Nationaal plan energiesysteem

Verdiepingsdocument B – Ontwikkelpaden ketens van het energiesysteem

Inhoudsopgave

Verdiepingsdocument B - Ontwikkelpaden ketens van het energiesysteem **2**

Inleiding en leeswijzer **2**

1. Ontwikkelpad elektriciteitsketen **3**
1.1. Huidige situatie en beleid 4
1.2. Mogelijke ontwikkelrichtingen en uitgangspunten 8
1.3. Uitwerking van de gewenste ontwikkelrichting 14

2. Ontwikkelpad waterstofketen **28**
2.1. Huidige situatie en beleid 29
2.2. Mogelijke ontwikkeling waterstofketen: vraag en aanbod 36
2.3. Gewenste ontwikkelrichting tussen nu en 2035 38
2.4. Gewenste ontwikkelrichting 2035-2050 47
2.5. Beleidsagenda voor het ontwikkelpad 51

3. Ontwikkelpad koolstofketen **52**
3.1. Huidige situatie en beleid koolstofketen 52
3.2. Mogelijke ontwikkelrichtingen koolstofketen 58
3.3. Gewenste ontwikkelrichting voor de koolstofketen 62
3.4. Uitwerking van de gewenste ontwikkelrichting 72
3.5. Beleidsagenda voor de koolstofketen 85
3.6. Aardgasafbouwpad 91

4. Ontwikkelpad warmteketen **96**
4.1. Huidige situatie en beleid 97
4.2. Mogelijke ontwikkelrichtingen en uitgangspunten 98
4.3. Gewenste ontwikkelrichtingen voor de warmteketen 101
4.4. Aanvullende vraagstukken voor ontwikkeling warmteketen 104

5. Decentrale energiesystemen en initiatieven **109**
5.1. De ontwikkeling van decentrale energiesystemen naast het centrale energiesysteem 109
5.2. Energiehubs in een decentraal energiesysteem 111
5.3. Lokale energie-initiatieven in het energiesysteem 113

Inleiding en leeswijzer

Dit is verdiepingsdocument B van het Nationaal plan energiesysteem (NPE). Het bevat verdiepende analyse en onderbouwing bij de inhoud en keuzes in het hoofddocument van het NPE. Dit verdiepingsdocument bevat de ontwikkelpaden van de hoofdketens van het toekomstige energiesysteem: elektriciteit, waterstof, koolstof en warmte. Aanvullend beschrijft het de ontwikkeling van decentrale energiesystemen, als belangrijk onderdeel van het toekomstige systeem. Het hoofddocument en de vijf verdiepingsdocumenten vormen samen het NPE.

Leeswijzer

In dit verdiepingsdocument staan vier ontwikkelpaden voor de energieketens beschreven die zijn opgesteld vanuit de volgende basisvraag: hoe moeten energieketens zich in de tijd ontwikkelen, van aanbod tot vraag, voor een energiesysteem dat past bij een klimaatneutraal Nederland? Op deze brede, ingewikkelde vraag is niet één pasklaar antwoord te geven. De ontwikkelpaden maken mogelijkheden, onzekerheden en afwegingen zichtbaar voor productie, transport, omzetting, opslag en gebruik. En ze geven de gewenste ontwikkelrichting aan vanuit een afweging tussen publieke belangen en agenderen nog te maken keuzes. Deze ontwikkelpaden zijn niet 'af': het zijn geen uitgestippelde routes naar een gedetailleerd omschreven eindbeeld en ze bevatten geen uitwerking van de inzet van beleidsinstrumenten. Ze zijn de opmaat naar een meer uitgewerkte sturing op de gewenste ontwikkelrichting, inclusief inzet van juridisch, financieel, ruimtelijk en sociaal-maatschappelijk beleidsinstrumentarium. Naast de vier ketenontwikkelpaden gaat het vijfde hoofdstuk specifiek in op de ontwikkeling van het decentrale energiesysteem en de rol van energiehubs hierbij. De ontwikkeling van decentrale systemen, inclusief interactie tussen de vier genoemde energieketens, is een van de grote veranderingen richting het energiesysteem van de toekomst.

Voor het opstellen van deze ontwikkelpaden voor de energieketens is gebruik gemaakt van vele gesprekken en sessies met deskundigen, belanghebbenden en maatschappelijke organisaties en van diverse ondersteunende studies en adviezen. Verder is de inhoud van deze ontwikkelpaden tot stand gekomen in nauwe samenwerking tussen de betrokken departementen en in het bijzonder in wisselwerking met de sectorale transitiepaden van de gebruikssectoren die staan uitgewerkt in verdiepingsdocument C.

Toelichting bij gebruik van cijfers en aannames over beleid

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

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

[1] *Kamerstuk 38579 nr. 2023 – Toelichting cijferbasis concept NPE*

1. Ontwikkelpad elektriciteitsketen

Samenvatting

Wind en zon worden de twee belangrijkste duurzame energiebronnen. Elektriciteit is daardoor de belangrijkste energiedrager in het toekomstige energiesysteem. Een systeem met een hoge mate van elektrificatie, een goed benut elektriciteitsnet en flexibele vraag is efficiënt en resulteert in de laagste maatschappelijke kosten. Elektriciteit zal naar verwachting het grootste deel van de finale energievraag uitmaken. De elektriciteitsvraag zal drie keer zo groot kunnen zijn als nu en de productie ruim vier keer zo groot. Onzekerheden hierbij zijn vooral de mate van productie van duurzame brandstoffen in Nederland, buurlanden of elders in de wereld, de inzet van lokale warmtebronnen en mate van netto elektriciteitsexport. Het personenvervoer en de weglogistiek zullen voor het grootste gedeelte elektrisch worden, met een snelle groei al in de komende jaren. Ook speelt (hybride) elektrificatie van de warmtevraag een belangrijke rol in de gebouwde omgeving. Er zijn grote onzekerheden in het verwachte elektriciteitsverbruik van de industrie. Op de korte termijn vanwege het onzekere tempo van elektrificatie, op de lange termijn door de onzekere mate van synthetische brandstoffenproductie. Door de omvang van deze sector is de impact van deze verschillen groot. In de ontwikkeling van de elektriciteitsketen gaat het kabinet voor nu uit van de meer maximale scenario's, waarbij het streeft naar:

Een CO_2-vrij elektriciteitssysteem in 2035.

Het kabinet streeft naar een elektriciteitssysteem dat vanaf 2035 geen CO_2-uitstoot meer veroorzaakt. Snelle verdere opschaling en diversificatie van CO_2-vrij productievermogen (wind-, zon- en kernenergie) is noodzakelijk voor het benodigde volume van CO_2-vrije elektriciteit en voor de businesscase van flexibiliteitstoepassingen.

Versnelde elektrificatie en flexibele vraag.

Het kabinet zet zich in voor de vraagontwikkeling van elektriciteit in lijn met de klimaatdoelen. Zowel de bestaande als nieuwe vraag moeten zo flexibel mogelijk worden om maximaal bij te dragen aan de balans tussen vraag en aanbod en rekening te houden met de beschikbare netcapaciteit.

Een gebalanceerd flexibiliteitsportfolio.

Een emissieloos elektriciteitssysteem kan alleen tot stand komen als er gelijktijdig voldoende CO_2-vrije flexibiliteit ontstaat. Het elektriciteitssysteem moet immers altijd in balans zijn. Dit vergt flexibiliteit in zowel vraag als opwek als opslag, van minuut tot minuut en van seizoen tot seizoen, inclusief de uitwisseling met landen om ons heen. Hoewel alle flexibiliteitstoepassingen nodig zijn, is de ene toepassing geschikter voor een bepaald doeleinde dan de ander. Het kabinet zet zich in voor heldere kaders en randvoorwaarden om de ontwikkeling van flexibiliteit en voldoende diversiteit in de toepassing van deze opties zeker te stellen.

Een robuuste ontwikkeling en gebruik van de elektriciteitsinfrastructuur.

De energietransitie vraagt om enorme schaalsprongen in de uitbreiding van de elektriciteitsinfrastructuur. Een systematische en gebiedsgerichte programmering van vraag, aanbod en infrastructuur draagt bij aan de toekomstbestendigheid en snelheid van netuitbreiding. Overheden en netbeheerders verbinden ruimtelijke ontwikkelingen en de ontwikkeling van het energiesysteem steeds beter aan elkaar. Het kabinet wil met urgentie overeenstemming tussen de verschillende belanghebbenden realiseren over welke mate van uitbreiding maatschappelijk gewenst en (tijdens de transitie) haalbaar is. Dit vormt namelijk de basis van nieuwe en/of aangepaste beleidskaders.

Strategische verbondenheid binnen Europa.

Het elektriciteitssysteem van Nederland is verbonden met de omliggende landen. Er is een Europese elektriciteitsmarkt (inclusief het Verenigd Koninkrijk en Noorwegen), omdat dit leidt tot een betrouwbaarder en betaalbaarder systeem. De Noordzee is vanwege de opwekpotentie een belangrijke bron van energie voor Nederland én Europa. Het kabinet staat daarom open voor netto-export van elektriciteit op de lange termijn. Het kabinet zet zich ervoor in dat de robuustheid van het Europese elektriciteitssysteem ook in de toekomst geborgd is en dat iedere lidstaat daar op een eerlijke manier aan bijdraagt en van profiteert.

1.1. Huidige situatie en beleid

Huidige situatie en recente ontwikkelingen

De huidige (finale) vraag naar elektriciteit is circa 120 TWh (+/- 432 PJ). De industrie gebruikt hiervan circa 33%, de gebouwde omgeving circa 53% (woningen 22%, dienstverlening 31%), de landbouw bijna 10% (CBS, 2021) en de mobiliteit ongeveer 2%. Het gebruik van elektriciteit is sinds 2008 stabiel. De afgelopen jaren is er vooral een verandering zichtbaar in het opwekportfolio (van fossiel naar hernieuwbaar), maar nog geen stijging van de totale elektriciteitsvraag.

In 2022 was het aandeel elektriciteitsproductie uit CO_2-vrije bronnen circa 43% (51 TWh, 183,6 PJ). Ongeveer 4% (5 TWh, 18 PJ) kwam uit kernenergie, 8% (9 TWh, 32 PJ) uit biogrondstoffen, 15% (18 TWh, 65 PJ) uit zon en 18% (21 TWh, 76 PJ) uit wind. Met name wind en zon vertonen een stijgende lijn. Van de 67 TWh (241 PJ) elektriciteitsproductie uit fossiele brandstoffen, kwam in 2022 ongeveer 40% (47 TWh, 169 PJ) uit gas, 14% (16 TWh, 57,6 PJ) uit kolen en 3% (3 TWh, 11 PJ) uit overige brandstoffen. Via interconnectie wordt er elektriciteit uitgewisseld tussen Nederland en België, Denemarken, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk en Noorwegen. Na veertig jaar netto import van elektriciteit is er de laatste jaren sprake van netto export van elektriciteit en stijging daarin.

Om vraag en aanbod van elektriciteit bij elkaar te brengen is er infrastructuur nodig. Het elektriciteitsnet in Nederland bestaat momenteel uit circa 310.000 kilometer aan elektriciteitskabels (zie tabel 1). Er is een landelijk net dat onder beheer is bij TenneT. Dit is het hoogspanningsnet (110 tot 380 kV). Op dit net zijn met name grote aanbieders (centrales, windparken op zee, grote zonne- en windparken op land) en grote afnemers (zware industrie) van elektriciteit aangesloten. Dit net heeft ook de verbindingen met buurlanden (interconnectie) en de regionale netten (hoofdzakelijk beheerd door Enexis, Liander en Stedin). De regionale netten bestaan uit middenspanning en laagspanning. Op middenspanning worden met name industriële verbruikers, laadinfrastructuur voor logistiek en wind- en zonneparken op land tot vermogens van 80 à 100 MW aangesloten. De gebouwde omgeving en laadinfrastructuur voor personenmobiliteit is met name aangesloten op laagspanning. Het laagspanningsnet is met meer dan 220.000 kilometer het grootste net vanwege de vele vertakkingen en aansluitingen.

De afgelopen jaren neemt de druk op alle netvlakken substantieel toe. Zo is er een decentrale groei van relatief kleine en verspreide productie van CO_2-vrije elektriciteit op plekken met een van oudsher beperktere transportcapaciteit. Bijvoorbeeld bij zon op dak en zon en wind in het landelijk gebied. Op veel plekken in Nederland zijn er al langere tijd beperkingen voor de invoeding van elektriciteit op het net. Ook zijn er de afgelopen drie jaar plekken ontstaan met afnamecongestie, dat wil zeggen dat de transportvraag van de elektriciteitsvraag groter is dan de beschikbare netcapaciteit. Dit neemt momenteel significant toe vanwege de groeiende elektrificatie van de energievraag in alle sectoren. De congestieproblematiek kan daarmee lokaal voor een tijdelijk rem zorgen op de energietransitie en nieuwe ontwikkelingen.

Tabel 1. Lengte en aantal klanten per netvlak in Nederland[2]

Functie	Niveau	Bovengronds (km)	Ondergronds (km)	Aantal klanten
Koppelnet	Hoogspanning (220/380 kV)	2840	40	160
Transportnet	Hoogspanning (50/110/150 kV)	5020	3760	180
Distributie, regionaal	Middenspanning (3 t/m 25 kV)	0	106.000	32.000
Distributie, lokaal	Laagspanning (0,4 kV)	0	220.000	8,2 miljoen

Het elektriciteitsnet verbindt vraag en aanbod in Nederland en maakt via interconnectie uitwisseling met buurlanden mogelijk. Sommige landen, zoals Noorwegen, Frankrijk (via België) en het Verenigd Koninkrijk hebben een complementair opwek- en vraagprofiel, bijvoorbeeld meer kernenergie, meer waterkracht, andere weersomstandigheden, tijdverschillen en/of andere typen industrie. Andere landen zoals Denemarken, Duitsland en België hebben een meer vergelijkbaar profiel als Nederland. Op dit moment komt de meeste flexibiliteit vanuit elektriciteitsopwekking uit kolen en aardgas. De flexibiliteit in Nederland is dus vooralsnog geborgd met elektriciteitsopwekking uit fossiele energiedragers

[2] *Energie in cijfers, Netbeheer Nederland.*

voornamelijk afhankelijk. Elektriciteitsopwekking uit kolen is na 2029 in Nederland verboden en daarnaast worden er elk jaar minder ETS-rechten geveild die de gascentrales nodig hebben om CO_2 te mogen uitstoten. Door de opkomst van beperkt regelbare bronnen zoals wind en zon en afnemende CO_2-emissierechten is elektriciteitsopwekking uit kolen en gas steeds minder nodig en mogelijk en wordt flexibiliteit door elektriciteitsopwekking uit CO_2-vrije brandstoffen, conversie, opslag, vraagsturing en interconnectie steeds meer van belang.

Ook nieuwe vormen van verbinding tussen energieketens wordt in toenemende mate belangrijk, dit wordt ook wel systeemintegratie genoemd. Bijvoorbeeld een woonwijk en bedrijventerrein waarbij restwarmte en warmteopslag worden ingezet om elektriciteitsvraag af te stemmen op het aanbod van elektriciteit uit wind en zon. Hetzelfde geldt voor het maken van waterstof uit elektriciteit op momenten met veel aanbod van elektriciteit uit wind en zon.

Europese Beleidsdoelen

Richtlijn voor energiebesparing (EED): Er is een hoofddoel afgesproken van 11,7% reductie van het energiegebruik in de Europese Unie in 2030. Voor publieke instellingen geldt dat het energiegebruik jaarlijks met 1,9% moet afnemen en 3% van het gebouwoppervlak gerenoveerd moet worden tot bijna energieneutraal. Daarnaast moeten beleidsmaatregelen tussen 2024 en 2030 leiden tot een gemiddelde jaarlijkse besparing van 1,49% op het finale energiegebruik. Deze beleidsdoelen vergroten de vraag naar elektriciteit ten opzichte van nu, omdat door de overstap van bijvoorbeeld gas naar elektriciteit het primaire energiegebruik lager wordt.

Europees Emissiehandel Systeem (ETS): Het bestaande ETS voor industrie, elektriciteit, luchtvaart en vanaf 2024 zeevaart (hierna: ETS-1) geeft in 2030 62% minder CO_2-emissierechten uit dan deze sectoren in 2005 uitstootten. Bij gelijkblijvend tempo voorbij 2030 zullen voor ETS-1 rond 2040 geen nieuwe emissierechten meer worden uitgegeven en is er spraken van 100% reductie voor deze sectoren, waaronder grootschalige elektriciteitsopwekking. Per 2024 zal naast luchtvaart – intra-Europees en later indien juridisch mogelijk ook extra-Europees – ook zeevaart onderdeel worden van het ETS-1. In 2027 zal het nieuwe emissiehandelssysteem (ETS-2) voor energie- en brandstofleveranciers aan de gebouwde omgeving en het wegtransport van start gaan. Dit is een extra stimulans voor verdere elektrificatie.

Effort Sharing Regulation (ESR): in 2030 moet ten opzichte van 2005 48% emissiereductie zijn gerealiseerd in de gebouwde omgeving, de transportsector, de landbouwsector en het (kleine) deel van de industrie dat niet onder het ETS-1 valt. Dit doel stimuleert ook verdere elektrificatie.

Mobiliteit (o.a. Fuel EU Maritime, clean vehicles directive, AFIR): er is afgesproken dat per 2035 alle nieuw verkochte personenauto's en bestelwagens emissieloos moeten zijn, met ruimte voor voertuigen die op CO_2-neutrale brandstoffen rijden. Vanaf 2030 wordt walstroom verplicht voor container- en passagiersschepen voor bepaalde zeehavens. Verder is er ingestemd met het realiseren van een hoge(re) laadcapaciteit voor personenauto's en lichte bedrijfswagens. Daarnaast moeten lidstaten vanaf 2025 gradueel een basisnetwerk voor zware bedrijfsvoertuigen uitrollen op het Trans-Europees Netwerk voor Transport. Per 2030 moet dit het gehele netwerk omvatten. Ook moeten lidstaten per 2031 een waterstoftankinfrastructuur uitrollen langs het Europese netwerk (elke 200 km) en in de stedelijke knooppunten. Deze doelen stimuleren verdere elektrificatie en vergroten de benodigde elektrolysecapaciteit en beschikbaarheid van elektriciteit voor waterstofproductie.

Richtlijn voor hernieuwbare energie (REDIII): het overkoepelende EU-doel voor het aandeel hernieuwbare energie bedraagt 42,5% in 2030. Voor de inzet van hernieuwbare waterstof en afgeleide hernieuwbare brandstoffen in de industrie worden bindende nationale doelen van 42% in 2030 en 60% in 2035 vastgelegd. Lidstaten mogen op twee voorwaarden deze doelen met 20% verlagen. Zij moeten ten eerste voldoen aan de van hen verwachte nationale bijdrage aan het overkoepelend EU-doel voor hernieuwbare energie. Ten tweede mag hun aandeel waterstof uit fossiele brandstoffen hoogstens 23% in 2030 en 20% in 2035 bedragen. Lidstaten mogen voor de hernieuwbare waterstofdoelstelling alleen onder strenge voorwaarden en in beperkte mate gebruik maken van waterstof uit kernenergie. Voor Nederland betekent dit dat het hernieuwbare opwekvermogen van elektriciteit genoeg moet zijn om in een deel van deze waterstofvraag te kunnen voorzien.

De Europese Commissie heeft in de 'EU strategy on offshore renewable energy' ook als doel gesteld dat in 2050 300 GW wind op zee en 40 GW andere hernieuwbare energie op zee opgewekt wordt. Daarnaast heeft de EU in de trans-Europese energie-infrastructuur (TEN-E) verordening een verplichting gesteld voor gezamenlijke wind op zee-doelstellingen per zeebekken voor 2030, 2040 en 2050. Nederland heeft samen met andere landen (Duitsland, Denemarken, België) en de Europese Commissie in de Esbjerg-verklaring ook gezamenlijke doelstellingen afgesproken voor wind op zee (150 GW in 2050).

Nationale beleidsdoelen

De nationale klimaatdoelen zijn vastgelegd in de Klimaatwet. Het doel van 95% reductie in 2050 is aangescherpt tot een verplichting voor Nederland om in 2050 de netto-uitstoot van broeikasgassen tot nul terug te brengen. Het streefdoel voor 2030 is aangescherpt tot ten minste 55% reductie. Daarbij richt het kabinet zich bij de uitwerking van het beleid op 60% emissiereductie.

Daarnaast streeft het kabinet naar nul emissies in de elektriciteitssector in 2035. Met de aanvullende maatregelen vanuit de voorjaarsbesluitvorming resteert voor de elektriciteitssector nog een indicatieve restemissie in 2030 van circa 13 megaton. Aanvullend beleid zal nodig zijn om de emissies naar 0 te brengen in 2035.
Voor wind op zee heeft het kabinet al ambitieuze doelen gesteld. Zo is het doel voor 2031 opgehoogd naar 21 GW (een vervijfvoudiging van het huidige vermogen van 4,5 GW) en zijn de streefdoelen voor 2040 en 2050 respectievelijk 50 GW en 70 GW. Ook onderzoekt het kabinet de mogelijkheid om rond 2030 3 GW zon op zee te realiseren en zo een beter beeld krijgen van de potentie van deze techniek. Daarnaast zet het kabinet in op in totaal 1,5 – 2,1 GW kernenergie in 2035 en 2,5 – 3,7 GW in 2040. Dit is inclusief de verlenging van de centrale in Borsele die een belangrijke rol heeft om voldoende CO_2-vrije elektriciteitsopwekking te borgen. Voor de Regionale Energiestrategieën (RES'en) is een doelstelling van 35 TWh aan grootschalige zon- (op land en dak) en windenergie op land afgesproken. Het huidige bod telt op tot 55 TWh. Voor de productie van groene waterstof heeft het kabinet als doel gesteld om in 2025 500 MW aan elektrolysecapaciteit gerealiseerd te hebben en 4 GW in 2030.

Huidige beleidsinzet

Het ETS, de aanscherping van de CO_2-heffing en de CO_2-minimumprijs stimuleren de elektrificatie van de industrie. Het kabinet wil met de twintig grootste industriële uitstoters nog een stap verder gaan door afspraken te maken over een programma voor snellere en ambitieuzere CO_2-reductie. Het kabinet is verder van plan om een afnameverplichting voor waterstof uit hernieuwbare bronnen in de industrie in te stellen. Daarmee wil het kabinet borgen dat Nederland aan het verwachte bindende doel uit het Fit-for-55-pakket voor gebruik van hernieuwbare waterstof kan voldoen. Deze verplichting moet in verhouding staan tot de beoogde binnenlandse elektrolysecapaciteit van 500 MW in 2025 en 4 GW in 2030. Ook voor de cluster-6 bedrijven is een actieplan opgesteld om knelpunten voor de verduurzaming te adresseren en kennisdeling hierover te organiseren. Ook worden de maatwerkafspraken verbreed tot bedrijven breder dan de top 15, onder andere bedrijven die niet tot de 5 fysieke industrieclusters behoren, de zogeheten cluster 6-bedrijven.

Er is een stapsgewijze aanpassing van verschillende vrijstellingen, verlaagde tarieven in de energiebelastingen, accijnzen en normeringen om zo de overstap van huishoudens en bedrijven van fossiele naar duurzame energie te belonen. Dit vergroot de vraag naar elektriciteit. Energie besparen is daarnaast een van de goedkoopste manieren om CO_2 te reduceren en is essentieel om de klimaatdoelen te bereiken. De energiebesparingsplicht verplicht bedrijven om energiebesparingen met een terugverdientijd van minder dan vijf jaar uit te voeren. De energiebesparingsplicht is in 2023 uitgebreid naar ETS- en vergunningplichtige bedrijven en de glastuinbouw. Dit verlaagt de vraag naar elektriciteit.

Het kabinet heeft in 2022 nieuwe gebieden voor windparken op zee aangewezen. Hiermee is het totale geplande vermogen voor energie van wind op zee verdubbeld. Dat komt overeen met de 21 GW-doelstelling voor 2031. Daarnaast is het kabinet begonnen met het aanwijzen van nieuwe windenergiegebieden waarmee doorgroei tot 50 GW in 2040 mogelijk moet zijn. Dit is een enorme opgave, gegeven het korte tijdsbestek. De randvoorwaarden voor deze ambitie moeten op orde zijn: voldoende ruimte voor aanlanding en transport van de geproduceerde elektriciteit en voldoende vraag naar deze elektriciteit, zeker in de kustgebieden nabij aanlanding. Daarnaast moet het inpasbaar zijn binnen de ecologische draagkracht op de Noordzee en in het energiesysteem.

In aanvulling op ETS biedt de minimum CO_2-prijs elektriciteitsopwekking elektriciteitsproducenten langjarig zekerheid over de minimale hoogte van CO_2-kosten. Deze kunnen zij meenemen bij investeringsbeslissingen. De Stimulering Duurzame Energie (SDE)++-subsidie speelt een belangrijke rol bij de elektrificatie. Dit versterkt indirect de business case van CO_2-vrije energieopwekking. De EU wil het daarnaast mogelijk maken om de vergunningverleningsprocedures voor CO_2-vrije energie te versnellen door de eisen hiervoor te versoepelen.

De ambitie voor hernieuwbare elektriciteitsproductie op land van tenminste 35 TWh productie in 2030 is volgens het Planbureau voor de Leefomgeving en de netbeheerders binnen bereik. Volgens de RES-monitor is hiervan al bijna 23 TWh gerealiseerd. Het stimuleren van coöperatieve energieopwekking heeft hier tot nu toe aan bijgedragen. In RES-verband is afgesproken dat er minimaal 35 TWh aan grootschalige hernieuwbare elektriciteitsproductie wordt gerealiseerd. Het RES-bod 1.0 voor 2030 – de optelsom van de zoekgebieden voor wind en zon per RES-regio – bedraagt 55 TWh. Dat kan onder voorwaarden gehaald worden. Zo moet netinpassing bijvoorbeeld mogelijk zijn. Ook kleinschalige elektriciteitsproductie uit zonnepanelen groeit. De salderingsregeling heeft tot nu toe een belangrijke rol gehad in de stimulering hiervan. Het kabinet werkt verschillende maatregelen uit voor de doorgroei en betere inpassing van zonne-energie in het elektriciteitssysteem en de ruimte, waaronder een normering van zon op dak, stimulering van batterijen bij grootschalige zonneparken, stimulering van multifunctionele ontwikkeling van zon-PV (bijvoorbeeld boven parkeerplaatsen en langs infrastructuur) en afbouw van de salderingsregeling. Het afbouwen van de salderingsregeling past bij de huidige volwassenheid van zon-pv op dak en vergroot de prikkel voor zelfconsumptie (middels inzet van flexibiliteitstoepassingen). Dit is van belang om de onbalanskosten en netcongestie door zonpieken te verkleinen. Ook is het voor consumenten zonder zon op dak vanuit financieel oogpunt rechtvaardiger als de salderingsregeling afgebouwd wordt. De kosten van de salderingsregeling worden nu namelijk gedragen door alle kleinverbruikers. De groeiende elektriciteitsproductie uit wind en zon vermindert de elektriciteitsproductie die nodig is uit kolen en aardgas. Het kabinet onderzoekt wat er als vervolg op de SDE++ voor hernieuwbare opwek mogelijk en gewenst zou zijn om de business case op peil te houden.

Het kabinet streeft naar een CO_2-vrije elektriciteitsketen in 2035. Dit is in lijn met wat mondiale klimaatstudies, de International Energy Agency (IEA) en ook het door het kabinet ingestelde Expertteam Energiesysteem 2050 (ETES) suggereren. De Wet verbod op kolen bij elektriciteitsproductie borgt de uitfasering van kolencentrales in 2030. Het kabinet voorziet in het realiseren van een CO_2-vrije elektriciteitsketen in 2035 een belangrijke rol voor waterstofcentrales (ombouw van aardgascentrales) en kernenergie. Het kabinet onderzoekt wat er in de breedte van de elektriciteitsketen nodig is om het doel van een CO_2-vrije elektriciteitsketen in 2035 te kunnen realiseren, waarbij de betrouwbaarheid en betaalbaarheid van het elektriciteitssysteem geborgd blijft.

Met het Landelijke Actieprogramma Netcongestie (LAN) werkt het kabinet samen met medeoverheden, netbeheerders en netgebruikers aan het verlichten van de netcongestieproblematiek. Verschillende acties dragen bij aan het versnellen van netuitbreidingen en een efficiënter gebruik van de beschikbare netcapaciteit op alle netvlakken. Zo kunnen sectoren op een haalbare manier blijven verduurzamen en blijft de energietransitie op tempo. Daarnaast heeft het kabinet onlangs de Routekaart Energieopslag gepresenteerd. Hierin worden verschillende acties beschreven om voldoende elektriciteits-, warmte- en moleculenopslag in samenhang te ontwikkelen. Het Nationaal plan energiesysteem (NPE) is gevoed met inzichten uit deze twee belangrijke beleidstrajecten en geeft hiermee ook nieuwe inzichten en acties vanuit een langetermijnperspectief voor het energiesysteem.

In het Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE) wordt in de Transitieagenda Circulaire Maakindustrie al aandacht besteed aan twee belangrijke productgroepen voor de elektriciteitsketen, namelijk wind- en zonneparkenparken. Hiervoor heeft het kabinet meerdere maatregelen aangekondigd om circulariteit te bevorderen. Een goed voorbeeld hiervan is dat het kabinet circulariteit opneemt als kwalitatieve randvoorwaarde in tenders van windenergie op zee, wat bij de tender voor IJmuiden Ver reeds geïmplementeerd is. Daarnaast verkent het kabinet in hoeverre het via tendercriteria in de vergunningverlening van kavels voor windenergie meer kan sturen op toepassing van gerecyclede materialen.

1.2. Mogelijke ontwikkelrichtingen en uitgangspunten

Trends en onzekerheden

Omdat wind en zon de twee belangrijkste duurzame energiebronnen worden, wordt elektriciteit de belangrijkste energiedrager in het toekomstige energiesysteem. Een systeem met een hoge mate van elektrificatie en flexibele vraag is, met name vanwege de efficiëntie, een systeem met de laagste kosten. [3] Uit een vergelijking van de beschikbare scenario's blijkt de verwachting dat het eindverbruik van elektriciteit 2 tot 3 keer zo groot zal kunnen zijn als nu. Dit komt overeen met de scenario's voor omliggende landen. De verhouding tussen elektronen en moleculen kan verschuiven van de huidige verdeling van 20% elektriciteit en 80% moleculen, naar 50% elektriciteit of zelfs 70% in de hoogste scenario's. Het geïnstalleerd productievermogen van elektriciteit zal in 2050 vijf tot tien keer groter kunnen zijn dan het huidige. [4] De bovenkant van de bandbreedtes wordt vooral bepaald door de mate van elektriciteitsexport en de productie van duurzame brandstoffen. Het personenvervoer en weglogistiek zal vanwege de technische mogelijkheden en kosteneffectiviteit voor het allergrootste gedeelte elektrisch worden, met een snelle groei al in de komende jaren. Ook speelt verduurzaming van de warmtevoorziening door het vervangen van de cv-ketel op aardgas door een (hybride) warmtepomp een belangrijke rol in de gebouwde omgeving. Zowel op de korte als lange termijn zitten er grote verschillen in het verwachte elektriciteitsverbruik van de industrie. Op de korte termijn komt dat door schommelende energie- en CO_2-prijzen, (nog) hoge aanschafkosten van elektrische apparatuur en onzekerheid over tijdige beschikbaarheid van netinfrastructuur en volledig duurzame stroom. Deze factoren zorgen voor een onzeker tempo van elektrificatie, ook bij andere sectoren. Op de lange termijn bestaat de onzekerheid in het elektriciteitsverbruik van de industrie met name uit de mate waarin er duurzame grond- en brandstoffen geproduceerd gaan worden in Nederland. Dit is met name afhankelijk van de internationale marktontwikkelingen voor deze stoffen. Door de omvang van de industrie is de systemische impact van deze verschillen groot.

Om in 2030 aan de nationale en Europese doelstellingen te voldoen, is veel extra aanbod, vraag en flexibiliteit nodig. Het doel van de emissiereductie is verhoogd van 49% naar 55% en voor de industrie is er een nieuwe groene waterstofdoelstelling vanuit de EU. Deze doelen vragen om een reductie van de fossiele elektriciteitsproductie van 35 naar circa 17 TWh [5] en verhogen de elektriciteitsvraag van 164 TWh naar circa 183 TWh. [6] Het vervangen van fossiele brandstoffen door CO_2-vrije elektriciteit (elektrificatie) is namelijk in het algemeen een efficiënte vorm van CO_2-reductie en besparing op het primaire energiegebruik. TNO heeft in het rapport 'Extra opgave elektriciteitsvoorziening 2030' berekend dat zowel de elektriciteitsvraag als het elektriciteitsaanbod achter zouden blijven op de doelstellingen. Sindsdien zijn er onder andere met de voorjaarsbesluitvorming maatregelen geformuleerd om het emissiereductiedoel te realiseren. Dit helpt ook het gat te dichten dat TNO heeft gesignaleerd in de ontwikkeling van de vraag naar en het aanbod van CO_2-vrije elektriciteit. Evengoed zijn er mogelijk meer inspanningen nodig om de ontwikkeling van de elektriciteitsketen op peil te houden, ook met het oog op 2035.

Een CO_2-vrije elektriciteitsketen in 2035 betekent niet dat de ontwikkeling van de elektriciteitsketen dan al klaar is. De keten zal verder moeten groeien om verdergaande elektrificatie in de verschillende sectoren te kunnen accommoderen. De druk op de elektriciteitsketen zal met name tussen 2030 en 2040 groot zijn, onder andere vanwege het streefdoel voor 2035 en een CO_2-vrije grootschalige industrie in 2040 gedreven door het ETS. Richting 2030 wordt naar verwachting duidelijker wat de energiesysteemstrategie van de buurlanden wordt en hoe internationale markten voor CO_2-vrije energiedragers zich ontwikkelen. Ook wordt dan duidelijker hoe met name de energie-intensieve industrie zich hiertoe zal verhouden. Vanaf dan kan het kabinet ook een nauwkeurigere koers uitzetten voor de verdere ontwikkeling van de elektriciteitsketen tussen 2035 en 2050.

De gewenste ontwikkelrichting op hoofdlijnen

De elektriciteitsketen zal de komende jaren als 'motor' van de energietransitie fungeren. Maximale doorgroei van CO_2-vrije opwek (wind-, zon- en kernenergie) is wenselijk om

[3] *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050, Expertteam Energiesysteem 2050 (2023); Towards fossil-free energy in 2050, Cambridge Econometrics en Element Energy (2019)*

[4] *Vergelijkende analyse systeemstudies en scenario-analyses energiesysteem, Quintel en Witteveen + Bos (2023)*

[5] *Extra opgave elektriciteitsvoorziening 2030, TNO (2022).*

[6] *Extra opgave elektriciteitsvoorziening 2030, TNO (2022), geactualiseerd op basis van de 42,5% REDIII-doelstelling en gecorrigeerd met een maximum van 16 TWh aan binnenlandse elektrolyse.*

directe elektrificatie maximaal mogelijk te maken. Dit zal voor alle sectoren de belangrijkste of een van de belangrijkste verduurzamingsroutes zijn. De technische mogelijkheden daarvoor zijn er voor een groot deel al. De opschaling van opwek en elektrificatie kan de komende jaren dan ook al goed op stoom komen. De opschaling van CO_2-vrije opwek is ook van belang om de 'tekorten' te verkleinen die met relatief kostbare CO_2-vrij regelbaar productievermogen (elektriciteitscentrales) ingevuld moeten worden. Ook omdat er op de korte en middellange termijn naar verwachting geen overvloed aan CO_2-vrije energiedragers beschikbaar zal zijn. Mogelijkheden voor groene waterstofimport zullen naar verwachting nog beperkt zijn en nodig zijn voor het realiseren van de Europese doelstellingen voor de industrie. Nieuwe kerncentrales zullen niet eerder dan 2035 beschikbaar zijn. Koolstofarme waterstof zal voor regelbaar productievermogen tijdens de transitiefase een belangrijke energiedrager zijn. Het is van belang de inzet hiervan vanwege de beperkte Carbon Capture and Storage (CCS)-capaciteit en de kostbaarheid ervan wel uit te faseren zodra CO_2-vrije opwek en flexibiliteit voldoende opgeschaald is en er (mede hierdoor) voldoende groene waterstofbeschikbaarheid is.

