstof/brandstof in te zetten of te kraken om waterstof vrij te maken.

Carbon Capture and Storage (CCS)

Carbon Capture and Storage (CCS) omvat het afvangen, transporteren en ondergronds opslaan van CO₂. 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. De afvang en opslag van fossiele CO₂ is nodig om de 2030 klimaatdoelen van de industrie te bereiken en wordt gezien als een transitietechnologie. Door CCS te combineren met de inzet van bio-energie zijn negatieve emissies te realiseren. Deze zijn op den duur nodig om volledig klimaatneutraal te worden (zie ook Ambtelijk werkdocument B, hoofdstuk 3, over negatieve emissies en de koolstofketen). 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.

Aangezien het om een transitietechnologie gaat, begrenst het kabinet de publieke stimulans voor CCS via de 'Zeef' en 'Horizon' in de regeling Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++). 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.

Industriële (rest)warmte

Industriële (rest)warmte kan (mits duurzaam opgewekt) een hernieuwbare warmtebron vormen voor de industrie zelf of voor andere sectoren. 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.

De meeste 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 uitfasen ten faveure van elektromotoren. Overgebleven stoom in een bedrijf wordt vrijwel altijd omgezet in elektriciteit. Dit noemen we aftapwarmte, 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-bruikbare stoom is weer op te waarderen 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 concept-NPE (werkdocument B, hoofdstuk 4).

Biograndstoffen

Duurzame biograndstoffen gaan voor de toekomstige industrie een belangrijke bron van hernieuwbare 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 hernieuwbare koolstof worden gemaakt. Biograndstoffen nemen CO₂ uit de atmosfeer op tijdens de groei, en zijn daarom een hernieuwbare 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 en in toepassingen waar geen goede alternatieven voor bestaan, zoals luchtvaartbrandstof. Deze verduurzamingsmogelijkheid voor de industrie raakt sterk aan de paragraaf over de koolstofketen (Ambtelijk werkdocument B, hoofdstuk 3) in dit concept-NPE, en de overwegingen die daar zijn geschetst.

Recycling

Recycling zal een belangrijke bron van koolstof gaan vormen, en wordt ook behandeld in de paragraaf over de koolstofketen in dit concept-NPE (Ambtelijk werkdocument B, hoofdstuk 3). Er bestaat een onderscheid tussen mechanische en chemische recycling. Mechanische recycling is het verwerken van kunststofafval tot grondstof, zonder scheikundige verbindingen af te breken. Kunststofafval wordt bij voorkeur mechanisch gerecycled om grondstoffen terug te winnen. Dit is het energie- en materiaal-efficiëntst. Hierbij is momenteel echter vaak sprake van downcycling: veel mechanisch gerecycled plastic wordt toegepast in laagwaardige producten als vuilniszakken. Er wordt in feite geen virgin material vervangen. Ook kan het plastic na een aantal maal gerecycled te zijn aan kwaliteit verliezen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij PET. Voor voedselverpakkingen gelden strenge eisen, waardoor mechanische recycling momenteel niet geschikt is. Er zijn uiteraard innovaties te verwachten op dit vlak.

Plasticafval dat niet mechanisch te recylen is, kan chemisch gerecycled worden. Kunststof wordt dan door middel van een chemisch proces teruggebracht naar kleinere bouwstenen van het materiaal (monomeren of basismoleculen), zodat daar opnieuw kunststof van gemaakt kan worden. Chemisch recylen kan via vier technologieroutes: oplossen, 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 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.

Carbon Capture and Utilisation or Usage (CCU)

Carbon Capture and Utilisation or Usage (CCU) kan een belangrijke koolstofbron gaan vormen. Ook deze verduurzamingsroute komt terug in de paragraaf over de koolstofketen van dit concept-NPE (Ambtelijk werkdocument B, hoofdstuk 3). CCU is het afvangen (of uit de lucht halen) van CO₂, waarna deze gebruikt wordt als grondstof voor brandstoffen, chemicaliën en materialen. Er is een groot verschil in CCU en CCS (zie hiervoor). Bij CCS wordt CO₂ permanent opgeslagen en daarmee uit de kringloop gehaald. Bij CCU kan de vastgelegde CO₂ in materialen en producten aan het einde van de levensduur weer vrijkomen. CCU wordt hierdoor als een vorm van recycling gezien. Belangrijk is om onderscheid te maken tussen kortdurend gebruik (bijvoorbeeld bij uitkoppeling van CO₂ richting kassen, gebruik in frisdrank – ofwel 'usage') en vastlegging (bijvoorbeeld kortetermijnvastlegging in brandstoffen, plastics of langetermijnvastlegging in bakstenen – ofwel 'utilisation'). Momenteel worden beide vormen als CCU gezien, waarbij de usage-kant wordt ondersteund binnen de SDE++-regeling. De utilisation-kant 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.

CCU heeft een cruciale rol in de grondstoffentransitie naar een fossielarme economie. Er zijn echter nog uitdagingen: sommige CCU-technologieën vragen veel energie. Er bestaan al minder energie-intensieve technologieën, met name de non-reductieve routes, zoals

vastlegging in bakstenen en natuurlijke mineralen. Bovendien is er 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 energie 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.

Procefficiency

Procefficiency 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.

Procefficiency 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 procefficiency-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). Materiaalefficiëntie zal vooral neerslaan als een scope 3 effect (uitstoot van een andere organisatie in de keten). Belangrijk voor procefficiency is automatisering door geavanceerde procesregeling (advanced process control of APC) en optimalisatie.

Procefficiency beperkt de vraag naar energie en grondstoffen. Het maximale besparingspotentieel voor de industrie door procefficiency in 2030, ten opzichte van de Klimaat- en Energieverkenning 2021, wordt geschat op 29 PJ.^{90 91}

⁹⁰ PDC & Royal HaskoningDHV. (2020). *Project 6-25 Technology Validation*.

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 (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 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).

Verduurzamingsmogelijkheden 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 verhitting als emissievrije brandstof voor het kraakproces. Andere Europese projecten onderzoeken waterstof als brandstof voor stoomkraken.

In geval van kunststoffen is vermindering van gebruik van fossiele grondstoffen een belangrijke uitdaging. Alternatieve grondstoffen 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

⁹¹ PBL & RVO. (2021). *Reflectie op Cluster Energiestrategieën (CES 1.0)*.

van nieuwe hoogwaardige polymeren mogelijk, maar deze processen zijn nog in ontwikkeling. Voor krakers wordt momenteel elektrificatie voorzien in de periode 2030-2040. Voor wijziging in gebruik van fossiele grondstoffen zijn nog geen concrete plannen, maar de industrie voorziet op termijn toenemende inzet op chemische recycling.

Verduurzamingsmogelijkheden raffinage

Raffinaderijen lijken voor 2030 in te zetten op het gebruik van blauwe waterstof die wordt geproduceerd uit raffinagegas dat als restgas vrijkomt bij raffinage van aardolie. Daarbij blijven fossiele grondstoffen 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. Circulair beleid en afval/biobased chemie voor productie van plastics beperkt evenwel op termijn ook de beschikbaarheid van koolstofrijk afval voor brand- en grondstoffenproductie.

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 biogene/circulaire koolstof worden vooralsnog enkele kleine pilots voorzien.

Verduurzamingsmogelijkheden 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 hoogovengas. 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.

Verduurzamingsmogelijkheden 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).

3.3. Bandbreedtes vraagontwikkeling bij verduurzaming industrie

Het kabinet heeft in het coalitieakkoord een ambitieus doel gesteld voor verduurzaming van de industrie. Om dit doel te bereiken wil het kabinet bedrijven zo veel mogelijk laten

investeren in verduurzaming in Nederland, in plaats van elders: liever groen hier dan grijs elders. Het kabinet ziet dat voor alle sectoren in de basisindustrie een goede uitgangspositie is om hier te verduurzamen, mede op basis van de analyse van Guidehouse en het rapport van de Boston Consultancy Group over verduurzaming van de industrie. Het kabinet maakt dus geen keuzes of bedrijven of sectoren toekomst hebben in Nederland. Het is aan bedrijven om zelf keuzes te maken binnen hun verduurzamings- of vestigingsstrategie.