De keuze voor een CO_2-vrije elektriciteitsketen in 2035 geeft richting en duidelijkheid aan de benodigde uitbouw van de keten. Het kabinet onderzoekt wat er in de breedte van de elektriciteitsketen nodig is om het streefdoel van een CO_2-vrije elektriciteitsketen in 2035 te kunnen realiseren. Naar verwachting zijn mogelijkheden voor netto-import van elektriciteit vanuit buurlanden beperkt. Daarom past bij de uitbouw van de keten ook het streven om op jaarbasis in de binnenlandse vraag naar elektriciteit te kunnen voorzien. De uitbreiding van de interconnectiecapaciteit met buurlanden kan daarbij een belangrijke bijdrage leveren aan de leveringszekerheid en betaalbaarheid van het Nederlandse elektriciteitssysteem. Het gaat dan om interconnectie met landen met complementaire opwek- en gebruiksprofielen. Gegeven het productiepotentieel op de Noordzee is rekening houden met netto-export van elektriciteit op de lange termijn in de dimensionering van het elektriciteitssysteem voorstelbaar. Het kabinet zet zich er om deze redenen dan ook voor in om afspraken te maken over onder andere binnenlands productievermogen, strategische interconnectie en verdeling van maatschappelijke lusten en lasten van export en doorvoer. Dit in EU-verband en specifiek binnen pentalateraal- (Nederland, België, Duitsland, Frankrijk, Luxemburg) en Noordzee-verband (naast hiervoor genoemde landen ook Denemarken, Ierland, Noorwegen, Zweden en het Verenigd Koninkrijk). Het kabinet zal hierbij ook pleiten voor een gedeelde Europese inzet op een CO_2-vrije elektriciteitsketen in 2035 zodat een 'waterbedeffect' in de CO_2-uitstoot zoveel mogelijk voorkomen wordt. Het is hierbij van belang om te zien hoe het streven in samenhang met het Europees Emissiehandelssysteem geïnstrumenteerd kan worden, aangezien met dit systeem op CO_2-neutraliteit in 2040 wordt gekoerst.

De doelstellingen voor zowel 2030 als 2035 zorgen ervoor dat er de komende jaren een maximale doorgroei van CO_2-vrije opwek nodig is. Om de business case voor CO_2-vrije opwek op peil te houden en de doelstellingen in zicht te houden, is daadwerkelijke realisatie van de verwachte elektrificatie essentieel. Zowel bij nieuwe als bij bestaande vraag is flexibilisering van groot belang. Flexibele vraag in de vorm van aangepaste processen en hybridisering (overschakelbaarheid op andere energiedragers) heeft namelijk een heel belangrijke rol in het verkleinen van de behoefte aan regelbaar productievermogen bij uren met weinig wind en zon en het maximaal benutten van de variabele opwek uit wind en zon wanneer er juist veel opwek is. Voorbeelden van aangepaste processen zijn het aansturen van de intensiteit en/of het moment van het produceren van goederen, het laden van elektrisch vervoer en het gebruik van warmtepompen, afhankelijk van het elektriciteitsaanbod. Hybridisering is het uitwisselbaar produceren en/of gebruiken van waterstof en warmte afhankelijk van beschikbaarheid van elektriciteit. Bij hybridisering speelt opslag ook een belangrijke rol. Bijvoorbeeld door warmte te produceren en op te slaan als er veel elektriciteit wordt geproduceerd, kan op een later moment met minder elektriciteitsproductie de opgeslagen warmte ook weer flexibel worden ingezet. Een substantiële ontwikkeling van flexibele vraag is van groot belang op de opgave voor 2030 en 2035 te kunnen realiseren. Het kabinet zal zich hier dan ook stevig voor inzetten. Ook verdere ontwikkeling van elektriciteitsopslag, strategische interconnectie met buurlanden en waterstofproductie en opslag zijn van belang. Bij curtailment (het omlaag regelen van productie van elektriciteit) is er vaak een negatieve connotatie met energieverspilling. Toch is curtailment juist een nuttige vorm van flexibiliteit. Met name wanneer er anders netcongestie zou ontstaan en/of het (economisch) potentieel van andere flexibiliteitsvormen om overschotten op te vangen al volledig benut is. In het verkleinen van de vraag naar andere, meer kostbare vormen van aanbodflexibiliteit, kan het zogenaamd overdimensioneren van CO_2-vrije opwek gecombineerd met curtailment een maatschappelijk wenselijke strategie zijn. Dit verdient nader onderzoek. Vanuit een

energiesysteemperspectief en weging van publieke belangen is er een goede verhouding nodig tussen de verschillende, deels concurrerende, flexibiliteitsoplossingen. Ook is het van belang dat de CO_2-vrije productiebronnen wind-, zon- en kernenergie een goede onderlinge balans kennen, zowel in de opschaling ervan als in het eindbeeld, omdat dit de benodigde mix aan flexibiliteitstoepassingen sterk beïnvloedt.

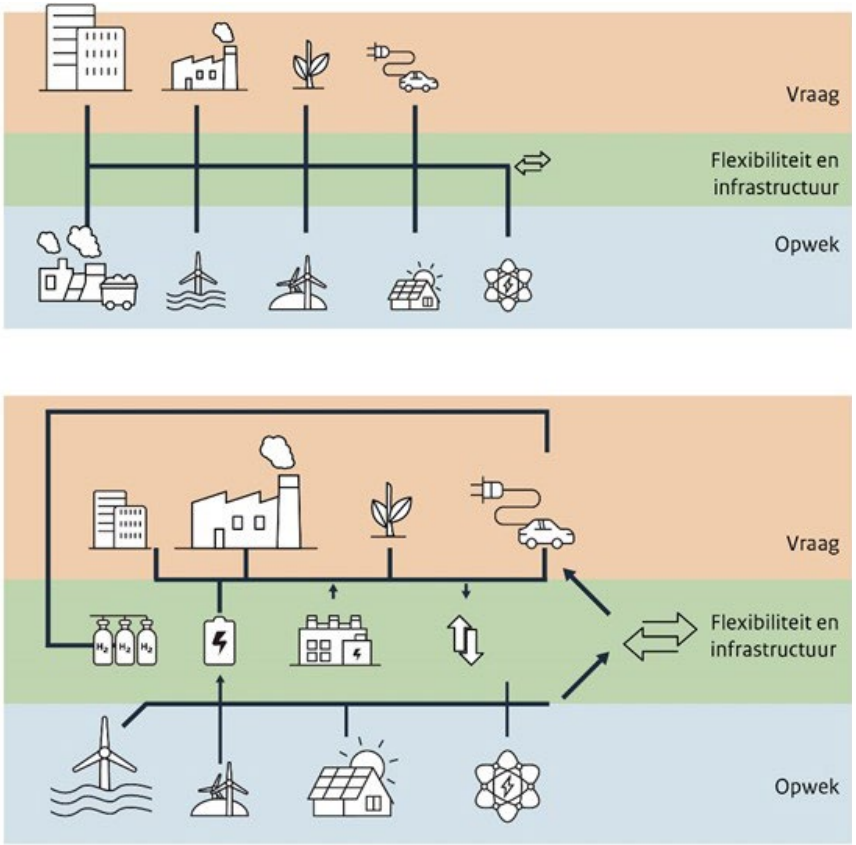
Na 2035 is de benodigde ontwikkeling van de elektriciteitsketen veel onzekerder. Tussen 2035 en 2040 zal er vooral een uitbouw zijn voor verdere elektrificatie in alle sectoren. Zo koerst de grote industrie vanuit het ETS ook naar 0 emissies in 2040. Vanaf 2035 en met name tussen 2040 en 2050 kan er nog een zeer grote vraag ontstaan naar elektriciteit, afhankelijk van de mate waarin de huidige vraag naar brandstoffen voor de zeevaart en luchtvaart in Nederland geproduceerd zal worden. Het kabinet zal dus moeten bezien in hoeverre het streeft naar een zo groot mogelijke elektriciteitsvoorziening voor de productie van brandstoffen voor internationale lucht- en zeevaart en/of export van substantiële volumes elektriciteit naar omringende landen. Het kabinet gaat op dit moment uit van de huidige omvang van sectoren in Nederland met bijbehorende energievraag en houdt rekening met de mogelijkheid om buurlanden met minder productiepotentieel in CO_2-vrije elektriciteit te kunnen voorzien. Daarom gaat het kabinet voor nu uit van een maximale uitbouw van de elektriciteitsketen. Het produceren van brandstoffen en het exporteren van elektriciteit is van grote invloed op de fysieke structuur van het energiesysteem, met name op de infrastructuur. Daarom acht het kabinet het wenselijk om richting 2030, wanneer de onzekerheden naar verwachting minder groot zijn, het standpunt hierover te herijken en de bijbehorende inzet bij te sturen.

De verwachte en gewenste stijging van de vraag naar en productie van elektriciteit tussen nu en 2050 zal een ongekende uitbreiding van de elektriciteitsinfrastructuur met zich meebrengen. Tot nu toe was dit altijd volgend aan de behoefte aan transportcapaciteit. In een energiesysteem dat zich steeds verder uitbreidde en ruimtelijk niet al te grote implicaties had, was dit haalbaar. De energietransitie vraagt echter om schaalsprongen op de verschillende niveaus van de elektriciteitsinfrastructuur. De netbeheerders lopen nu al tegen enorme uitvoerbaarheidsproblemen aan voor ruimtelijke inpassing, tekort aan arbeidskracht en schaarste aan materialen. Het is dan ook noodzakelijk om de komende jaren maatregelen te treffen die het uitbreidingstempo van het net substantieel versnellen en bijdragen aan een betere benutting van het net. Desalniettemin zal de netinfrastructuur naar verwachting de knellende factor blijven voor het ontwikkeltempo van de elektriciteitsketen. Ook is het van belang om vanuit de brede set aan publieke belangen en het langetermijnperspectief de huidige manier van gebruik en ontwikkeling van de elektriciteitsinfrastructuur meer fundamenteel tegen het licht te houden. Energiebesparing kan de benodigde groei temperen en met name de Europese doelen voor energiebesparing richting 2030 via de Energy Efficiency Directive (EED) kunnen in deze fase hierin ondersteunend zijn. Het kabinet acht het van belang om op korte termijn met alle relevante stakeholders een dialoog aan te gaan met als doel het vaststellen van uitgangspunten voor een maatschappelijk verantwoorde ontwikkeling en exploitatie van de elektriciteitsinfrastructuur. Gedurende de transitiefase kan overwogen worden om specifieke, mogelijk afwijkende uitgangspunten te hanteren om zodoende adequaat in te spelen op de kenmerkende schaarste. Het kabinet voorziet de volgende uitgangspunten en verdere concretisering daarvan als basis voor nieuwe en te herijken beleidskaders: 1) het net wordt planmatig en gebiedsgericht uitgebreid, 2) infrastructuureffecten wegen mee bij energiesysteemkeuzes, 3) er is samenhang tussen ruimtelijke ontwikkelingen en de ontwikkeling van het energiesysteem en 4) prikkels voor netgebruik reflecteren systeemefficiëntie.

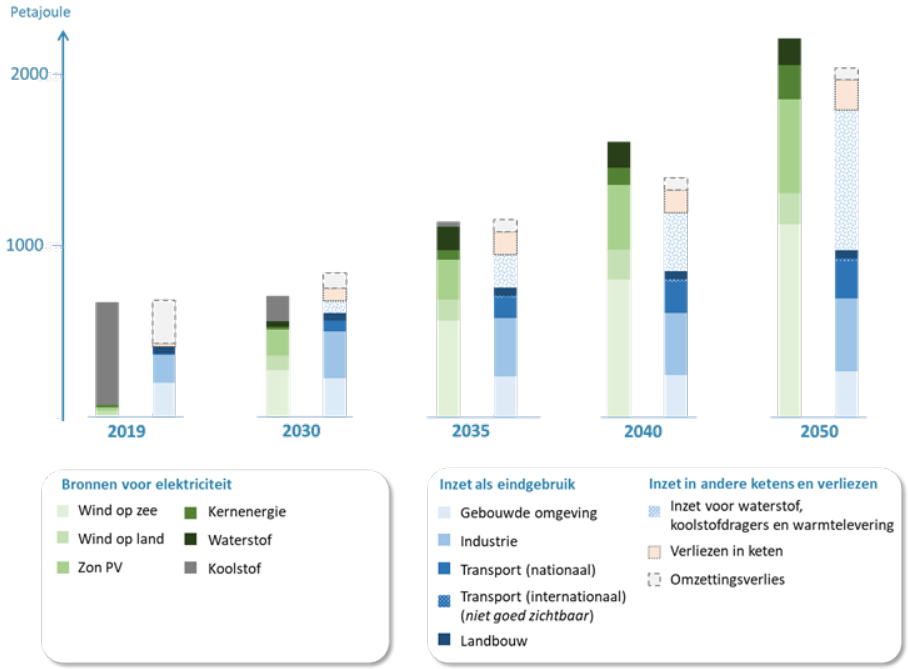
Een systeem waarin hernieuwbare elektriciteit de ruggengraat vormt, gebruikt weliswaar veel minder grondstoffen direct als energiebron, maar heeft meer kritieke grondstoffen nodig voor onder andere windturbines, zonnepanelen, batterijen en elektriciteitsinfrastructuur. In verdiepingsdocument E, hoofdstuk 1 worden zowel de mogelijkheden om de vraag naar kritieke grondstoffen te dempen als de Nederlandse inzet om het aanbod van schone grondstoffen te vergroten besproken. Er worden in het Nationaal Programma Circulaire Economie nadere acties verkend, ook voor productgroepen die nog niet zijn opgenomen. Een andere mogelijkheid om de grondstoffenvraag voor de elektriciteitsketen te reduceren is om bij de inrichting rekening te houden met de grondstoffenvraag, leveringszekerheidsrisico's en duurzaamheidsimpact van verschillende opties. Op dit moment zet het kabinet vooral in op diversificatie van technologieën. Dat draagt bij aan de robuustheid van het energiesysteem in het geval er voor één van de technologieën vertraging optreedt in de toeleveringsketen. Voor toekomstige keuzes verkent het kabinet hoe de grondstoffenvraag, leveringszekerheidsrisico's en

duurzaamheidsimpact kunnen worden meegewogen in het nadere ontwerp van het elektriciteitssysteem.

Richtpunten voor de ontwikkeling van de elektriciteitsketen



Figuur 1. Zeer versimpelde weergaven van de elektriciteitsketen nu (boven) en in 2050 (onder) inclusief indicatieve omvang en onderlinge verhoudingen van de ketenonderdelen



Figuur 2. Richtwaardes voor ontwikkeling van vraag naar en aanbod van elektriciteit

Tabel 2. Richtwaardes voor ontwikkeling van vraag naar en aanbod van elektriciteit

TWh per jaar	**2021**	**2030**	**2035**	**2050**
Totaal finale vraag	**104**	**171**	**192**	**273**
Industrie	36	78	95	120
Gebouwde omgeving	56	63	67	74
Mobiliteit	2	17	36	65
Landbouw	10	13	14	14
Totaal primair aanbod	**131**	**187**	**271**	**556**
Wind op zee	19	95	158	315
Wind op land	15	24	34	50
Zon totaal	11	43	65	135
Kernenergie	4	4	16	56
Biogrondstoffen	11	4	0	0
Aardgas	56	17	0	0
Kolen	15	0	0	0

Tabel 3. Indicatieve vermogensontwikkeling voor CO_2-vrij productievermogen

GW	2021	2030	2035	2050
Wind op zee	2,5	21*	35	*72*
Wind op land	5,3	8,8	12	17
Zon totaal	14,4	59,3	98	172
Kernenergie	0,5	0,5	2	7

* De 21 GW aan wind op zee wordt in 2031 gerealiseerd, in 2030 is dit 16 GW

Alle 2021-getallen komen uit de Klimaat- en Energieverkenning 2022. Uitzondering daarop is de totale vraag en aanbod waarvan de bron het CBS is. Andere uitzonderingen zijn de getallen voor wind op zee en wind op land: daarvan zijn de bronnen respectievelijk het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Voor 2030 komen de getallen voor de finale elektriciteitsvraag uit de sectorale transitiepaden. Voor het primaire aanbod komen vrijwel alle getallen uit de TNO-analyse Extra opgave elektriciteitsvoorziening 2030. De getallen voor wind en zon op land komen uit de RES-monitor 2022. Daarbij is alleen opgenomen wat al een wind- of zonbestemming heeft gekregen, waarmee het totaal uitkomt op circa 50 TWh. Het RES-bod is een ambitieuze opgave, uitgaande van de benodigde randvoorwaarden voor daadwerkelijke realisatie. Desalniettemin is de realisatie zeer gewenst, vanwege het benodigde totaal aan CO_2-vrij productievermogen. De kabinetsinzet is daarnaast dat in 2031 21 GW aan wind op zee gerealiseerd is. Dit resulteert in circa 95 TWh aan elektriciteitsproductie. Elektriciteitscentrales op kolen zijn verboden in 2030 en de verlaagde inzet van centrales op aardgas is in lijn met de klimaatdoelstelling.

Voor 2035 geldt de kabinetsdoelstelling voor een CO_2-vrije elektriciteitsketen. Dit betekent dat de productie van elektriciteit uit kolen en aardgas (zonder CCS) dan niet meer gewenst is. Dit streven kan op gespannen voet staan met het borgen van de leveringszekerheid en betaalbaarheid van elektriciteit. Met name doordat het realiseren van voldoende CO_2-vrij regelbaar vermogen een uitdaging vormt. Naast (de voorkeursopties) hernieuwbare en koolstofarme waterstof zijn ook aardgas met CCS[7] en biogrondstoffen energiedragers die de behoefte aan CO_2-vrij regelbaar vermogen kunnen invullen. Aan deze opties hangen verschillende (ongelijksoortige) voor- en nadelen of beperkingen wat betreft tijdige beschikbaarheid. Het is nog onduidelijk hoeveel CO_2-vrije koolstofdragers er na 2035 nodig en beschikbaar zullen zijn om de behoefte aan regelbaar vermogen in te vullen of voor koolstofverwijdering via elektriciteitsproductie (zie het hoofdstuk over de koolstofketen). Dit zal, ook met het oog op de toenemende vraag naar biogrondstoffen in andere sectoren, nader onderzocht en afgewogen moeten worden. Het heeft vanuit het duurzaamheidskader biogrondstoffen in de basis niet de voorkeur om biogrondstoffen na 2035 nog in te zetten in de elektriciteitsketen. Het kabinet zal onderzoeken wat het streefdoel qua ophoging van het CO_2-vrije productievermogen moet betekenen en de richtwaarden voor 2035 daarop actualiseren. De richtwaarden in de bovenstaande tabel voor de opschaling van wind op land en zon volgen uit het Klimaatakkoordscenario dat gehanteerd wordt in de investeringsplannen van de netbeheerders. Vanaf 2032 zal een deel van de elektriciteitsproductie op zee in toenemende mate (direct) omgezet worden naar waterstof, om te voorzien in de vraag naar groene waterstof en behoefte aan flexibiliteit in het elektriciteitssysteem. Het kabinet acht daarnaast de bouw van twee nieuwe kerncentrales wenselijk. De eerste zal in 2035 gebouwd kunnen zijn, waarmee in 2035 maximaal 2,1 GW (16 TWh) aan kernenergie beschikbaar zal zijn (inclusief de verlenging van de bestaande BDV Borsele centrale). Het is zeer wenselijk dat deze nieuwe kerncentrale er in uiterlijk 2035 komt, en snel daaropvolgend de tweede, om de benodigde hoeveelheid elektriciteitscentrales op andere CO_2-vrije energiedragers (zoals hiervoor uiteengezet) te beperken. De tweede kerncentrale zal naar verwachting in 2037 worden gerealiseerd en het totale vermogen op 3,7 GW in totaal (28 TWh) kunnen brengen.

Vanaf 2035 is een groter wordend verschil tussen primaire productie en finaal gebruik zichtbaar. Dit komt doordat de productie van warmte en waterstof met gebruik van elektriciteit toeneemt. Tegelijkertijd neemt het algehele verschil tussen primaire productie en finaal gebruik in het energiesysteem af door elektrificatie van de fossiele brandstofvraag

[7] *Strikt genomen is aardgas met CCS niet CO_2-vrij maar CO_2-arm omdat afvang van CO_2 niet 100% is. Hetzelfde geldt voor koolstofarme waterstof.*

en vervanging van fossiele elektriciteitsproductie. Dit is niet zichtbaar in de bovenstaande tabel.

Voor 2050 is de elektriciteitsvraag afkomstig van de sectorale transitiepaden, waarin de elektrificatie van de energievraag hoog is. Het primaire aanbod is gebaseerd op de hoogste ii3050 scenario's.[8] Het kabinet acht het robuuster voor de beleidsinzet om van relatief hoge verwachtingen uit te gaan. Daar horen wel de voorbehouden bij dat de daadwerkelijke streefmix nader gepreciseerd moet worden, dat de realisatie onder andere afhankelijk is van ruimtelijke inpasbaarheid en dat sterkere energiebesparing en veranderingen in economische ontwikkelingen tot lagere waarden kunnen leiden. Voor de aanbodkant is het wind op zee-getal de huidige kabinetsdoelstelling. Deze is gebaseerd op wat maximaal inpasbaar is in het energiesysteem, met oog voor andere functies op de Noordzee. Het getal voor wind op land komt overeen met het gemiddelde van het scenario Nationaal Leiderschap (NAT) en het scenario Decentrale Initiatieven (DEC) van ii3050, wat past bij de meer decentrale/lokale rol van wind op land in het elektriciteitssysteem. In het hoge elektrificatiescenario van ii3050 komt een doorgroei van zon-pv naar voren naar circa 135 TWh, exclusief zon op water. Hierbij is een uitwisseling mogelijk tussen zon op grond, zon op dak en zon langs infrastructuur. Hoe zon op water de verhouding tussen verschillende zon-pv-toepassingen en de rest van de energiemix verder kan veranderen is nog onduidelijk vanwege de nog onzekere technologische mogelijkheden en ecologische aspecten. Zon is qua opwekprofiel complementair aan wind. Daardoor is het mogelijk dezelfde elektriciteitsinfrastructuur te gebruiken die al voor wind op zee uitgelegd wordt. Kernenergie brengt diversificatie, basislast- en regelbaar vermogen in de productiemix en is ruimtelijk efficiënt. Een doorontwikkeling naar circa 7 GW in 2050 is dan ook voorstelbaar, in te vullen met enkele grote centrales en/of meerdere kleine, modulaire reactoren.

Met medeoverheden zijn afspraken gemaakt over de ontwikkeling van hernieuwbare opwek op land tot aan 2030. In de vormgeving en het ontwikkeltempo van het energiesysteem wordt het van steeds groter belang om de verschillende sectoren, ketens en schaalniveaus aan elkaar te verbinden en integrale keuzes te maken. In de uitwerking en actualisering van het Nationaal plan energiesysteem wil het kabinet dan ook in gesprek met medeoverheden over de doorontwikkeling van het energiesysteem na 2030. Het kabinet streeft ernaar om als gevolg van dit proces nieuwe interbestuurlijke afspraken te kunnen maken hierover. Aspecten rondom leefomgeving, uitvoeringskracht en maatschappelijke betrokkenheid van organisaties en burgers kunnen hierbij in het bijzonder extra aandacht en concretisering krijgen.

Wat niet naar voren komt in het hiervoor genoemde vraag- en opwekvermogen, is de behoefte aan flexibiliteit. In het elektriciteitssysteem moet ieder moment vraag en aanbod gelijk aan elkaar staan. De productie van CO_2-vrije elektriciteit door zon en wind is afhankelijk van het weer en daardoor beperkt regelbaar. Om de betrouwbaarheid van het elektriciteitssysteem te kunnen blijven borgen is daarom een zekere mate van flexibiliteit vereist. Deze flexibiliteit kan geleverd worden door regelbaar vermogen (inclusief curtailment), vraagsturing (inclusief conversie), opslag en interconnectie. De zogenaamde 'residuele vraag' – dat is de vraag op een bepaald moment minus het aanbod van wind- en zonenergie – laat zien wat de behoefte aan flexibiliteit is. Scenariostudies geven uiteenlopende inschattingen van wat deze residuele vraag is en wat het verwachte vermogen is van flexibiliteitstoepassingen om hieraan bij te dragen. Voor 2030 lopen schattingen uiteen van vraag-aanbodverschillen van ongeveer 17-26 GW aan 'tekorten' tot 11-57 GW aan 'overschotten'. Voor 2050 lopen de bandbreedtes nog veel meer uiteen, namelijk van 13-37 GW aan 'tekorten' tot 38-142 GW aan 'overschotten'.[9] Ook de mogelijke bijdrage van verschillende flexibiliteitstoepassingen hieraan loopt in verwachtingen uiteen. Alhoewel de totale omvang van de benodigde flexibiliteit onzeker is, is wel duidelijk dat een mix aan flexibiliteitsopties nodig zal zijn. Het kabinet zal onderzoeken wat nodig is om voldoende ontwikkeling van flexibiliteit zeker te stellen, met aandacht voor voldoende diversiteit in de toepassing van de verschillende opties.

Er zijn een aantal grote veranderingen en/of doorbraken mogelijk die de geschetste gewenste ontwikkelrichtingen substantieel kunnen veranderen. Voorbeelden hiervan zijn de importmogelijkheden voor groene waterstof (met name richting 2030 en 2035), de doorontwikkeling van nieuwe innovatieve technieken zoals zon-pv op water, zon-pv geïntegreerd in daken en gevels, lange termijn (elektriciteits-)opslag en kleine modulaire

[8] *Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050, Netbeheer Nederland (2023).*

[9] *Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem, TNO (september, 2023)*

kernreactoren. Ook andere factoren hebben potentieel een groot effect op de geschetste ontwikkelrichtingen. Bijvoorbeeld veranderingen in de omvang en aard van de industrie in Nederland, grote stappen in energie-efficiëntie, circulariteit en de vraag- en aanbodontwikkeling in buurlanden. Dit laat vooral zien dat de bovenstaande richtwaarden op basis van inschattingen geen absolute zekerheid zijn. De getallen dienen dan ook als indicatie voor de orde van grootte van de veranderingen. Daarmee kunnen overheidsbeleid en marktinvesteringen richting krijgen.

Uitgangspunten die volgen uit de schetsen

- Inzetten op een maximale uitbouw van de elektriciteitsketen tussen nu en 2035. Dit maakt directe elektrificatie en waterstofproductie mogelijk in lijn met Europese en nationale klimaat- en energiedoelstellingen en een goed functionerend elektriciteitssysteem.
- Voorbereiden op hoge scenario's voor de elektriciteitsketen in 2050 (het eindbeeld). Deze koers richting 2030 herzien, met name in het licht van internationale ontwikkelingen zoals de marktontwikkeling voor waterstof(afgeleiden) en de energieplannen van buurlanden.
- Stimuleren van de ontwikkeling van een gebalanceerd flexibiliteitsportfolio. In het bijzonder voor de elektriciteitsvraag is het van groot belang dat bij de ontwikkeling hiervan flexibilisering gelijk wordt meegenomen.
- Hanteren van een meer planmatige en gebiedsgerichte aanpak (op verschillende schaalniveaus) van de ontwikkeling van vraag, aanbod en infrastructuur.

1.3. Uitwerking van de gewenste ontwikkelrichting

Gewenste ontwikkeling van de elektriciteitsvraag

In het Klimaatakkoord lag de focus op het reduceren van emissies. De 'elektriciteitssector' werd daarbij als opzichzelfstaande sector behandeld, waardoor onder andere de aanpak vanuit het klimaatakkoord voor het reduceren van emissies binnen de gebouwde omgeving zich alleen richt op de gebouwgebonden vraag naar aardgas en het reduceren van emissies bij mobiliteit alleen op het gebruik van brandstoffen. Vanuit het perspectief van een goed functionerend energiesysteem – het perspectief van het NPE – is het echter van belang om naar de gehele 'energiehuishouding' in de vraagsectoren te kijken. Dit perspectief wordt in de hierop volgende sectorbeschrijvingen gehanteerd.

Industrie

Met het ETS is het niet langer de vraag óf de industrie gaat verduurzamen, maar wanneer de industrie gaat verduurzamen. Vanwege de omvang van de verwachte elektriciteitsvraag van de industrie is gelijktijdigheid met de ontwikkeling van de andere (grootschalige) elementen van de elektriciteitsketen van groot belang.
Vanuit Europese doelstellingen moet al 42% van de in de industrie ingezette waterstof in 2030 groen zijn. In 2035 stijgt dit naar 60%. De vraag naar groene waterstof in de industrie en de vraag naar waterstof voor regelbaar opwekvermogen in elektriciteitscentrales (vanuit de kabinetsdoelstelling van nul emissies in 2035) concurreren daarmee als het ware met elkaar. Door de verplichte groene waterstofafname voor de industrie is het van belang dat de ontwikkeling van elektrolysecapaciteit erop gericht is om dit doel te realiseren. De verwachting is namelijk dat de importmogelijkheden voor groene waterstof in ieder geval tussen 2030 en 2035 nog onzeker zijn. Het is wel aannemelijk dat import van groene waterstof in de vorm van ammoniak vanaf 2030 op grote schaal mogelijk is, maar dit is niet voor alle waterstofgebruikers even gemakkelijk toe te passen. Dit betekent dat tussen 2030 en 2040 voor elektriciteitscentrales naar verwachting nog een aanzienlijke hoeveelheid koolstofarme waterstof nodig is om aan de klimaatdoelstellingen te kunnen voldoen. De EU-richtlijn biedt onder voorwaarden wel ruimte voor lagere doelstellingen voor groene waterstof in de industrie. Het kabinet zal nader onderzoeken hoe de nationale doelstelling voor een CO_2-vrij elektriciteitssysteem en nationale doelstellingen voor groene waterstof in samenhang geformuleerd en geïnstrumenteerd kunnen worden.

Uit de huidige prognoses blijkt dat de industrie veelal haar processen gaat elektrificeren en waterstof met name als grondstof gaat gebruiken (ook voor brandstoffenproductie voor de mobiliteit), overeenkomstig met de beleidsmatig geprefereerde verduurzamingsroute. Het kabinet zet zich in om een vraagontwikkeling na te streven die past bij de uitrol van duurzame opwek (met name wind op zee) in het Nationaal Programma Verduurzaming Industrie. 'Power purchase agreements' (een maatwerkovereenkomst tussen een duurzame elektriciteitsproducent en een zakelijke afnemer) dragen in het bijzonder bij aan een meer samenhangende ontwikkeling van de industriële elektriciteitsvraag en de ontwikkeling van grootschalige opwek (zoals wind op zee). Hiermee neemt namelijk de financiële zekerheid voor het energieproduct (verzekerde afname voor een bepaalde prijs) en de energievrager (stabielere elektriciteitsprijs) toe.

Bij de vraagontwikkeling in de industrie moet ook de flexibilisering van de vraag meegenomen worden, bijvoorbeeld op het gebied van aangepaste processen, elektriciteitsopslag, power-to-heat en hybridisering van het energiegebruik (het verwisselbaar produceren en/of gebruiken van elektriciteit, warmte en waterstof). Voor de industrie kan dit kostenvoordelen opleveren, terwijl het voor het nationale systeem als geheel de noodzaak tot kostbare en moeilijk te realiseren investeringen in CO_2-vrij regelbaar productievermogen beperkt en rentabiliteit van hernieuwbare opwek verbetert. Uit de TNO-studie naar flexibiliteit in het elektriciteitssysteem[10] blijkt dat de potentie voor de industrie om bij te dragen aan de noodzakelijke flexibiliteit in 2030 groot is vanwege de inzetbaarheid van power-to-heat. Het kabinet wil graag met de betrokken partijen in gesprek over het wegnemen van belemmeringen hiervoor, zoals het gebrek aan voldoende netcapaciteit of de hoogte van de nettarieven. De potentie van andere vormen van regelbaar vraagvermogen binnen de industrie (ook wel demand-side-response) en met name het op- en afregelen van processen is nog beperkt in kaart gebracht. Deze vorm van flexibiliteit kent relatief lage investeringskosten, maar kan gepaard gaan met relatief hoge operationele kosten. Daarmee is dit een oplossing voor het beperkte aantal uren van hoge residuele vraag waar anders kapitaalintensieve elektriciteitscentrales voor nodig zijn.[11] Het kabinet wil de ontsluiting hiervan in het kader van het Nationaal Programma Verduurzaming Industrie verder verkennen.

Elektrificatie is de voornaamste verduurzamingsroute voor de verspreide, kleinschalige industrie, de zogenaamde Cluster 6-bedrijven en andere bedrijven met industriële warmteprocessen. Het is van belang dat deze bedrijven in hun verduurzamingsplannen rekening houden met eigen of nabijgelegen vormen van duurzame elektriciteitsopwekking. Dit verkleint de vraag naar transport en daarmee elektriciteitsinfrastructuur. Deze vraag kan verder verkleind worden door flexibiliteitsoplossingen te betrekken op individueel niveau of bijvoorbeeld op het niveau van bedrijventerreinen. Deze aanpak biedt mogelijk kansen om tegen lagere kosten in de eigen energiebehoefte te voorzien. Met het oog op de grote uitbreidingsopgave van de elektriciteitsinfrastructuur is het wenselijk dat Cluster 6-bedrijven vroegtijdig met netbeheerders in gesprek gaan over hun verduurzamingsplannen. Door zoveel mogelijk in één keer of in ieder geval met oog op het einddoel te verduurzamen, is de kans op vertraagde aansluiting en uitbreiding kleiner. Het kabinet geeft vanuit dit oogpunt in het Nationaal Programma Verduurzaming Industrie ruimte aan lokale of regionale differentiatie in het tempo van verduurzaming. Dit om te voorkomen dat bedrijven klem komen te zitten en er een (in de tijd) onuitvoerbare uitbreidingsbehoefte van de elektriciteitsinfrastructuur ontstaat. Ook is het kabinet van plan om lokale oplossingen te faciliteren die bijdragen aan de verduurzamingsbehoefte van Cluster 6-bedrijven door het aangekondigde stimuleringsprogramma voor energiehubs (zie verdiepingsdocument B, hoofdstuk 5). Daarnaast is er voor de cluster-6 bedrijven een actieplan opgesteld om knelpunten voor de verduurzaming te adresseren en kennisdeling hierover te organiseren en worden de maatwerkafspraken verbreed zodat deze ook met cluster-6 bedrijven gemaakt kunnen worden.

Gebouwde omgeving

Voor de gebouwde omgeving bestaat de huidige vraag naar elektriciteit vooral uit het gebruik van apparaten, namelijk ongeveer 52 TWh (186 PJ). Onder de 'gebouwde omgeving' vallen naast woningen ook bedrijfsruimtes zoals winkels, kantoren en bedrijventerreinen. Ook vallen hier gebouwen als ziekenhuizen en scholen onder. Deze categorie van gebouwen wordt ook wel utiliteitsbouw genoemd. Deze sectoren vertegenwoordigen een substantieel deel van de elektriciteitsvraag en hebben specifieke uitdagingen in de transitie naar duurzame energiebronnen. De vraag naar elektriciteit voor warmteproductie bestaat nu uit iets meer dan 6 TWh (21,6 PJ). Dit is vrijwel geheel voor individuele warmteproductie en nog nauwelijks voor de opwaardering van collectieve warmte. Richting 2050 gaat met name de elektriciteitsvraag voor warmte en koude sterk veranderen. Volgens de scenario's voor de gebouwde omgeving zal de totale elektriciteitsvraag voor verwarmen en koelen in 2050 rond de 19-25 TWh (70-90 PJ) liggen. Hiervan is circa 17 tot 22 TWh (60 tot 80 PJ) voor individuele warmteoplossingen, circa 2 tot 6 TWh (6 tot 21 PJ) voor de opwaardering van collectieve warmte en ongeveer 3 TWh (10 PJ) voor warmtekoeling. Vooral de ontwikkeling van koudevraag is nog onzeker en kan hoger uitkomen. Inclusief elektriciteitsgebruik voor apparaten komt de gebouwde omgeving qua primaire elektriciteitsvraag uit op ongeveer 72 tot 83 TWh (260 tot 300 PJ). Bij de vraag naar elektriciteit voor het gebruik van apparaten is niet van een netto verandering uitgegaan. In principe mag hier een verlaging verwacht

[10] *Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem, TNO (juli 2023)*

[11] *Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem, TNO (juli 2023)*

worden door de continue verhoging van de benchmark voor energie-efficiëntie vanuit Europese regelgeving. Tegelijkertijd leidt hogere energie-efficiëntie van apparaten vaak ook tot een terugslageffect. Consumenten en bedrijven installeren hierdoor meer apparaten, zoals extra lampen of 'gemaksapparatuur' zoals een wasdroger. Verdergaande digitalisering vergroot de elektriciteitsvraag van apparaten, maar dit is nog niet meegenomen in de genoemde schattingen.

De verduurzamingsaanpak van de gebouwde omgeving richt zich tot op heden vooral op de warmtevraag. Vanuit het perspectief van een goed functionerend energiesysteem is het van belang om breder te kijken. Voor de elektriciteitsketen betreft dit: zon op dak, laadfaciliteiten en elektrisch voertuigen bij gebouwen, elektrificatie van bedrijfsprocessen en elektrische (hybride) warmtepompen voor verwarming en koeling. Vanuit infrastructuurperspectief is een wijkgerichte aanpak van belang, waarin naast verwarming ook de andere te verduurzamen energievraag zo veel als mogelijk wordt betrokken. Een integraal energiesysteemperspectief kan hierbij leiden tot efficiëntere keuzes. Bijvoorbeeld collectieve warmteopslag in een wijk om zo de dag- en seizoenspieken op te kunnen vangen. Het kabinet beziet hoe dit soort oplossingen die het energiesysteem ontlasten gestimuleerd kunnen worden. Een ander voorbeeld van een efficiëntere aanpak is het meer planmatige verzwaren van het elektriciteitsnet per wijk, zoveel mogelijk op basis van het eindbeeld voor de verduurzaming. Gecombineerd met een betere afstemming van vraag en aanbod op wijkniveau, leidt dat ertoe dat er bij de uitrol van zon op dak, laadfaciliteiten en warmtepompen minder congestieproblemen en uitvoeringsdruk ontstaat. Dit voorkomt ook dat netbeheerders meermaals het net in een wijk moeten aanpakken, wat bijdraagt aan de efficiëntie. Om deze redenen wil het kabinet gemeenten faciliteren in een meer integrale aanpak, onder andere door de warmtetransitie mee te nemen in het integraal programmeerproces van het Rijk, de provincies, gemeenten en netbeheerders.

Zoals eerder aangegeven moet zowel de bestaande als nieuwe vraag naar elektriciteit in grote mate flexibel worden. Op dit moment wordt er vanuit huishoudens en bedrijven echter nog beperkt ingezet op flexibiliteit; de meeste huishoudens hebben om uiteenlopende redenen een vast leveringstarief, waarbij flexibel gebruik geen financieel voordeel biedt. Ook bij bedrijven zijn de processen nog niet zodanig ingericht om flexibiliteit te voorzien. In principe kunnen alle apparaten in de gebouwde omgeving flexibel ingezet worden. De grootste capaciteit zit echter in (hybride) warmtepompen en de batterijen van elektrische voertuigen. De komende jaren zal de uitrol van deze technieken naar verwachting tot netoverbelasting kunnen leiden én weinig bijdragen aan het balanceren van het elektriciteitsaanbod. De huidige inzet van deze technieken vertoont namelijk een hoge mate van gelijktijdige inzet; warmtepompen worden door temperatuur gedreven en elektrische voertuigen worden veelal geladen na thuiskomst of kort voor vertrek. Er zijn nog beperkt prikkels of andere aansturingsmechanismen ten behoeve van de elektriciteitsbalans en het voorkomen van netcongestie. Warmtepompen kunnen echter flexibel worden ingezet, bijvoorbeeld door (voor)verwarming van de woning en bij lage netbelasting tijdens de nacht in de winter en gecombineerd worden met warmteopslag om zo in te kunnen spelen op fluctuaties in vraag en aanbod van elektriciteit. Voor batterijen uit elektrische voertuigen geldt dat ze zowel flexibel elektriciteit zouden kunnen laden als ontladen. Op dit moment zijn echter nog maar weinig elektrische voertuigen en laadfaciliteiten geschikt voor bidirectioneel laden. Wel worden elektrische voertuigen steeds vaker 'slim' (flexibel) geladen. In de paragraaf over flexibiliteit wordt dit vraagstuk en de kabinetsinzet hierbij verder uiteengezet.

Voor de utiliteitsbouw geldt naast de bovengenoemde aandachtspunten ook dat slimme verbindingen mogelijk zijn met de realisering van de Regionale Energie Strategieën. Zo is netcapaciteit ook een belemmering voor realisatie van het huidige RES-bod van 55 TWh in 2030. Door opwek en vraag dichter bij elkaar te brengen in afstand en profiel, kan zowel de elektrificatie van de utiliteitsbouw (met name bedrijventerreinen) als de realisatie van de RES-opgave beter mogelijk worden gemaakt. Dit vergt een goede samenwerking tussen provincies, gemeenten en marktpartijen. Ook Regionale Ontwikkelingsmaatschappijen kunnen hier een rol bij vervullen. Bijvoorbeeld door een 'energiehub'-benadering, waarbij vraag, aanbod en flexibiliteit in een gebied bij elkaar worden gebracht. Deze aanpak heeft grote potentie om de vraag naar en bijbehorende kosten van transport te verkleinen, de energietransitie te versnellen en nieuwe maatschappelijke en economische kansen te creëren. Met name op bedrijventerreinen is op dit gebied al veel ontwikkeling. Het kabinet zet zich ervoor in om dit maximaal te faciliteren (zie hoofdstuk 5).

Mobiliteit

De verwachting en inzet van dit kabinet is dat er vanuit deze sector een aanzienlijke elektriciteitsvraag zal ontstaan, zoals ook opgenomen in het transitiepad voor mobiliteit. Waar het directe elektrificatie betreft, heeft dit met name betrekking op het binnenlandse vervoer. Dat komt doordat voor de lucht- en scheepvaart brandstoffen de belangrijkste energiedragers blijven. Het kabinet streeft voor het openbaar vervoer, personenvervoer, zwaar wegtransport, mobiele werktuigen en bestelvervoer hoofdzakelijk de elektrische verduurzamingsroute na. Voor de scheepvaart geldt dat zowel vanuit Europese verplichtingen als vanuit stikstof- en klimaatmaatregelen op verschillende plekken walstroom gerealiseerd wordt om het energiegebruik op schepen te verduurzamen. Daarnaast is de verwachting dat een deel van de binnenvaart ook elektrificeert.

Het is van belang om rekening te houden met de beschikbare netcapaciteit om de versnelde elektrificatie binnen de wegmobiliteit uitvoerbaar te houden. Het kabinet zet zich daar binnen de Nationale Agenda Laadinfrastructuur al voor in, middels een gebiedsgerichte aanpak en het identificeren van mitigerende maatregelen. Ook maakt het kabinet afspraken met de sector omtrent 'slim laden', waarbij het profiel van laadfaciliteiten zo is ingesteld dat ze geen netoverbelasting veroorzaken. Vanwege de substantiële flexibele capaciteit in de batterijen van elektrische voertuigen, wil het kabinet verkennen wat nodig is om dit zoveel mogelijk te ontsluiten. Dit vraagt in ieder geval om het mogelijk maken en standaardiseren van bidirectioneel laden, met een goede afstemming tussen het bieden van flexibiliteit voor de elektriciteitsbalans enerzijds en het efficiënt gebruiken van de netcapaciteit anderzijds. Huishoudens, bedrijven en andere gebouweigenaren kunnen met de inzet van hun elektrische voertuigen een rol spelen in de energiebalans op het lokale niveau. Dit bijvoorbeeld door het zoveel mogelijk benutten van energie van zonnepanelen op eigen daken. Het kabinet zal ook bekijken wat voor mitigerende maatregelen nodig zijn wanneer door netcongestieproblemen niet aan de geldende normen voldaan kan worden. Denk hierbij onder meer aan een tijdelijke uitzondering op de nul-emissiezone voor vracht- en bestelauto's die in 2025 door gemeenten ingesteld mag worden.

Voor de zeevaart en de luchtvaart geldt dat deze sectoren naar verwachting in ieder geval nog tot en met 2050 voor het merendeel op brandstoffen zijn gebaseerd vanwege de benodigde energiedichtheid. Daarnaast wordt voor het ov, zwaar wegtransport en binnenvaart rekening gehouden met een beperkte hoeveelheid waterstof. Het is nog erg onzeker in hoeverre de waterstof of de waterstofderivaten die hiervoor nodig zijn ook binnen Nederland geproduceerd gaan worden. Het kabinet verwacht richting 2030 beter zicht te hebben op de reële verwachtingen hierbij en daarmee het te verwachten effect op de elektriciteitsketen. Gegeven de omvang van deze sectoren in Nederland acht het kabinet het op dit moment mogelijk dat een deel van die brandstoffen in Nederland geproduceerd gaan worden. Het kabinet houdt hier dan voor nu rekening mee bij de uitbouw van de productiecapaciteit.

Landbouw

De huidige vraag in de landbouw is circa 10 TWh, voornamelijk voor de belichting van gewassen in de glastuinbouw. Momenteel is de glastuinbouw een netto elektriciteitsproducent. Richting 2040 neemt het totale gebruik naar verwachting iets toe naar 14 TWh. De vraag door apparatuur daalt naar verwachting door besparing, terwijl de elektriciteitsvraag voor verwarming stijgt naar circa 4 TWh met name door de inzet van warmtepompen. De glastuinbouw heeft op dit moment een belangrijke rol in het bieden van regelbaar productievermogen met de inzet van gasgestookte warmekrachtkoppelingen (WKK's), die zowel warmte als elektriciteit produceren. Deze functie wordt richting 2030 minder en gaat gezien de verduurzamingsambitie van de sector naar verwachting in 2040 verdwijnen. Door het uitfaseren van gasgestookte WKK's neemt de vraag naar (extern geproduceerde) elektriciteit bij de glastuinbouw toe. Een deel van de glastuinbouw gebruikt een eigen elektriciteitsnet. Dit biedt kansen om een 'energiehub' te vormen met eigen opwek- en flexibiliteitstoepassingen.

Voor andere vormen van landbouw geldt dat de energievraag relatief beperkt is en er vooral potentie is voor elektriciteitsproductie op bedrijfspanden (bijvoorbeeld stallen) en bij andere landbouwactiviteiten (zoals zonnepanelen boven fruitteelt). Dit biedt mogelijk een aanvulling op het verdienmodel voor landbouwbedrijven die willen verduurzamen. Zon-PV kan ook een bijdrage leveren aan gebieden die in transitie zijn van landbouw naar een andere functie. Bij de doorgroei van elektriciteitsproductie is de vaak relatief lage capaciteit van de elektriciteitsinfrastructuur in het landelijke gebied een uitdaging. De mogelijkheden voor elektriciteitsproductie bij landbouwgronden zijn dus vooral groot bij bedrijven die dichtbij elektriciteitsvraag gelegen zijn. De mogelijkheden voor elektriciteitsproductie op

daken van landbouwbedrijven en bij agri-PV zijn vooral kansrijk bij bedrijven die dichtbij de elektriciteitsvraag gelegen zijn. Daarnaast biedt lokale elektriciteitsproductie mogelijkheden voor landbouwbedrijven om volledig zelfvoorzienend te worden in de eigen energievraag.

Gewenste ontwikkelrichting van het elektriciteitsaanbod

Om de business case voor CO_2-vrije elektriciteitsproductie op peil te houden, is het van belang dat de ontwikkeling van vraag en flexibiliteit gelijktijdig in omvang toeneemt. De verwachte toename van de CO_2-prijs vanuit het Europese Emissiehandelssysteem zorgt dat CO_2-vrije elektriciteitsproductie naar verwachting op termijn geheel met fossiele opwek kan concurreren. Ook de stimulering die er al is voor de duurzame vraag naar elektriciteit op het gebied van normering, beprijzing en subsidiëring vormt een belangrijke basis voor de businesscase van CO_2-vrije opwek. Meer liquiditeit in langetermijnelektriciteits-markten en 'power purchase agreements' (PPA's) tussen vragers en aanbieders kunnen de investeringszekerheid van CO_2-vrije opwek verder vergroten. Dit wordt ook aanbevolen in de markthervormingsvoorstellen van de Europese Commissie en in de Adequacy Outlook van TenneT (2023). Het kabinet doet nader onderzoek naar wat er nodig is om de investeringszekerheid van CO_2-vrije opwek op peil te houden en een CO_2-vrij elektriciteitssysteem te realiseren in 2035.

Daarnaast is het vanuit de elektriciteitsinfrastructuur en leefomgeving bezien van belang dat er een meer gebiedsgerichte en planmatige uitrol komt van CO_2-vrije opwek. Daarom is er afgelopen jaar gestart met integraal programmeren waarbij (in ieder geval) het Rijk, de provincies, gemeenten en netbeheerders samenwerken om op verschillende schaalniveaus vraag en aanbod beter bij elkaar te brengen en te programmeren in de tijd. Het samenspel tussen ruimtelijke ordening en het energiesysteem is hierbij in het bijzonder van belang. In verdiepingsdocument D, hoofdstuk 3 worden integraal programmeren en ruimtelijke sturing verder toegelicht. Dit sluit ook aan bij het eerder genoemde voornemen van het kabinet om in de uitwerking en actualisering van het Nationaal plan energiesysteem in gesprek te gaan met medeoverheden over de doorontwikkeling van het energiesysteem na 2030 en hier in gezamenlijkheid keuzes in te maken, inclusief eventueel nieuwe doelstellingen (als vervolg op de bestaande RES-doelstellingen).

Hernieuwbare elektriciteit op zee

Voor wind op zee zijn er al zeer ambitieuze doelen, waarbij de realisatie hiervan de uitdaging zal zijn. Zo is in 2022 het doel voor 2031 opgehoogd naar circa 21 GW en zijn streefdoelen vastgesteld voor 2040 en 2050 van respectievelijk 50 GW en 70 GW. Realisatie van deze streefdoelen is in grote mate afhankelijk van de mogelijkheid om wind op zee zowel ruimtelijk als ecologisch in te passen en de ontwikkeling van de industriële vraag naar elektriciteit (in de kustgebieden). Dit geldt zowel voor het in stand houden van de business case als de inpassing in het elektriciteitsnet. Zoals eerder toegelicht zet het kabinet zich hier voor in. Het onderzoekt ook of 3 GW zon rond 2030 haalbaar is. De reden hiervoor is dat dit goed te combineren is met wind op zee, zowel op ruimtelijk gebied als qua energieprofiel. Elektriciteitsopwekking op zee kan niet los gezien worden van andere opgaven op de Noordzee, zoals de ecologische opgave en de ruimtelijke opgave. In dat kader wordt overleg gevoerd in het Programma Noordzee onder leiding van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Hier geeft men invulling aan al deze opgaves, zodat deze in een goede balans gerealiseerd worden. Ook in internationaal verband, via NSEC, wordt ingezet op een verantwoorde en samenhangende realisatie van de uitrol van wind op zee.

Een deel van de windenergie van zee zal gebruikt worden om groene waterstof te produceren. De uitrol van de elektrolysecapaciteit op korte termijn wordt met name op land ontwikkeld. Vanaf 2035 stijgt ook de productie van waterstof op zee. In 2031 start de realisatie van een eerste demoproject van 500 MW. Door dit zo dicht mogelijk bij de bron om te zetten, wordt de uitbreidingsbehoefte voor de elektriciteitsinfrastructuur voor omzetting elders (op land) beperkt. Het is daarbij van belang dat windparken worden aangesloten op energiehubs op zee, in deze context zijn dat knooppunten van verschillende opwekstromen inclusief conversie. Hier wordt ter plekke waterstof geproduceerd afhankelijk van de hoeveelheid geproduceerde en gevraagde elektriciteit. Op die manier wordt op momenten met veel wind elektriciteit en waterstof geproduceerd en op momenten met weinig wind alleen elektriciteit. Zo draagt wind op zee zoveel mogelijk bij aan een maximale 'basislast' van hernieuwbare elektriciteitsopwek. De energiehubs worden zoveel mogelijk verbonden met andere Noordzeelanden om de mogelijkheid voor flexibiliteit via interconnectie te vergroten. Daarmee ontstaat meer voorzieningszekerheid en wordt efficiënter omgegaan met de beschikbare ruimte en infrastructuur. Wel is er aandacht nodig voor de veiligheid van energiehubs op zee, omdat de aanleg van vitale infrastructuur op zee nieuwe

kwetsbaarheden kan introduceren. De hybride inzet van wind op zee laat ook het belang zien van een geïntegreerd infrastructuurplan voor waterstof en elektriciteit, zowel op land als op zee. Het kabinet werkt op dit moment al samen met TenneT, Gasunie en EBN aan het Energie Infrastructuur Plan Noordzee (EIPN). Dit is een uitwerking van het toekomstige energiesysteem op de Noordzee in lijn met het NPE. Vanuit een integrale visie op hoe dit systeem eruit komt te zien, kunnen op de juiste locaties energiehubs ontwikkeld worden. Het EIPN wordt parallel aan het NPE opgesteld en in de eerste helft van 2024. Het marktontwerp op de Noordzee is relevant om de doorontwikkeling van energieproductie en energie-infrastructuur op zee op peil te houden en de maatschappelijk rechtvaardige financiering hiervan te borgen in het kader van het groeiende Europese en internationale karakter. Het gaat hierbij onder andere om de te bepalen indeling van biedzones op zee en een verkenning naar de kosten- en batenverdeling van infrastructuur. Het kabinet wil hier dan ook verder over in gesprek met TenneT en in Europees verband.

Hernieuwbare elektriciteit op land

Vanuit het energiesysteemperspectief is wind op land van grote toegevoegde waarde. Het opwekprofiel van windenergie op land sluit beter aan bij de energievraag dan zonne-energie. Zowel gedurende de dag als door de seizoenen heen. Zo is er een hogere opwek in de koudere maanden, wat beter aansluit bij de warmtevraag. Daarmee biedt het goede kansen voor meer lokale benutting van elektriciteitsopwek en zo ook voor de ontwikkeling van meer lokale (semi-autonome) energiesystemen. Daarnaast is wind op land vanwege het vlakkere profiel ook beter in te passen op het net dan zon op land en veroorzaakt het een lagere behoefte aan flexibiliteitstoepassingen ten opzichte van zonne-opwek. Daar staat tegenover dat windenergie op land, met name vanwege de hoge installaties, een nadelige impact op de leefomgeving kan hebben. Het vergt een zorgvuldige afweging om te bezien hoe windenergie op land ingepast kan worden met respect voor andere functies en de ervaring van het landschap. De mogelijkheden voor een forse toename in wind op land zijn als gevolg hiervan in de praktijk wellicht beperkter dan vanuit energiesysteemscenario's naar voren komt.

Het kabinet wil waar mogelijk belemmeringen voor wind op land wegnemen. Zo zet het kabinet zich in voor meer betrokkenheid en financiële participatie bij hernieuwbare energieprojecten zodat de baten van windparken ten goede kunnen komen aan lokale gemeenschappen. Dit sluit ook aan bij de gewenste ontwikkeling van lokale energiesystemen, waarin vraag en aanbod op gebiedsniveau meer bij elkaar gebracht worden en huishoudens en bedrijven (gemeenschappelijk) directer profiteren (hoofdstuk 5). De regionale energievisies dragen bij aan het beter zicht te krijgen op de mate waarin wind op land van toegevoegde waarde is in het (regionale) energiesysteem. De potentie van doorgroei voor wind op land zit niet alleen in het ontwikkelen van nieuwe locaties, maar ook in de opschaling van productiecapaciteit op oude bestaande locaties (door de gerealiseerde technologieontwikkeling).

Voor zonne-energie is er ook nog veel potentie om door te groeien. Het kabinet ziet in de komende decennia vooral een grote rol voor verdere doorontwikkeling van 'zon op dak' doordat hiermee opwek dicht bij de vraag gerealiseerd wordt en ruimte efficiënt gebruikt wordt. Dit zal samen met wind van zee de grootste duurzame elektriciteitsbron van het energiesysteem worden. Zon op dak betreft zon op woningen en utiliteitsbouw. Vanuit het perspectief van de elektriciteitsinfrastructuur is het van belang dat voor zowel huishoudens als bedrijven sprake is van een samenhangende groei van de eigen opwekcapaciteit en de eigen en/of lokale vraag naar energie. Daarnaast wordt ook ingezet worden op zonnepanelen op onbenutte terreinen en objecten binnen het bebouwd gebied en het landelijk gebied. Specifiek wordt ook gekeken naar zon boven parkeerterreinen. Aangezien het opwekprofiel van zon op dak niet goed aansluit bij het vraagprofiel, is een goede balans met andere opwekvormen en het samenspel van flexibiliteit belangrijk.

Voor andere vormen van zon-pv geldt dat de Voorkeursvolgorde Zon, zoals vastgesteld in de Nationale Omgevingsvisie, leidend is in wat het kabinet wenselijk acht qua doorgroei. De volgorde is als volgt:

1. Zonnepanelen op daken en gevels van gebouwen.
2. Zonnepanelen op onbenutte terreinen binnen stedelijk of bebouwd gebied.
3. Zonnepanelen op onbenutte terreinen buiten stedelijk gebied.
4. Zonnepanelen op landbouw en natuurgronden.

Deze voorkeursvolgorde is niet alleen vanuit een ruimtelijk perspectief logisch, maar ook vanuit het perspectief van de elektriciteitsinfrastructuur. Het Rijk, IPO, VNG, UvW en NBNL hebben in interbestuurlijke afspraken vastgelegd dat het wenselijk is zoveel mogelijk eerst te

kijken naar realisatie van zon op trede 1, 2 en 3.[12] In het geval dat er toch uitgeweken dient te worden naar trede 4, dan dient dat onder bepaalde voorwaarden te gebeuren: namelijk in combinatie met agrarische activiteiten, landbouwgebieden die op basis van bestuurlijk bindende afspraken in transitie zijn, en projecten die bijdragen aan de vermindering van netcongestie. Voorbeelden van zon op grond zijn zonnepanelen langs mobiliteitsinfrastructuur (spoor, weg) en zon-PV in combinatie met de teelt van gewassen (agri-PV) als aanvullend verdienmodel voor de landbouw. Dat eerste kan namelijk een ruimtelijk efficiënte inpassing zijn en dat laatste creëert koppelkansen met de klimaat- en biodiversiteitopgave in de landbouw. Combinaties zoals zon-pv met windenergie en opslag op één locatie beperken naast het ruimtebeslag ook de vraag naar netuitbreidingen. Bovendien sluiten dergelijke combinaties beter aan bij de (lokale) vraagprofielen. Het kabinet heeft daarom al besloten om elektriciteitsopslag te stimuleren bij grootschalige zonneparken. Zo kan zonne-energie ook gebruikt worden als de zon niet schijnt (met meer CO_2-reductie als gevolg) en wordt het elektriciteitsnet ontlast. Door opwek zoveel mogelijk nabij de vraag te plaatsen, is de kans op een goede inpassing groter. Zowel de inpassing van grootschalig zon-pv als wind op land wordt daarom meegenomen in het integraal programmeren van het energiesysteem op regionaal niveau.

Kernenergie

Kernenergie is een waardevolle aanvulling op zon en wind in een duurzaam elektriciteitssysteem. Kernenergie kan elektriciteit produceren wanneer zon en wind dat niet kunnen. Deze vorm van energieopwek speelt daardoor een belangrijke rol in het verminderen van 'opwekflauwtes' en de flexibiliteit (elektriciteitscentrales op waterstof) die daar anders voor nodig is. Ook is kernenergie de meest ruimtelijk efficiënte CO_2-vrije elektriciteitsbron en draagt het dus bij aan het beperken van het ruimtebeslag van een CO_2-vrij elektriciteitssysteem. Het kabinet vindt daarom de spoedige realisatie van nieuwe kerncentrales wenselijk. Het kabinet voorziet de realisatie van de eerste nieuwe grote centrale in 2035 en de tweede in 2037.

De mogelijke doorgroei van kernenergie richting 2050 moet nader bekeken worden vanuit de verwachte totale elektriciteitsvraag, ontwikkelingen van vraag en aanbod in het buitenland, (on)mogelijkheden van flexibiliteit, kostenontwikkelingen van kernenergie en alternatieven, betalingsbereidheid van afnemers voor de basislast en de ervaringen met de ontwikkeling van de tot dan toe gerealiseerde centrales. Een keuze hierover kan pas richting 2030 gemaakt worden wanneer hier meer zekerheid over is. Ook na 2050 kan de rol van kernenergie nog veranderen, eventueel ook door vervanging van (andere) afgeschreven installaties.

Het kabinet verkent voor nu een doorgroei naar +/- 7 GW aan vermogen in 2050, in te vullen via meer grote centrales en/of meerdere kleine, modulaire reactoren. Het kabinet wil de mogelijkheden hiervoor alvast in samenwerking met de provincies gaan verkennen, omdat kernenergie een lange voorbereidingstijd kent en een zorgvuldige inpassing vergt. Het kabinet wil dit vanwege de benodigde energiesysteemvisie in verbinding met het integraal programmeren vormgeven met medeoverheden en netbeheerders. Een goede netinpassing van kernenergie in relatie tot de realisatie van windenergie op zee is hierbij van belang, aangezien deze twee grootschalige opwekvormen niet zonder meer dichtbij elkaar op het net aangesloten kunnen worden. Het kabinet faciliteert daarnaast de ontwikkeling van innovatie en onderzoek voor kleine, modulaire reactoren. Vanuit veiligheid, rechtvaardigheid en milieu is het van groot belang om adequate permanente opslag van radioactief afval te realiseren. Op dit moment wordt dit afval tijdelijk opgeslagen bij de internationaal hoog-aangeschreven COVRA. In het staand beleid vindt besluitvorming over eindberging van radioactief afval plaats in het jaar 2100, waarmee in 2130 een eindberging operationeel moet zijn. Door de hernieuwde nucleaire interesse is het waarschijnlijk dat er de komende decennia meer radioactief afval wordt geproduceerd. Mede daardoor is goede (en ook zichtbare) zorg voor het afval een steeds belangrijker factor in maatschappelijk draagvlak. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is daarom voornemens het onderzoek op het terrein van de opslag van radioactief afval en eindberging van afval te versnellen.

In Europa zijn momenteel meerdere landen bezig met plannen rondom het bouwen van nieuwe kerncentrales als onderdeel van CO_2-vrije energiesystemen. Frankrijk heeft eerder dit jaar een Nucleaire Alliantie geïnitieerd, waarin landen hun kennis en ervaringen uitwisselen.

[12] *Kamerstuk 32813 nr. 1310 – Aangescherpte voorkeursvolgorde zon*

Ook Nederland is hierbij actief aangesloten. Binnen deze alliantie wordt momenteel gewerkt aan een roadmap met daarin een vooruitblik op wat er in Europa aan nieuwe kerncentrales nodig zal zijn tot 2050. Hierin zal ook aandacht zijn voor de benodigde toeleveringsketens en gezamenlijke uitwisselingsprogramma's voor technici en ingenieurs. Daarnaast is Nederland lid van het Nuclear Energy Agency (NEA) van de OECD. Ook dit gremium is een internationaal forum voor het uitwisselen van technische kennis en actuele ontwikkelingen rondom kernenergie. In het kader van de Nederlandse plannen voor nieuw te bouwen kerncentrales wordt aangesloten bij de relevante programma's van de NEA. Er zijn met diverse landen al uitwisselingen geweest die voor Nederland heel leerzaam waren.[13] Het kabinet ziet grote meerwaarde in het versterken van bilaterale samenwerking, juist omdat verschillende landen soms net in verschillende fases van (voorbereiding voor) nieuwbouw zitten, met daarbij passende opgebouwde expertise. Via deze routes leert Nederland van de ervaringen in andere landen en wordt een afwijkende aanpak voorkomen.

Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem

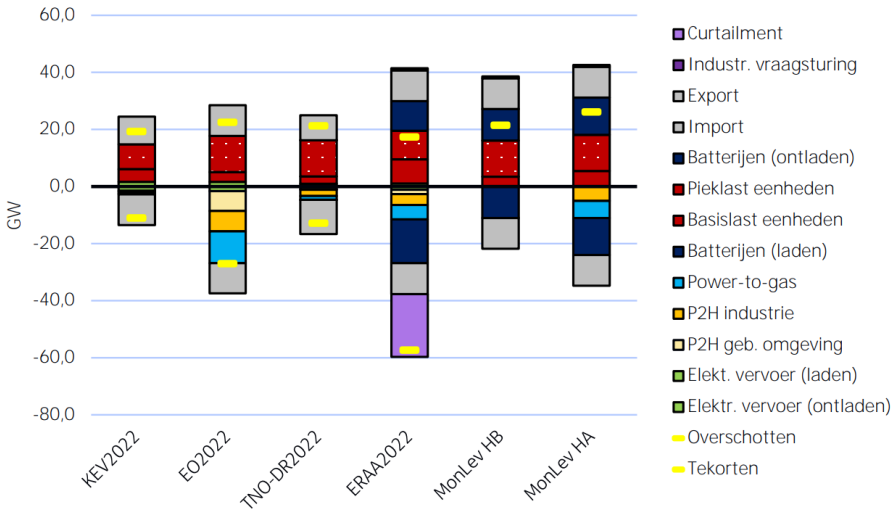
Door de groei van weersafhankelijke energiebronnen, zoals zon- en windenergie, is er op de langere termijn een groeiende behoefte aan flexibiliteit in het elektriciteitssysteem. De ontwikkeling van voldoende flexibiliteit is essentieel voor de realisatie van een CO_2-vrij elektriciteitssysteem waarin de verschillende publieke belangen voldoende geborgd zijn. Echter, flexibiliteit is geen doel op zich, maar een manier om aan de randvoorwaarden van het elektriciteitssysteem te voldoen. Deze zijn voor een groot deel hard en technisch. Zo moet het Europese elektriciteitssysteem elke seconde in balans zijn door op elk moment evenveel elektriciteit op het net in te voeden als eraan te onttrekken. Elke partij die elektriciteit invoedt op of afneemt van het elektriciteitssysteem draagt 'programmaverantwoordelijkheid' of besteedt deze verantwoordelijkheid uit. Dit betreft de verantwoordelijkheid om vraag en aanbod in de eigen portefeuille voor elk kwartier gebalanceerd te plannen. Programmaverantwoordelijkheid is op zowel korte als lange termijn een effectieve manier om vraag en aanbod te balanceren. Tegelijkertijd moet het elektriciteitsnet fysiek in staat zijn om de elektriciteit te transporteren tussen vraag en aanbod. Wanneer invoeding en afname van elektriciteit leidt tot een hogere vraag naar transportcapaciteit dan het netwerk fysiek aankan, is er sprake van 'congestie'. In dat gebied kan dan tijdelijk geen extra vermogen voor productie of vraag worden aangesloten door de netbeheerders, totdat het net is uitgebreid. Met flexibiliteit kan een groter deel van de elektriciteit uit wind en zon worden benut. Flexibiliteit kan ook bijdragen aan het beter benutten van de transportcapaciteit van het elektriciteitsnet.

In een CO_2-vrij elektriciteitssysteem zijn er diverse flexibiliteitsopties die in vier categorieën zijn onder te verdelen: vraagsturing (met inbegrip van conversie naar andere energiedragers), CO_2-vrij regelbaar productievermogen (met inbegrip van curtailment), opslag en interconnectie. Elke vorm van flexibiliteit kent vele variaties en heeft eigen kenmerken qua omvang, duur en snelheid van op- en afregelen. De behoefte aan flexibiliteit in het algemeen als ook voor individuele bronnen van flexibiliteit is afhankelijk van vele factoren waaronder de vraag naar elektriciteit, hoeveelheid transportschaarste en ontwikkelingen in vraag en aanbod in omliggende landen. Vanwege de grote interconnectiecapaciteit, kan de benodigde flexibiliteit ook deels van buiten Nederland komen of kan – omgekeerd – het buitenland flexibiliteit uit Nederland gebruiken. Daarbij zijn de verschillende bronnen van flexibiliteit deels uitwisselbaar. Dit betekent dat een toenemende beschikbaarheid van één vorm van flexibiliteit, bijvoorbeeld flexibiliteit in de vraag, ertoe zal leiden dat minder flexibiliteit uit andere vormen van flexibiliteit, zoals bijvoorbeeld (batterij)opslag, nodig zullen zijn. Andersom geldt dit ook, minder van de een maakt juist meer van de ander noodzakelijk. Hoewel de verschillende flexibiliteitsopties tot op zekere hoogte vervangbaar zijn, zijn ze niet volledig uitwisselbaar. Zo kunnen sommige flexibiliteitsopties niet snel genoeg op- of afregelen om adequaat te reageren op onbalans of zal, om langdurige perioden met beperkte zon- en windenergie te overbruggen, een bepaalde hoeveelheid (CO_2-vrij) regelbaar vermogen vereist dat onafhankelijk van wind en zon gedurende langere perioden (uren/dagen) stroom kan leveren. Wanneer flexibiliteitstoepassingen wel in dezelfde flexibiliteitsbehoefte kunnen voorzien, kunnen ze verschillende kenmerken hebben op het gebied van publieke belangen als ruimtebeslag, veiligheid en duurzaamheid (grondstoffen). Ook kan het zijn dat sommige

[13] *Kamerstuk 32645 nr. 116 – Nadere uitwerking van de afspraken uit het coalitieakkoord op het gebied van kernenergie*

flexibiliteitstoepassingen nog niet industrieel ontwikkeld zijn, terwijl ze wel de potentie hebben om in de toekomst betaalbaar en schaalbaar te zijn.