De uiteindelijke vraag naar energiedragers vanuit de industrie is een samenloop tussen overheidskeuzes en private investeringen. Gezien de in hoofdstuk 3.2 geschetste grote diversiteit aan verduurzamingsopties, de grote onzekerheden rondom verduurzaming (zie hoofdstuk 3.4), de keuzemomenten voor de randvoorwaarden voor de transitie die nog volgen en internationale ontwikkelingen, zijn er geen vooraf te definiëren, eenduidige paden en bandbreedtes voor de industrie vast te leggen. Deze conclusie wordt ondersteund door de rapportage van het expertteam NPE, waarin deze onzekerheden worden benadrukt.⁹² Dit is ook terug te zien in de grote bandbreedtes voor energievraag vanuit de industrie van verschillende scenario-analyses. Deze paragraaf schetst een aantal van deze bandbreedtes.

Om een indicatie van orde grootte te geven van potentiële toekomstige energievraag van de industrie, zijn hierna 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 zéér sterk uiteen lopen. 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. Antwoord op deze vraag bepaalt voor veel bedrijven de economische kant van de investeringscasus die op dit moment voorligt.

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
Elektriciteit ⁹³	55-77	79	78-104	111	88-156	117	4-17
Waterstof ⁹⁴	43-48	69	51-73	91	47-113	101	10-117
Methaan	71-87	102	32-53	62	2-45 ⁹⁵	48	-
Biograndstoffen	4-10	20	13-17	20	12-62	21	-
Olie	80-93	-	37-75	-	12-70 ⁹⁶	-	-

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

⁹² Expertteam Energiesysteem 2050. (2023). *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050*, p. 85; 98.

⁹³ Exclusief H₂-productie. Inclusief datacenters en groei.

⁹⁴ Dit betreft de brutovraag, dus exclusief eigen waterstofproductie industrie, en exclusief vraag naar restgassen op eigen terrein (geen transport nodig).

⁹⁵ 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.

⁹⁶ 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.

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 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.

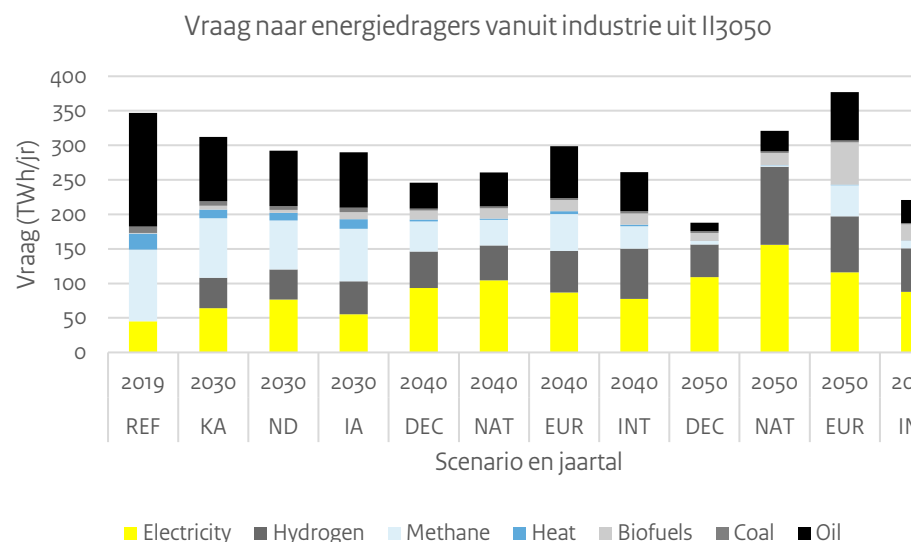
Europese Integratie (EUR)

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 Europese⁹⁷ duurzame biograndstoffen, recycleeft en waterstof, als brandstof en grondstof. CCS wordt grootschalig toegepast, onder meer voor energie-opwek met negatieve emissies (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.

⁹⁷ 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.



Figuur 22. 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 2012⁹⁸)
 - 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)

⁹⁸ 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.

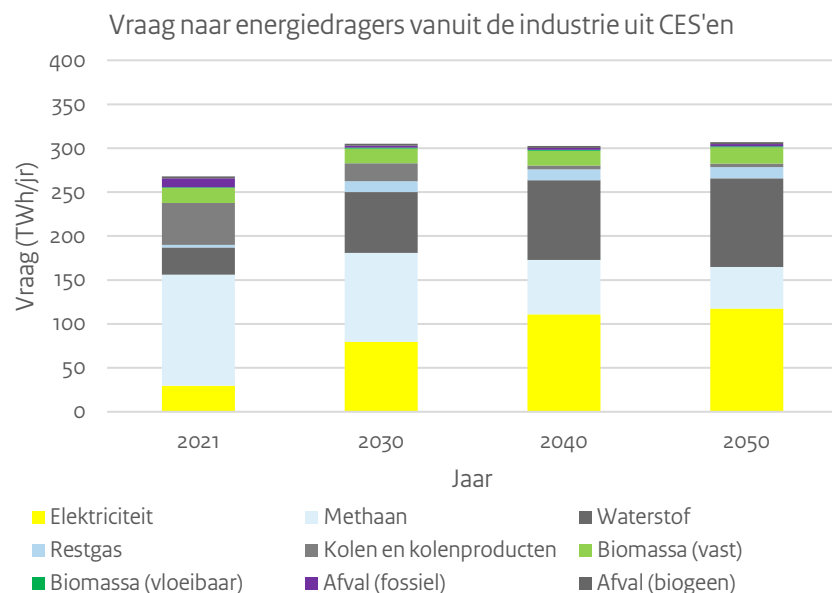
Opvallende zaken in de Il3050-analyse

- Er is 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 Il3050 Regionaal en Il3050 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.⁹⁹ 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.

⁹⁹ 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-infrastructuur 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 23. 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 ligt relatief hoog. 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.
- De vraag naar olie als energiedrager staat niet in figuur 2, 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 biogrondstoffen.
- 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

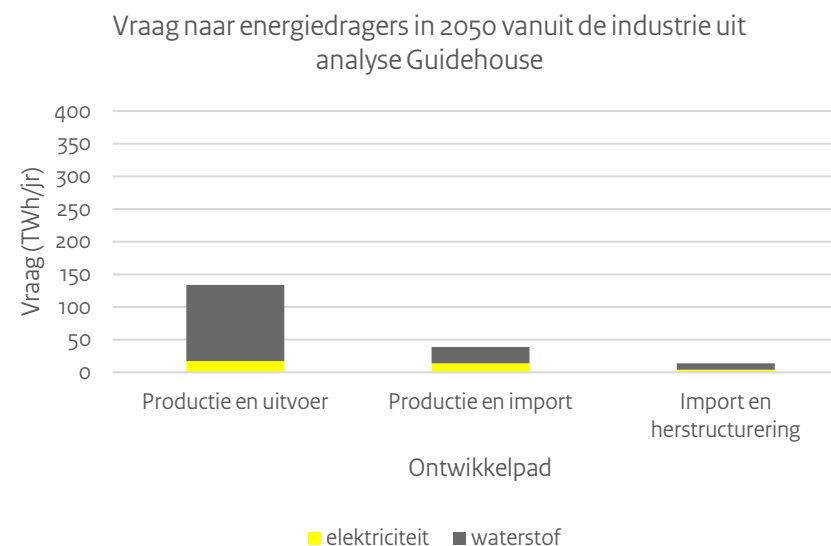
- Hoge industriële productie blijft behouden in Nederland; alleen mogelijk met maximale circulariteit inclusief importen van afval/grondstoffen.
- Nederland behoudt de rol van producent voor omliggende landen (exporten).
- Import van voornamelijk energie, grondstoffen en halffabricaten voor verdere verwerking.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

Productie en import

- Waterstofvraag wordt gestuwd 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 24. 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.

- Het kabinet ziet voor alle sectoren in de basisindustrie een goede uitgangspositie om te verduurzamen. Het kabinet maakt geen keuzes of bedrijven of sectoren toekomst hebben in Nederland. Het is aan bedrijven om zelf keuzes te maken binnen hun verduurzamings- of vestigingsstrategie. De verschillende scenario-analyses laten zien dat een

verduurzaming van een groot aandeel van de bunkerbrandstofproductie veel vraagt van het toekomstige energiesysteem. Met name de productie van synfuels. 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 hernieuwbare koolstof, ook wanneer koolstof alleen niet-energetisch wordt toegepast. Dit geldt bijvoorbeeld voor de productie van brandstoffen en productie in de chemie. Biogene koolstofbeschikbaarheid en afvalbeschikbaarheid in Nederland is relatief laag, terwijl import in de vorm van biograndstoffen of afval 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 biograndstoffen en plastic.