Uit de onderstaande vergelijking van scenariostudies door TNO[14] (figuur 3) blijkt dat er voor 2030 een relatief grote onzekerheid is in de hoeveelheid flexibiliteit die in welke vorm tot stand komt. Daarbij verschillen de scenario's deels in veronderstelde beleidskaders, maar ook in de projectie vanuit de huidige trend van groeiende interesse in opslag.
De scenario's schetsen een vergelijkbaar beeld van het beschikbare regelbaar opwekvermogen (16 – 18 GW) en interconnectie (11 GW), maar sterk uiteenlopende beelden voor power-to-heat (0 – 7 GW), power-to-hydrogen (0 – 11 GW) en batterijen (0 – 15 GW). De scenariobeelden voorzien in beperkte kleinschalige vraagsturing van 1 à 2 GW van elektrische voertuigen verwacht in alle scenario's en alleen grootschalige industriële vraagsturing tot 0,7 GW in de netbeheerderscenario's.



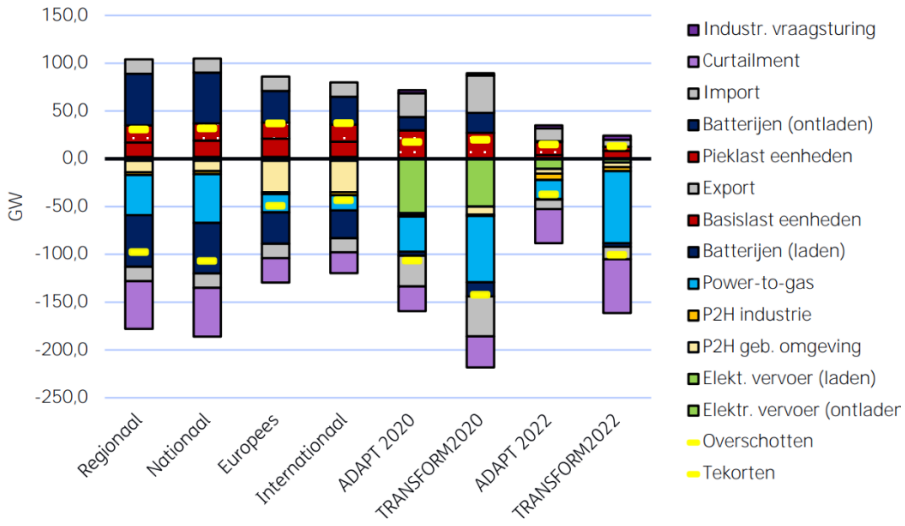
Figuur 3 Overzicht van het minimum en maximum van de residuele basisvraag (basisvraag naar elektriciteit min het aanbod van wind en zon) versus maximale inzet van flexibele middelen in scenariostudies voor 2030 studies (TNO, september 2023).

Het kabinet zet actief in op het wegnemen van barrières voor het tot stand komen van flexibiliteit. Eén van de stappen is het bevorderen van (Europese) productstandaarden en aansturingsprotocollen die de flexibele inzetbaarheid van elektrische en hybride installaties mogelijk maken. Daarnaast zet het kabinet in op innovatie en opschaling van technieken voor opslag, met speciale aandacht voor duurzaam grondstoffen- en ruimtegebruik.

Het kabinet acht het verder van belang om de interconnectiecapaciteit uit te breiden, met name met landen met complementaire elektriciteitsprofielen. Een voorbeeld hiervan is de aangekondigde nieuwe verbinding met het Verenigd Koninkrijk. Bij deze verbinding wordt een interconnector voor elektriciteit tussen beide landen gecombineerd met de aansluiting van een Nederland windpark op zee. In de toekomst is het ook denkbaar dat deze verbindingen hybride zullen zijn, waarbij naast elektriciteit ook waterstof uitgewisseld kan worden. Een ander voorbeeld is het aanleggen van DC-verbindingen naar buurlanden zoals opgenomen in het Target Grid van TenneT.

Bij een overvloed aan elektriciteit ten opzichte van de directe elektriciteitsvraag, voegt elektrolyse – het proces van omzetting van water naar waterstof met elektriciteit – waarde toe aan de geproduceerde stroom. Vanuit een infrastructuuroogpunt is het wenselijk dat elektrolyse plaatsvindt nabij locaties van elektriciteitsopwekking en knooppunten van elektriciteit- en waterstofinfrastructuur. Het kabinet wil hier daarom (ruimtelijk) op sturen. Een ander cruciale vorm van flexibiliteit is 'curtailment', het proces waarbij (hernieuwbare) elektriciteitsproductie van bronnen zoals zon en wind wordt verminderd of gestopt wanneer er te weinig vraag is. Voor 2050 is de verwachting dat conversie naar waterstof en curtailment een grote rol gaan spelen in verhouding tot andere flexibiliteitsopties (figuur 4). In feite raken de andere opties bij deze schaal van hernieuwbare energievoorziening richting 2050 steeds meer verzadigd, zoals ook geschetst door het expertteam energiesysteem 2050. Het kabinet zal nader onderzoek doen naar de maatschappelijke wenselijkheid van een combinatie van veel curtailment en overdimensionering van hernieuwbare opwek.

[14] *Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem, TNO (september 2023)*



Figuur 4 Overzicht van het minimum en maximum van de residuele basisvraag versus maximale inzet van flexibele middelen in scenariostudies voor 2050 studies (TNO, september 2023).

Onder andere een recente studie uitgevoerd in opdracht van het ITRE-comité van het Europees parlement[15] waarschuwt voor overheidsinterventies die gericht zijn op het stimuleren van specifieke flexibiliteitsopties voor leveringszekerheid. Zulke gerichte interventies kunnen ongewenste effecten op het elektriciteitssysteem hebben en onnodige marktverstoring veroorzaken. Een vergelijkbaar geluid komt van het Agentschap voor de samenwerking tussen energieregulators (ACER)[16], die waarschuwt voor een lappendeken van nationale maatregelen die als reactie worden genomen op leveringszekerheidsrisico's. Voor het borgen van de andere publieke belangen kan het echter wel noodzakelijk zijn om maatregelen te nemen. Zo kunnen nieuwe beleidskaders nodig zijn ten behoeve van ruimtelijke ordening, circulariteit, flexibiliteit voor het oplossen van transportschaarste, of het borgen van veiligheid bij nieuwe flexibiliteitsopties. Uit de TNO-studie[17] blijkt dat flexibiliteitstoepassingen die voor dezelfde doeleinden ingezet kunnen worden, verschillende voor- en nadelen hebben vanuit de verschillende publieke belangen bezien. Dit benadrukt het belang van coherent en goed doordacht beleid. Interventies moeten vooral ook de bredere stabiliteit en betaalbaarheid van het elektriciteitssysteem op de lange termijn waarborgen. Vanuit de herziening van de Europese elektriciteitsmarkt (EMD) komt naar verwachting een verplichting voor lidstaten tot het actief monitoren van de ontwikkeling van CO_2-vrije flexibiliteit en het definiëren van een indicatief nationaal doel voor niet-fossiele flexibiliteit. Het kabinet gaat hierom onderzoeken wat de effecten zijn van de verschillende flexibiliteitsopties op de publieke belangen. Ook beziet het kabinet in de uitvoerings- en beleidsagenda van het NPE of het wenselijk is om kaders en randvoorwaarden te formuleren voor deze flexibiliteitsontwikkeling en of inzet van extra beleidsinstrumentarium noodzakelijk is. Het kabinet zal daarbij kijken naar een breed sturingsinstrumentarium, waaronder stimuleringsmechanismen, normering, ruimtelijke sturing en nettarieven. Het is belangrijk om naast innovatiestimulering ook trajecten voor opschaling naar marktrijpheid te faciliteren binnen de staatsteunkaders, om de kloof tussen prototype en competitieve marktintroductie te overbruggen. Bij zowel de monitoring als toekomstige beleidskeuzes voor de ontwikkeling van flexibiliteit werkt het kabinet actief samen in (Noordwest-)Europees verband, met medeoverheden en andere nauw betrokken partijen als de ACM en netbeheerders.

Elektriciteitsinfrastructuur

De ontwikkeling en het gebruik van de elektriciteitsinfrastructuur is zo georganiseerd dat het vraag en aanbod op grote schaal verbindt, om zo een (markt)optimale afstemming te faciliteren. De ontwikkeling van infrastructuur is dan ook altijd volgend geweest aan de transportvraag van netgebruikers (elektriciteitsvraag- en productie). Dit functioneerde in een elektriciteitssysteem dat stapsgewijs werd uitgebreid en ruimtelijk niet al te grote implicaties had en waarbij productie in beginsel vraagvolgend was. De energietransitie vraagt echter om schaalsprongen op verschillende schaalniveaus van de elektriciteitsinfrastructuur. Naast een verveelvoudiging van de elektriciteitsvraag en -opwek, veranderen tegelijkertijd ook de locaties van gebruik (industrie, warmte, mobiliteit) en opwek (wind op zee en land, zon op water, land en dak). Daarnaast moeten nieuwe componenten als conversie en opslag ingepast worden en stijgt de vraag naar transportcapaciteit door hogere pieken in opwek en verbruik. Deze veranderingen in de aard van het energiesysteem vragen ook om

[15] *The design of the European electricity market: Current proposals and ways ahead, ITRE (2023)*
[16] *Security of EU Electricity Supply, ACER (2023)*
[17] *Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem, TNO (september 2023)*

veranderingen in de wijze waarop de elektriciteitsinfrastructuur wordt ontwikkeld en gebruikt. Het kabinet ziet daarvoor zoals eerder uiteengezet de volgende uitgangspunten:

1. Het net wordt planmatig en gebiedsgericht uitgebreid waarbij:
   - Toekomstbestendig geïnvesteerd wordt en zoveel als mogelijk meteen wordt gebouwd voor het eindbeeld.
   - Preventief voorbereid wordt op verwachte eindbeelden.
   - De uitrol van elektriciteitsinfrastructuur systematisch plaatsvindt. Dit zorgt voor een veel efficiëntere uitbreiding, waardoor uiteindelijk meer netgebruikers geholpen zijn.
2. **Infrastructuureffecten wegen mee bij energiesysteemkeuzes**: keuzes voor het energiesysteem zijn richtinggevend voor de benodigde veranderingen van de infrastructuur. De effecten op de elektriciteitsinfrastructuur moeten voortaan beter meegenomen worden in die keuzes. Voorbeelden hiervan zijn:
   - Een hogere ambitie voor het tempo om CO_2-vrije opwek en vraag op te schalen, vraagt meer uitbreiding van de infrastructuur.
   - Voor een ambitie om meer elektriciteit te exporteren of duurzame brandstoffen te produceren, is meer aanleg van infrastructuur nodig.
   - Minder aanleg van infrastructuur is nodig als gekozen wordt voor slimme verbindingen tussen de verschillende energiestromen en een energiesysteem bestaande uit veel 'semi-autonome energiesystemen'.
   - Keuzes om al dan niet te elektrificeren in combinatie met het tempo daarvan bepalen de behoefte aan uitbreiding van de infrastructuur.
3. **Er is samenhang tussen ruimtelijke ontwikkelingen en de ontwikkeling van het energiesysteem**: op basis van gebiedsgerichte analyses in het kader van de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 van Netbeheer Nederland zijn op de verschillende gebiedsniveaus duidelijke trends zichtbaar met een grote invloed op de benodigde infrastructuur (zie tekstbox 1). Deze trends vragen om een tijdige uitrol van nieuwe infrastructuur waarbij sprake is van een groot beslag op ruimte en middelen, die niet altijd in de gevraagde mate aanwezig kan zijn. Daarnaast is afstemming van vraag en aanbod op verschillende gebiedsniveaus nodig om inefficiënt transport van elektriciteit te voorkomen. Dit levert verschillende knelpunten op waar ook verschillende oplossingen voor mogelijk zijn (zie tekstbox 1). In generieke zin is het wenselijk dat locaties van opwek, vraag, conversie en opslag zo dicht mogelijk bij elkaar worden gebracht. Dit vraag ook dat de aanleg van infrastructuren voor elektriciteit, waterstof en warmte op elkaar afgestemd worden, zodat systeemefficiëntie ontstaat. Dit leidt tot minder infrastructuurvraag en maakt het voor gebruikers van infrastructuur duidelijk welke energiedragers wanneer en waar beschikbaar zijn. Dit vraagt om een integrale programmering van de netinfrastructuur in samenhang met ruimtelijke ontwikkelingen.
4. **Prikkels voor netgebruik reflecteren systeemefficiëntie**: normering en financiële prikkels ten behoeve van het netgebruik moeten de bredere systeemefficiëntie reflecteren. De interpretatie van 'efficiënt netgebruik' is uiteenlopend. Efficiënter vraagt onder andere in dat netbeheerders actief samenwerken met bedrijven om flexibele capaciteit aan te spreken en, indien noodzakelijk, te kunnen interveniëren door het gebruik van het netwerk tijdelijk te verminderen tegen compensatie. Verder is het essentieel dat er duidelijke, toegankelijke informatie beschikbaar wordt gesteld aan bedrijven over de mogelijkheden die er zijn voor het bieden van flexibele capaciteit. Dit impliceert niet alleen het informeren over bestaande regels en incentives, maar ook over de voordelen en de operationele aspecten van het aanbieden van flexibiliteit. Met het Landelijk actieprogramma netcongestie worden mogelijke wijzigingen van beleidskaders ten behoeve van efficiënter gebruik van de infrastructuur onderzocht.

Nieuwe rollen en nieuwe samenwerkingsvormen

Het toepassen van energiesysteemsturing op verschillende gebiedsniveaus vraagt om nieuwe vormen van gebiedsgerichte vraag- en aanbodafstemming. Hierbij horen nieuwe rollen en samenwerkingsvormen tussen markt, overheden en samenleving. Ruimte is één van de cruciale schaarstefactoren die een snelle uitbreiding van de elektriciteitsinfrastructuur bemoeilijkt. Alles heeft bovengronds én ondergronds ruimtebeslag, van infrastructuur voor HS-niveau en op LS-niveau van de transformatorhuisjes tot de onderstations. Dit vraagt een goede samenwerking tussen medeoverheden en netbeheerders om de benodigde ruimte te vinden.

Op hoogspanningsniveau is ook stevige grensoverschrijdende samenwerking vereist. Nederland is namelijk verbonden met omringende landen, waardoor de samenhang in elektriciteitsmix (zon, wind, waterkracht, kernenergie) en de grote (industriële) vraag essentieel zijn in de planning van de infrastructuur. Ook op de lagere spanningsniveaus werken deze veranderingen op hoogspanningsniveau door, met effect op de marktposities van alle aangesloten gebruikers. Daarnaast is specifiek op regionaal en lokaal niveau de

vraag-aanbodafstemming belangrijk. Zowel vanuit ruimtelijk oogpunt als vanuit bredere systeemoverwegingen. Sturing op ruimtelijke inpassing vereist tenslotte ruimtelijke afwegingen op basis van maatschappelijke meerwaarde. De transportvraag (en netinvestering) vermindert en de robuustheid van het systeem neemt bovendien toe door regionale en lokale energie optimaal regionaal en lokaal te gebruiken, inclusief sturing op het gebruik achter de meter of de aansluiting. Op lokaal niveau ontstaan hiermee ook mogelijkheden om een geïntegreerd energiesysteem te realiseren, met op het gebied afgestemd maatwerk en betrokkenheid van burgers en bedrijven (zie ook verdiepingsdocument B, hoofdstuk 5 over lokale energiesystemen en energiehubs). Digitalisering en data-uitwisseling spelen hierbij een belangrijke rol.

Instrumenten voor maatschappelijk optimaler gebruik en ontwikkeling van de elektriciteitsinfrastructuur

Het kabinet wil samen met medeoverheden, netbeheerders, de ACM en netgebruikers de uitgangspunten voor maatschappelijk geoptimaliseerd gebruik en ontwikkeling van de elektriciteitsinfrastructuur verder uitwerken. Vervolgens wil het kabinet met deze partijen ook aan de benodigde instrumenten hiervoor werken. Daarbij bouwt het voort op de samenwerking en de al gestarte acties vanuit het Landelijk Actieprogramma Netcongestie. Waar nodig neemt het kabinet deze uitwerking ook mee richting de Europese Unie, aangezien het beleidskader veelal vanuit Europese regelgeving is vastgelegd.

Het kabinet voorziet onder andere een meer planmatige uitrol van de elektriciteitsinfrastructuur door onder andere een integrale ontwikkeling van infrastructuur op zee (Energie Infrastructuur Plan Noordzee) en op land. Het Target Grid van TenneT is een goed voorbeeld van netplanning en -voorbereiding van de infrastructuur vanuit een energiesysteemperspectief op de lange termijn en ligt al goed in lijn met de geformuleerde uitgangspunten. Het kabinet wil hier verder over in gesprek, ook met Gasunie en regionale netbeheerders, om zo de mogelijkheden voor een sturend en integraal plan voor de lange termijn te verkennen. De netbeheerders hebben voor de regionale energie-infrastructuur al een voorstel gedaan hoe dit in samenwerking met medeoverheden en ketenpartijen vormgegeven kan worden.[18] Een meer planmatige uitrol van de elektriciteitsinfrastructuur vergt ook een beleidskader voor volgordelijkheid. Dit betekent namelijk dat naast meer en efficiëntere uitbreidingen, de infrastructuur ook bepalender is voor welk netgebruik waar en wanneer mogelijk is. Dit vergt mogelijk ook aanpassing van nationale en Europese wet- en regelgeving. Het kabinet verkent tegelijkertijd de mogelijkheden om hier middels ruimtelijke instrumenten al op te kunnen sturen. Middels integraal programmeren en de inzet van ruimtelijk instrumentarium kan naar verwachting al veel richting gegeven worden aan de (meer samenhangende) ontwikkeling van vraag, aanbod en infrastructuur (zie verdiepingsdocument D, hoofdstuk 3 over ruimte). Om de uitvoeringskracht verder substantieel te vergroten wil het kabinet ook blijvend op zoek naar onconventionele oplossingen op het gebied van arbeidskracht, vergunningverlening en publiek-private samenwerking.

Een maatschappelijk optimaler gebruik en ontwikkeling van de elektriciteits-infrastructuur vereist ook dat de financiering en kostenverdeling van netuitbreiding in een transitieperspectief worden bekeken. Enerzijds is er de zienswijze dat infrastructuur een basisgoed is en dat de kosten hiervan niet belemmerend of bepalend zouden moeten zijn voor het gebruik ervan. Anderzijds is er de zienswijze dat de infrastructuur efficiënt moet worden gebruikt en dat de kosten die tegenover individueel profijt van de infrastructuur staan ook gereflecteerd mogen worden in het gehanteerde nettarief. Het kabinet wil met netbeheerders en de ACM verkennen of een andere wijze van bekostiging nodig is.

Naast ruimtelijke sturing en financiële prikkels kan ook normerend gestuurd worden op optimaler gebruik van de elektriciteitsinfrastructuur. Voorbeelden hiervan zijn (standaard en/of dynamisch) begrenzen van het netgebruik op basis van de beschikbare netcapaciteit en het standaardiseren van de flexibele aanstuurbaarheid van apparaten. Zoals eerder gesteld is het vinden van de optimale balans tussen flexibiliteit ten behoeve van de balanshandhaving en het voorkomen van netcongestie/beperken van de netuitbreidingsbehoefte hierbij van groot belang. Over de mogelijkheden van normering wil het kabinet met de ACM en netbeheerders verder in gesprek. Dergelijke instrumenten

[18] *Samen in de hoogste versnelling: de contouren van de nationale uitvoeringsagenda voor de regionale energie-infrastructuur, Netbeheer Nederland (november 2023)*

vergen ook een verdergaande digitalisering van het elektriciteitssysteem. Het kabinet verkent welke belemmeringen het hiervoor weg kan nemen, met oog voor privacy en cyberveiligheid.

Tot slot wil het kabinet de druk op de elektriciteitsinfrastructuur verlagen door ruimte te geven aan de ontwikkeling van (semi-autonome) decentrale energiesystemen. Dit biedt ook kansen voor een meer integraal energiesysteem en met meer maatschappelijke betrokkenheid op lokaal en regionaal niveau (zie verdiepingsdocument B, hoofdstuk 5 over lokale energiesystemen).

Tekstbox 1: De gebiedsgerichte benadering van de elektriciteitsketen

Op basis van gebiedsgerichte analyses in het kader van de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 van Netbeheer Nederland kunnen de volgende trends worden geschetst: [19]

1. Bij aanlandlocaties wind -op-zee is het aanbod van elektriciteit (veel) hoger dan de regionale vraag (Rotterdam uitgezonderd). Dit zijn de ideale locaties voor grootverbruikers (inclusief de inzet van power-to-heat) en elektrolysers.
2. Bij de clusters met energie-intensieve industrie is de vraag veelal direct aangesloten op het hoofdtransportnet. Met in de kustgebieden aansluiting op aanlanding van wind op zee. De productie uit zon en wind-op-land is beperkt ten opzichte van de industriële vraag. Energie-intensieve industrie kan voor een deel inspelen op overschotten en tekorten (deels hybride en flexibele vraag). Bedrijfsstrategieën zijn dikwijls grillig en niet altijd in lijn met de cluster-energiestrategieën (CES'en). Ruimtelijke inpassing van netverzwaring is problematisch.
3. Het grootste deel van Nederland is landelijk gebied. Er ligt traditioneel een zeer dun net, dat ongeschikt is om veel opwek in te voeden. Het kost 6 tot 8 jaar om het net te vergroten wanneer TenneT-stations nodig zijn. Beschikbaarheid van ruimte is in mindere mate een probleem. Het landelijk gebied kenmerkt zicht door een hoger aanbod aan elektriciteit uit wind en zon-pv ten opzichte van de vraag. De vraag bestaat gemiddeld uit circa 20% (Cluster 6) industrie, 20-45% gebouwde omgeving, 30% mobiliteit en 5-30% landbouw.
4. In stedelijk gebied neemt de elektrificatie snel toe als gevolg van (stimulering van) de groei van elektrisch vervoer, warmtepompen en zon-pv. De elektrificatie kent vooralsnog een vrij ongepland karakter en leidt hiermee op diverse plekken gelijktijdig tot toename van de transportvraag. Hierdoor neemt ook de noodzaak om hoog-, midden- en laagspanningsnetten te bouwen toe. Het ruimtebeslag hiervan is een groot vraagstuk. De wijkaanpak die bedoeld is om planmatiger te werken en regie te voeren op de transitie verloopt nog niet voorspoedig. Bij een achterblijvende ontwikkeling van warmtenetten kan het beslag op het elektriciteitssysteem stijgen. In stedelijk gebied is de vraag naar elektriciteit groter dan het aanbod. Het aanbod bestaat vrijwel geheel uit zon-pv. De vraag komt voor circa 50% vanuit de gebouwde omgeving, 20-40% vanuit mobiliteit en 2-30% vanuit industrie.
5. Bij regio's met logistieke clusters zorgt mobiliteit voor bijna de helft van de regionale vraag naar elektriciteit. Bij snellaadstations langs snelwegen is veelal sprake van aansluiting op het hoofdtransportnet. Thuisladen en stedelijke laadpleinen realiseert men veelal op LS- en wellicht op MS- en tussenspanningsniveau.
6. Opkomst van nieuwe grootverbruikers als elektrolysers en datacenters. Datacenters zijn in sommige gevallen de grootste energievragers in de regio. Deze locaties staan soms in gebieden met veel aanbod, maar spelen hier vaak niet met flexibele vraag op in. Voor elektrolyse zou eenzelfde ontwikkeling kunnen plaatsvinden.

Een eerste schets van knelpunten [20] en mogelijke oplossingen [21] laat zien dat er belangrijke verschillen zitten per netniveau:

7. Op hoogspanningsniveau 525 kV zit een oplossing in gelijkspanning voor transport van grote hoeveelheden elektriciteit over lange afstanden. Bijvoorbeeld van de verafgelegen windgebieden op zee naar de kust of dieper landinwaarts om knelpunten (op hoogspanning) op land te voorkomen en zoveel mogelijk elektrisch aan te kunnen landen.
8. Op hoogspanningsniveau 220/380 kV zit het knelpunt als er hoge productie van wind op zee is, maar geen gelijktijdig grote vraag naar elektriciteit bestaat of deze vraag zich op grote afstand van aanlandlocaties bevindt Als geen sprake is van productie van wind op zee moet elektriciteit vanuit het noordoosten naar verbruikscentra in het westen en zuiden getransporteerd worden. Oplossingen zitten in:
   - Afstemming op internationaal niveau met betrekking tot de elektriciteitsmix en grote industriële vragers.
   - Versterking van de infrastructuurcorridors.
   - Ruimtelijke sturing en sturing via normering, tarieven en/of contracten op flexibiliteit, onder meer op het gebied van elektrolysers, batterijen en vraagsturing van industrieclusters.
9. Op hoogspanningsniveau 110/150 kV en op middenspannings- en tussenniveau zitten de knelpunten bij groot opgesteld vermogen van hernieuwbare productie (zon en wind) op stations met beperkte transportcapaciteit. En bij toenemende transportvraagdoor elektrificatie van industrie, datacenters, mobiliteit en steden en additionele vraag door flexibiliteitstoepassingen. Oplossingen zitten in:
   - Ruimtelijke sturing en sturing via normering, tarieven en/of, contracten op flexibiliteit, onder meer op het gebied van elektrolysers, batterijen en vraagsturing van bedrijven, mobiliteit en de gebouwde omgeving.
   - Energiehubs op regionaal niveau.
10. De knelpunten en oplossingen op laagspanningsniveau zijn andersoortig. Knelpunten komen uit piekbelasting door zon-pv op daken en toenemende vraag door laadpalen en warmtepompen. En daarnaast onduidelijkheid en onvoorspelbaarheid bij gemeenten en netbeheerders wanneer welke vraag verwacht wordt, in combinatie met lange doorlooptijd verzwaring infrastructuur. Oplossingen zitten onder andere in:
    - Sturing via normering, tarieven en/of contracten op piekbelasting door zon-pv, laadpalen, warmtepompen.
    - Sturen op integratie van elektriciteit en warmte en het realiseren van lokale energiesystemen en optimale inzet van flexibiliteitsopties (gezamenlijke opslag in wijken en gebruik van eigen of lokale energie).
    - De ontwikkeling van het energiesysteem gebieds- en/of wijkgericht aanpakken, bijvoorbeeld door de collectieve uitrol van elektrische warmtepompen en laadpalen.

[19] *Eindrapport Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 2e editie, Netbeheer Nederland (oktober 2023).*

[20] *Eindrapport Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 2e editie, Netbeheer Nederland (oktober 2023).*

[21] *Bouwstenen elektriciteitsinfra, Berenschot (juli 2023); Flexibiliteit in het elektriciteitssysteem, TNO (september 2023).*

2. Ontwikkelpad waterstofketen

Samenvatting

Richting 2050 worden waterstof(dragers) als grondstof en als energiedrager gebruikt. Waterstof(dragers) zullen voornamelijk ingezet worden in de industrie en zware mobiliteit en de elektriciteitssector. Om op korte termijn het aanbod van waterstof te borgen en vanwege de rol die waterstof zal vervullen in het elektriciteitssysteem, is het wenselijk dat Nederland waterstof deels zelf produceert. Het doel is om (circa) 4 GW aan elektrolysecapaciteit te realiseren in 2030, waarbij wordt ingezet op doorgroei tot om en nabij 8 – 12 GW in 2035 en mogelijkerwijs zo'n 15 – 20 GW in 2040. Hernieuwbare waterstof is voorlopig nog schaars. Dit betekent dat hernieuwbare waterstof de komende jaren, zeker tot aan 2035, vooral een optie is voor sectoren waar waterstof als grondstof dient of voor toepassingen waarvoor geen alternatieve energiedragers (elektriciteit of warmte) beschikbaar zijn. Dat betekent dat er voorlopig ook een rol ligt weggelegd voor koolstofarme waterstof, geproduceerd uit aardgas in combinatie met ondergrondse CO_2-opslag.

In het toekomstige energiesysteem met elektriciteit als "ruggengraat" is een substantiële rol weggelegd voor waterstof als duurzame energiedrager. Waterstof kan in grote hoeveelheden worden opgeslagen en is de enige duurzame drager die een oplossing biedt voor seizoensopslag. Deze eigenschap biedt de mogelijkheid om waterstof te produceren op momenten van overvloedig aanbod van hernieuwbare elektriciteit en die op te slaan tot het moment dat de vraag hoog is. Als waterstof direct bij de elektriciteitsbron wordt geproduceerd, kan waterstof de druk op het elektriciteitsnet laten afnemen en de infrastructuurkosten beperken.

Met het oog op de Nederlandse grondstoffenvoetafdruk en het behalen van de ambitieuze Europese doelstellingen rondom energiebesparing, is het van belang dat er in het energiebeleid aandacht is voor energie- en systeemefficiëntie.
Voor de waterstofketen heeft dit als belangrijkste gevolg dat directe elektrificatie daar waar mogelijk de voorkeur heeft boven de inzet van waterstof, gezien de aanzienlijke energieverliezen die optreden bij de inzet van elektriciteit voor waterstofproductie. Daarnaast moet ook worden gekeken naar kostenefficiëntie in het gehele energiesysteem.

Aan de andere kant moet er ook aandacht zijn voor de mogelijkheid die hernieuwbare waterstofproductie gekoppeld aan wind op zee biedt om meer duurzame energie te integreren in het systeem.

Tevens kan waterstof, naast allerlei andere flexibiliteitsoplossingen, een belangrijke rol vervullen in het energiesysteem als bron voor flexibele CO_2-vrije elektriciteitsproductie. Hoewel waterstof potentieel zeer breed economisch inzetbaar is, hangt die inzet in de praktijk sterk af van beschikbare ruimte voor de opwek van benodigde elektriciteit en elektrolyse, importcapaciteit, van de prijsontwikkeling en beschikbaarheid van waterstof. Gezien de hoge kostprijs van waterstof is een bredere inzet van waterstof in vraagsectoren op dit moment niet wenselijk, vanuit het oogpunt van een betaalbare transitie. Toekomstige kostendalingen zijn hoogst onzeker, dus rekenen op goedkope waterstof in de toekomst is geen robuuste keuze.

Het is waarschijnlijk dat geïmporteerde waterstof(dragers) de grote waterstofbehoefte van de energie-intensieve industrie grotendeels invullen. Het (toekomstig) opgesteld Nederlands vermogen aan wind en zon is niet toereikend voor de productie van de benodigde grote hoeveelheden waterstof. Ook in het kader van strategische autonomie is het daarom belangrijk om de import van waterstof(dragers) integraal en gezamenlijk (met de buurlanden, landen aan de Noordzee en in Noord- en Zuid-Europa die een rol kunnen spelen in de productie en toelevering van goedkope waterstof) te benaderen. Werken aan de invulling van deze import is nu al nodig alsook het inzetten op diversificatie van oorsprong van de importstromen. De import, doorvoer, conversie en opslag van waterstof(dragers) heeft enorme impact op het ruimtegebruik in de industriële clusters en de te realiseren infrastructuur (en de daarbij horende veiligheidsoverwegingen). De huidige inschatting is dat richting 2050 de import en productie in eigen land van waterstof(dragers) vergelijkbare ordegroottes zullen hebben.

2.1. Huidige situatie en beleid

Met waterstof, wordt diwaterstof of moleculaire waterstof (H_2) bedoeld. Bij normale druk en temperatuur is waterstof een kleurloos, reukloos en brandbaar gas. Binnen het Nederlandse energiesysteem is waterstof al decennia in gebruik. In Europees verband wordt naast pure waterstof vaak gesproken over zogeheten RFNBO's, oftewel hernieuwbare brandstoffen van niet-biogene oorsprong. Dit slaat op hernieuwbare waterstof en daarvan afgeleide waterstofdragers. Daarbij kan gedacht worden aan vloeibare organische waterstofdragers (LOHCs), ammoniak en methanol.

Huidige situatie

Huidig waterstofgebruik

Nederland is na Duitsland de grootste waterstofconsument van de EU – circa 180 PJ per jaar in 2020[22]. Ongeveer 10% van het Nederlandse aardgasgebruik wordt ingezet voor de productie van waterstof[23]. Waterstof wordt nu voornamelijk gebruikt als grondstof in de industrie, met name voor kunstmest- en methanolproductie en bij brandstofproductie in raffinaderijen, zie Tabel 4. Naast deze bestaande rol, die mogelijk krimpt, o.a. door de teruglopende behoefte aan raffinagecapaciteit, zullen waterstof en daaruit afgeleide waterstofdragers een substantiële rol spelen als CO_2-vrije energiedrager ter vervanging van fossiele brandstoffen.

Tabel 4. Waterstofaanbod en -vraag in 2020 (Weeda, Segers, 2020).

Energiebron (aanbod)	PJ/jaar (LHV)
Aardgas (afkomstig van SMR/ATR en bijproduct CO en Syngas)	104
Aardolie	69
Kolen (waterstof in cokesovengas)	5
Elektriciteit/water (chloor-alkaliproces)	2
Totaal	**180**
Toepassing (vraag)	**PJ/Jaar (LHV)**
Ammoniak	58
Raffinaderijen	65
Ander puur waterstof-gebruik	17
Methanolproductie	12
Gassen (onder meer katalytische reforming, nafta stoomkraken, bijproduct chloor-alkali)	28
Totaal	**180**

Huidige waterstofproductie

Waterstof wordt nu nog voornamelijk geproduceerd uit fossiele bronnen, dit wordt ook wel grijze waterstof genoemd. De ambitie is om deze waterstof te vervangen door hernieuwbare of koolstofarme waterstof. Hernieuwbare waterstof (ook wel "groene" waterstof) is waterstof die wordt geproduceerd uit hernieuwbare energiebronnen. In de meeste gevallen gaat het om het splitsen van water in zuurstof en waterstof door middel van elektrolyse, met behulp van hernieuwbare elektriciteit. Bij dit proces komt ook warmte vrij, die nuttig kan worden aangewend. In beperkte mate geldt dit ook voor de vrijkomende zuurstof. Koolstofarme waterstof (ook wel "blauwe" waterstof) is waterstof die wordt geproduceerd uit aardgas waarbij 60% – 95% van de CO_2 die vrijkomt wordt afgevangen en ondergronds wordt opgeslagen.[24]

[22] *Bron: Weeda, M., Segers, R. (2020). Hydrogen balance in relation to energy statistics (TNO/CBS).*
[23] *Kabinetsvisie Waterstof*

[24] *Waterstof gemaakt d.m.v. elektrolyse met CO_2-arme elektriciteit zoals kernenergie, valt onder de definities van de Europese Commissie ook als koolstofarme waterstof. In het geval van kernenergie wordt ook gesproken over "roze" of "paarse" waterstof.*

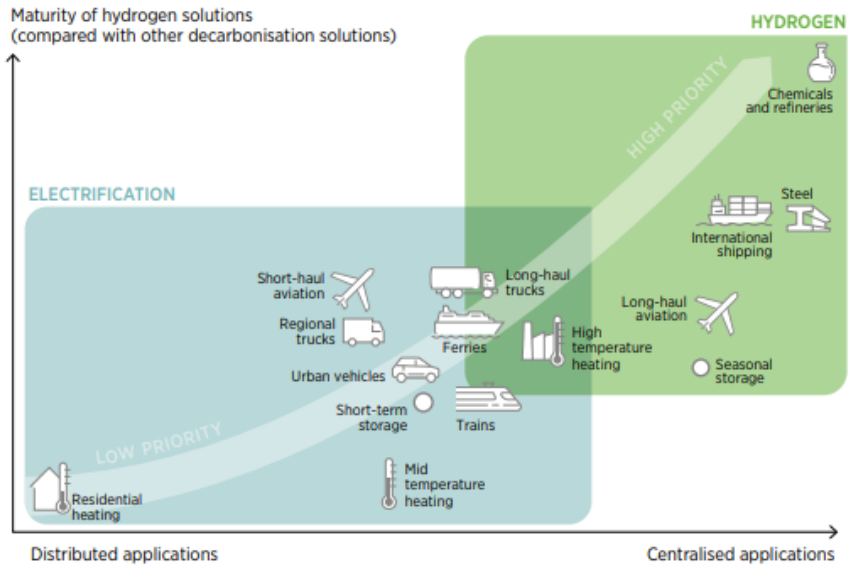
In een aantal industriële sectoren is waterstof een onmisbaar onderdeel van de verduurzamingsstrategieën van bedrijven. In de industrie is al veel vraag naar- en ervaring met waterstof. Industriële partijen (zoals kunstmestproducenten en raffinaderijen) werken hard aan de verduurzaming van hun huidige waterstofgebruik.
Voor het vergroten van het waterstofaanbod is onder meer een sterke opschaling van de elektrolysetechnologie noodzakelijk. Hoewel elektrolysetechnologie al enige tijd wordt toegepast zijn de meeste installaties tot op heden relatief kleinschalig. Tot nu toe zijn in Nederland alleen kleine installaties gebouwd, met een opgeteld vermogen van ongeveer 10 megawatt (MW). De geplande installaties leveren een vermogen tussen 100 en 250 MW per stuk. De grootste operationele elektrolyser ter wereld, die pas sinds 2022 gebruik is, heeft een vermogen van 150 MW. Deze cijfers laten zien dat om de GW-schaal elektrolysecapaciteit te bereiken wereldwijd en in Nederland sterke schaalvergroting en versnelling van de uitrol van elektrolyse nodig is. In de afgelopen jaren zijn er plannen ontwikkeld voor de productie van waterstof in Nederland op basis van elektrolyse. TKI Nieuw Gas houdt een overzicht bij van alle elektrolyseplannen[25]. Op dit moment staan een aantal industriële partijen voor investeringsbeslissingen.

Uiteindelijk zijn echter elektrolysers op GW-schaal noodzakelijk. Dit vereist dus nog een opschalingsslag (RVO). Hiervoor zijn kennisinstellingen en start- en scale-ups nodig. De innovatieopgave voor elektrolyse is groot, zowel voor elektrolyse op land als op zee. Er zijn nog talloze technologische, ruimtelijke en omgevingsvraagstukken, omdat nog geen ervaring is opgedaan met grootschalige elektrolyse (NWP). Ook is de uitrol en opschaling van elektrolyse direct afhankelijk van de uitrol van windparken op zee voor de benodigde hernieuwbare elektriciteit. Tabel 6 geeft een eerste, indicatieve overzicht van de verwachte realisatie van windparken en de daarbij horende beoogde elektrolysecapaciteit. Dit betekent overigens niet dat de volledige capaciteit van de komende windparken ingezet toegewezen zal worden aan elektrolyse (Tabel 6).

Geografische ligging en bestaande infrastructuur faciliteren waterstofinzet
Nederland heeft veel bestaande (fossiele) infrastructuur die na ombouw ingezet kan worden voor opslag (zoutstructuren en lege gasvelden) en transport (buisleidingen) van waterstof(dragers). Nederland heeft met de (zee)havens en industriële clusters, en het achterland (Duitsland, België) een uitstekende positie om een blijvende rol te spelen in de productie, import, conversie, doorvoer en het gebruik van waterstof(dragers) en daarmee gepaard gaande industriële handelswaren.

Mogelijke toepassingen van waterstof
Het kabinet voorziet een belangrijke, aanvullende rol voor waterstof in het toekomstige energiesysteem met elektriciteit als “ruggengraat”. Naast de bestaande rol als grondstof voor de industrie en bij brandstofproductie, is waterstof een veelzijdige energiedrager die potentieel veel toepassingen en sectoren kan dienen, waarbij voor sommige toepassingen alternatieven bestaan zoals elektrificatie en voor andere toepassingen waterstof essentieel is (Figuur 5). Zo kan waterstof ook worden ingezet voor het genereren van (zeer) hoge temperatuurwarmte, wat het een belangrijke energiedrager maakt voor de verduurzaming van de industrie. Daarnaast zal waterstof van belang zijn voor de verduurzaming van onderdelen van zwaar transport en worden ingezet als brandstof voor regelbare elektriciteitscentrales. Hoewel waterstof potentieel zeer breed economisch inzetbaar is, hangt die inzet in de praktijk sterk af van de prijsontwikkeling en beschikbaarheid ervan alsook van alternatieve verduurzamingsopties.

[25] *Overview of Hydrogen Projects in the Netherlands. TKI Nieuw gas (2022).*



Figuur 5 - Prioritering van waterstoftoepassingen op basis van beschikbaarheid van alternatieven. Bron IRENA (2022)[26]

Waterstof kan technisch relatief gemakkelijk in grote hoeveelheden worden opgeslagen. Deze eigenschap biedt de mogelijkheid om richting 2050 steeds meer waterstof te produceren op momenten van overvloedig aanbod van hernieuwbare elektriciteit. Waterstof kan op een later moment onder meer worden ingezet als CO_2-vrij regelbaar vermogen in elektriciteitscentrales. Waterstof is daarmee een oplossing voor duurzame seizoensopslag van energie.

Aanvullend toekomstig waterstofgebruik, bijvoorbeeld om staal en synthetische koolstofdragers[27] te maken, zal grotendeels ingevuld worden met geïmporteerde waterstof(dragers). De verwachting is dat richting 2050 naast binnenlandse productie van waterstof een aanzienlijk deel geïmporteerd zal worden. Het opgesteld Nederlands vermogen aan wind en zon is namelijk niet toereikend om dermate grote hoeveelheden waterstof te produceren. Ook de import van waterstof(dragers) en de koppeling van elektriciteitsinfrastructuur zal als strategisch punt benaderd moeten worden, ook in samenwerking met andere Noordwest-Europese landen zoals België, Denemarken, Noorwegen en Duitsland. Grootschalige inzet van waterstof ten behoeve van productie van synthetische koolstofdragers zal pas op langere termijn een rol spelen in de energietransitie. Het faciliteren van randvoorwaarden (zoals ruimte beschikbaar maken en het bespoedigen van vergunningstrajecten) voor de import van waterstof(dragers) alleen is niet voldoende. Ook energiediplomatie en de aanleg van infrastructuur (onder andere importterminals, kraakinstallaties en buisleidingen) dienen op gang gebracht te worden, mits dit verantwoord kan, met inachtneming van de omgevingsveiligheid.

Bestaande beleidsdoelen, Europees en nationaal

In het nationale en Europese beleid zijn meerdere beleidsmaatregelen die de inzet en opschaling van waterstof aanjagen. Een aantal hiervan doen dit indirect, door te sturen op de vermindering van CO_2 uitstoot en andere maatregelen zijn direct gericht op uitrol of vergroening van waterstof.

Nationaal beleid omtrent waterstof

Het kabinet heeft met de inwerkingtreding van het Klimaatakkoord in 2019 al de ambitie vastgelegd om 500 MW elektrolysevermogen in 2025 te realiseren en 3-4 GW in 2030. Daarnaast ondersteunt het Nationaal Waterstof Programma (NWP)[28], een publiek-privaat samenwerking, de productie, transport, opslag, import en toepassingen van waterstof in diverse sectoren en de realisatie van doelen en afspraken op waterstofgebied. De centrale opgave van het NWP is het onderzoeken en stimuleren van de bijdrage van waterstof aan de energietransitie. In 2022 heeft het NWP deze opgave ingevuld door de Routekaart Waterstof op te stellen[29].

Inmiddels is er al een aantal beleidsinstrumenten beschikbaar waarmee de opschaling van hernieuwbare waterstofproductie en verduurzaming van bestaande productie uit aardgas ondersteund wordt. Daarnaast wordt een aantal aanvullende beleidsinstrumenten

[26] *IRENA (2022) Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*
[27] *Dit zijn koolwaterstoffen die kunnen dienen als grondstof/chemisch product of als brandstof. Denk aan synthetische methanol, methaan, kerosine, etc.*
[28] *Nationaal Waterstof Programma*
[29] *Routekaart Waterstof: nationaalwaterstofprogramma.nl/documenten*

uitgewerkt. De subsidie-instrumenten die op nationaal en Europees niveau beschikbaar zijn voor waterstofprojecten zijn:

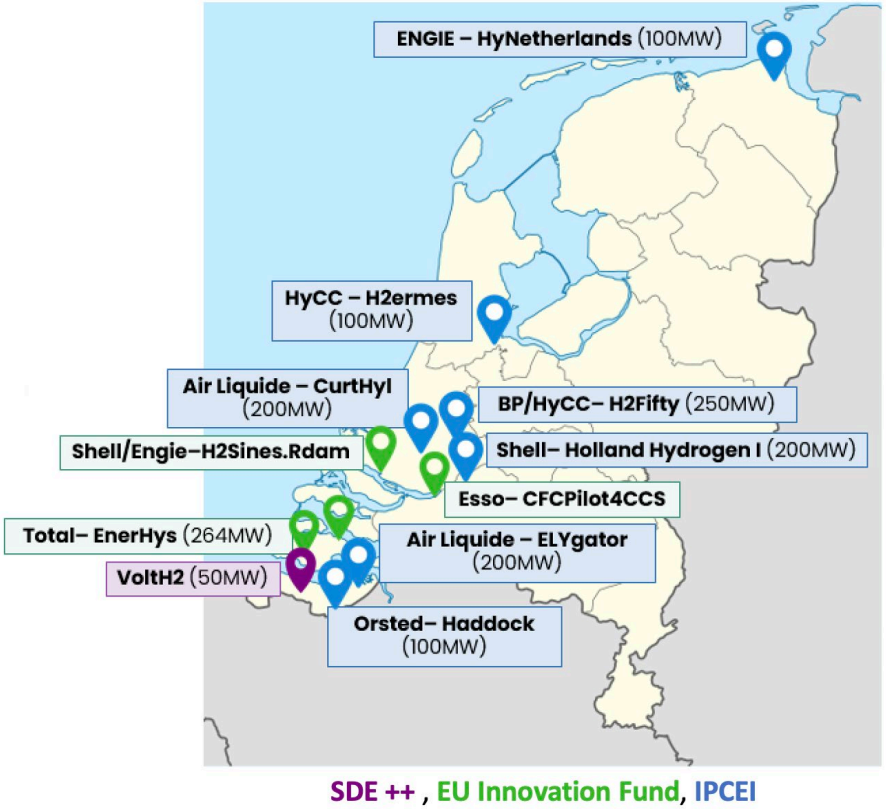
- De regeling Opschaling volledig hernieuwbare Waterstofproductie via Elektrolyse (OWE)
- SDE++ (ook voor elektrolyse, zie VOLTH2 project)
- GroenvermogenNL
- IPCEI
- EU Innovation Fund

Inmiddels hebben al verschillende elektrolyseprojecten en projecten voor aanverwante infrastructuur in Nederland een subsidiebeschikking ontvangen vanuit verschillende regelingen. Een overzicht van waterstofprojecten die subsidie toegekend hebben gekregen is te zien in Figuur 6.

SDE++: Via de SDE++ kunnen subsidies worden aangevraagd voor hernieuwbare waterstofprojecten, tot aan een maximale subsidie-intensiteit van €400/tCO_2. Door de hoge kosten van elektrolyseprojecten betekent deze bovengrens op dit moment dat uitsluitend projecten die de SDE++ subsidie kunnen combineren met subsidies uit andere instrumenten een rendabel project kunnen ontwikkelen. Naast productie van hernieuwbare waterstof is er via de SDE++ ook subsidie beschikbaar voor het toepassen van CO_2-afvang en opslag (CCS) bij productie van waterstof uit aardgas (ofwel productie van koolstofarme waterstof). De beschikbare subsidie dekt de onrendabele top van de CO_2-afvang en opslag, maar niet die van de installaties om uit fossiele bronnen waterstof te maken. Bij huidige CO_2-prijzen binnen het Europese emissiehandelssysteem (ETS) is het toepassen van CCS bij waterstofproductie uit aardgas (nagenoeg) rendabel zonder subsidies.

Verschillende projecten zijn op dit moment in ontwikkeling (H-vision, Porthos, Aramis). De huidige plannen voor de omslag van grijze naar koolstofarme waterstof staat gelijk aan circa 60-70 PJ/jaar waterstof. Naast financiële ondersteuning voor CO_2-afvang en opslag worden CO_2-infrastructuur projecten die bijdragen aan het nationaal belang in de realisatie ondersteund door het Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie & Klimaat (MIEK).

Sinds 2023 bestaat de Subsidieregeling Opschaling volledig hernieuwbare waterstofproductie via elektrolyse (OWE). Dit is een beleidsinstrument voor kleinschalige elektrolyseprojecten van 500 kW tot 50 MW. Het instrument bestaat uit een investeringssubsidie en een exploitatiesubsidie per kg geproduceerde waterstof.



Figuur 6 – Overzicht van waterstofprojecten met gehonoreerde subsidiebeschikkingen uit verschillende regelingen.

EU-subsidies voor waterstofprojecten: Op EU-niveau zijn er meerdere fondsen beschikbaar die kunnen worden ingezet voor het ondersteunen van waterstof-gerelateerde projecten. De Europese Commissie heeft een staatssteunkader ontwikkeld voor Important Projects of Common European Interest (IPCEI). In het IPCEI-waterstof traject gebruiken lidstaten hun eigen nationale middelen om gelijktijdig waterstofprojecten te subsidiëren.

Hierdoor kunnen Europese ketens snel van de grond komen. Nederland doet mee aan alle vier golven binnen IPCEI-waterstof, namelijk: 1) waterstoftechnologie, 2) waterstofproductie en industrieel gebruik, 3) waterstofimport en -opslag, en 4) waterstof in mobiliteit en transport. In totaal is er in Nederland €1,6 miljard beschikbaar voor IPCEI-waterstof. Tot nu toe zijn alleen de subsidies in golf 1 en 2 toegekend. Dit betreft in Nederland één waterstoftechnologieproject (à €22 miljoen) en zeven groene waterstofproductieprojecten (à €785 miljoen). Ten slotte is er ook via het Europese innovatiefonds geld beschikbaar voor waterstofprojecten. Vanuit dit fonds hebben inmiddels twee Nederlandse projecten een subsidie toegekend gekregen.

Beleidsinzet op import

Naast de opschaling van binnenlandse waterstofproductie zal ook import nodig zijn om in de Nederlandse vraag te kunnen voorzien. Op termijn kan dit ook bijdragen aan de betaalbaarheid van het waterstofaanbod. Hiervoor is het van belang dat er wereldwijd zo snel mogelijk een waterstofhandelsmarkt op gang komt. Met deze reden is Nederland actief bezig met energiediplomatie om intentieverklaringen (MoU's) rondom waterstof af te sluiten. Daarnaast neemt Nederland samen met Duitsland deel aan de tenderregeling H_2Global, waarbij €300 mln. beschikbaar is gesteld om competitief waterstofdragers op de internationale markt in te kopen. Daarnaast is een project voor de bouw van een importterminal voor waterstof in de Rotterdam-Moerdijk regio opgenomen als project van nationaal belang in het Meerjarenprogramma Infrastructuur voor Energie en Klimaat (MIEK).

Ten slotte bestaat op nationaal niveau naast het Europese emissiehandelssysteem nog een nationale CO_2-heffing voor de industrie wat een aanvullende (indirecte) prikkel geeft voor het reduceren van broeikasgasemissies in de industrie. Dit kan gebeuren ofwel door bij bestaande processen op fossiele energie CO_2 af te vangen en op te slaan, ofwel door de fossiele energiedragers door CO_2-vrije of CO_2-arme alternatieven te vervangen, ofwel door energie te besparen.

Transport

Het kabinet heeft in 2022 een landelijk transportnet aangekondigd. Dit transportnet is het verbindende element tussen de grote industriële clusters en regio's, havengebieden, aanlandingspunten voor wind op zee, opslagfaciliteiten en onze buurlanden[30]. Europa heeft momenteel al meer dan 1.600 km aan pijpleidingen voor het transport van waterstof, die eigendom zijn van industriële producenten en gebruikers. Een consortium van Transmission System Operators (TSO's) – waaronder Gasunie – heeft in 2020 het plan voor een European Hydrogen Backbone (EHB) aangekondigd om landen met veel productiepotentieel zoals Spanje en Portugal te verbinden met landen met grote vraag en (te) weinig productiepotentieel zoals Nederland, Duitsland en België.

Ook voor de industrie die zich buiten de vijf grote industriële clusters bevindt, is de inzet van waterstof een mogelijkheid om te verduurzamen. Ook bij deze zogeheten 'cluster 6' bedrijven zal er behoefte aan transportinfrastructuur ontstaan. Verder zijn mogelijk op termijn distributienetten nodig die waterstof transporteren naar kleinverbruikers en daarnaast dienen voldoende waterstoftankstations beleverd te kunnen worden. Het ministerie van EZK heeft in samenwerking met het Interprovinciaal Overleg en Netbeheer Nederland een onderzoek uitgezet naar de 'regionale' waterstofinfrastructuur. Het onderzoek zal onder meer ingaan op de behoefte aan transport van waterstof voor deze toepassingen en op ordeningsaspecten.

Voor regionale distributie van waterstof buiten de vijf grote industrieclusters is naast het ordeningsvraagstuk ook vergunningverlening en ruimtelijke inpassing een aandachtspunt. Voor de ontwikkeling van passende kaders zet de rijksoverheid in op het maximaliseren van leeropbrengsten van experimentele projecten. Dit zijn dikwijls projecten die met oog op het prioriteringskader niet direct als eerste in beeld komen, maar voor de beleidsontwikkeling en kennisontwikkeling in de bredere context wel heel relevant zijn. Daarbij is het nuttig om in het beleid, rekening houdend met het belang van regionale economische activiteit, werkgelegenheid, congestievraagstukken en beperkte verduurzamingsalternatieven, ruimte te houden voor activiteiten die wellicht in algemene zin niet prioritair hoeven zijn, maar in een specifieke lokale context wel goed passen.

[30] *Kamerstukken 2021 – 2022, 32 813, nr. 1061.*

EU-beleid als aanjager van hernieuwbare waterstof

Vanuit het EU-beleid wordt de inzet van hernieuwbare en koolstofarme waterstof indirect gedreven door het emissiehandelssysteem, dat CO_2-emissies beprijst. Daarnaast zijn er sinds de laatste herziening van de richtlijn hernieuwbare energie (REDIII) een aantal directe beleidsdoelen voor de inzet van hernieuwbare waterstofdragers in de industrie en de mobiliteit. Ook in het beleidspakket RefuelEU zijn specifieke waterstofdoelstellingen opgenomen. De REDIII en ReFuelEU-doelen gelden op lidstaat niveau en moeten dus nog vertaald worden naar nationaal instrumentarium.

REDIII RFNBO-doelstellingen industrie:

- In 2030 moet 42% van de waterstofconsumptie in de industrie worden ingevuld met RFNBO's.
- In 2035 moet dat 60% zijn.

REDIII RFNBO-doelstelling nationale mobiliteit:
In 2030 moeten RFNBO's minimaal 1%[31] van de brandstoffen in de mobiliteit uitmaken.
RefuelEU doelstellingen voor inzet van RFNBOs in de luchtvaart:

- 2030: 1.2% RFNBO
- 2035: 5% RFNBO
- 2040: 10% RFNBO
- 2045: 15% RFNBO
- 2050: 35% RFNBO

De Europese doelen voor gebruik van hernieuwbare waterstof(dragers) in de industrie en mobiliteit vergen een serieuze inspanning van Nederland. Het huidige beleid is daarom gericht op het faciliteren van waterstofgebruik focust op industriële processen en mobiliteit. Dit komt enerzijds voort uit de REDIII-doelen, maar is ook in lijn met het feit dat er voor de inzet van waterstof voor bepaalde processen in de industrie en bepaalde onderdelen van de mobiliteit weinig duurzame alternatieven zijn.

De REDIII-doelen zijn specifiek gericht op de inzet van hernieuwbare waterstof(dragers), hetgeen betekent dat koolstofarme waterstof niet meetelt voor het behalen van deze doelstellingen in de industrie en mobiliteit. Voor Nederland betekenen de REDIII doelen dat er op korte termijn een sterke groei nodig is van het aanbod van hernieuwbare waterstof en waterstofdragers, zoals ammoniak en methanol.

In RePowerEU is de ambitie opgenomen om in 2030 10 miljoen ton aan binnenlandse productie van hernieuwbare waterstof te realiseren (40 GW elektrolysecapaciteit) en 10 miljoen ton aan import. De Nederlandse havens kunnen een belangrijke rol spelen als toegang tot de Noordwest-Europese markt.

Verwachte vraag naar hernieuwbare waterstof door het REDIII-doel

Op basis van het bestaande waterstofgebruik in de industrie dient er in 2030 ongeveer 40 PJ aan waterstofvraag ingevuld te worden met RFNBO's om het REDIII-doel te halen. Hiervan komt zo'n 35 PJ voort uit waterstofgebruik in de industrie, waarvan de kunstmestproductie het overgrote deel voor zijn rekening neemt. Daarnaast is nog om en nabij 5 PJ (voor zowel direct waterstofgebruik als inzet in de raffinage) aan RFNBO's nodig om aan de verplichting voor mobiliteit te voldoen. De kunstmestsector kan echter ook ammoniak importeren, waardoor de hoeveelheid waterstofconsumptie die onder de Europese verplichting valt omlaag gaat en er dus (aanzienlijk) minder hernieuwbare waterstof nodig is om aan het REDIII-doel te voldoen. Gegeven de ambitie van 4 GW elektrolysecapaciteit in 2030 kan er ongeveer 31-36 PJ waterstof worden opgewekt in Nederland en blijft er een importbehoefte over van minstens 5 PJ. Bij een lagere gerealiseerde elektrolysecapaciteit of een hogere binnenlandse vraag naar waterstof stijgt de importbehoefte in 2030. Dit is naar alle waarschijnlijkheid een sterke onderschatting van de importstroom van RFNBO's die op gang zal komen, omdat ook voor de doorvoer naar het achterland significante importvolumes te verwachten zijn.

[31] *De toepassing van RFNBO's is deels via directe toepassing van waterstof, en deels via de raffinageroute (waar waterstof gemaakt uit aardgas in het raffinageproces wordt vervangen voor hernieuwbare waterstof).*

Verwachte schaarste hernieuwbare waterstof

Omdat het huidige doel van 4 GW-elektrolyse in Nederland in 2030, gezien het uitroltempo van wind op zee en de energiebehoefte voor directe elektrificatie, het maximaal haalbare lijkt, is import van cruciaal belang. Het te vroeg realiseren van elektrolysecapaciteit leidt mogelijk tot verdringing van directe elektrificatie en extra inzet van gascentrales ('paralleldraaien') waardoor de netto CO_2-emissie in de Nederlandse elektriciteitssector stijgt.[32] Hoewel dit vanwege het emissiehandelssysteem op Europees niveau niet tot extra emissies leidt, zou dit een negatieve impact hebben op het nationale broeikasgasreductiedoel voor 2030.

Vanwege de ambitieuze REDIII-doelen voor de industrie en mobiliteit is het van belang dat waterstofvraag in andere sectoren, zoals de elektriciteitssector, vooral met koolstofarme waterstof uit andere bronnen wordt ingevuld. Dit omdat zeer snelle doorgroei van elektrolyse na 2030 niet wenselijk en realistisch is binnen het Nederlandse energiesysteem, omdat dit door beperkingen in het maximale uitroltempo van hernieuwbare elektriciteit tot teveel (tijdelijke) extra CO_2-uitstoot in de elektriciteitssector zou leiden. In de landbouw en gebouwde omgeving zijn voorlopig vooral kleinschalige pilotprojecten voor het gebruik van waterstof voorzien. Kleinschalige waterstofproductie door bijvoorbeeld landbouwbedrijven kan in de toekomst wel een rol spelen (zie verdiepingsdocument C, hoofdstuk 4).

Hernieuwbare waterstof is ook een belangrijke verduurzamingsoptie voor processen of sectoren waarin andere oplossingen (zoals elektrificatie) moeilijk uitvoerbaar of erg kostbaar zijn. Denk daarbij bijvoorbeeld aan primaire ijzer- en staalproductie of andere hoge-temperatuur processen zoals in de productie van glas en keramiek, en bepaalde delen van zwaar (internationaal) wegtransport en lucht- en zeescheepvaart. Energetische toepassing van deze waterstof in de industrie zal naar verwachting pas na 2030 op grotere schaal van de grond komen en toepassingen in internationaal transport waarschijnlijk pas na 2040.

Bij een directe vertaling van de REDIII-doelstellingen naar nationale verplichtingen op bedrijfsniveau werkt dit als belemmering voor de inzet van koolstofarme waterstof (dat wil zeggen de aangekondigde CCS-projecten) doordat alleen hernieuwbare waterstof voor de doelstelling meetelt. Dit maakt het onzeker voor bedrijven in hoeverre ze investeringen in CO_2-afvang en opslag kunnen terugverdienen. Voor bedrijven die nu fossiele energie gebruiken en die op waterstof willen overstappen betekent een dergelijke verplichting ook dat meteen 42% van het totale waterstofgebruik moet worden ingevuld met RFNBO's wat een geleidelijke ingroei van hernieuwbare waterstofdragers i.c.m. een groot aandeel koolstofarme waterstof in de beginfase onmogelijk zou maken. Deze negatieve prikkel geldt overigens niet voor inzet van koolstofarme waterstof buiten de industrie en de mobiliteit, bijvoorbeeld in de elektriciteitssector maar dergelijke toepassingen zullen tot 2030 een zeer beperkte rol spelen.

Aandachtspunten bij vertaling van REDIII-doelen naar nationaal beleid

Om het nationale doel van 4GW elektrolysecapaciteit te realiseren en de REDIII-doelstellingen voor RFNBO's naar nationaal beleid te vertalen worden verschillende combinaties van beleidsinstrumenten overwogen. Hierbij gaat het om verschillende verhoudingen van productie-en vraagsubsidies in combinatie met een afnameverplichting voor RFNBO's voor industriële gebruikers. Uit onderzoek naar de effecten van de mogelijke beleidsmixen komt naar voren dat productiesubsidies van belang zijn voor het effectief opbouwen van elektrolysecapaciteit, mede doordat vraagsubsidies en afnameverplichtingen ook kunnen worden ingevuld met een inzet op import. Op korte termijn (voor 2030) leidt een beleidsmix met een nadruk op productiesubsidies in combinatie met afnameverplichting voor RFNBO's in de industrie tot de hoogste elektrolysecapaciteit en binnenlandse hernieuwbare waterstofconsumptie, maar voor 2035 levert juist een lagere verplichting in combinatie met en nadruk op productiesubsidies een hogere elektrolysecapaciteit op.[33]

De studie laat ook zien dat het introduceren van nationale afnameverplichtingen leidt tot een lager totaal waterstofgebruik, verminderde emissiereductie in de industrie en een sterke kostentoename voor industriële bedrijven.[34] Deze effecten hebben meerdere onderliggende oorzaken. Ten eerste zullen bedrijven ammoniak importeren en gebruiken, waardoor hun

[32] *Berenschot & TNO (2023) Effecten van een productiesubsidie voor elektrolysers*
[33] *Trinomics & Quomare (2023) Assessment of policy instruments for hydrogen in the Netherlands*
[34] *Trinomics & Quomare (2023) Assessment of policy instruments for hydrogen in the Netherlands*

consumptie niet meer meetelt voor de verplichting – dit geldt vooral voor de kunstmestindustrie. Daarnaast zullen een aantal bedrijven die nog geen waterstof gebruiken hun investeringen uitstellen, omdat het verduurzamen van hun processen door middel van RFNBO's op dat moment op basis van ETS CO_2-prijzen nog niet rendabel is. Dit leidt tot het risico dat bedrijven tot het laatste moment verduurzamingsinvesteringen uitstellen en uiteindelijk hun activiteiten in Nederland stopzetten.

Om ervoor te zorgen dat het waterstofbeleid bijdraagt aan gestage opbouw van elektrolysecapaciteit, maar ook aan onze klimaatdoelstellingen en de ambitie om waar mogelijk industrie binnen Nederland te verduurzamen zet Nederland in ieder geval in op het subsidiëren van hernieuwbare waterstof aan de productiekant. Daarnaast lijkt het verstandig de Europese doelstellingen niet 1-op-1 te vertalen naar normering op bedrijfsniveau, waaruit een afnameverplichting volgt van lager dan 42%.

2.2. Mogelijke ontwikkeling waterstofketen: vraag en aanbod

De brede inzet van waterstof als energiedrager in het energiesysteem is een recent ingezette ontwikkeling, waardoor de toekomstige ontwikkeling van de waterstofketen veel onzekerheden kent. Dit wordt nog versterkt door het feit dat het onzeker is hoe de kostprijs van waterstofproductie, met name door middel van elektrolyse, zich de komende decennia gaat ontwikkelen. Daarnaast komt een groot deel van de waterstofvraag voort uit de industrie, waarbij onzekerheden bestaan over hoe regionale verschillen in klimaatbeleid op de wereld en veranderende kostenprofielen door de wereldwijde transitie naar hernieuwbare energie hun weerslag gaan hebben op industriële activiteiten en energievraag van onze energie-intensieve industrie. Dit brengt onzekerheden met zich mee over de mate waarin bestaande industriële activiteiten in Nederland blijven en nieuwe activiteiten ontstaan. (Mede) op basis van de 2023-update van de ii3050 scenariostudie[35] is een eerste kwantitatieve analyse gemaakt van de vraag naar en het aanbod van waterstof. Daaruit kan het volgende worden opgemaakt:

De ontwikkeling van de waterstofvraag

Bestaande scenariostudies en de cluster energiestrategieën van de industriële clusters geven een globaal beeld van hoe de waterstofvraag in Nederland zich zou kunnen ontwikkelen. Globaal hangt de totale vraag naar waterstof af van de waterstofvraag in de vier gebruikssectoren, het elektriciteitssysteem en de waterstofvraag in buurlanden en het achterland (doorvoer).

In het NPE worden vier gebruikssectoren behandeld (zie verdiepingsdocument C voor de gebruikssectoren: industrie, mobiliteit, landbouw en gebouwde omgeving), waarbij de grootste waterstofvraag naar voren komt in de industrie. Hieronder volgt een globale schets van de bandbreedtes van de totale waterstofvraag in de verschillende gebruikssectoren:

Industrie (bandbreedtes), uit de scenario's in het transitiepad volgt:

- **2030**: *ii3050v2:* 154 – 173 PJ, *CES 2.0*: 248 PJ
- **2040:** *ii3050v2:* 183 – 263 PJ, *CES 2.0*: 327 PJ
- **2050:** *ii3050v2:* 36-421 PJ, *CES 2.0*: 363 PJ

[35] *Netbeheer Nederland (2023) Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's.*

- **Mobiliteit,** uit de scenario's in het transitiepad volgt:
  - Directe H_2-vraag in 2050 (totaal 57 PJ)
    - OV: 4 PJ
    - Zwaar transport: 11 PJ
    - Binnenvaart: 12 PJ
    - Luchtvaart: 30 PJ
  - Indirecte H2-vraag in 2050 (mogelijk oplopend tot 253 PJ). Met indirecte waterstofvraag wordt de waterstofbehoefte uitgedrukt die nodig is om synthetische brandstoffen te kunnen maken, hierover is meer informatie te vinden in de sectorbeschrijving mobiliteit.
    - Binnenvaart: 10 PJ
    - Luchtvaart: 80 PJ
    - Zeevaart: 156 PJ
- **Landbouw:** 6 PJ voor glastuinbouw in 2040**.**
- **Gebouwde omgeving:** Uit de scenario's in het transitiepad volgt een range van 60-127 PJ voor individuele verwarmingssystemen + 10 PJ voor collectieve warmtevoorzieningen in 2050 voor hernieuwbaar gas, het is mogelijk dat dit deels ingevuld worden met waterstof.

Elektriciteit (gas-to-power), uit II3050v2 volgt voor waterstofinzet als CO_2-vrij regelbaar vermogen in elektriciteitscentrales**:**

- 2030: 0 - 13 PJ
- 2040: 76 - 104 PJ
- 2050: 83 - 151 PJ

NB. Hierbij is niet uitgegaan van een CO_2-vrije elektriciteitsketen in 2035, wat momenteel de ambitie is.

Onzekerheden rondom de ontwikkeling van de waterstofvraag

De ontwikkeling van de waterstofvraag in de industrie is erg onzeker, omdat dit sterk samenhangt met de toekomstige productieniveaus van verschillende industriële activiteiten en de gekozen verduurzamingsroutes. Daarnaast kunnen industrieën ook gedeeltelijk of volledig op de invoer van halffabricaten overstappen, wat de vraag naar waterstof sterk kan beïnvloeden. Een aantal illustratieve voorbeelden hiervan zijn de kunstmestsector en de staalindustrie.

De kunstmestsector is momenteel een van de grootste gebruikers van waterstof. Het is goed mogelijk dat deze sector op termijn een gedeelte of de gehele ammoniakproductie, de energie-intensieve stap van kunstmestproductie die waterstof vereist, vervangt door ammoniakimport. Dan blijft alleen de laatste productiestap waarbij kunstmest wordt gemaakt uit ammoniak en mineralen in Nederland. Voor staal geldt ook dat de gekozen verduurzamingsstrategie in sterke mate bepaalt hoeveel waterstof er nodig is. Een recente studie geeft aan dat bij de fossielvrije routes voor staalproductie de waterstofvraag nog steeds sterk kan variëren, waarbij de waterstofvraag ruim boven de 50 PJ ligt als primaire staalproductie (uit ijzererts) hier gehandhaafd blijft, terwijl de waterstofvraag daalt naar zo'n 20 PJ als de ijzerbrikketten worden geïmporteerd en alleen de finale stap van staalproductie uit ijzer in Nederland plaatsvindt.[36]

In de Nederlandse mobiliteit zit er in het zwaar transport en de binnenvaart vooral onzekerheid rondom de mate waarin elektrificatie mogelijk is. Uitdagingen bij de elektrificatie zitten in de technieken voor de transportmodaliteiten zelf en in de realisatie van de benodigde laadinfrastructuur. Het kan ook zijn dat elektrificatie nog harder gaat dan nu verwacht wordt en dat bijvoorbeeld een groter gedeelte van de binnenvaart geëlektrificeerd wordt.

In 2050 zal in de internationale lucht- en scheepvaart nog een substantiële vraagzijn naar koolstofhoudende brandstoffen (zie hoofdstuk 3 koolstofketen). Een aanzienlijk deel daarvan, met name in de luchtvaart, zal worden ingevuld met synthetische brandstoffen die worden geproduceerd uit waterstof en CO_2, die in 2050 grotendeels van niet-fossiele oorsprong moet zijn. De productie van waterstof is verreweg de meest energie-intensieve stap in synthetische brandstofproductie en daarmee naar verwachting ook één van de grootste kostencomponenten.[37] Echter, ook voor de productie van brandstoffen uit biogrondstoffen zal, net als bij de huidige raffinaderijen waterstofinzet nodig zijn.