De meeste analyses voorzien enige rol voor fossiele energiedragers in 2050, bijvoorbeeld voor plastics, bunkerbrandstoffen en blauwe waterstof. Dit betekent dat CCS nodig blijft om emissies te reduceren, dat emissies in de keten blijven bestaan en dat negatieve emissies noodzakelijk zijn.

3.4. Benodigheden en onzekerheden voor verduurzaming industrie

Rondom de verduurzaming van de industrie spelen in relatie tot het energiesysteem een aantal onzekerheden. Deze paragraaf gaat eerst in op een aantal algemene randvoorwaarden, waarna specifieke onzekerheden ten aanzien van genoemde verduurzamingsmogelijkheden voor de industrie worden geschetst. Belangrijk om hierbij te vermelden is dat deze onzekerheden deels door externe partijen zijn aangedragen en niet noodzakelijkerwijs een kabinetsstandpunt vertegenwoordigen. Het concept-NPE wil deze knelpunten in kaart brengen. Via het NPVI zal het kabinet zich buigen over de benodigde randvoorwaarden voor verduurzaming van de industrie.

Algemene onzekerheden

Zoals eerder in dit hoofdstuk aangegeven staat verduurzaming van de Nederlandse industrie niet los van de mondiale markt. In de Kamerbrief van 16 december 2022¹⁰⁰ ging het kabinet in op de langetermijneffecten van de structureel hoge energieprijzen in combinatie met mogelijk marktverstorende subsidies van andere landen, zoals de Inflation Reduction Act (IRA) in de Verenigde Staten en huidige leveringsproblemen van grondstoffen. Deze ontwikkelingen maken de urgentie van de versnelling van de verduurzaming in de industrie nóg hoger en duidelijker.

Daarnaast bestaat er op de lange termijn onzekerheid over internationale prijsontwikkeling van en concurrentie op gebied van hernieuwbare energie (bijvoorbeeld goedkope waterstofproductie in landen met gunstigere omstandigheden), en de invloed daarvan op de verhouding tussen Nederlandse productie en import en op het concurrentievermogen van de Nederlandse industrie. Verder bestaat er onzekerheid over de internationale competitie op grondstoffen die nodig zijn voor de energietransitie, klimaattransitie en een fossielvrije koolstofketen.

Meer lokaal zien we terugkerende onzekerheden bij verschillende verduurzamingsmogelijkheden. Denk aan 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

¹⁰⁰ Kamerstuk 29826, nr. 171.

executiekraft om plannen en afspraken over de energie-infrastructuur tijdig te realiseren, zowel nationaal als op clusterniveau. En natuurlijk spelen ook onzekerheden rond 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. Dit zijn ook voor de verduurzaming van de industrie enorme uitdagingen.

Verder bestaat er onzekerheid over de beschikbaarheid van benodigde (hernieuwbare) baseload (stabiel aanbod van elektriciteit) voor de industrie. Daarnaast zijn de gevolgen onduidelijk van investeren in elektrificatie door de industrie terwijl er nog niet voldoende hernieuwbaar aanbod is. Net bij de elektrificatie van personenvervoer (waarbij nieuwe gesubsidieerde elektrische voertuigen zonder expliciet aanvullend hernieuwbaar aanbod mogen aansluiten op de huidige energiemix), is er behoefte aan een eenduidige, versnellende basis voor stimulering van elektrificatie van de industrie. Er is duidelijk nodig of bij de stimuleringsmogelijkheid van elektrificatie gekeken wordt naar het aandeel groene elektriciteit in de totale mix, merit order voor nieuw aanbod en/of power purchasing agreements (PPA's).

Het kabinet creëert de randvoorwaarden waarbinnen de industrie kan verduurzamen. Private investeringsbeslissingen in de energie-intensieve industrie worden echter vaak genomen door hoofdkantoren in het buitenland, die een brede investeringsafweging maken en mogelijk een minder directe afhankelijkheid hebben van of verbinding hebben met het Nederlandse beleid.

Algemene benodigdheden voor verduurzaming van de industrie

Genoemde onzekerheden vertalen zich naar een aantal algemene benodigdheden voor verduurzaming van de industrie. Deze worden op hoofdlijnen hier opgesomd en daarna verder uitgediept. Over het algemeen is er vanuit de industrie behoefte aan

- Voldoende aanbod van hernieuwbare energie(dragers) tegen een (gemiddeld) concurrerende prijs inclusief nettarieven.
- Voldoende aanbod van hernieuwbare koolstof tegen een concurrerende prijs.
- Voldoende zekerheid van een relatief constante energielevering (baseload).

- Voldoende infrastructuur en tijdige aansluiting.
- Voldoende level playing field voor mondiale concurrentie.
- Voldoende fysieke ruimte en stikstofruimte voor ombouw naar duurzame industrie en opbouw van duurzame groeimarkten.
- Ruimte om proactief te elektrificeren
- Duidelijkheid over en versnelling van vergunningverlening.
- Duidelijkheid over veiligheidsvereisten en -kaders.
- Duidelijkheid over regelgeving en duurzaamheidsvereisten.
- Risicomitigatie bij coördinatievraagstukken (kip-eivraagstukken).
- Prikkels voor versnelling van verduurzaming.
- Voldoende informatiepositie (bijvoorbeeld zicht op vraag en aanbod restwarmte).

Belangrijkste knelpunten en onzekerheden verduurzamingsmogelijkheden

Elektrificatie

Rondom grootschalige elektrificatie van de industrie spelen een aantal dilemma's waar het kabinet zich in het kader van het NPE en het NPVI over buigt (zie hoofdstuk 3.7 over uitvoering). Tot 2030 is er slechts 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 gas en elektriciteit (ook internationaal) spelen een belangrijke rol bij de keuzes die bedrijven gaan maken. Momenteel zijn er nog grote bandbreedtes in gebruik 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. Net als bij de elektrificatie van personenvervoer (waarbij nieuwe gesubsidieerde elektrische voertuigen zonder expliciet aanvullend hernieuwbaar aanbod mogen aansluiten op de huidige energiemix), is er behoefte aan eenduidige, versnellende basis voor stimulering van 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.

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 nultarieven betekent een negatieve prijsprikkels 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. Verduurzaming van de elektriciteitssector dient hand in hand te gaan met de ontwikkeling van baseload en verduurzaming van de industrie. De beschikbaarheid van piekvermogen is daarmee essentieel, maar die kent op dit moment nog onzekerheden.

Tijdige realisatie van baseload vraagt nu al investeringen in piekcentrales die weinig uren draaien.¹⁰¹ Momenteel kijkt het kabinet daarom naar instrumentering vanuit het Klimaatfonds voor onder meer CO₂-vrije gascentrales. Daarbij is de vraag hoe piekvermogen een stabiel energieaanbod kan borgen. Er dient bezien te worden wie belang heeft bij deze functie en eigenaar kan zijn. Deze partij moet enerzijds een business kunnen realiseren bij piekprijzen, terwijl anderzijds de gemiddelde kosten voor afnemers realistisch moeten blijven (zie hiervoor ook elektriciteitsketen in Ambtelijk werkdocument B, hoofdstuk 1). Verder dienen centrales op de juiste plekken te staan in verband met onshore netcongestie. In het in ontwikkeling zijnde Programma Energie Hoofdinfrastructuur (PEH) en het programma Verkenning Aanlanding Wind op Zee (VAWOZ)¹⁰² beziet het kabinet daarom de mogelijkheid tot het aanwijzen van voorkeursgebieden voor bijvoorbeeld waterstofproductie. Het is daarbij onzeker hoe handhaving op deze voorkeursgebieden kan plaatsvinden.

Hier zijn echter ook kansen. 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, wellicht 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 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.

¹⁰¹ Expertteam Energiesysteem 2050. (2023). *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050*, p. 46.

¹⁰² Kamerstuk 33561, nr. 52.

Ook heeft 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 verzaagd 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 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 verzwarende aansluiting een belangrijke rol bij investeringsbeslissingen in elektrificatie. Het kabinet werkt onder andere met het Actieplan groene en digitale banen en het Landelijk Actieprogramma Netcongestie¹⁰³ 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. Verzwarende 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.

Waterstof

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

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) onzekerheden 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

¹⁰³ Kenmerk 2022D55676, Bijlage bij Kamerstuk 29023, nr. 385.

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 is er inmiddels een generieke set met uitgangspunten 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. Het is op voorhand niet te zeggen hoeveel tijd de Europese Commissie hiervoor nodig heeft. Ook certificatie-instellingen moeten een positieve beoordeling ontvangen voordat zij mogen certificeren.

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 grondstoffsysteem.

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 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.

(Rest)warmte

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

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 hernieuwbare 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.

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.¹⁰⁴

Het succes van het biobrandstoffenbeleid (CO₂-reductie, investeringen in Nederland) is met het juiste beleid ook te realiseren voor de chemische industrie. Het kabinet heeft in de voorjaarsbesluitvorming Klimaat voorgesteld om een nationale bijmengverplichting van duurzame kunststoffen vanaf 2027 te ontwikkelen, in lijn met, maar vooruitlopend op, Europees beleid. Dit zal een extra vraag genereren voor duurzame biograndstoffen en recyclaat.

Het huidige kabinetsbeleid is 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 negatieve emissies. 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 negatieve emissies wordt verbeterd. 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 met biobrandstoffen ook CO₂ opslaan in bijvoorbeeld bioplastische bouwmaterialen. Elke ton duurzame kunststof bespaart daarmee 2 ton CO₂.

Recycling

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 recyclaatnorm). Deze regels bepalen op welke wijze

¹⁰⁴ Kamerstuk 32813, nr. 617.

ingaaende 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 grondstof 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 afzetkarakter. 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.¹⁰⁵

Carbon Capture and Utilisation or Usage (CCU)

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

- In 2023 komt er een Europese strategische visie op CCU
- 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 huidige nationale beleid focust voornamelijk op gebruik in de tuinbouw (usage) en minder op de nieuwere technologieën (utilization) die nog in ontwikkeling zijn. Dit kan zorgen voor maatschappelijke onduidelijkheid over wat wordt verstaan onder CCU. Internationaal wordt levering aan glastuinbouw, frisdrankenindustrie en dergelijke niet als CCU gezien.

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 klimaat-effect. 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 ontwikkeld.¹⁰⁶ 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.

Procefficiency

Op basis van het rapport Project 6-25 Technology Validation¹⁰⁷ 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-efficiëncymaatregelen, 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.

¹⁰⁵ TNO. (2022). Een klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland.

¹⁰⁶ European Commission, Directorate-General for Energy, Ramirez Ramirez, A., El Khamlichi, A., & Markowicz, 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>

¹⁰⁷ PDC & Royal HaskoningDHV. (2020). Project 6-25 Technology Validation.

Flexibilisering

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.¹⁰⁸ 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.¹⁰⁹

3.5. Transitieroutes

Het kabinet heeft in het coalitieakkoord een ambitieus doel gesteld voor verduurzaming van de industrie. Om dit doel te bereiken wil het kabinet bedrijven zo veel mogelijk laten investeren in verduurzaming in Nederland, in plaats van elders: liever groen hier dan grijs elders. Met het NPVI werkt het kabinet aan de randvoorwaarden voor verduurzaming van de industrie (infrastructuur, subsidies, normering en dergelijke). De nieuwe stuurgroep NPVI zal coördinatieproblemen en knelpunten bespreken en knopen doorhakken.

Deze randvoorwaarden geven de industrie een duidelijk handelingsperspectief op korte en lange termijn, zodat duurzame investeringen in Nederland landen. Het kabinet ziet dat alle sectoren in de basisindustrie een goede uitgangspositie hebben om hier te verduurzamen. Het kabinet maakt dus geen keuzes of bedrijven of sectoren toekomst hebben in Nederland. Het is aan bedrijven om zelf keuzes te maken binnen hun verduurzamings- of vestigingsstrategie. Bovendien zijn transitieroutes, zeker als investeringen later in de tijd worden gemaakt, aan verandering onderhevig. Daarmee is niet op voorhand één

transitieroute voor de industrie te definiëren. Verduurzamingsroutes binnen de geschapen randvoorwaarden verschillen per industrie, per cluster en per bedrijf.¹¹⁰

De Routekaart Verduurzaming Industrie brengt relevante besluitvormingsmomenten richting 2040 binnen de (rijks)overheid (beleidstrajecten en infrastructuurprojecten) en de industrie (investeringsbeslissingen) in kaart. Doel hiervan is om meer zekerheid te bieden aan publieke en private partijen die willen investeren. Voor de zomer van 2023 zal het kabinet de Routekaart Verduurzaming Industrie aan de Kamer aanbieden. Met deze randvoorwaarden en private investeringsbeslissingen ontstaat een steeds duidelijker beeld van de transitieroute die de industrie zal afleggen.

Huidige beleidsdoelstellingen verduurzaming industrie

- In het Klimaatakkoord is afgesproken dat de industrie de jaarlijkse CO₂-uitstoot in 2030 heeft verminderd met 14,3 Mt CO₂. In het coalitieakkoord is afgesproken om die opgave met 4 Mt te verhogen. Met maatwerkafspraken is de ambitie om in 2030 1 tot 1,9 Mt extra CO₂-reductie te behalen. In het kader van stikstofreductie is er een indicatief NO_x-emissiereductiedoel vastgesteld voor de sector industrie van 38% in 2030 ten opzichte van 2019.¹¹¹
- In het Klimaatakkoord is afgesproken om te streven naar 3 tot 4 GW aan elektrolysecapaciteit in 2030 ten behoeve van productie van hernieuwbare waterstof. Het kabinet streeft naar 8 GW elektrolysecapaciteit in 2032 (met inbegrip van 500 MW aan waterstofproductie op zee).
- 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.
- In het NPCE is de ambitie geformuleerd om in 2050 klimaatneutraal, fossielvrij en circulair te zijn. Circulair zijn betekent dat in ieder geval het grondstoffengebruik voor de

¹⁰⁸ 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>

¹⁰⁹ Expertteam Energiesysteem 2050. (2023). *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050*, p. 47.

¹¹⁰ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 14.

¹¹¹ Kamerstuk 34682, nr. 114.

Nederlandse productie en consumptie zodanig wordt teruggebracht dat het binnen de planetaire grenzen en de daaruit volgende 'veilige operationele ruimte' voor Nederland valt.

- In 2030 wil het kabinet 500.000 woningen aangesloten hebben op restwarmte (Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving, juni 2022) (zie ook werkdocument C, hoofdstuk 1 in dit concept-NPE).
- Europese ambitie: in 2030 moet tenminste 20% van de gebruikte koolstof in chemische en plasticproducten van duurzame niet-fossiele bronnen komen.
- Europees doel: in 2030 moet jaarlijks 5 Mt CO₂ worden verwijderd uit de atmosfeer en permanent opgeslagen met behulp van koploperprojecten.
- 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 recyclaat uit chemische recycling.
- Europees doel vastgelegd in wetgeving: 50% recycling van plasticverpakkingen in 2025.
- Er wordt in Nederland gewerkt aan een verplichting dat in 2030 in alle plasticproducten die in Nederland voor de Nederlandse markt worden geproduceerd 25-30% plasticrecyclaat of biogebaseerd plastic wordt toegepast.

3.6. Sturing

De beschikbaarheid van voldoende groene energie, herbruikbare grondstoffen (met name koolstof) en bijbehorende infrastructuur is cruciaal voor de transformatie van de industrie. Dit kan niet overal tegelijk mogelijk gemaakt worden. Daarom kiest het kabinet ervoor om als eerste de infrastructuur aan te pakken in vijf geografische industrieclusters waar de grote basisindustrieën in Nederland grotendeels zijn gevestigd: (1) Noord-Nederland (Groningen, Drenthe), (2) het Noordzeekanaalgebied, (3) Rotterdam-Moerdijk, (4) Zeeland-West-Brabant en (5) Chemelot (Limburg).¹¹² Tegelijk wordt voor het zesde cluster een actieplan opgesteld waarin het handelingsperspectief voor het zesde cluster wordt verkend.