[36] *Kalavasta (2023) Impactanalyse belastingmaatregelen basisindustrie*

[37] *Concawe (2019) A look into the role of e-fuels in the transport system in Europe (2030–2050).*

2.3. Gewenste ontwikkelrichting tussen nu en 2035

Bij de vormgeving van de toekomstige waterstofketen in Nederland speelt een aantal belangrijke keuzes een rol. Deze keuzes hebben onder andere betrekking op de hoeveelheid waterstof die we in Nederland willen produceren, naast de hoeveelheid die we vanuit het buitenland willen importeren. In verband met de verwachte schaarste van waterstof op de korte termijn spelen ook keuzes een rol rondom de aanvullende rol van koolstofarme waterstof naast hernieuwbare waterstof gedurende de transitiefase en keuzes aangaande het prioriteren van bepaalde toepassingen van waterstof. Bij al deze keuzes is een afweging gemaakt tussen de verschillende publieke belangen die op bepaalde vlakken (tijdelijk) conflicterend kunnen zijn.

Robuuste opbouw van een waterstofketen

Hoewel in Nederland al substantiële hoeveelheden waterstof worden gebruikt in chemische processen is de inzet van waterstof als energiedrager ter vervanging van fossiele energiedragers een nieuwe toepassing, waarvoor de gehele keten nog moet worden opgebouwd. Door de ambitieuze Europese en nationale klimaatdoelen zal de vraag naar waterstof voor energetische toepassingen de komende decennia sterk stijgen. Voor bedrijven die overwegen over te stappen op waterstof is het van belang dat er voldoende zekerheid is over de beschikbaarheid van en toegang tot waterstof tegen een betaalbare prijs. Dit betekent dat het op korte termijn van belang is om het waterstofaanbod sterk op te schalen. Om dit op robuuste wijze te doen, wordt ingezet op sterke groei van binnenlandse elektrolysecapaciteit, inzet van koolstofarme waterstof en import van waterstof(dragers).

Het is vanuit voorzieningszekerheid verstandig dat Nederland ten minste voor een deel zelf in zijn waterstofproductie voorziet. Op korte termijn zet het kabinet erop in voldoende aanbod te borgen om zo bij te dragen aan robuuste opschaling van de nieuwe waterstofketen. De uiteindelijke verdeling tussen eigen productie en import van waterstof(dragers) hangt af van de internationale prijsvorming en beleidskeuzes in omringende landen.

Hernieuwbare waterstof

Een deel van de waterstof zal Nederland zelf produceren, met name op basis van windenergie nabij en op de Noordzee. De huidige verwachting is dat de Nederlandse elektriciteitsproductiecapaciteit op jaarbasis grofweg gelijk oploopt met de stijgende elektriciteitsvraag in Nederland, of zelfs overstijgt (waarmee Nederland netto exporteur is van elektriciteit). Die capaciteit zal deels dus ingezet worden om hernieuwbare waterstof te produceren. In 2030 is het doel het 4 GW elektrolysecapaciteit gerealiseerd te hebben.

Na 2030 kan de elektrolysecapaciteit flink doorgroeien, afhankelijk van het uitroltempo van wind op zee. Naar aanleiding van een motie in de Tweede Kamer is voor 2032 een streefdoel aangenomen voor het realiseren van een elektrolysecapaciteit van 8 GW. Echter, als de elektrolysecapaciteit te hard doorgroeit in relatie tot de capaciteit aan hernieuwbare elektriciteitsopwek kan dit op nationaal niveau tot extra uitstoot in de elektriciteitssector leiden of tot een onderbenutting van de elektrolysecapaciteit. Onderzoek laat zien dat het realiseren van 4 GW elektrolysecapaciteit op nationaal niveau tijdelijk kan leiden tot 0,1 Mton extra CO_2-uitstoot op nationaal niveau.[38] In 2032 is slechts 4GW extra wind op zee capaciteit gerealiseerd, t.o.v. 2030 hetgeen zou betekenen dat deze volledige toename in capaciteit zou moeten worden ingezet om de nieuwe elektrolysers mee te voeden. Dit is onwenselijk, enerzijds vanwege concurrentie met directe elektriciteitsvraag die ook door zal groeien en anderzijds vanwege de impact op de nationale CO_2-uitstoot.

Hoewel tijdelijke toenames van uitstoot voor een voortvarende uitrol van elektrolyse geaccepteerd kunnen worden, gezien het belang van de opbouw van de waterstofketen voor het toekomstige energiesysteem, is het wel van belang dat de omvang van deze tijdelijke negatieve klimaatimpact binnen redelijke grenzen blijft. Dit betekent dat de overheid voorzichtig moet zijn met het vroegtijdig formuleren van bindende elektrolysedoelen. Het uitgangspunt is wel om aan de hand van het maximale uitroltempo voor hernieuwbare energie en met oog voor doorgroei van directe elektriciteitsvraag, de elektrolysecapaciteit zo snel mogelijk door te laten groeien. In 2035 lijkt het mogelijk te zijn om een totale elektrolysecapaciteit van zo'n 8-12 GW te realiseren.

[38] *Berenschot & TNO (2023) Effecten van een productiesubsidie voor elektrolysers*

Relevante kanttekening bij de mogelijke risico's van te veel elektrolysecapaciteit op extra uitstoot is dat deze risico's beperkter worden geacht wanneer de operationele steun voor elektrolysers begrensd wordt op een maximale elektriciteitsprijs. Met zo'n begrenzing kan worden ontmoedigd dat elektrolysers gaan draaien op momenten dat de gascentrales aan moeten om voldoende elektriciteit op te wekken.

Voor de locatiekeuze van elektrolysers geldt dat ze bij voorkeur worden geplaatst nabij voldoende aanbod van elektriciteit, om de afstand van transport van elektriciteit te minimaliseren. Bij waterstoflevering aan derden is ook de nabijheid van waterstofbuisleidingen van belang. Grootschalige elektrolyse kan een aanzienlijk ruimtebeslag hebben. Binnen het Programma Energiehoofdstructuur (PEH) is gekeken naar de meest optimale locaties voor grootschalige elektrolyseprojecten, met het oog op maatschappelijke kosten, en een efficiënt ruimtegebruik en werking van het brede energiesysteem. Het PEH wijst op basis daarvan voorkeursgebieden aan voor grootschalige elektrolyseprojecten. Voor kleinschalige elektrolyseprojecten geldt dat deze ruimtelijk inpasbaar dienen te zijn op de geplande locatie, maar vooralsnog stuurt het Rijk niet vanuit het stimuleringsinstrumentarium op de locatiekeuze.
Voor elektrolyse geldt ook dat de watervraag van waterstofproductie een aandachtspunt is. Door klimaatverandering en een toenemende (drink)watervraag neemt de zoetwaterbeschikbaarheid de komende jaren af. Het Rijk zet stappen om de relatie tussen de schaarser wordende watervoorziening en watergebruik bij elektrolyse beter in kaart te brengen en onderzoekt of dit eventueel aanvullende maatregelen vraagt om toekomstbestendig watergebruik bij elektrolyse te borgen.

Een verschuiving van elektrolyse op land naar zee
Tot 2030 zal nagenoeg alle elektrolysecapaciteit die ontwikkeld wordt op land gebouwd worden. Op de langere termijn biedt de productie van waterstof op zee ook maatschappelijke voordelen. Ten eerste vergen elektrolysecomplexen op GW-schaal een significante hoeveelheid ruimte, hetgeen verdere uitrol op land bemoeilijkt aangezien ruimte in Nederland zeer beperkt is en er vanuit meerdere maatschappelijke opgaven een beslag op de beschikbare ruimte wordt gelegd. Daarnaast verlaagt waterstofproductie op zee de kosten van de benodigde infrastructuur op zee, omdat waterstofleidingen relatief veel energie kunnen vervoeren ten opzichte van elektriciteitskabels en lagere kosten hebben. Voor de waterstofproducenten daarentegen zullen de kosten voor waterstofproductie wel hoger uitpakken dan op zee. Dit betekent dat via het beleid prikkels nodig zijn die elektrolyse op zee voor marktpartijen interessant maken.

Koolstofarme waterstof
Naast hernieuwbare waterstof speelt ook koolstofarme waterstof een rol de komende decennia. Koolstofarme waterstof kan, in de periode dat er nog onvoldoende hernieuwbare waterstof beschikbaar is, versneld de CO_2-emissies helpen verlagen en de markt voor waterstof verder op gang brengen. Met het oog op de eerdergenoemde REDIII-doelstellingen zijn er twee stromen van (koolstofarme) waterstof relevant met het oog op de impact van de REDIII-doelen voor hernieuwbare waterstof(dragers).
Het huidige waterstofgebruik, op basis van fossiele brandstoffen, dat verduurzaamd dient te worden ('steam methane reforming' (SMR) en 'autothermal reforming'. Deze verduurzaming begint vaak met de afvang van de meest pure CO_2-stroom die uit het 'kraken' van methaan komt. Daaronder valt niet de CO_2-afvang afkomstig uit de ondervuring van het proces. Daarom is de totale afvang meestal rond de 60%.[39] 'Verduurzaming' van huidige waterstofproductie uit aardgas leidt niet tot aanvullende productie en vergroot dus niet de opgave die voortkomt uit de REDIII-doelstellingen. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen productie voor eigen gebruik "captive"-productie (denk aan raffinaderijen, kunstmest) en "merchant"-productie, waterstofproductie die bedoeld is voor verhandeling.

Het dilemma rondom de rol van koolstofarme waterstof in de transitie op dit moment is dat het REDIII-doel voor het gebruik van hernieuwbare waterstof(dragers) in de industrie, de inzet van koolstofarme waterstof als opstapje naar (volledige) overschakeling op hernieuwbare waterstof ontmoedigt. Hoewel het buiten kijf staat dat het wenselijk is dat de waterstof die in het energiesysteem gebruikt wordt zo snel mogelijk niet meer uit fossiele

[39] *NB Om binnen de Europese definitie als koolstofarme waterstof mee te tellen moet de CO_2-reductie ten minste 60% zijn. CCS bij bestaande SMR-installaties waarbij alleen de verbrandingsgassen worden afgevangen voldoet dus niet aan dit criterium.*

bronnen gemaakt hoeft te worden, is het voor het tempo van de transitie wel van groot belang dat het aanbod van waterstof op grote schaal beschikbaar is. Koolstofarme waterstof fungeert daarmee als terugvaloptie bij een tegenvallend ontwikkeltempo van hernieuwbare waterstof. Dit betekent dat de overheid bij de uitbouw van de waterstofketen naast het doelbereik van de REDIII ook nadrukkelijk aandacht zal besteden aan het borgen van voldoende opschaling van waterstofaanbod, waarbij zowel hernieuwbare als koolstofarme waterstof een rol spelen. Het vertalen van het REDIII-doel naar een hoge afnameverplichting voor RFNBO's voor bedrijven (zie paragraaf 2.2) is mede daarom niet wenselijk.

Voor de elektriciteitsketen zet het NPE in op CO_2-vrij in 2035. Dit betekent dat er naast een sterke doorgroei aan zon en wind ook voldoende CO_2-vrije flexibiliteit nodig is. Hoewel een groot deel van deze flexibiliteit kan worden ingevuld met batterijen en 'demand-side response', zal er ook een gedeelte aan CO_2-vrij regelbaar vermogen nodig blijven. Een van de manieren om dit in te vullen is door waterstof in te zetten als brandstof in elektriciteitscentrales. Hier kan koolstofarme waterstof op de middellange termijn een rol spelen, bijvoorbeeld tot circa 2040, zodat de schaarste aan hernieuwbare waterstof niet verder vergroot wordt.

Slimme inzet van waterstof

Gerichte en efficiënte inzet van hernieuwbare waterstof is noodzakelijk om de aankomende schaarste hieraan zoveel mogelijk beperkt te houden en zo in te zetten dat het de meeste maatschappelijke waarde toevoegt. Vanuit de REDIII-doelen betekent dit dat hernieuwbare waterstof op de korte termijn met name in de industrie wordt ingezet en in beperktere mate ook in bepaalde modaliteiten binnen de mobiliteit, zoals zwaar wegvervoer, de binnenvaart en de luchtvaart.
Ook op de langere termijn is gerichte inzet van hernieuwbare waterstof belangrijk, omdat grootschalige inzet van waterstof in sectoren waar elektrificatie ook een haalbaar alternatief biedt leidt tot een hogere totale energievraag en daarmee indirect ook tot een grotere grondstoffenvoetafdruk. Dit is vanwege de aanzienlijke omzettingsverliezen die optreden bij de inzet van elektriciteit voor hernieuwbare waterstofproductie. Dit heeft als belangrijkste implicatie dat directe elektrificatie in eerste instantie de voorkeur heeft boven de inzet van hernieuwbare waterstof.

Op deze manier wordt het schaarse aanbod aan hernieuwbare elektriciteit zo efficiënt mogelijk benut (hoofdkeuze 3) en worden op systeemniveau substantiële toenames van het (primaire) energiegebruik voorkomen (hoofdkeuze 2), wat ook bijdraagt aan het behalen van de Europese energiebesparingsdoelstellingen. Ten slotte draagt inzet op elektrificatie ook bij aan lagere systeemkosten.
Gerichte waterstofinzet is niet alleen gewenst vanwege efficiëntie en energiebesparing, wat bijdraagt aan het belang van verduurzaming, maar ook vanuit het belang van betaalbaarheid. Voorlopig is hernieuwbare waterstofproductie nog zeer kostbaar. Huidige inschattingen gaan ervan uit dat de kostprijs van waterstof in Nederland rond 2030 rond de 12 EUR/kg zal liggen, ongeveer 0,36 EUR/kWh.[40] Ter vergelijk: de gemiddelde groothandelsprijzen voor elektriciteit lagen in 2021 rond de 0,14 EUR/kWh. Hoewel leereffecten de kosten in de loop der tijd naar beneden zullen brengen is het maar de vraag hoe snel deze kostendalingen zullen gaan.

In de huidige kosteninschattingen maken de netwerkkosten voor de elektriciteitsaansluiting ongeveer een vijfde uit van de totale kostprijs van hernieuwbare waterstofproductie.[41] Om te voorkomen dat elektrolyse en andere (grootschalige) elektrificatietechnieken onnodig worden belemmerd door de hoogte van de netwerktarieven zal de financiering en kostenverdeling van netuitbreidingen in een transitieperspectief bekeken moeten worden. Deze bevoegdheid ligt bij de netbeheerders en de ACM. Het kabinet gaat daarom graag in gesprek met de netbeheerders en ACM om te verkennen of er vanuit dit perspectief wijzigingen in de financiering van netten wenselijk zijn. Zie de paragraaf over de elektriciteitsinfrastructuur in het hoofdstuk over het ontwikkelpad voor de elektriciteitsketen voor de bredere context hiervan (hoofdstuk 1 in dit verdiepingsdocument).

Vanwege de hoge kostprijs is het voor toepassingen waar betaalbare alternatieven zijn, zoals in de gebouwde omgeving en personen- en licht vrachtvervoer wenselijk om op die alternatieven in te zetten, omdat dit bijdraagt aan de betaalbaarheid van de transitie in deze

[40] *Berenschot & TNO (2023) Effecten van een productiesubsidie voor elektrolysers*

[41] *Berenschot & TNO (2023) Effecten van een productiesubsidie voor elektrolysers*

sectoren. Rekenen op de mogelijkheid om in de toekomst op waterstof over te kunnen stappen, is vanwege de grote onzekerheden rondom toekomstige kostendalingen geen robuuste keuze.

De nadruk op elektriciteit als ruggengraat aangevuld met gerichte inzet van waterstof voor specifieke toepassingen is de in het NPE gekozen voorkeursrichting. Dit dient als een kaderstellende context waarbinnen keuzes in de vormgeving van het energiesysteem kunnen worden afgewogen. In de uitvoering van het energiebeleid kunnen er praktische overwegingen zijn om bepaalde punten van het geschetste voorkeurspad af te wijken, bijvoorbeeld knelpunten in de infrastructuur. De beleidscyclus met continue monitoring van de voortgang omtrent de opbouw van het nieuwe energiesysteem speelt hierbij een belangrijke rol.

Waterstofproductie en circulaire economie

Het huidige energiesysteem gebruikt een enorm volume aan voornamelijk fossiele grondstoffen als energiebron en als grondstof in de industrie. Een systeem met hernieuwbare energie gebruikt weliswaar veel minder grondstoffen direct als energiebron, maar heeft meer (kritieke) grondstoffen nodig voor energietechnologieën en infrastructuur. In verdiepingsdocument E, hoofdstuk 1 worden zowel de mogelijkheden om de vraag naar kritieke grondstoffen te dempen als de Nederlandse inzet om het aanbod van schone grondstoffen te vergroten besproken.

Ook voor de productie van elektrolysers zijn verschillende kritieke grondstoffen nodig, afhankelijk van het type technologie dat gebruikt wordt. Beschikbaarheid van deze grondstoffen is daarmee een belangrijke voorwaarde om de doelstellingen voor binnenlandse elektrolysecapaciteit te kunnen realiseren. Circulariteit speelt een belangrijke rol in zowel het vergroten van het aanbod als het dempen van de vraag naar kritieke grondstoffen. Elektrolysers zijn als productgroep nog geen onderdeel van het Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE). Met behulp van extern onderzoek wordt de komende tijd een aantal nieuwe productgroepen uitgewerkt, waarbij wordt begonnen met elektrolysers. Het doel is om deze productgroepen op termijn onderdeel te laten worden van het NPCE met bijbehorende beleidsagenda om de circulariteit van deze productgroepen te bevorderen. Er worden daarnaast al verschillende maatregelen verkend en er wordt onderzoek gedaan naar het materiaalgebruik en de recyclingmogelijkheden.

Ondergrondse opslag van waterstof

Grootschalige ondergrondse opslagcapaciteit is nodig om fluctuaties in vraag en aanbod van waterstof op uurlijkse, dagelijkse, wekelijkse en maandelijkse schaal te balanceren. Het dient zo de leveringszekerheid op momenten van schaarste en de inzet van (hernieuwbare) waterstof in de industrie. Het vormt een belangrijke schakel voor de ontwikkeling van de (inter-)nationale waterstofketen. Daarnaast is het één van de weinige opslagoplossingen die zo grootschalig is dat het kan bijdragen aan de seizoensopslag die in het energiesysteem nodig is om in de piekenergievraag in de winter te kunnen voorzien. Figuur 7 geeft een overzicht van de verschillende oplossingen en schaalniveaus waarop opslag van waterstof plaats kan vinden.

Ondergrondse opslag in zoutcavernes op land is momenteel de techniek die het verst ontwikkeld is. Een groot deel van de zoutcavernes liggen in Noord-Nederland in of nabij gebieden waar in het verleden en ook nu energie- en grondstofwinning uit de diepe ondergrond plaatsvindt. De verkenning van nieuwe locaties gebeurt in het kader van het Rijksprogramma voor duurzaam gebruik van de ondergrond. De keuze welke mijnbouwactiviteiten onder welke voorwaarden mogen plaatsvinden komt tot stand in een maatschappelijke dialoog

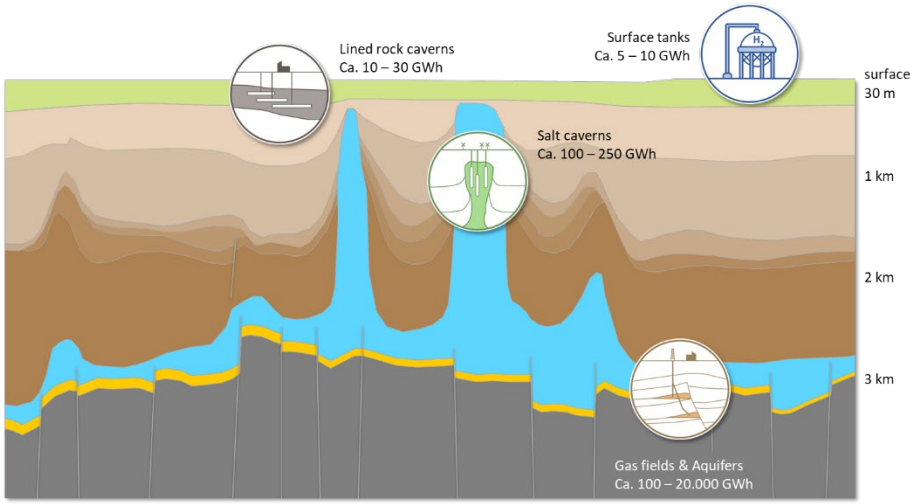
Rond 2030 zijn drie tot vier zoutcavernes met een totale opslagcapaciteit van 0,75 - 1 Terrawattuur (TWh)[42] nodig. Het Hystock-project in Zuidwending richt zich op ondergrondse opslag van waterstof in drie nieuwe en één bestaande zoutcaverne(s). Deze opslagcapaciteit is voldoende voor het elektrolysedoel van 4 GW in 2030. Bij de doorgroei van elektrolyse is er meer opslagcapaciteit nodig. Hetzelfde geldt, waarschijnlijk in mindere mate, voor de opschaling van de productie van koolstofarme ('blauwe') waterstof. Ook

[42] *1 GWh staat gelijk aan 1000 TWh, de waterstofopslagcapaciteit van 1 caverne is 0,1 - 0,25 TWh, van een leeg gasveld 0,1 - 20 TWh*

import zal leiden tot een groei in de opslagbehoefte, afhankelijk van de vorm (gas, ammoniak, etc.) waarin de waterstof wordt geïmporteerd en of conversie terug naar waterstof nodig is.

In het buitenland wordt op enkele plekken waterstof als grondstof voor industrie opgeslagen in zoutcavernes. Cyclische opslag van waterstof in zoutcavernes vindt nu al in enkele pilots plaats en heeft TRL 5-6[43]. Het Hystock-project zal de eerste grootschalige ontwikkeling van waterstofopslag in cavernes in Nederland zijn.
De haalbaarheid van opslag van waterstof in lege gasvelden (op land of op zee) moet verder vastgesteld worden (TRL 3-4), hier lopen (inter-)nationale onderzoeken naar en twee pilotprojecten elders in Europa. Een pilotproject zal moeten uitwijzen wat de haalbaarheid specifiek voor Nederlandse gasvelden is. Deze is daarom als mijlpaal vóór einde 2030 opgenomen in de Routekaart Energieopslag.

Vanwege het feit dat de opslagbehoefte richting 2050 nog sterk door zal groeien zal ruimtelijke inpassing op land in ieder scenario een uitdaging zijn. Daarom moeten opties en alternatieven zo snel mogelijk duidelijk worden, ook op zee. In de eerste verkenning van de mogelijkheden voor waterstofopslag op zee zijn zowel opslag in nieuwe zoutcavernes als opslag in lege gasvelden beschouwd. Het onderzoek concludeerde dat er een substantieel potentieel bestaat voor waterstofopslag op zee en dat waterstofopslag op zee waarschijnlijk duurder is dan op land.[44] Naar verwachting concurreert dit niet met CCS (waar naar grotere gasvelden wordt gekeken). Het biedt dus een mogelijk alternatief, wanneer het uitbouwen van waterstofopslag op land tegen grenzen oploopt. Het is daarom nodig om op korte termijn meer duidelijkheid te krijgen over de praktische haalbaarheid en uitdagingen bij waterstofopslag in nieuwe zoutcavernes en in bestaande gasvelden op zee. Daarbij zullen de mogelijkheden voor hergebruik van bestaande gasinfrastructuur en -installaties verder uitgewerkt moeten worden, evenals de combinatie met productie van koolstofarme waterstof.



Figuur 7 - Een schematisch overzicht van verschillende waterstofopslag technologieën met bijbehorende opslagcapaciteit. Bron: Hydrogen TCP-Task 42 (2023)[45]

Strategische voorraden

Sinds de oliecrisis in de jaren '70 beschikken landen in Europa waaronder Nederland, over strategische voorraden voor olieproducten. Strategische voorraden zijn bedoeld om ten tijde van ernstige verstoringen of (extreme) schaarste in te zetten om ontwrichting van de economie en samenleving te voorkomen en extreme prijspieken te dempen. Strategische voorraden worden bij voorkeur collectief in Europees of internationaal verband ingezet. Gedurende de transitie van een door fossiele brandstoffen gedomineerde energiemix naar een energiemix waarin andere energiedragers geïmporteerd worden, zal opnieuw overwogen moeten worden in hoeverre en voor welke energiedragers en toepassingen strategische voorraden wenselijk zijn. Een dergelijke afweging zou gemaakt kunnen worden voor waterstof en daaruit afgeleide dragers, maar dat kan ook gelden voor duurzame koolstofdragers (zie hoofdstuk 3 – Koolstofketen).

[43] *De Technology Readiness Levels (TRL's) geven de mate van ontwikkeling van een technologie aan, waarbij TRL 1 staat voor technologie aan het begin van de ontwikkeling en TRL 9 voor technologie die technisch en commercieel gereed is.*

[44] *TNO (2022) Haalbaarheidsstudie offshore ondergrondse waterstofopslag.*

[45] *Hydrogen TCP-Task 42 (2023), "Underground Hydrogen Storage: Technology Monitor Report".*

Uiteraard dient dit zeer zorgvuldig verkend te worden, ook omdat onder andere lege gasvelden en zoutstructuren worden gezien als mogelijke opslagplaats voor de strategische voorraden.

Het belang van import

Zoals aangegeven aan het begin van deze paragraaf, is het uitgangspunt de opbouw van een robuuste waterstofketen. Hierin speelt de opbouw van importketens een essentiële rol, waarbij oog is voor duurzaamheidsaspecten, veiligheidsrisico's en geopolitieke aspecten. Het Nederlandse energiesysteem zal meer waterstof consumeren en doorvoeren dan het zelf kan produceren, wat betekent dat import een substantieel deel van het toekomstige waterstofaanbod zal uitmaken. Daarom wordt naast de eigen productie ook actief aangestuurd op de import en doorvoer (en eventuele conversie) van waterstofdragers.

Het actief aanjagen van een internationale waterstofmarkt is absoluut gewenst, zowel vanuit nationaal belang als vanuit mondiaal perspectief. Voor Nederland is de potentiële vraag naar waterstof mogelijk groter dan het binnenlandse productiepotentieel Daarnaast is de verwachting dat op termijn waterstofimport wellicht goedkoper is dan de kostprijs van waterstofproductie uit nieuwe elektrolysers in Nederland. Dit betekent dus dat het faciliteren van importmogelijkheden de betaalbaarheid van waterstof en daarmee van de transitie naar CO_2-vrije energiedragers vergroot. Daarnaast vergroot het faciliteren van de import van waterstofdragers en het investeren in de daarvoor benodigde infrastructuur de kansen van Nederland om de hubfunctie van onze zeehavens te behouden.

Vanuit mondiaal perspectief, kan het vroeg aanjagen van waterstofproductie bijdragen aan het ontstaan van internationale handel in hernieuwbare energiedragers. De ontwikkeling van dergelijke handel kan ook de verduurzaming elders versnellen. Daarom is de internationale dimensie van het Nederlandse waterstofbeleid ook een belangrijke pijler in ons internationale klimaatbeleid.

Er bestaan verschillende modaliteiten voor waterstofimport

Op termijn is de verwachting dat een aanzienlijk deel van de waterstof net als aardgas nu via buisleidingen kan worden geïmporteerd. Momenteel bestaat er nog geen Europese waterstof-infrastructuur die dergelijk transport mogelijk maakt. Dit betekent dat waterstof en waterstofdragers op korte termijn vooral per schip geïmporteerd zal worden. Gezien de lage energiedichtheid van gasvormige waterstof, is transport per schip eigenlijk alleen rendabel wanneer waterstof of daarvan afgeleide dragers in vloeibare vorm vervoerd kunnen worden. Het vervoeren van waterstof in vloeibare vorm is technisch uitdagend omdat dit transport van waterstof onder hoge druk bij een temperatuur van -253°C vergt. Momenteel (2023) is er op de wereld slechts één schip dat in staat is vloeibare waterstof (LH_2) te vervoeren. Dus voor grootschalig transport van vloeibare waterstof zal een aanzienlijke opschaling van deze vloot nodig zijn. Desalniettemin zijn er concrete projecten in Nederland in zowel Amsterdam als Rotterdam voor de ontwikkeling van nieuwe LH_2 tankers en importfaciliteiten.

Naast vloeibare waterstof zijn er ook alternatieve manieren voor transport per schip. Zo kan waterstof gebonden worden aan een dragermateriaal: 'Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC's) of in poedervorm), of met stikstof worden omgezet in ammoniak of met CO_2 in methanol en andere producten. Deze stoffen zijn eenvoudiger in grote hoeveelheden te transporteren en worden momenteel al internationaal als commodity verhandeld. Op basis van aangekondigde projecten is de verwachting dat waterstofdragers, in het bijzonder ammoniak, een significante rol gaan spelen in het intercontinentale transport van waterstof.

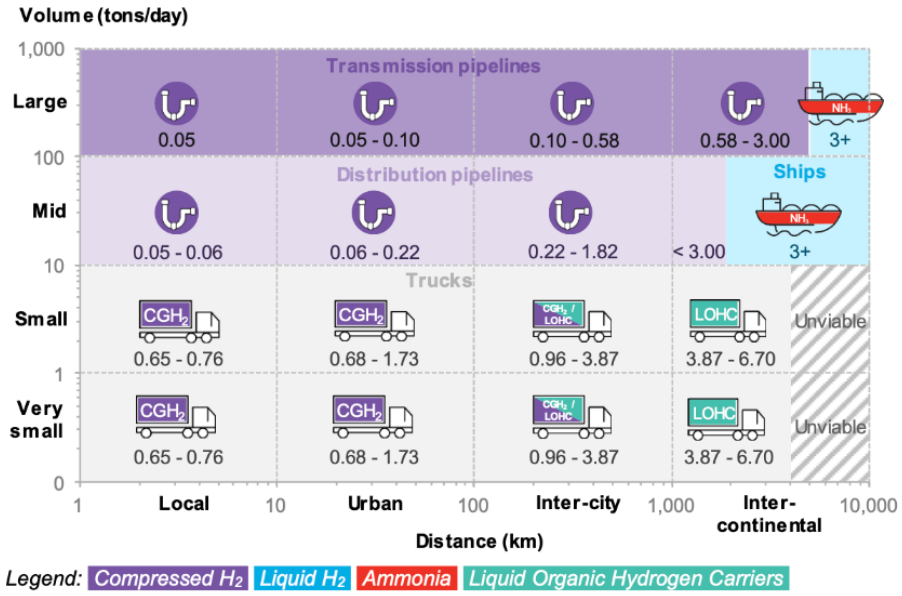
Ammoniak en methanol kennen we tot nu toe vooral als grondstof. Voor het behalen van de klimaatdoelen is verduurzaming van die grondstoffen noodzakelijk. Een rol van stoffen als ammoniak en methanol als energiedrager is nieuw. De verwachte volumes gekoppeld aan het nog ontbreken van infrastructuur voor het afhandelen van deze stromen, stellen het kabinet voor serieuze beleidsopgaven met betrekking tot invoer, op- en overslag, conversie en transport van deze waterstofdragers in Nederland[46].

Het nadeel van omzetting van waterstof naar andere typen dragers en eventuele omzettingen weer terug is dat dit leidt tot additionele energieverliezen en dus extra kosten. Het is dan ook de verwachting dat voor het vervoer van waterstof over langere afstanden per buisleiding substantieel goedkoper zal zijn dan de omzetting van waterstof naar andere

[46] *Kamerstukken 2022 – 2023, 32 813, nr. 1192.*

dragers gevolgd door transport per schip (Figuur 8). Het is dus vanuit het oogpunt van de betaalbaarheid van groot belang dat er op Europees niveau snel werk wordt gemaakt van een intra-Europese waterstofinfrastructuur. Hierbij zou het voor Nederland aantrekkelijk zijn als er een buisleiding komt die verbindt met Scandinavische landen en naar toekomstige waterstofproducenten in Zuid-Europa, het Midden-Oosten en Noord-Afrika.

Doordat de vraag naar RFNBO's op korte termijn al sterk toeneemt, zal op korte termijn vooral de import van waterstofdragers per schip een vlucht nemen. Aan de import van waterstof(dragers) wordt nu al gewerkt. Ook wordt uitvoerig onderzoek gedaan naar de impact van de import, doorvoer en conversie/kraken omdat dit een enorme impact kan hebben op ruimtegebruik in de industrieclusters, de infrastructuur en daarbij horende veiligheidsoverwegingen en milieuaspecten.



Figuur 8 - Kostenvergelijking van verschillende methoden om waterstof(dragers) over lange afstanden te transporteren in $/kg H_2. Bron: BNEF (2020).[47]

Infrastructuur en randvoorwaarden voor import

De huidige voorbereidingen voor import van waterstof(dragers) zijn vooral gericht op het creëren, in nationaal en EU-verband, van de randvoorwaarden om de markt te ontwikkelen: infrastructuur voor transport en opslag, import-terminals, certificering, veiligheidskaders en regulering. Het gegeven dat Nederland als eerste Europese land de transport- en opslaginfrastructuur op orde zal hebben, is een sterk signaal richting de markt dat internationale importketens voor de Noordwest-Europese markt op korte termijn al kunnen worden gerealiseerd[48].

Voor het realiseren van import zijn transportroutes nodig die importerende en exporterende landen en regio's met elkaar verbinden. Op termijn kunnen buisleidingen een belangrijke rol spelen, maar voorlopig zal de meeste internationale aanvoer van waterstofdragers per schip plaatsvinden. Het is van belang om Nederland onderdeel te laten uitmaken van deze corridors. Dit vergt een nauwe samenwerking met de betrokken marktpartijen en overheden. Nederland zal deze inspanningen concentreren op strategische corridors met landen en regio's binnen en buiten Europa. Hiervoor geldt dat er niet alleen moet worden gekeken naar de potentiële omvang van de productie, maar ook naar de verwachtingen omtrent hoeveel daarvan beschikbaar zal komen voor export richting Noordwest-Europa, waarbij landen die eenvoudiger aan de Europese eisen aan de productie van hernieuwbare waterstof(dragers) kunnen voldoen in het voordeel zullen zijn.

Rol van de overheid bij ontwikkeling importketens

De komende jaren speelt de overheid een belangrijke rol in het op gang brengen van de import: de mondiale markt bevindt zich in de opstartfase en wordt geconfronteerd met uitdagingen en onzekerheden in elk onderdeel van de keten.
Wereldwijd moet er worden geïnvesteerd in productiecapaciteit, waarvan slechts een gedeelte beschikbaar zal zijn voor export naar Europa. Infrastructuur moet worden opgebouwd en omgebouwd. Eindgebruikers moeten investeren in procesaanpassingen om waterstof te kunnen gebruiken, zoals bijvoorbeeld in de staalindustrie. Aangezien private investeringsbeslissingen in de gehele keten van elkaar afhankelijk zijn, is er sprake van een coördinatie-uitdaging. De overheid heeft de verantwoordelijkheid om in die coördinatie

[47] *Bloomberg New Energy Finance (2020) Hydrogen Economy Outlook – key messages.*

[48] *De kamerbrief van 2 juni 2023: Energiediplomatie en import van waterstof, kamerstuk nr. 29023-431*

waar nodig een rol te spelen. Dit kan middels een helder lange-termijnkader dat zekerheid biedt, waar nodig aangevuld met gericht financieel instrumentarium en een actieve inzet op energiediplomatie.

Omgang met geopolitieke risico's en Energiediplomatie

De oorlog door Rusland in Oekraïne heeft Nederland en andere Europese landen laten zien wat de risico's zijn van een sterke afhankelijkheid van een beperkt aantal handelspartners voor de levering van belangrijke energiedragers zoals aardgas. De gevolgen hiervan zijn maatschappelijk sterk gevoeld door de extreme prijspieken in de aardgasmarkt die volgden uit de verminderde aanvoer van Russisch aardgas naar de rest van Europa. Om de leveringszekerheid en betaalbaarheid van waterstof te borgen is het dus van belang dat dit soort onafhankelijkheden in de toekomstige importketens voor waterstof voorkomen worden.