Het kabinet is tot de conclusie gekomen dat de inzet flink verhoogd moet worden 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.¹¹³

De onderzoeken van BCG en Guidehouse samen maken drie dingen duidelijk.

- Binnen de ontwikkelpaden voor alle vier de sectoren zijn binnen de Nederlandse energie-intensieve industrie mogelijkheden voor Nederlandse bedrijven om te kunnen verduurzamen. Daarmee in samenhang is ook voor alle vijf de industrieclusters een duurzame toekomst te voorzien. Dat is belangrijk, omdat dit betekent dat met de klimaattransitie niet op voorhand afscheid genomen hoeft te worden van hele bedrijfstakken of clusters, al kunnen individuele bedrijven alsnog besluiten dat zij niet in Nederland blijven of hun productie hier matigen. Ook betekent dit niet per se dat transitie van de gehele huidige industrie mogelijk is in Nederland; de vraag wat inpasbaar is in het energiesysteem van de toekomst zal mede door technologische vooruitgang voortdurend beantwoord moeten worden. Maar vanuit het toekomstperspectief van de industrie is er geen reden voor de overheid om op voorhand een cluster of een sector uit te sluiten.
- Er is op korte termijn een pakket maatregelen nodig dat past in alle ontwikkelpaden (no-regret). Een deel daarvan is de afgelopen maanden al omgezet in beleid, zie hoofdstuk 3.7 en bijlage 2.
- In deze kabinetsperiode moeten een aantal keuzes gemaakt worden, zowel publiek als privaat, welke bepalend zijn voor de richting waarin partijen verder moeten werken aan de klimaat- en energietransitie.

De no-regret-maatregelen en keuzes die nog afweging vergen zullen worden geagendeerd in de stuurgroep NPVI. Daarbij benadrukt het Kabinet dat er de afgelopen tijd al heel veel stappen zijn gezet om te komen tot de energietransitie en snelle verduurzaming van de industrie. In het volgende hoofdstuk staan enkele voorbeelden.¹¹⁴

¹¹² Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 6.

¹¹³ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 10.

¹¹⁴ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 15.

3.7. Uitvoering

Governance

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 lanceert het Kabinet een nieuw overkoepelend programma, 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 onzekerheid over voldoende 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.¹¹⁵

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.¹¹⁶ Vanuit hun eigen mandaten stemmen zij inzet op elkaar af middels richtinggevende afspraken. De stuurgroep werkt langs drie sporen.¹¹⁷

- *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 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.

¹¹⁵ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 10.

¹¹⁶ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 11.

¹¹⁷ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 12.

Naast de stuurgroep NPVI zal een platform NPVI worden ingericht, waaraan meer partijen deel kunnen nemen, waaronder bijvoorbeeld een aantal vertegenwoordigers van NGO's. In het platform kunnen de belangrijkste onderwerpen uit de stuurgroep of aanpalende onderwerpen worden besproken. Via het platform is geborgd dat alle verschillende invalshoeken worden meegenomen, en wordt breder bekendheid gegeven aan de thema's en dilemma's die voorliggen in de stuurgroep.¹¹⁸

Routekaart Verduurzaming Industrie

De komende maanden wordt er hard gewerkt aan de Routekaart Verduurzaming Industrie. Deze routekaart moet de leidraad worden voor de uitvoering van het NPVI. En moet een overzicht bieden van de nog te nemen private en publieke besluiten om te komende tot een duurzame industrie. Daarbij brengt de routekaart de aan die besluiten gekoppelde consequenties en dilemma's in beeld. Naar aanleiding van deze uitgewerkte routekaart kan de toekomstige energievraag vanuit de energie dus nog scherper in beeld gebracht worden.

Cluster Energie Strategieën (CES'en)

De CES'en geven een lijst met projecten vanuit de clusters die de basis vormen voor de potentiële MIEK-projecten die prioriteit krijgen en worden versneld. Naast de projecten die primair voortkomen uit de plannen voor verduurzaming van de industrie, bevat de lijst uit 2022 ook projecten rondom warmtenetten, walstroom, transportcorridors en wind op zee. De MIEK-waardigheid is getoetst aan de hand van de criteria nationaal schaalniveau, urgentie, toekomstbestendigheid en klimaatwinst. De definitieve MIEK-projecten staan in het MIEK overzicht 2022.¹¹⁹ De CES'en worden in 2023 herijkt.

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 maatwerkaanpak. Die aanpak kan ondersteuning op maat aanbieden voor verduurzaming in Nederland. De ambitie is om in

2030 1 tot 1,9 Mt extra CO₂-reductie te behalen, bovenop de (indicatieve) emissiereductie die het coalitieakkoord op andere manieren al realiseerbaar achtte. Met de maatwerkaanpak zet het kabinet een stap extra bovenop het Klimaatakkoord. De maatwerkaanpak kent daarmee een aanvullende doelstelling, maar maakt ook gebruik van het generieke instrumentarium, waaronder de SDE++ regeling en de CO₂-heffing. Met de maatwerkaanpak 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.¹²⁰ Via de maatwerkaanpak 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 maatwerkaanpak. Hierin noemt het kabinet onder andere de vier Expressions of Principles (EoP) die zijn ondertekend met Tata Steel Nederland, Dow Benelux, Nobian en OCI. Inmiddels is ook met Shell een EoP gesloten. De komende periode wordt met de betrokken partijen maximaal ingezet om deze EoPs verder uit te werken. 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.¹²¹ Maatwerk kan via de CES'en aanleiding vormen om MIEK-projecten te versnellen, vanwege de klimaatwinst en een duidelijk commitment van industriële partijen.¹²²

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. 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

¹¹⁸ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 11.

¹¹⁹ Kamerstuk 29826, nr. 155, p. 2.

¹²⁰ Kamerstuk 29826, nr. 173, p. 2.

¹²¹ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 16.

¹²² Kamerstuk 29826, nr. 155, p. 3.

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-eiprobleem tussen industrie en netbeheerders aan te pakken. Zo gaat de stuurgroep NPVI met de industrieclusters en in samenhang met de maatwerkpaanpak, 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.¹²³

Programma Energie Hoofdinfrastructuur (PEH)

Met het Programma Energie Hoofdinfrastructuur (PEH) wordt er gewerkt aan de ruimtelijke planning van nationale energie-infrastructuur (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-infrastructuur 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 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.¹²⁴

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.¹²⁵

Andere programma's voor het energiesysteem

Daarnaast levert het NPVI inzichten die een rol kunnen spelen bij andere beleidsprogramma's over het energiesysteem. Deze zijn van groot belang als randvoorwaarde voor het verduurzamen van de industrie.

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.¹²⁶

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.¹²⁷ 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.

¹²³ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 17.

¹²⁴ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 32.

¹²⁵ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 17.

¹²⁶ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 31.

¹²⁷ Kenmerk 2022D55676, Bijlage bij Kamerstuk 29023, nr. 385.

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.¹²⁸

Beleidsinstrumenten

Hierna volgt een korte toelichting op de laatste stand van zaken van een aantal programma's en instrumenten die bijdragen aan de verduurzaming van de industrie, zoals tevens vermeld in bijlage 2 van de Kamerbrief 'Een nationaal programma voor versnelde verduurzaming van de industrie'.¹²⁹

CO₂-heffing

Het in 2023 geldende tarief van de CO₂-heffing is € 55,94. Dit tarief geldt als minimumprijs, wat betekent dat de termijnkoers van het EU ETS er nog vanaf gehaald wordt om het effectieve tarief te berekenen. De termijnkoers van het EU ETS is € 73,27. Voor ETS-installaties komt de te betalen heffing over 2023 daarmee te liggen op € 0. Voor niet-ETS bedrijven wordt de termijnkoers van het EU ETS niet in mindering gebracht en komt de te betalen heffing over 2023 te liggen op € 55,94. In de zomer van 2022 gaf het PBL aan dat het tarief van de heffing in 2030 waarschijnlijk niet voldoende zal zijn om het beoogde opgehoogde doel van 2030 te behalen. In de huidige planning, zoals aangekondigd in het coalitieakkoord, staat een evaluatie van de heffing in 2024, waar het tarief van de heffing ook wordt beoordeeld.

Negatieve emissies zijn momenteel niet ondergebracht in de systematiek van de CO₂-heffing. Er wordt gezien of en hoe dit wel zou kunnen plaatsvinden.

Energiebesparing

Energiebesparing zorgt voor een lagere energierekening, minder afhankelijkheid van derde landen en verbeterde leveringszekerheid. Dit is essentieel voor een stabiel

ondernemersklimaat voor onze bedrijven en zorgt voor een concurrentievoordeel ten opzichte van bedrijven in andere landen. Nederland biedt hierdoor ook een aantrekkelijk vestigingsklimaat voor nieuwe bedrijven. Energiebesparing wordt in Nederland bij de industrie op verschillende manieren gestimuleerd.

Zo zijn er verschillende subsidieregelingen die in 2023 worden geïntensiveerd om investeringen in energiebesparing te versnellen, zoals VEKI, DEI+, EIA en MIA/VAMIL. Daarnaast wordt de energiebesparingsplicht in 2023 aangescherpt. 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. De wijzigingen die uit de aanscherping volgen zijn door de minister voor Klimaat en Energie uiteengezet in de Kamerbrief van 4 juli 2022.¹³⁰ Er worden meer maatregelen verplicht omdat, naast energiebesparende maatregelen, ook maatregelen voor de productie van hernieuwbare energie en maatregelen voor het vervangen van een energiedrager verplicht worden, mits de maatregelen CO₂ reduceren en een terugverdientijd van vijf jaar of minder hebben. Verder wordt de doelgroep uitgebreid naar bedrijven of instellingen die vergunningplichtig zijn, die deelnemen aan het Europese emissiehandelssysteem of die deelnemen aan het systeem kostenverevening reductie CO₂-emissies glastuinbouw. 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

¹²⁸ Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 32.

¹²⁹ Kamerstuk 29826, nr. 176.

¹³⁰ Kamerstuk 30196, nr. 793.

uitvoeringsplan. Het bevoegd gezag kan op basis van het onderzoek en het beoordeelde uitvoeringsplan toezicht houden op het uitvoeren van de energiebesparende maatregelen. 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.

Waterstof

Het kabinet beoogt op meerdere manieren de ontwikkeling van de waterstofmarkt te faciliteren en het gebruik van hernieuwbare en koolstofarme waterstof te stimuleren. Daarvoor faciliteert het de ontwikkeling van transport- en opslaginfrastructuur, stimuleert het de binnenlandse productie, import en het gebruik van hernieuwbare en koolstofarme waterstof(dragers) en ondersteunt het de toepassing van CCS bij waterstofproductie op basis van (rest)gas. Op 2 december 2022 is de Kamer geïnformeerd over de voortgang van het waterstofbeleid.¹³¹ In mei 2023 volgde een Kamerbrief waarin wordt stilgestaan bij de verwachte marktontwikkelingen, de beoogde instrumenten en hun onderlinge samenhang, en de randvoorwaarden, waaronder benodigd infrastructuur.

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. Op EU-niveau worden naar verwachting binnenkort doelen aangenomen voor het gebruik van 'renewable fuels of non-biological origin' (RFNBO's) in de industrie en de mobiliteit. Dit is onderdeel van de herziening van de EU-richtlijn voor hernieuwbare energie (RED III). Voor de opschaling wordt ingezet op een mix van subsidies en normering passend bij de ontwikkelingsfase van de waterstofmarkt. Het ligt daarbij voor de hand dat op termijn de nadruk verschuift van aanbods subsidiëring naar normering en vraagstimulering. Bij de uitwerking van de instrumenten zijn effectiviteit en uitvoerbaarheid leidend. Zie ook Kamerbrieven over de Kabinetsvisie waterstof en voortgangsrapportages.¹³²

¹³¹ Kamerstuk 32813, nr. 1143

¹³² Kamerstukken 32813, nr. 653 en nr. 1143.

¹³³ Nieuwsbericht Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 'Windpark boven Groningen beoogd als 's werelds grootste waterstof op zee productie in 2031', 20 maart 2023.

Tevens wordt gewerkt aan beleid omtrent waterstofproductie op zee. De verwachting is dat na 2030 een deel van de hernieuwbare elektriciteit van wind op zee in de vorm van waterstof aan land moet worden gebracht. In de plannen voor wind op zee wordt hiermee ook rekening gehouden. De intentie is om voor 2030 pilots met elektrolyse op zee uit te voeren om ervaring op te doen voor opschaling na 2030. De minister voor Klimaat en Energie kondigde recent aan rond 2031 circa 500 MW elektrolysecapaciteit operationeel te hebben in het windenergiegebied 'ten noorden van de Waddeneilanden'.¹³³ Daarnaast wordt de benodigde waterstofinfrastructuur op zee in kaart gebracht met inbegrip van de aanlandingslocaties.

De opschaling is afhankelijk van meerdere randvoorwaarden, zoals beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit (met name via wind op zee), waterstofinfrastructuur als landelijk transportnet, (ondergrondse) opslag en importterminals, certificering en veiligheidsaspecten en aanlanding wind op zee. Om dit goed te coördineren voert het Rijk een passende regie. Betreffende hernieuwbare elektriciteit zijn de ambities van wind op zee verhoogd (21 GW in 2032 tot 70 GW in 2050), met inbegrip van waterstofproductie op zee. Voor het landelijk transport is HyNetwork Services (Gasunie-dochter) aangewezen als ontwikkelaar en beheerder van de 'backbone'.¹³⁴ Voor veiligheid wordt niet alleen gekeken naar (vloeibare) waterstof, maar ook naar waterstofdragers als ammoniak, methanol en 'liquid organic hydrogen carriers' (LOHC), die een belangrijke rol kunnen gaan spelen bij import en eventuele omzetting in waterstof. De Kamer is of wordt hierover separaat geïnformeerd in brieven over de importstrategie en relevante veiligheidskaders.¹³⁵

Bestaande instrumenten omvatten onder meer GroenvermogenNL (> 100 MW elektrolyzers) en IPCEI Waterstof (vier golven: waterstoftechnologie, waterstofproductie door elektrolyse, import & opslag en mobiliteit & transport). Instrumenten waaraan wordt gewerkt zijn onder meer een eerste tender van het opschalingsinstrument voor elektrolyzers < 50 MW, de raffinageroute 2025-2030 (jaarverplichting energie in vervoer), de RFNBO-

¹³⁴ Kamerstuk 32813, nr. 1061.

¹³⁵ Kamerstuk 32813, nr. 1192.

afnameverplichting industrie en een vorm van vraagsubsidie. Naast inzet op opschaling van hernieuwbare waterstof blijven via de SDE++ ook middelen beschikbaar voor CCS ten behoeve van koolstofarme waterstof. Ook is in meer generieke zin ondersteuning beschikbaar voor waterstofprojecten via instrumenten als de DEI-regeling en SDE++.

Op internationaal vlak is en wordt voortgang geboekt op de versterking van handelsrelaties en ontwikkeling van instrumentarium voor waterstofinfrastructuur. Sinds 2020 is een aantal samenwerkingsovereenkomsten met andere landen ondertekend voor het faciliteren van contacten tussen bedrijven, havens en kennisinstellingen. Een belangrijke stap voor import is de geplande deelname aan H2Global. Ook is de ontwikkeling van twee waterstof-importterminals in het MIEK 2022 opgenomen.

Carbon Capture and Storage (CCS)

De afvang, het transport en de 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 bio-energie of door directe CO₂-afvang uit de atmosfeer kan CCS bijdragen aan de realisatie van negatieve emissies – maatregelen waarmee netto CO₂ aan de atmosfeer wordt onttrokken – die nodig zijn voor het halen van de klimaatdoelen voor 2050. De eerste significante stappen zijn gezet. Er wordt hard gewerkt aan de voorbereidingen voor het eerste CCS-project in Nederland – Porthos – en ook met het vervolgproject – Aramis – worden de noodzakelijke stappen gezet om tot realisatie te komen.