In tegenstelling tot fossiele brandstoffen als olie en gas die onevenredig over de wereld verdeeld zijn en waarbij productie relatief geconcentreerd is, is het aantal potentiële landen waar kosteneffectief grootschalige waterstofproductie kan plaatsvinden veel groter.[49] Dit is namelijk vooral afhankelijk van een ruime beschikbaarheid van hernieuwbare energie, bijvoorbeeld uit wind, zon, waterkracht of aardwarmte. Ondanks het feit dat de toekomstige groep aan waterstofproducenten veel meer divers zal zijn dan olie- en gasproducenten vandaag de dag, zet Nederland in op diversificatie in zijn importstrategie, door het versterken van de banden met een brede groep landen voor het faciliteren van contacten tussen bedrijven en overheden ten behoeve van import-export ketens. Daarom werkt Nederland met een breed scala aan landen de samenwerking en toekomstige mogelijkheden voor handel in waterstofdragers uit. Met een aantal landen, waaronder Noorwegen, maakt waterstof deel uit van een bredere samenwerking op het energiedomein.

Internationaal Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen

Van alle bedrijven in Nederland wordt verwacht dat ze handelen volgens de internationale kaders voor Internationaal Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (IMVO). Zeker in de ontwikkeling van het upstream gedeelte van de waardeketen is grote aandacht voor IMVO gepast, gezien de grootschaligheid van de faciliteiten die hiervoor nodig zijn: wind- en zonneparken voor het produceren van elektriciteit, kabels en buisleidingen voor transport van energie, water voor elektrolyse, ruimte voor productie en opslag, terminals voor export, etc. Het is belangrijk dat de opbouw van deze ketens en de productie en toepassing van waterstof plaatsvinden met aandacht voor mens en milieu, en dat de betrokken bedrijven gepaste zorgvuldigheid toepassen.

Afweging publieke belangen en noodzaak verdere visievorming

Het Rijk zet in op het vormgeven van heldere kaders m.b.t. waterstofdragers in het energie- en grondstoffensysteem. Voor wat betreft ammoniak wordt door potentiële afnemers – zoals de industrie, maritieme sector (zeeschepen) en de energiesector – ook gekeken naar mogelijkheden om ammoniak rechtstreeks kunnen gebruiken als energiedrager (zonder te converteren naar waterstof, bijvoorbeeld met behulp van brandstofcellen.). Dit voorkomt energieverlies en extra kosten. Ammoniak is echter toxisch en ook de andere waterstofdragers brengen risico's met zich mee die anders zijn dan de risico's van energiedragers die tot nu veelal toegepast worden (m.n. fossiele brandstoffen).

Wanneer de verwachte importvolumes van ammoniak door ons land getransporteerd zouden gaan worden, verandert dit het dominante risicoprofiel voor de gebruikte transportroutes. Dit heeft mogelijk invloed op de mogelijkheid de ruimte in de nabijheid te benutten voor andere functies. Het kraken of gebruiken van ammoniak leidt naar verwachting ook tot stikstofemissies. Een eerder kabinet heeft vanuit de zorg voor de omgevingsveiligheid in 2004 besloten het vervoer van ammoniak over het spoor door ons land te willen beperken. Dat besluit was gebaseerd op de toepassingen van ammoniak die destijds in beeld waren. In dit beleid is echter geen rekening gehouden met grote transportvolumes van ammoniak vanwege het gebruik van ammoniak als energiedrager. Het voornemen is daarom dit standpunt te herijken binnen de huidige context van de energie- en grondstoffentransitie, met weging van alle maatschappelijke kosten, baten en risico's. Het proces hiervoor is in gang gezet.

[49] *IRENA (2022) Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*

Beleidsaspecten en overwegingen

Bij het zoeken naar een goede balans tussen de verschillende maatschappelijke belangen rondom waterstofdragers zal het beleid gebaseerd zijn op de geformuleerde uitgangspunten m.b.t. de veiligheids- en gezondheidsaspecten van de energietransitie (overigens ook toepasbaar op de grondstoffentransitie) die elders in dit NPE ook al zijn aangehaald.

Het Rijk zal aangeven welke voorkeuren, voorwaarden of beperkingen zij wil stellen m.b.t. de inzet van waterstofdragers en in het bijzonder ammoniak; denk hierbij aan de volgende zaken:

- Ruimtelijke concentratie van activiteiten op en nabij de aanlandlocatie en op ruime afstand van woonkernen. Dit o.a. ten behoeve van de ruimtelijke inpassing en ten behoeve van aansluiting op transportmodaliteiten. Het kabinet gaat hierover in gesprek met onder andere de relevante havenbedrijven en omgevingsdiensten.
- Eventuele doorvoer van waterstofdragers gebeurt bij voorkeur via een robuuste modaliteit; een modaliteit die daarvoor het meest geschikt en toekomstbestendig is. Hierbij speelt ook de beschikbaarheid van modaliteiten een rol. Denk hierbij aan het waterstoftransportnet, of het transporteren via separate buisleidingen voor ammoniak, die aan nog te stellen eisen moeten voldoen. Hierbij is IenW kaderstellend en moet de markt zelf de technische vormgeving oppakken. Het kabinet onderzoekt welke rol buisleidingen en binnenvaart kunnen spelen bij eventuele doorvoer van ammoniak binnen Nederland en naar Duitsland en België.

De bezwaren die in 2004 bestonden ten aanzien van het transporteren van ammoniak, en dan met name per spoor, zijn in feite niet gewijzigd. Zodoende:

- Wordt er, zolang er geen nieuw kabinetsstandpunt is, door het kabinet geen stappen gezet om met name transport van ammoniak per spoor door Nederland te doen toenemen.
- Zoeken de betrokken overheden voor concrete ontwikkelingen die zich aandienen m.b.t. invoer, op- en overslag en conversie van ammoniak op de aanlandlocatie gezamenlijk naar mogelijkheden om die te faciliteren.
- Ziet het Rijk het belang van het stimuleren van de ontwikkeling van alternatieven voor ammoniak (andere dragers of vloeibare waterstof), die naar verwachting een lager risicoprofiel kennen.

Er volgt een inventarisatie van het bestaande en in ontwikkeling zijnde overheidsinstrumentarium om te sturen op de invoer, op- en overslag, conversie en transport van waterstofdragers in Nederland. Daarbij zal de vraag worden beantwoord of aanvullende instrumenten nodig zijn en welke ruimte daarvoor bestaat binnen bestaande (Europese) kaders.

Bij de regeringsconsultatie met Duitsland in april 2023 is er een gezamenlijke routekaart import aangekondigd. Ook in de Kamerbrief over de volumestudie in maart 2023[50] is benoemd dat er afstemming nodig is met onze buurlanden, Duitsland en België. Het streven is om lopende en aangekondigde initiatieven voor afstemming met onze buurlanden zoveel als mogelijk te benutten voor een geïntegreerde internationale benadering van de importketens voor waterstof, zodanig dat o.a. eventueel te realiseren infrastructuur passend is bij de importbehoefte in de toekomst.

[50] *Kamerstukken 2022 – 2023, 32 813, nr. 1192.*

2.4. Gewenste ontwikkelrichting 2035-2050

Gewenste eindbeeld 2035-2050

Dit eerste Nationaal Plan Energiesysteem ziet duurzame elektriciteit als ruggengraat van het toekomstig energiesysteem met daarbij een systeemrol voor waterstof. Hoewel er op het moment van schrijven veel onzekerheid is over de opschaling en marktontwikkeling van waterstof is duidelijk dat er een aanzienlijke rol is weggelegd voor waterstof op weg naar het energiesysteem in 2050. Waterstof zal onmisbaar zijn voor de verduurzaming van ons energie- en grondstoffengebruik en als langdurige energieopslag.

Bij de verduurzaming van het energiesysteem heeft, zoals eerder aangegeven, directe inzet van hernieuwbare elektriciteit de voorkeur. Er zijn echter grenzen aan wat technologisch mogelijk is met directe elektrificatie. Diverse scenariostudies – zoals II3050, TNO-scenario's ADAPT en TRANSFORM – voor het energiesysteem van 2050 geven aan dat waterstof noodzakelijk zal zijn. Sommige vormen van eindverbruik kunnen namelijk alleen technisch of kosteneffectief verduurzamen door gebruik te maken van waterstof. Ook blijft waterstof nodig als grondstof in de industrie.

De productie van hernieuwbare waterstof is nu nog vrij kostbaar, hetgeen maakt dat waterstof vooral gericht wordt ingezet, daar waar geen andere kosteneffectieve alternatieven beschikbaar zijn. Mocht de leercurve van hernieuwbare waterstof versnellen en wereldwijde hernieuwbare waterstofproductie een vlucht nemen zou hernieuwbare waterstof in de toekomst voor een bredere set aan toepassingen kunnen worden ingezet.

De systeemrol van waterstof in het energiesysteem

Hoewel het aandeel van waterstof in de uiteindelijke energiemix kleiner zal zijn dan dat van elektriciteit, spelen waterstof en elektrolyse een belangrijke systeemrol tijdens de transitie en in de elektriciteitsketen. Deze systeemrol bestaat uit twee elementen:

- De bijdrage aan voortvarende uitrol van wind op zee en daarmee het volledig benutten van het productiepotentieel voor wind op zee via zowel elektrolyse op land als op termijn ook elektrolyse op zee.
- De bijdrage aan CO_2-vrij regelbaar vermogen t.b.v. elektriciteitsproductie, in combinatie met seizoensopslag.

Zoals aangegeven in de vorige paragraaf zal in de uitbouw van elektrolysecapaciteit na 2030 de nadruk verschuiven van elektrolyse op land naar elektrolyse op zee. Grootschalige elektrolyse op zee zal naar verwachting pas na 2035 op Gigawatt-schaal plaatsvinden. Voor die tijd wordt echter al gewerkt aan pilotprojecten, waarbij de verwachting is dat de eerste 50-100MW in 2028 gerealiseerd kan worden en dat dit kan doorgroeien naar 500MW, op z'n vroegst in 2032. Vanwege de groeiende elektriciteitsvraag en de ambitie om in 2035 een CO_2-vrij elektriciteitssysteem te hebben, is het waarschijnlijk tot 2035 nodig om energie die wordt opgewekt in nieuwe windparken op zee vooral in de vorm van elektriciteit aan land wordt gebracht. Mochten de problemen rondom netcongestie en gebrek aan netverzwaringen zo nijpend worden dat dit de uitrol voor wind op zee gaat vertragen dan kan al eerder voor een groter aandeel waterstofproductie op zee gekozen worden.

Door snelle uitrol van wind op zee en gestage doorgroei van hernieuwbare energie op groeit het aandeel van hernieuwbaar in de elektriciteitsmix in rap tempo, waarbij in 2030 het naar verwachting al zo'n 62-88% van de elektriciteitsopwek uit hernieuwbare bronnen komt.[51] Echter, ook wanneer het elektriciteitsaanbod volledig CO_2-vrij geworden is, is verdere doorgroei van wind op zee gewenst, vanwege de doorgroei van de elektriciteitsvraag door elektrificatie en de toenemende vraag naar waterstof. In lijn met de hoofdkeuze om hernieuwbaar aanbod maximaal op te schalen is de ambitie de wind op zee capaciteit verder uit te breiden naar 50 GW in 2040 en 70 GW in 2050[52]. Hierdoor zullen in toenemende mate aanzienlijke overschotten tijdens piekuren van wind- en zonproductie ontstaan. Elektrolysers bieden uitkomst doordat deze simultaan met piekuren kunnen draaien, waardoor het hernieuwbare productiepotentieel maximaal benut wordt en een zo groot mogelijk volume aan hernieuwbare energie in het systeem kan worden 'geabsorbeerd'. Door het combineren van elektriciteitsproductie en waterstofproductie op zee kan 'onderbenutting' van de energieproductiecapaciteit van wind op zee worden voorkomen en blijven investeringen in verdere uitbreiding van windenergiecapaciteit op zee rendabel.

[51] *PBL (2023) Klimaat-en Energie Verkenning (KEV) 2023.*

[52] *Kamerstukken 2021 – 2022, 33 561, nr. 54.*

Daarnaast stelt de studie 'Systeemintegratie wind op zee 2030-2040'[53] dat al bij de integratie van 38,5 GW in 2040 ongeveer 12 GW aan elektrolyse op zee nodig is, door gebrek aan elektrische (eind)vraag bovenop enkele GW-elektrolyse op land. Waterstof speelt daarom ook op lange termijn een cruciale rol bij de aanlanding van wind op zee.

Om ervoor te zorgen dat wind op zee zoveel mogelijk bijdraagt aan een maximale 'basislast' hernieuwbare elektriciteitsopwekking is het van belang dat windparken op zee worden aangesloten op energiehubs. In deze hubs kan waterstof worden geproduceerd door de aanwezige elektrolysers maar waarvandaan de elektronen ook via kabels aangeland kunnen worden. Op die manier wordt op momenten met veel wind waterstof en elektriciteit geproduceerd en op momenten met erg weinig wind alleen elektriciteit. Deze hybride aanlanding zorgt voor een grotere robuustheid van het energiesysteem en betere betaalbaarheid van elektriciteit. Dit kan betekenen dat er op zee een zekere mate van overdimensionering van infrastructuur bestaat, maar daar tegenover staat een lagere behoefte aan kostbare elektriciteitsproductie uit regelbare energiecentrales.

In het (stimulerings)beleid voor elektrolyse kan er in de vormgeving rekening gehouden worden dat de prikkel met name ligt bij het realiseren van voldoende elektrolysecapaciteit en niet op het maximaliseren van het productievolume voor hernieuwbare waterstof. Op deze manier worden perverse effecten in de elektriciteitsmarkt voorkomen en kan de systeemrol van elektrolyse geborgd worden.

Wind en zon vormen de basis van het toekomstige elektriciteitssysteem, maar voor de momenten met weinig wind en zon is zijn CO_2-vrije flexibiliteits-oplossingen nodig. Er is een breed scala aan flexibiliteitsopties, waarbij een belangrijke rol is weggelegd voor flexibele flexibilisering van de vraag en energieopslag, maar daarnaast zal ook regelbare opwekcapaciteit (energiecentrales) noodzakelijk blijven. Door het uitfaseren van fossiele brandstoffen en de verwachte schaarste aan biogrondstoffen is waterstof de meest voor de hand liggende energiedrager om in regelbare elektriciteitscentrales toegepast te worden. In de periode 2030-2040 zal dit vooral koolstofarme waterstof zijn, wat in het decennium daarna vervangen wordt door hernieuwbare waterstof. Wellicht zal op termijn ook een uitfaseringsdatum voor de inzet van koolstofarme waterstof moeten worden overwogen, in lijn met het minimaliseren van de inzet van fossiele koolstofdragers en de geleidelijke overgang van de inzet van ondergrondse CO_2-opslagcapaciteit voor fossiele CO_2 naar biogene CO_2 (zie paragraaf koolstofverwijdering, hoofdstuk 3).

De energievraag in Nederland kent seizoensgebonden variaties, met name door de toenemende warmtevraag in de winter. In de toekomst zal ook het effect van efficiëntieverlies van batterijen, o.a. bij elektrische voertuigen, onder invloed van koude dit effect versterken. Het voordeel van waterstof is dat grootschalige opslag in zoutcavernes en mogelijke ook lege gasvelden een van de weinige vormen van energieopslag is die zo grootschalig is dat het kan worden ingezet voor seizoensopslag. Dit betekent overigens niet per definitie dat de opgeslagen waterstof in de winter dan ook direct moet worden ingezet om in de hogere finale energievraag (bijvoorbeeld naar warmte) te voldoen. Het kan ook dienen als brandstof voor extra elektriciteitsproductie. Als het gaat om het voorzien in de warmtevraag leidt dit zelfs tot een hogere systeem-efficiëntie, door de hoge efficiëntie van warmtepompen en de relatief lage frequentie van periodes met te weinig hernieuwbare opwek.[54]

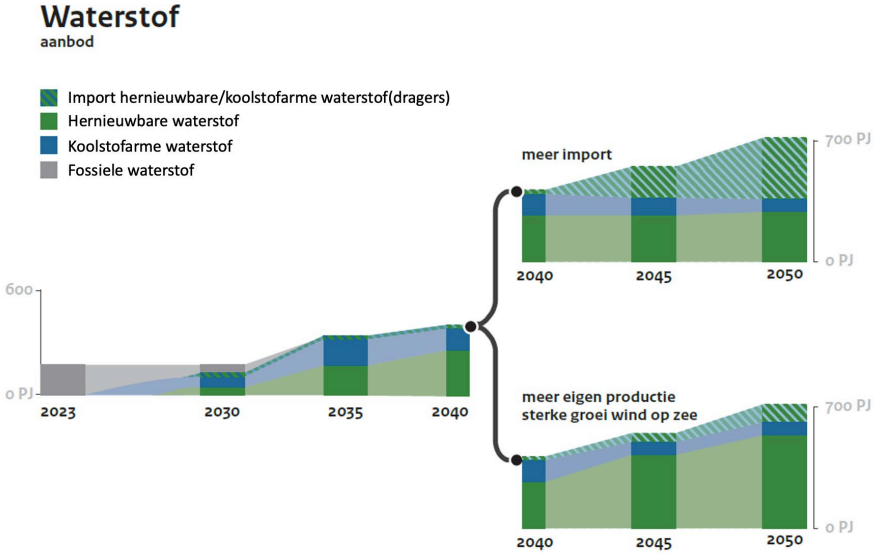
In Figuur 9 is zichtbaar hoe richting 2030/2035 de waterstofconsumptie verschuift van grijs naar koolstofarm (dit zijn de huidige industriële activiteiten die overstappen op koolstofarme waterstof) en waarbij de opschaling van elektrolysecapaciteit zichtbaar is, evenals de toename van import van hernieuwbare waterstof(dragers), weergegeven in de gerasterde balk. In Figuur 9 is ook de geprojecteerde ontwikkeling in aanbod van waterstof(dragers) richting 2050 zichtbaar.

Deze ontwikkeling is in hoge mate onzeker. Om deze onzekerheid te illustreren zijn voor de periode na 2040 twee mogelijke ontwikkelingen geschetst. Als de wereldmarkt voor waterstof(dragers) van de grond komt – waarbij waterstof goedkoop, gediversifieerd en in grote volumes tegen een goede prijs beschikbaar is – is het te verwachten dat Nederland een

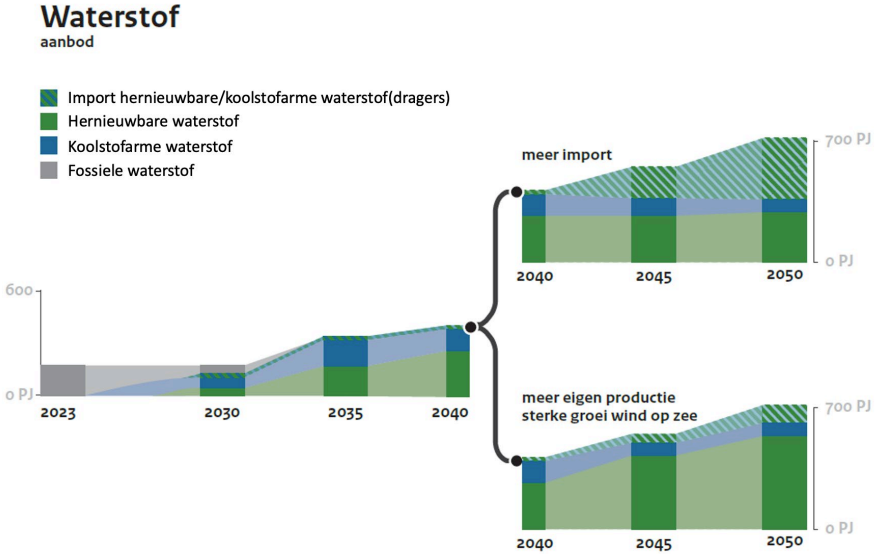
[53] *Systeemintegratie wind op zee 2030-2040, RVO, Guidehouse, Berenschot 2021*

[54] *Quintel (2023, wordt gepubliceerd met NPE) Toekomstige systeemeffecten van duurzame verwarming.*

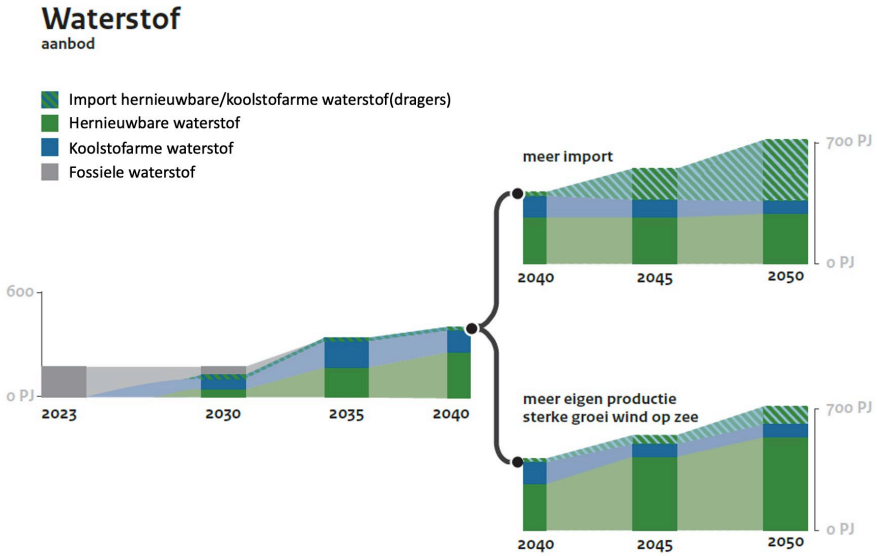
groter deel van het aanbod uit de import van waterstof(dragers) zal halen (



Figuur 9, rechtsboven). Wanneer de wereldmarkt onzeker of duur is zal een groter deel van het waterstofaanbod uit eigen productie (moeten) komen (

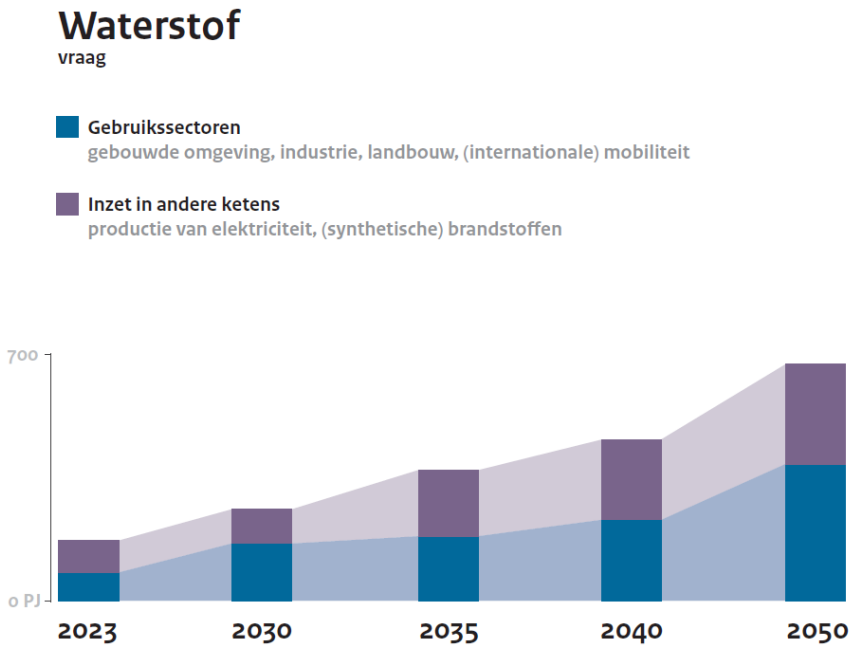


Figuur 9, rechtsonder). Het is ook mogelijk dat in een dergelijk scenario de totale waterstofvraag lager zal uitvallen.



Figuur 9 - Ontwikkeling waterstofaanbod richting 2050

In Figuur 10 is de vraag, ook wel het gebruik van waterstof uiteengezet in de aanloop naar 2050. De directe waterstofconsumptie is weergegeven in blauw, en de inzet van waterstof in andere ketens is weergegeven in paars. Dit kan gaan om de inzet van waterstof in de koolstofketen, bijvoorbeeld bij de (bio)raffinage en productie van biobrandstoffen, en inzet in chemie en brandstoffensector voor de productie van synthetische koolstofdragers in combinatie met 'carbon capture and utilisation' (CCU). Op dit moment lijkt beperkte productie van synthetische koolwaterstoffen in Nederland goed denkbaar waar synergiën bestaan in verband met CO_2-reststromen uit biogene processen. Zeer grootschalige productie om te voorzien in de (Noordwest-)Europese vraag op basis van sterke verdere uitrol van windenergie op zee ligt nog niet voor de hand, omdat het waarschijnlijk is dat dergelijke productie elders in de wereld met lagere hernieuwbare energieproductiekosten competitiever is.



Figuur 10 - Waterstofgebruik richting 2050.

Het belang van waterstofopslag voor het energiesysteem

Naarmate het waterstofgebruik in het Nederlandse energiesysteem na 2030 verder doorgroeit, zal ook de behoefte aan ondergrondse opslagcapaciteit doorgroeien. Gepubliceerde doorgroeipaden van de behoefte aan cyclische waterstofopslagcapaciteit na 2035 kennen nu een grote bandbreedte, uiteenlopend van 14 tot 50 TWh in 2050. Dit is afhankelijk van aannames en scenario's die gebruikt worden. Deze doorgroeipaden en de factoren die daarin een grote rol spelen, moeten de komende tijd verder worden uitgewerkt. Ruimtelijke inpassing op land zal in ieder scenario een uitdaging zijn, ook in de onderkant van de bandbreedte waarin al tientallen cavernes nodig zullen zijn. Daarom moeten opties en alternatieven zo snel mogelijk duidelijk worden; het gaat dan om cavernes en lege gasvelden, om opslag op land en opslag op zee, en om gedeelde opslagcapaciteit met het buitenland (met name Duitsland). Een screening van de zoutstructuren en gasvelden in de Nederlandse ondergrond op geschiktheid en beschikbaarheid met de meest recente inzichten is daarbij nodig. Daarnaast kan op termijn ook gekeken worden naar het benutten van eventuele mogelijkheden voor waterstofopslag op zee. Om deze opties achter de hand te hebben is het van belang dat onzekerheden rondom de technische uitdagingen voor waterstofopslag op zee snel inzichtelijk worden.

Sinds 2022 wordt een landelijk transportnetwerk ontwikkeld dat de industriële clusters verbindt, toegang biedt tot opslagfaciliteiten en het Nederlandse netwerk verbindt met dat van zijn buurlanden. Aanvullend zal na 2030 moeten worden ingezet op de ontwikkeling van een infrastructuur op zee om waterstof vanuit de energiehubs aan land te brengen. Ook in Europees verband wordt de samenwerking al gezocht en worden plannen gemaakt om Zuid-Europa met Noordwest-Europa te verbinden door middel van pijpleidingen. Ook op de Noordzee worden plannen gemaakt om zowel de elektriciteitsinfrastructuur als de waterstofinfrastructuur van de Noordzeelanden (Duitsland, België, Denemarken en Nederland) aan elkaar te koppelen (hier wordt momenteel onderzoek naar gedaan in het kader van het Energie Infrastructuur Plan Noordzee 2050). In het gewenste eindbeeld zijn Europese landen verregaand onderling verbonden door een infrastructuur van waterstof(dragers) en gelijkspanningskabels (high voltage direct current (HVDC)). Op land zal het netwerk sterk verknoopt zijn, maar op zee mogelijk niet (of pas op termijn). Het creëren van meerdere aanlandingspunten lijkt in ieder geval noodzakelijk om afhankelijkheid van een (of van slechts enkele) aanlandingspunten te voorkomen.

2.5. Beleidsagenda voor het ontwikkelpad

Het NPE is kaderstellend. De eerdergenoemde gewenste ontwikkelrichtingen van de waterstofketen en daar bijhorende onzekerheden moeten verder uitgewerkt worden in nieuw en bestaand instrumentarium. De beleidsimplicaties van de waterstofketen zullen de komende periode als onderdeel van de beleids- en uitvoeringsagenda volgend uit het NPE worden uitgewerkt. De elektrolysecapaciteit op land en op zee dient bijvoorbeeld verder gestimuleerd te worden om competitief te zijn met fossiele energiedragers. Deze groeiende sector biedt ook unieke kansen voor de Nederlandse (hightech)maakindustrie. Ook zal verdere duiding wat betreft de opschaling en inzet van koolstofarme waterstof nodig zijn.

Grootschalige ondergrondse opslagcapaciteit is nodig om fluctuaties in vraag en aanbod van waterstof op uurlijkse, dagelijkse, wekelijkse en maandelijkse schaal te balanceren. Het dient zo de leveringszekerheid op momenten van schaarste. Het vormt een belangrijke schakel voor de ontwikkeling van de (inter-)- nationale waterstofketen. Doorgroeipaden van de behoefte aan cyclische waterstofopslagcapaciteit na 2030 en de opties die in die behoeftes kunnen voorzien (cavernes en gasvelden, onshore en offshore, gedeelde opslagcapaciteit met buitenland) moeten zo snel mogelijk verder worden uitgewerkt. De opties en alternatieven om in die behoefte te kunnen voorzien moeten worden uitgezocht en vergeleken; het gaat dan om cavernes en lege gasvelden, om opslag op land en opslag op zee, en om gedeelde opslagcapaciteit met het buitenland (met name Duitsland).

De verdere ontwikkeling van waterstofopslag in grotere aantallen cavernes op land en mogelijk op zee vraagt om een, ook in de Routekaart opgenomen, programmatische aanpak voor waterstofopslag in zoutcavernes. De haalbaarheid van opslag van waterstof in lege gasvelden in Nederland zal verder vastgesteld moeten worden, hiervoor is een pilotproject als mijlpaal vóór einde 2030 opgenomen in de Routekaart Energieopslag.

Ook het instrumentarium voor de verdere uitrol van wind op zee gecombineerd met elektrolyse op zee zal in de komende periode verder moeten worden uitgewerkt. Hierbij is het van belang dat er een goede balans wordt gezocht tussen een betaalbare doorgroei van wind op zee enerzijds en voldoende zekerheid voor investeerders anderzijds. Daarnaast moet de vormgeving van de infrastructuur voor het net op zee en de regio verder worden geconcretiseerd, inclusief de rol van energiehubs. Uitgangspunt hierbij is een hybride infrastructuur die flexibiliteit biedt in de mate waarin elektriciteit direct wordt aangeland of eerst wordt omgezet in waterstof.

De omgang met de veiligheidsaspecten en omgevingsimpact rondom de import, opslag en doorvoer van waterstofdragers en ammoniak dient de komende periode verder te worden verkend. De verwachting op dit moment is dat transport via buisleidingen en binnenvaart de komende jaren vanuit het bedrijfsleven de voorkeur heeft. Een toename van het vervoer per spoor zal vanwege veiligheidsrisico's in of nabij spoorzones zeer nauwlettend moeten worden gemonitord. De toekomstige verhouding tussen import en eigen productie van waterstof(dragers) is lastig te voorspellen. Grote industriële bedrijven, die doorslaggevend zijn voor de consumptie van waterstof, hebben nog geen keuze gemaakt tussen het importeren van waterstof(dragers) zoals ammoniak en het zelf produceren van groene waterstof.

Voor de lange termijn is het voor de betaalbaarheid van waterstofimport van belang dat waterstofimport door Europa via buisleidingen mogelijk wordt. Daarom zet Nederland er op Europees niveau op in om voortvarend werk te maken met het plannen en realiseren van het Europees buisleidingennetwerk, waarop de Nederlandse waterstofbackbone kan worden aangesloten.

Naast internationalisering van de waterstofinfrastructuur moet ook de uitbouw van regionale infrastructuur voor waterstof verder worden uitgewerkt. Dit is van belang om snel duidelijkheid te verschaffen aan cluster 6-bedrijven over of en wanneer zij worden aangesloten op een waterstofnetwerk.

3. Ontwikkelpad koolstofketen

Samenvatting

Zoals vastgelegd in de Klimaatwet is Nederland in 2050 klimaatneutraal. Het kabinet streeft ook naar een volledig circulaire en fossielvrije economie.[55] In het huidige energiesysteem spelen zogenaamde koolstofdragers (zoals aardgas, olie en kolen) een belangrijke rol. Voor veel energetische toepassingen zal in de toekomst overgestapt worden naar koolstofvrije energiedragers, met name elektriciteit en in mindere mate waterstof en warmte. Desondanks zal in een klimaatneutraal 2050 ook nog vraag bestaan naar koolstofdragers[56], die dan zoveel mogelijk met duurzame in plaats van fossiele bronnen moet worden ingevuld.

Het merendeel van de vraag komt dan nog voort uit de inzet van koolstofdragers in de chemie en koolstofhoudende brandstoffen met een hoge energiedichtheid voor de internationale lucht -en scheepvaart. Voor deze toepassingen is koolstof in 2050 nog steeds essentieel. In Nederland zijn deze sectoren relatief groot in omvang. Dit maakt dat koolstofdragers in het Nederlandse energiesysteem naar verwachting – sterker dan in andere EU-landen – ook in de toekomst een belangrijke rol blijven spelen. Daarnaast zullen koolstofdragers voor de binnenlandse energievraag als sluitstuk worden ingezet daar waar koolstofvrije alternatieven ontoereikend zijn.

Klimaatneutraal is niet per definitie hetzelfde als fossielvrij. Om de Nederlandse grondstoffenvoetafdruk en de behoefte aan koolstofverwijdering[57] te beperken is het gewenste eindbeeld van het kabinet niettemin een fossielvrije samenleving, bij voorkeur al in 2050. Dat betekent dat de resterende koolstofbehoefte in 2050 zo veel mogelijk duurzaam wordt ingevuld en het aanbod aan duurzame koolstofdragers, zoals duurzame biogrondstoffen, secundaire grondstoffen (recyclaat) en synthetische koolstofdragers, moet worden opgeschaald. Zowel aan de vraag- als aan de aanbodzijde is sprake van grote onzekerheden rondom toekomstige volumes. De verwachte behoefte aan koolstofdragers is echter aanzienlijk groter dan het binnenlandse aanbodpotentieel.

Om de beschikbaarheid van duurzame koolstofdragers te borgen moet enerzijds de vraag naar koolstofdragers worden beperkt (bijvoorbeeld door een overstap op elektriciteit en waterstof) en anderzijds het aanbod worden uitgebreid. De geschatte resterende finale vraag naar koolstofdragers voor Nederland in 2050 is aanzienlijk groter (ordegrootte 1000 – 1400 PJ) dan het geschatte binnenlandse aanbod aan duurzame koolstofdragers (maximaal 330 PJ) waarbij ook nog sprake is van conversieverliezen. Al met al betekent dit een grote importbehoefte. Een versimpelde weergave van de veranderingen in de koolstofketen tussen nu en 2050 is weergegeven in Figuur 16 op pagina 69.

Om de totale koolstofvraag te reduceren is het cruciaal dat het koolstofgebruik in de sectoren waar koolstofvrije alternatieven voor handen zijn zoveel mogelijk wordt beperkt. Hierdoor kan koolstof juist daar worden ingezet waar het essentieel is, zoals in de chemie en de internationale mobiliteit en voor koolstofverwijdering. De invulling van de blijvende vraag moet daarnaast zo snel mogelijk worden verduurzaamd en waar mogelijk worden gereduceerd.