Ook in andere delen van de Noordzee worden en zijn CCS-projecten gerealiseerd (Denemarken, Noorwegen, Verenigd Koninkrijk). Niet alleen het aanbod van CO₂-opslagfaciliteiten wordt ontwikkeld, ook de vraag naar CO₂-opslag neemt toe. In 2020 hebben vier industriële uitstoters een SDE++-beschikking voor CCS ontvangen van maximaal € 2,1 miljard voor een gezamenlijke CO₂-opslag van 2,5 Mt CO₂ per jaar. De interesse voor SDE++ was in 2022 nog groter: tien industriële uitstoters vroegen SDE++-subsidie voor CCS aan. Acht van hen hebben een beschikking ontvangen voor een totale

geschatte CO₂-reductie van 2,86 Mt per jaar.¹³⁶ Ook industrieclusters in onze buurlanden tonen interesse in de transport naar de Nederlandse CO₂-opslaginfrastructuur. Er is kortom, sprake van een Noordwest-Europese markt die zich aan het ontwikkelen is op het gebied van CO₂-opslag.

Ook in de aankomende tijd zal het kabinet zich inzetten voor een tijdige realisatie van de CO₂-opslaginfrastructuur, het behalen van de CO₂-reductiedoelen uit het Klimaatakkoord en de doorontwikkeling van een goed functionerende Noordwest-Europese markt voor CO₂-opslag. De SDE++ 2023-ronde lijkt voldoende budget te bevatten voor een of meer geplande CCS-projecten van in Nederland gevestigde emittenten.¹³⁷ De Kamer wordt binnenkort via een brief nader geïnformeerd over de doorontwikkeling van de markt voor CO₂-opslag. In het commissiedebat 'Waterstof en andere energiedragers' van 8 december 2022 is toegezegd de Kamer hierover begin 2023 een brief te sturen.

Circulaire economie

De Nationale Grondstoffenstrategie zet in op vijf handelingsperspectieven: (1) circulariteit en innovatie, (2) duurzame Europese mijnbouw en raffinage, (3) diversificatie, (4) verduurzaming internationale ketens en (5) kennisopbouw en monitoring.¹³⁸

Voor het eerste handelingsperspectief is een nieuw Nationaal Programma Circulaire Economie naar de Tweede Kamer gestuurd.¹³⁹ Hierin zijn nieuwe doelen voor 2030 en 2050 voorgesteld, een gebalanceerd pakket van algemene stimulerende, beprijzende en normerende maatregelen aangekondigd en voor zestien prioritaire productgroepen specifieke doelen en maatregelen uitgewerkt. Daarnaast wordt circulaire economie, naast klimaat en digitalisering, een prioritair thema in het missiegedreven innovatiebeleid en krijgen kritieke grondstoffen extra aandacht.

Voor het tweede handelingsperspectief zal Nederland meeonderhandelen over de Europese Critical Raw Materials Act en worden de voor- en nadelen van Nederlandse raffinage van kritieke grondstoffen verkend.

¹³⁶ Kamerstuk 31239, nr. 377.

¹³⁷ Kamerstuk 2023Z02960.

¹³⁸ Kamerstuk 32852, nr. 224.

¹³⁹ Kamerstuk 32852, nr. 225.

Voor het derde handelingsperspectief zullen strategische partnerschappen worden aangegaan, allereerst vanuit Europees perspectief. Daarnaast brengt het kabinet onder andere in kaart wat mogelijkheden zijn voor de inzet van het exportkredietinstrumentarium van ADSB en mogelijke andere financieringsinstrumenten, zoals Invest International, Invest-NL en RVO.

Voor het vierde handelingsperspectief worden grondstoffen nadrukkelijker ingebracht bij internationale organisaties. Zo onderzoekt het kabinet welke rol de Nederlandse Financierings-Maatschappij voor Ontwikkelingslanden (FMO) en internationale financiële instellingen als de Europese Investeringsbank (EIB), International Finance Corporation (IFC), AfDB en de Europese Bank voor Wederopbouw en Ontwikkeling (EBRD) kunnen spelen in de verduurzaming van grondstofwinning in ontwikkelingslanden.

Ook zal Nederland zich inzetten voor een ambitieus EU-programma en het vrijmaken van publiek en private financiering voor verduurzaming van grondstoffenketens via EU-initiatieven die raken aan grondstoffen, zoals Global Gateway en de Europese CRMA. Verder wordt het beleid voor IMVO voortgezet in een doordachte mix van beleidsmaatregelen, inclusief wetgeving op nationaal én op EU-niveau.

Voor het vijfde handelingsperspectief wordt ingezet op een stevige kennisbasis en beoordelingskader om leveringszekerheidsrisico's en circulaire kansen scherp in beeld te krijgen.

Financiële Instrumenten

Hierna volgt een overzicht van de laatste stand van zaken van een aantal financiële instrumenten die de verduurzaming van de industrie 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.¹⁴⁰ 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.

Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+) en Versnelde Klimaatinvestering Industrie (VEKI)

Aanvullend op de SDE++-regeling zijn er voor de industrie en energiesector de Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+) regeling, voor innovatieve projecten die leiden tot CO₂ reductie, en de Versnelde Klimaatinvestering Industrie (VEKI) regeling, voor bewezen technologie met een terugverdientijd van meer dan vijf jaar. De DEI+-regeling biedt ondersteuning voor klimaatprojecten die ook de circulaire economie dienen. De projecten die CO₂ reduceren in de industrie zijn vaak uniek en bedrijfsspecifiek. Technologie wordt na de onderzoeksfase vaak in een pilot en demonstratie getest op een bepaalde schaal. De DEI+-regeling ondersteunt maximaal drie innovatie pilot- en demonstratieprojecten van dezelfde technologie. 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.

Beide regelingen zijn in 2023 opengesteld met een totaalbudget van € 65 miljoen voor DEI+ en € 138 miljoen voor VEKI. 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. De VEKI-regeling wordt gefinancierd uit het Klimaatfonds.

Nationale Investeringsregeling Klimaatprojecten Industrie (NIKI)

Voor de opbouw van een klimaatneutrale economie is een breed palet aan technieken noodzakelijk. Een belangrijk knelpunt zit bij technologieën die bewezen zijn op demonstratieschaal, maar nog niet zijn toegepast op (grote) commerciële schaal. Hierna

¹⁴⁰ Kamerstuk 31239, nr. 377.

beschrijven we de hoofdlijnen van de NIKI, zoals de regeling op dit moment is vormgegeven. De regeling is nog in ontwikkeling. De ambitie voor publicatie is in de tweede helft van 2023, met de eerste openstelling later in 2023 en een budget van maximaal € 242 miljoen. Deze tijdlijn en vormgeving van de regeling is afhankelijk van Europese goedkeuring. Het hoofddoel van de NIKI is het reduceren van CO₂- en andere broeikasgasemissies in de industrie. De subdoelen zijn de bijdrage aan een klimaatneutrale industrie in 2050 en het toekomstig verdienvermogen van Nederland. De NIKI is een tenderregeling, waarbij alle kwalificerende aanvragen worden gerangschikt op subsidie-intensiteit (CO₂-reductie ten opzichte van de verleende steun). Voor vaststelling van de CO₂-reductie wordt het gemiddelde van de relatieve en absolute reductie gebruikt. Hierbij mogen emissies in de keten worden meegerekend, mits het project de directe invloed op de ketenemissies aannemelijk kan maken. De NIKI kan worden aangevraagd voor investeringssteun, exploitatiesteun of beide.

De NIKI is aan te vragen voor projecten die voldoet aan vijf eisen.

- Het project brengt binnen de exploitatiefase van 10 jaar een significante CO₂-reductie teweeg.

- Het project behelst een techniek met een onrendabele top, omdat de fossiele alternatieven komende jaren commercieel rendabeler zijn.
- Het project past binnen de thema's waar de NIKI zich op richt. Ieder jaar wordt geëvalueerd of er thema's moeten worden toegevoegd, verbreed of verwijderd. In 2023 gelden waarschijnlijk de volgende thema's:
 - 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)
- Projecten ten behoeve van infrastructuur worden niet ondersteund.
- Productie van groen gas of andere hernieuwbare energie is uitgesloten van de NIKI, daarvoor is ander instrumentarium reeds beschikbaar, zoals de SDE++.

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. Grofweg komt ongeveer 90% van het energiegebruik binnen de landbouw voor rekening van de glastuinbouw en 10% van overige landbouwsectoren.¹⁴¹ 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 geleverd¹⁴². 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.¹⁴³ Landbouwvoer- en werktuigen draaien momenteel op fossiele brandstoffen (diesel). In de toekomst zou dat bijvoorbeeld kunnen op (groene) waterstof en

¹⁴¹ KEV 2022.

¹⁴² In 2020: 6,1 TWh (22 PJ), netto elektriciteit (verkoop – inkoop): 2,8 TWh (10 PJ). Energiemonitor Glastuinbouw 2020, Wageningen Economic Research.

¹⁴³ 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.¹⁴⁴

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 dus hoger dan de 0,7 Mton in 2020. Hoeveel hoger is niet exact bekend. In een

¹⁴⁴ Energiemonitor glastuinbouw 2021, WECR, 2022.

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.¹⁴⁵ 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]					
Energiedrager	Elektriciteit (netto)	Aardgas	Warmte	Brandstof	Overig	Totaal
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 energieverbruik) 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.
- In de akkerbouw en open teelten bestaat het energiegebruik voor ruim de helft uit motorbrandstoffen (onder andere grondbewerking, oogst, beregning). Het elektriciteits- en gasverbruik dragen elk bijna voor 25% bij. Het elektriciteitsverbruik (vooral voor het

¹⁴⁵ CO₂-behoefte glastuinbouw 2030, WECR, 2019.

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.

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.¹⁴⁶ 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.

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.¹⁴⁷

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.¹⁴⁸ 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.¹⁴⁹

Elektriciteit

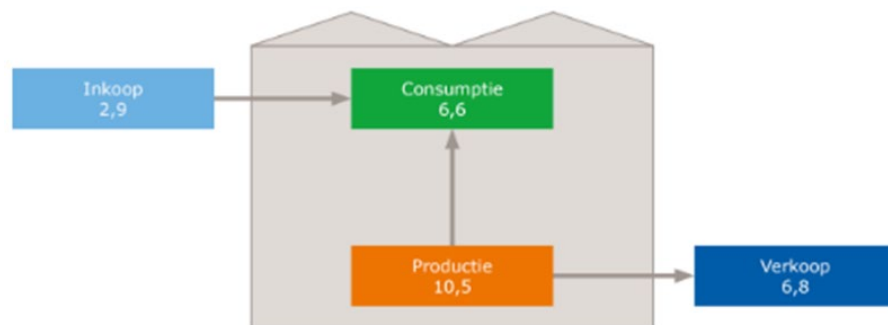
Figuur 25 laat de elektriciteitsbalans zien in de glastuinbouw in 2021. Daaruit is het eindgebruik van de sector af te leiden, net als de inkoop van en verkoop aan het net.

¹⁴⁶ *Energiemonitor glastuinbouw 2021, WECR, 2022.*

¹⁴⁷ <https://www.rabobank.nl/kennis/do11327000-tuinbouwproductie-2023-lager-door-hoge-energiekosten>.

¹⁴⁸ https://blueterra.nl/wp-content/uploads/2021/04/E2001_Rapport_barometer_wkk_voorjaar_2021_web_3.pdf.

¹⁴⁹ *Energiemonitor glastuinbouw 2021, WECR, 2022.*



Figuur 25. Elektriciteitsbalans 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.

¹⁵⁰ Op basis van de Agramatie en 'NPE: prognose en potentie hernieuwbare energie opwek landbouw', WUR 2023.

Overige landbouwsectoren¹⁵⁰

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. Recentere 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

Glastuinbouw

Vanuit marktvraag en door internationale concurrentie was in de Nederlandse glastuinbouw 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.¹⁵¹ 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

¹⁵¹ WEcR, Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 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.¹⁵²

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%.¹⁵³ Deze afname is echter nog niet te zien in de cijfers van de afgelopen jaren.¹⁵⁴ 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 energieprijzen of de subsidie is gekoppeld aan de gasprijs.
- In welke mate kan de glastuinbouw (en per wanneer) gebruikmaken van groene waterstof?

¹⁵² WEcR, *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2021*.

¹⁵³ KEV 2022.

¹⁵⁴ <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.¹⁵⁵ 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. 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.¹⁵⁶ 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.

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.

¹⁵⁵ Kamerstuk 30252-77.

¹⁵⁶ NPE: prognose en potentie hernieuwbare energie opwek landbouw', WUR 2023.

- 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).¹⁵⁷ 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 kaswarmteterugwinning 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.

¹⁵⁷ <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.¹⁵⁸ 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

¹⁵⁸ 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.¹⁵⁹ 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 voor lagetemperatuurwarmte 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 waterstof¹⁶⁰ 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).

¹⁵⁹ <https://www.sodm.nl/actueel/nieuws/2018/09/06/aardwarmteproject-nabij-venlo-uit-voorzorg-stilgelegd-na-aardbeving>.

¹⁶⁰ 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 boeren-erf
 - 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**Glasiuinbouw**

Ramingen van vraag en aanbod naar energie geven een beeld van de mogelijke energiemix in 2030, 2040 en 2050¹⁶¹. In de onderstaande tabel 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 glasiuinbouw per energiedrager in PJ voor 2021, 2030, 2040 en 2050.

Energiedrager (in- en verkoop)	Energie-eindgebruik [PJ]			
	2021	2030	2040	2050
Elektriciteit	10	26	32	32
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	72	72

¹⁶¹ WEcR februari 2023.

Warmtevraag

Het beeld is dat er in 2040 en 2050 een warmtevraag van ongeveer 60 PJ zal zijn. In de tabel hierboven 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 biograndstoffen, biogas en waterstof. In 2021 was het warmtegebruik in de sector ongeveer 94 PJ. Die werd voor het grootste deel ingevuld met aardgas. In de tabel hierboven 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 biograndstoffen 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 in warmtebron ziet het als volgt uit.

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

Warmtebron	Warmtevraag [PJ]				
	Totaal	Basislast	Middenlast #1	Middenlast #2	Pieklust
Geothermie	20,1	12,3	7,8	0	0
Biograndstoffen	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).¹⁶² 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.¹⁶³ 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 CO₂.¹⁶⁴ 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:

¹⁶² Energiemonitor glastuinbouw 2020, WECR, 2021.

¹⁶³ Memo Werkgroep Bronnen en CO₂ tbv Convenant glastuinbouw.

¹⁶⁴ 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 gebruiksdoeleinden (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 ¹⁶⁵, 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.

¹⁶⁵ 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. 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 energiehub.

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 aangevuld in het definitieve NPE op basis van het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector.

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 aangevuld in het definitieve NPE op basis van het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector.

Prioriteiten bij het beperken van vraag en het ontwikkelen van energie-oplossingen

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 energie-oplossingen voor de overige landbouw worden aangevuld in het definitieve NPE op basis van het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector.

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 2030¹⁶⁶. 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 2040¹⁶⁷. Het restemissiedoel voor 2030 van 4,3 Mton CO₂-equivalenten is bepaald om hierop te koersen¹⁶⁸. 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 landbouwsectoren worden aangevuld in het definitieve NPE op basis van het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector. Bij bestaande beleidsdoelen gaat het onder meer om:

- Veehouderij en akkerbouw:
 - In het coalitieakkoord is de reductieopgave van het stikstofpakket 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 Klimaatakkoord 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 IenW) 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 worden¹⁶⁹. 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 aardgastarief 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 ingroei-pad met substantiële stappen vanaf 2025. De inputvrijstelling voor gasgestookte wkk's wordt beperkt tot het deel van de elektriciteitsproductie dat aan het net wordt geleverd. De exacte uitwerking van de maatregel loopt nog als onderdeel van het Belastingplan 2024.

¹⁶⁶ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/04/26/voorjaarsbesluitvorming-klimaat>

¹⁶⁷ <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2b15b6c2504f87dofcd6bf3e80bcbf94c7455830/pdf>

¹⁶⁸ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/04/26/voorjaarsbesluitvorming-klimaat>

¹⁶⁹ *Convenant Energietransitie Glastuinbouw 2022-2030.*

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 afspraak 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 2030.¹⁷⁰ 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 aangevuld in het definitieve NPE op basis van het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector.

¹⁷⁰ 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 aangevuld in het definitieve NPE op basis van het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector.

4.5. Uitvoering geven aan het transitiepad

Glastuinbouw

Op dit moment speelt de glastuinbouw een belangrijke rol in de balanceren 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. 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 aangevuld in het definitieve NPE op basis van het verdere proces rondom de toekomst van de landbouwsector.