Wat betreft de aanbodkant is het van belang om het binnenlandse potentieel aan koolstofbronnen (biogrondstoffen, secundaire grondstoffen (recyclaat) en niet-fossiele CO_2 (biogeen of afgevangen uit de atmosfeer)) maximaal te benutten. Het gat tussen de resterende vraag naar koolstofvraag en het binnenlandse aanbod moet zoveel mogelijk worden gedicht met import, waarvoor een importstrategie gewenst is. Door de mogelijkheden van duurzame import te vergroten kan het resterend gebruik aan fossiele koolstofdragers worden geminimaliseerd, bij voorkeur tot nul in 2050.

3.1. Huidige situatie en beleid koolstofketen

Wat is de koolstofketen?

Koolstof, scheikundig weergegeven met de letter C, komt op aarde voor in vele verschijningsvormen. Het is het basiselement van al het leven op aarde. Zo bestaan mensen

[55] *Kamerstuk 32852 nr. 225 Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030.*

[56] *Zie paragraaf 3.1 voor de definities*

[57] *Zie hoofdstuk 3.4 tekstbox 2*

voor 23% uit koolstof. In dit hoofdstuk wordt veelal gesproken over zogenaamde koolstofdragers. Het begrip *koolstofdragers* wordt gebruikt om te verwijzen naar koolstofhoudende energiedragers, uitgedrukt in petajoules (PJ), en CO_2, uitgedrukt in megaton (Mton) CO_2, omdat dit geen energie (meer) bevat. Het begrip *koolstof* wordt gebruikt om te verwijzen naar een hoeveelheid (pure) koolstof ofwel de koolstofinhoud van koolstofdragers (C), uitgedrukt in megaton koolstof (Mton C). In tekstbox 1 wordt dit verder toegelicht.

Kolen, aardgas en aardolie zijn fossiele koolstofdragers. Onder de niet-fossiele[58] koolstofdragers vallen duurzame biogrondstoffen[59], secundaire grondstoffen (recyclaat)[60], synthetische koolstofdragers[61] op basis van CO_2-vrije elektriciteit en niet-fossiele CO_2. In de rest van dit hoofdstuk wordt voor niet-fossiele koolstofdragers de term duurzame[62] koolstofdragers gehanteerd. Er is een verschil tussen koolstofbronnen en koolstofdragers. Dit verschil wordt het meest duidelijk in het geval van synthetische koolstofdragers. De koolstofbron is in dit geval niet-fossiele CO_2 en de energiebron is waterstof. Samen vormt het wel een koolstofhoudende energiedrager. In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van fossiele en duurzame koolstofbronnen en -dragers.

Tekstbox 1: Definities en eenheden van koolstof(dragers)

Koolstofhoudende energiedragers zijn koolstofverbindingen die ook energie bevatten. Dit geldt in principe voor alle verbindingen die zowel koolstof (C) als waterstof (H) bevatten. Op het moment dat je koolstofdragers verbrandt reageren de verbindingen met zuurstof en ontstaat er koolstofdioxide (CO_2) en water (H_2O). CO_2 (fossiel of niet-fossiel) is wel een koolstofverbinding en dus ook een koolstofdrager, maar bevat geen energie meer. Die energie is namelijk vrijgekomen bij de verbranding. Daarom wordt CO_2 uitgedrukt in Mton CO_2.[63]

Koolstofhoudende energiedragers (alle koolstofdragers behalve CO_2) zullen in de basis worden uitgedrukt in petajoules (PJ). Het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) draait immers om het samenbrengen van vraag en aanbod aan energie. Voor de energetische toepassingen van koolstofdragers (bijv. als brandstof in de lucht- en scheepvaart) is het voordehand liggend om dit in PJ uit te drukken. Koolstofdragers kunnen echter ook ingezet worden als grondstof voor bijvoorbeeld plastics of chemicaliën. In dit geval is het in de eerste plaats niet de energie-inhoud het meest relevant, maar de hoeveelheid koolstof (en andere elementen) die een koolstofdrager bevat. Het is dan ook logischer om de vraag naar koolstofdragers als grondstof niet uit te drukken in PJ, maar in massa aan koolstof in Mton C.

In dit hoofdstuk maken we het volgende onderscheid: de term koolstofdrager verwijst naar een koolstofhoudende energiedragers (PJ) of naar CO_2. De term koolstof verwijst naar de hoeveelheid koolstof (C) in Mton C. Om toch een inschatting te kunnen maken van het totaal aan benodigde koolstofhoudende energiedragers in PJ (de basiseenheid in het NPE), wordt de koolstofvraag voor grondstoffen in Mton C omgerekend naar de (geschatte) hoeveelheid koolstofdragers in PJ (zie paragraaf 3.4).

Voor het omrekenen van PJ naar Mton C en andersom is het nodig om te weten hoeveel Mton C een bepaalde hoeveelheid PJ van een koolstofdrager bevat. Dit verschilt per koolstofdrager. Methaan (CH_4) bevat bijvoorbeeld relatief meer energie dan methanol (CH_3OH) op basis van dezelfde hoeveelheid koolstof (allebei één koolstofatoom per molecuul). De hoeveelheid koolstof per eenheid energie bepaald ook de relatieve CO_2 uitstoot. Dit wordt de *emissiefactor* genoemd en uitgedrukt in *Mton CO_2/PJ*. Bij het verbranden van methaan is er relatief weinig CO_2 uitstoot per eenheid energie. De emissiefactor van methanol is dus hoger dan die van methaan.

[58] *Met niet-fossiel wordt in dit hoofdstuk niet primair fossiel bedoeld, zie ook voetnoot 62.*

[59] *De term biogrondstoffen wordt in dit hoofdstuk als verzamelnaam gebruikt voor ruwe biogrondstoffen (zowel primaire stromen als biogene reststromen zoals GFT, etc.), verwerkte biogrondstoffen (groen gas, biogene pyrolyseolie, etc.) en biogene eindproducten (bijvoorbeeld biobrandstoffen). Biogene materialen zoals bouwhout en andere hoogwaardige materialen worden binnen de scope van dit hoofdstuk niet als biogrondstoffen beschouwd, omdat die niet voor het energiesysteem zouden moeten worden ingezet, hoewel in praktijk wel degelijk concurrentie tussen materiaal- en energietoepassingen plaats kan vinden. In een groeiende bio-economie waar grootschalig wordt ingezet op zaken als biobased bouwen zal ook de beschikbaarheid van biogene reststromen toenemen. Waar in dit hoofdstuk wordt verwezen naar de inzet van biogrondstoffen worden duurzame biogrondstoffen bedoeld, die voldoen aan de gestelde duurzaamheidscriteria (zie ook tekstbox 3 in paragraaf 3.4).*

[60] *Koolstofhoudend afval (recyclaat) betreft het restmateriaal van koolstofhoudende producten, bijvoorbeeld plastics en chemicaliën. Op dit moment is dit recyclaat nog grotendeels van fossiele oorsprong, maar naar mate meer gebruik gemaakt wordt van biogene plastics zal het kunststofafval steeds meer van biogene oorsprong zijn. Biogene reststromen, zoals gft-afval, mest en slib vallen in de categorie biogrondstoffen.*

[61] *Met synthetische koolstofdragers worden synthetische brandstoffen en grondstoffen bedoeld die zijn geproduceerd uit afgevangen niet-fossiele CO_2 en hernieuwbare waterstof. Uit ruwe biogrondstoffen kunnen via bijvoorbeeld vergassing synthetische koolstofdragers worden gemaakt. Deze vallen in dit hoofdstuk onder de biogrondstoffen.*

[62] *Duurzame koolstofdragers is een gangbare term om niet primair fossiele koolstofdragers aan te duiden. Wat betreft recyclaat vallen hier dus ook secundaire fossiele grondstoffen onder. Naar mate het aandeel biogene input in productieprocessen toeneemt, neemt ook de duurzaamheid van het recyclaat toe.*

[63] *Hier is het belangrijk om te realiseren dat het gewicht van CO_2 maar voor 27% uit koolstof bestaat, de rest is namelijk zuurstof.*

Tabel 5: Overzicht fossiele en duurzame koolstofbronnen en koolstofdragers. Alle bronnen zijn ook koolstofdragers, maar niet alle koolstofdragers zijn ook koolstofbronnen.

Fossiele koolstofbronnen (tegelijkertijd koolstofdragers)	Fossiele koolstofdragers (geen bronnen)	Duurzame koolstofbronnen (tegelijkertijd koolstofdragers)	Duurzame koolstofdragers (geen bronnen)
Aardolie	Benzine, diesel, nafta	Duurzame biogrondstoffen	Biobrandstoffen, bio-nafta, groen gas
Aardgas	Methaan, propaan	Secundaire grondstoffen	Pyrolyse-olie, (mechanisch) recyclaat
Kolen	Cokes	Niet-fossiele CO_2	Synthetische koolstofdragers

Waarom een koolstofketen in het NPE?

Voor veel toepassingen bestaan in de toekomst koolstofvrije alternatieven. Maar door de behoefte aan brandstoffen met hoge energiedichtheid in de lucht- en zeevaart en de behoefte aan koolstof voor de productie van chemicaliën en materialen, blijft er ook in de toekomst behoefte aan koolstofdragers. Dit rechtvaardigt een separate behandeling van de koolstofketen in het NPE.[64] In een klimaatneutrale en circulaire (fossielvrije) samenleving zullen deze moleculen van niet-fossiele oorsprong moeten zijn. Dit vraagt een overgang van een energiesysteem waarin fossiele koolstofdragers dominant zijn naar een systeem waarin koolstofvrije energiedragers (elektriciteit, waterstof, warmte) die rol grotendeels overnemen.

De nadruk in dit hoofdstuk ligt op die sectoren waarin de vraag naar koolstof(dragers) blijft bestaan en op de opbouw van het aanbod van duurzame koolstofdragers om deze vraag zo veel mogelijk, en indien mogelijk volledig, met duurzame koolstofdragers in te vullen in 2050. De opbouw van een duurzame koolstofketen gaat gepaard met de afbouw van de huidige fossiele koolstofketen. In het geval van aardgas is dit extra relevant vanwege de belangrijke rol daarvan in het huidige energiesysteem en daarnaast omdat het ook veelal publieke infrastructuur betreft. Daarom wordt in paragraaf 3.6 extra aandacht besteed aan het aardgasafbouwpad.

Het gebruik van koolstofdragers als grondstof voor de chemische sector wordt in het NPE nadrukkelijk meegenomen binnen de scope van het energiesysteem. De chemische sector maakt voor hun grondstoffen gebruik van dezelfde typen koolstofbronnen als voor het Nederlandse energieverbruik. In het huidige systeem gaat het daarbij om aardolie en aardgas en in de toekomst betreft dit biogrondstoffen, secundaire grondstoffen en CO_2. Biogrondstoffen worden ook ingezet voor andere toepassingen, denk bijvoorbeeld aan houtbouw. Deze toepassingen concurreren echter niet direct met energetisch gebruik. Daarom valt dit soort gebruik van koolstofdragers buiten de scope van het energiesysteem. Door ook de toepassing van koolstofdragers als grondstof voor de chemische sector mee te nemen binnen de reikwijdte van het NPE, wordt tegemoet gekomen aan de oproep van onder andere de Sociaal-Economische Raad om de energie- en grondstoffentransitie integraal te benaderen.[65]

De Nederlandse economie is relatief koolstofintensief

Momenteel is het overgrote deel van het energiegebruik gebaseerd op koolstofdragers, door het wijdverbreide gebruik van fossiele energiedragers (zie Figuur 12 op pagina 65). Fossiele koolstofdragers worden ook gebruikt als grondstof in de (petro)chemische industrie. Op dit moment wordt ongeveer 95% van het Nederlandse primaire energieverbruik (inclusief brandstoffen voor internationaal transport) ingevuld met koolstofdragers, wat neerkomt op ongeveer 3500 PJ[66], waarvan meer dan 90% afkomstig is uit fossiele bronnen. Het merendeel van de in Nederland gebruikte koolstofdragers worden ingezet om te voldoen aan de energievraag van binnenlands eindgebruik in huishoudens, de industrie, mobiliteit en de landbouw. Ook in de elektriciteitsvoorziening zijn koolstofdragers (met name aardgas) op dit moment nog altijd de grootste primaire energiebron. Figuur 13 op pagina 68 geeft schematisch de huidige koolstofketen weer.

[64] *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050. ETES 2050 (2023).*

[65] *Evenwichtig sturen op de grondstoffentransitie en de energietransitie voor brede welvaart. SER (2022).*

[66] *Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik. CBS (2022).*

Ruwweg 30% van het totale primaire energiegebruik (ongeveer 1150 PJ) wordt ingezet voor de productie van chemicaliën en brandstoffen voor de internationale mobiliteit. Dit deel van de vraag naar koolstofdragers vindt binnen Nederland plaats, maar is ten behoeve van de export (van bijvoorbeeld plastics) en activiteiten die grotendeels internationaal van aard zijn (zeevaart en luchtvaart). Ten opzichte van andere EU-landen zorgen deze sectoren voor een relatief hoog aandeel van de totale vraag naar koolstofdragers. Dit betekent dat Nederland bij een min of meer gelijkblijvende sectorstructuur naar verwachting ook in de toekomst relatief koolstofintensief zal zijn.

Bovendien vervult Nederland een belangrijke doorvoerrol voor fossiele energiedragers. Van de ruim 8100 PJ aan olie die in Nederland binnenkomt, wordt ongeveer 1850 PJ aan ruwe olie direct doorgevoerd. Aanvullend wordt ongeveer 4400 PJ aan olieproducten geëxporteerd.[67] Een groot deel daarvan betreft directe doorvoer van geïmporteerde olieproducten. Bij een ander deel gaat het om de uitvoer van door Nederlandse raffinaderijen geproduceerde olieproducten.

Actoren binnen de koolstofketen

Omdat koolstofdragers breed worden toegepast in de Nederlandse economie is ook de groep actoren binnen de koolstofketen zeer breed. De koolstofketen is op dit moment relatief centralistisch georganiseerd. Dit heeft vooral te maken met het grootschalige karakter van import en verwerking van (fossiele) koolstofdragers. Hierbij is een fundamenteel verschil tussen de petrochemische sector en de gassector. De eerstgenoemde sector bestaat vrijwel geheel uit private actoren, terwijl de gassector sterk door de overheid gereguleerd is. In deze sector spelen ook overheidsinstellingen een grote rol in de vorm van staatsdeelnemingen.

De productie en verwerking van fossiele brandstoffen gebeurt voornamelijk door grote multinationale ondernemingen en dit geldt ook in sterke mate voor de (koolstof)chemie. In de haven van Rotterdam zijn verschillende activiteiten rondom de productie en afname van fossiele brandstoffen en grondstoffen sterk met elkaar verweven. Raffinaderijen en de petrochemische industrie zijn vaak fysiek met elkaar verbonden. De haven is daarnaast een belangrijke hotspot in de koolstofketen vanwege het bunkeren; het leveren van brandstof aan internationale vrachtschepen. De productie van groen gas, bijvoorbeeld uit gft-afval, mest en slib, is veel kleinschaliger en decentraler van karakter dan de fossiele koolstofsector. Hetzelfde geldt tot op zekere hoogte voor innovatieve bedrijven die nieuwe technologieën inzetten voor cascadering[68] en de hoogwaardige recycling van koolstofdragers.
De vraagkant van de koolstofketen bestaat nu nog uit een breed scala van actoren. Dit zijn bijvoorbeeld de elektriciteitsproducenten, die kolen en gas als input gebruiken in hun centrales. Ook consumenten die benzine gebruiken voor auto's, hun huis verwarmen met aardgas en plastic producten gebruiken vallen hieronder. Al deze actoren krijgen te maken met de transitie naar een duurzame koolstofketen en sommigen zullen in de toekomst niet of nog maar beperkt koolstofhoudende producten gebruiken.

In gang gezette ontwikkelingen

Het aandeel energie afkomstig uit duurzame bronnen groeit, in Nederland en internationaal. Hierdoor zijn steeds minder fossiele koolstofdragers nodig. Het kabinet geeft de overstap van fossiele koolstofdragers naar koolstofvrije energiedragers onder andere vorm door de resterende kolencentrales in 2030 te sluiten en het aandeel elektrische voertuigen te stimuleren. Daarnaast ondersteunt het kabinet de groei van het aantal aardgasvrije wijken. Ook zet het kabinet in op de vervanging van fossiele koolstofdragers door duurzame koolstofdragers. Zo wordt groen gas bijgemengd in het gasnetwerk en worden biobrandstoffen ingezet in de mobiliteit. Bovendien zijn de eerste stappen gezet die het grondstoffengebruik in de chemische sector verduurzamen met de nationale circulaire plastics norm. De transitie in de koolstofketen is in gang gezet, maar die bevindt zich nog in de beginfase. De komende jaren is meer beleid nodig om de transitie richting 2050 te helpen realiseren.

Interacties met andere ketens

In Figuur 13 op pagina 68 is een deel van de interacties zichtbaar tussen de koolstofketen en de overige ketens (elektriciteit, warmte en waterstof). Koolstofdragers zijn in het huidige

[67] *Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik. CBS (2022).*

[68] *Cascadering is de trapsgewijze inzet van biogrondstoffen waardoor biogrondstoffen zo hoogwaardig, optimaal en efficiënt mogelijk worden ingezet. Voor meer informatie zie: Biomassa in balans. SER (2020).*

systeem een bron voor de opwek van elektriciteit (kolen- en gascentrales), brandstof in de mobiliteitssector en een grondstof voor de chemie. Aardgas wordt voornamelijk ingezet om warmte te produceren voor de industrie, de tuinbouw en voor huishoudens. Ook wordt aardgas gebruikt voor de productie van zogeheten grijze waterstof. Figuur 12 op pagina 65 laat zien dat koolstofdragers in het huidige systeem de dominante primaire energiebron zijn. In het toekomstige energiesysteem wordt het gebruik van fossiele grondstoffen afgebouwd. Dat betekent ook dat de rol van koolstofdragers in de elektriciteits-, waterstof- en warmteproductie afneemt.

Aan de andere kant ontstaan er ook nieuwe interacties tussen ketens. Zo worden er in de toekomst synthetische koolstofdragers geproduceerd uit biogene en atmosferische CO_2 en waterstof. Deze toepassing vraagt om significante hoeveelheden hernieuwbare elektriciteit. Een andere interactie tussen de koolstof- en de waterstofketen is het gebruik van waterstof bij de productie van koolstofhoudende brandstoffen in de raffinage. Hoewel de omvang van de raffinagesector naar verwachting afneemt zal waterstof ook in de toekomst nodig zijn bij de productie van (bio)brandstoffen. Daarnaast blijft groen gas waarschijnlijk een rol spelen in de warmteproductie voor de gebouwde omgeving. Hierbij is efficiënt gebruik het uitgangspunt, wat betekent dat groen gas zoveel mogelijk in combinatie met een hybride warmtepomp wordt ingezet.

Bestaande beleidsdoelen en beleidsinzet, Europees en nationaal

Voor de koolstofketen zijn verschillende beleidsdoelen relevant. Ten eerste de klimaatdoelen. Het kabinet werkt toe naar een klimaatneutraal Nederland in de context van een klimaatneutraal Europa. Dit wil zeggen dat de flexibiliteit behouden blijft om op Europees niveau netto nul emissies te bereiken.[69] Voor de koolstofketen vallen de overige beleidsdoelen uiteen in twee categorieën: de doelen voor het reduceren en verduurzamen van (1) het energetisch gebruik van koolstofdragers (brandstoffen) en (2) het niet-energetisch gebruik van koolstofdragers (grondstoffen), met name via het beleid rondom circulaire economie. Daarnaast vormt ook het Duurzaamheidskader Biogrondstoffen een belangrijk uitgangspunt voor het verduurzamen van de koolstofketen. In de onderstaande paragrafen wordt het huidige beleid verder toegelicht.

[69] *Kamerstuk 32813-2280 - Naar een beleidsagenda voor een klimaatneutraal Nederland.*

Doelen energetisch gebruik koolstofdragers

Het kabinet heeft de ambitie dat in 2030 ten minste 2 bcm (billion cubic meters, miljard kubieke m^3) oftewel 70 PJ aan groen gas in Nederland wordt geproduceerd[70]. In het coalitieakkoord is een bijmengverplichting afgesproken van 20% van het gasverbruik in de gebouwde omgeving in 2030, ofwel 1,6 bcm groen gas. Het wetsvoorstel is in de zomer van 2023 in consultatie gegaan en wordt momenteel nader uitgewerkt. Gezien de beperkte hoeveelheden groen gas op dit moment, zet het kabinet voorlopig primair in op het opschalen van groen gas, met de bijmengverplichting als voornaamste instrument.

De Renewable Energy Directive (REDII/REDIII) en de implementatie daarvan in de Jaarverplichting Hernieuwbare Energie Vervoer zorgen op de korte tot middellange termijn (tot 2030) voor een substantiële prikkel voor het gebruik van biobrandstoffen en synthetische brandstoffen (inclusief koolstofvrije energiedragers, met name waterstof).

Voor de scheepvaart zijn op Europees niveau verschillende doelstellingen en maatregelen aangekondigd:

- FuelEU Maritime: vanaf 2025 gaat de verplichting in om de broeikasgasuitstoot van energie gebruikt aan boord van schepen met vastgestelde percentages te verminderen: dit start bij 2% in 2025 en loopt op tot 80% in 2050.
- Het EU Emissions Trading System (EU-ETS) wordt vanaf 2024 uitgebreid naar de zeevaart.
- In EU verband is een akkoord bereikt over normerende en beprijzende maatregelen in de zeevaart. Deze maatregelen gaan gelden voor 100% van de broeikasgasuitstoot op vaarten tussen Europese havens, en voor 50% van de broeikasgasuitstoot op vaarten tussen een Europese en een niet-Europese haven. Vanaf 2030 wordt een verplichting ingevoerd voor aangemeerde schepen in Europese zeehavens om gebruik te maken van walstroom.

Op mondiaal niveau heeft de International Maritime Organization (IMO) In juli 2023 de herziene broeikasgasreductiestrategie vastgesteld naar netto nul uitstoot in of nabij 2050 en met tussentijdse doelen van 20% reductie t.o.v. 2008 (met een streven naar 30%) in 2030, en 70% reductie t.o.v. 2008 (met een streven naar 80%) in 2040. De komende twee jaar wordt

[70] *Kamerstuk 32813 nr. 1146.*

gewerkt aan afspraken over de maatregelen die deze ambitie moeten gaan waarmaken. Deze maatregelen worden uiterlijk in 2025 vastgesteld om in 2027 in werking te kunnen treden.

Ook voor de luchtvaart zijn voor 2030 en 2050 op zowel nationaal als Europees niveau doelen vastgesteld. Met de luchtvaartsector is in het Akkoord Duurzame Luchtvaart afgesproken dat in 2030 14% duurzame brandstoffen worden bijgemengd (dit is als doelstelling overgenomen in de Luchtvaartnota). Het kabinet wil dat in 2050 alle brandstoffen die in Nederland worden getankt duurzaam zijn. In de ReFuelEU Aviation-verordening zijn bijmengverplichtingen tot en met 2050 opgenomen, startend met 2% in 2025 en groeiend naar respectievelijk 6% in 2030, 20% in 2035 en 70% in 2050[71]. De verordening kent ook subdoelen voor synthetische kerosine (RFNBO), waarbij de grootste opgave bij waterstof ligt. Het is niet mogelijk om nationaal een hoger percentage bijmenging sectorspecifiek te verplichten dan Europees geldt – de doelstelling van 14% kan dus niet sectoraal worden verplicht (wel gestimuleerd).

Doelen gebruik koolstofdragers als grondstof (niet-energetisch)

Nederland streeft naar een 100% klimaatneutrale, circulaire én fossielvrije economie[72] in 2050.[73] Dit betekent dat alleen duurzame koolstofdragers worden gebruikt als grondstof. Dit jaar worden de circulaire doelen uitgewerkt om het Nederlandse grondstoffengebruik te beperken tot "binnen planetaire grenzen". Daarnaast zijn er op productniveau doelen uitgewerkt die onderdeel zijn van de koolstofketen in de transitieagenda's van het Nationaal Programma Circulaire Economie.[74] De relevante transitieagenda's zijn die voor kunststoffen en consumptiegoederen. Uitgangspunt is dat het kunststofgebruik zoveel mogelijk wordt teruggebracht. Waar dat niet mogelijk of gewenst is wordt kunststof zo duurzaam mogelijk toegepast.[75]

Ook de Europese Unie heeft als doelstelling om in 2050 circulair te zijn en heeft de ambitie uitgesproken om in 2030 minimaal 20% van de in de chemie gebruikte fossiele koolstof te vervangen door duurzame koolstof.[76] Ook werkt de Europese Unie aan recyclaatverplichtingen op product(groep) niveau. Het kabinet heeft als onderdeel van de Voorjaarsbesluitvorming Klimaat aangekondigd dat het wil vooruitlopen op deze Europese ambitie. Vanaf 2027 wordt een nationale verplichting voor plasticproducenten ingevoerd om de toepassing van gerecycled of biobased plastic te stimuleren. Het voornemen is om de verplichting te laten oplopen naar 25%-30% plastic recyclaat of biobased plastic in 2030.[77] Deze verplichting is van toepassing op alle plastics die in Nederland en voor de Nederlandse markt worden geproduceerd. Export is dus uitgezonderd. De verplichting is beperkt tot plastics. Voor overige koolstofhoudende producten (bijvoorbeeld cosmetica, verf en medicijnen) is er nog geen beleid dat vervanging van fossiele grondstoffen door duurzame alternatieven stimuleert.

Duurzaamheidskader biogrondstoffen

Rondom de inzet van biogrondstoffen leven nog altijd veel maatschappelijke zorgen. Het Duurzaamheidskader biogrondstoffen[78] is binnen het nationale beleid opgesteld om te borgen dat de inzet van biogrondstoffen duurzaam, verantwoord en zorgvuldig gebeurt. Daarmee is het een belangrijk richtinggevend document als het gaat om de koolstofketen. Dit kader is gebaseerd op het rapport 'Biomassa in Balans' van de Sociaal-Economische Raad (SER).[79] Het kader gaat in op verschillende toepassingen van biogrondstoffen.[80] Voor de verschillende transitiefasen is beschreven of de specifieke toepassing moet worden afgebouwd, omgebouwd of opgebouwd. Het geeft daarmee een duidelijke indeling en

[71] *Infographic - Fit for 55: increasing the uptake of greener fuels in the aviation and maritime sectors. RefuelEU (2023)*
[72] *'Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst'. Coalitieakkoord (2022).*
[73] *Kamerstuk 32852 nr. 225 Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030.*
[74] *Kamerstuk 32852 nr. 225 Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030.*
[75] *Kamerstuk 32852 nr. 230 Kamerbrief Circulair plastic.*
[76] *Sustainable Carbon Cycles. Europese Commissie (2021).*
[77] *Kamerstuk 32813 nr. 1230 - Voorjaarsbesluitvorming Klimaat.*
[78] *Kamerstuk 32813 nr. 617 - Duurzaamheidskader biogrondstoffen.*
[79] *Biomassa in balans. SER (2021).*
[80] *Vooralsnog betreft het kader niet alle biogrondstoffen: "Het duurzaamheidskader richt zich op de toepassing van alle soorten biogrondstoffen voor klimaatdoeleinden, inclusief materialen voor de circulaire economie (zoals bijvoorbeeld materialen voor de bouw en grondstof voor de chemische industrie) en het gebruik voor energieopwekking en biobrandstoffen. Conform het SER-advies betreft het duurzaamheidskader vooralsnog niet de inzet van biogrondstoffen voor vezels (papier en textiel) en voor voedselproductie."*

prioritering van verschillende toepassingen van biogrondstoffen, waaraan huidig en toekomstig beleid kan worden getoetst. Voor de inzet van biogrondstoffen is het tevens een randvoorwaarde dat deze duurzaam zijn geproduceerd. Nederland werkt dan ook aan het implementeren van duurzaamheidscriteria voor biogrondstoffen en pleit tevens in Europa voor het invoeren van een uniforme set duurzaamheidcriteria voor alle toepassingen van biogrondstoffen.

Met het duurzaamheidskader is ingezet op een tijdige afbouw van het stimuleren van het gebruik van biogrondstoffen voor laagwaardige energietoepassingen. Op lange termijn worden ook andere energetische toepassingen van biogrondstoffen zoveel mogelijk afgebouwd. Zwaar wegtransport, internationale scheepvaart en luchtvaart worden naar verwachting later afgebouwd dan de andere sectoren. Hoogwaardige toepassingen van biogrondstoffen als materiaal of als grondstof in de chemie worden opgebouwd.

Spanning internationale afspraken en nationale doelen

In het Nationale Programma Circulaire Economie zijn 100% circulair en fossielvrij in 2050 als beleidsdoelstellingen opgenomen. De nationale inzet op fossielvrij voor 2050, die geldt voor zowel de Nederlandse consumptie als productie, staat op gespannen voet met de internationale doelstellingen voor de chemische industrie, lucht- en zeevaart. Op dit moment wordt internationaal de inzet van fossiele koolstofdragers in 2050 voor deze toepassingen niet uitgesloten.

3.2. Mogelijke ontwikkelrichtingen koolstofketen

Belangrijkste trends, onzekerheden en keuzes in de koolstofketen

Om in 2050 als Nederland in 2050 klimaatneutraal[81] te zijn is het essentieel dat het gebruik van fossiele koolstofdragers als brandstof wordt afgebouwd. Om een klimaatneutraal energiesysteem te bereiken in 2050 zullen veel van de huidige toepassingen van koolstofhoudende energiedragers vervangen worden door koolstofvrije alternatieven, namelijk CO_2-vrije elektriciteit, hernieuwbare en koolstofarme ("blauwe") waterstof(dragers) en duurzame warmte. Deze transitie wordt onder andere gestimuleerd doordat het aanbod van emissierechten binnen het EU-ETS naar nul gaat in 2040. Daarnaast vindt sterke inzet plaats op de uitrol van hernieuwbare elektriciteitsproductie en opschaling van het aanbod van hernieuwbare waterstof(dragers).

In sommige sectoren is het gebruik van koolstof onvermijdelijk. In de lucht- en zeevaart blijven koolstofhoudende brandstoffen waarschijnlijk essentieel vanwege de behoefte aan een hoge volumineuze energiedichtheid. Ook de chemische industrie kan niet zonder koolstof, in ieder geval daar waar koolstofhoudende producten worden geproduceerd. Daarnaast zal er een behoefte zijn aan koolstof voor de realisatie van negatieve emissies (koolstofverwijdering, zie paragraaf 3.4). Voor deze toepassingen zal in de toekomst dus behoefte zijn aan duurzame koolstofbronnen.

Rondom de ontwikkeling van de koolstofketen spelen meerdere, overkoepelende onzekerheden over de vraag naar en het aanbod van duurzame koolstofdragers een grote rol. Het is moeilijk om op het moment van schrijven precies te voorspellen wat de totale vraag naar koolstofdragers zal zijn. Niet alleen omdat het onzeker is welke economische activiteiten in Nederland plaatsvinden in 2050, maar ook omdat de vraag naar koolstofdragers sterk samenhangt met de mogelijkheid van inzet van duurzame en koolstofvrije alternatieven (elektriciteit, waterstof en warmte). De mogelijke inzet daarvan hangt af van de beschikbaarheid van deze dragers en de daarvoor benodigde infrastructuur. Samengevat: hoe meer duurzame en koolstofvrije alternatieven in de toekomst kunnen worden gebruikt, hoe minder koolstofdragers (zowel fossiel als duurzaam) er nodig zijn. Daarnaast zijn er grote onzekerheden over de beschikbaarheid van duurzame koolstofdragers. Vraag en aanbod hangen dus nauw met elkaar samen, toch kennen ze ook afzonderlijk hun eigen onzekerheden die in de volgende alinea's worden beschreven.

Onzekerheden aan de vraagkant

De vraag naar koolstofdragers (buiten de binnenlandse energetische vraag) wordt voor een belangrijk deel bepaald door de vraag naar (bunker)brandstoffen voor de internationale mobiliteit en koolstofhoudende chemische producten. De mate waarin die internationale vraag zich vertaalt naar de Nederlandse vraag hangt niet alleen af van hoe de Nederlandse economie zich ontwikkelt, maar hangt ook af van internationale ontwikkelingen. Op het

[81] *Kamerstuk 32813 nr. 1180 – Naar een beleidsagenda voor een Klimaatneutraal Nederland.*

moment dat internationaal het aantal vliegbewegingen bijvoorbeeld afneemt, werkt dit door in de Nederlandse vraag naar koolstofdragers. Dat de chemische sector in Nederland ook in 2050 een plaats heeft ligt voor de hand, maar of de omvang van de sector gelijk is aan die van de huidige sector is onzeker.[82] Gezien de gunstige logistieke hubfunctie van de Rotterdamse haven is er ook in 2050 nog steeds een grote vraag naar brandstoffen voor de scheepvaart te verwachten. Maar een combinatie van onzekerheden maakt de omvang van de toekomstige vraag lastig te voorspellen. In paragraaf 3.4 wordt dit verder uitgewerkt.

Het aandeel koolstofdragers dat in de toekomst (duurzaam) moet worden ingevuld en per wanneer is daarnaast afhankelijk van sectorale doelstellingen. Op nationale sectoren (binnenlandse mobiliteit, gebouwde omgeving en landbouw) heeft de Nederlandse overheid meer grip dan op internationale sectoren (industrie, internationale mobiliteit). De internationale ontwikkelingen op het gebied van klimaat- en circulaire economiebeleid zijn onzeker, maar wel van invloed op de Nederlandse beleidsinzet. Er is een trend te zien van toenemende ambities op het gebied van klimaatdoelen voor internationaal transport en circulaire economie,[83] waarbij de doelen voor de internationale mobiliteit steeds meer in lijn komen met het streven uit het Parijsakkoord om mondiale opwarming tot maximaal 1.5 ˚C te beperken. Deze trend heeft een snellere opschaling van duurzame koolstofdragers en een snellere afbouw van fossiel gebruik tot gevolg. Een voortzetting van deze trend leidt mogelijk tot een internationale ambitie voor het compleet uitfaseren van fossiele brandstoffen in 2050. Een stagnatie van onderhandelingen over internationale doelstellingen zou echter ook op kunnen treden. Hier houdt het gebruik van fossiele koolstofdragers in zowel internationaal transport, als grondstof voor de chemische sector – en buiten Europa mogelijk ook in andere sectoren langer aan.

Hoewel de binnenlandse energetische vraag voor het overgrote deel vervangen kan worden door koolstofvrije energiedragers hangt dit wel sterk af van de (tijdige) beschikbaarheid van deze dragers en het bestaan van een bijbehorende industrie. Deze vraag speelt vooral een sterke rol in de industrie, waar vanwege de snelle daling van het emissieplafond in het ETS veel investeringsbeslissingen rondom verduurzamingsroutes in de komende tien jaar genomen moeten worden. Wanneer elektriciteit of waterstof op die termijn vanwege het ontbreken van voldoende aanbod of de benodigde infrastructuur nog geen haalbare optie zijn zullen veel bedrijven inzetten op een voortzetting van fossiel energiegebruik in combinatie met CO_2-afvang en opslag (CCS).

Bovendien hangt een deel van de koolstofvraag in 2050 af van technologische ontwikkelingen, met name op het gebied van koolstofvrije alternatieven voor de lucht- en scheepvaart (zoals elektrisch vliegen en inzet van ammoniak in de zeevaart). De verwachting is dat deze opties in 2050 nog geen substantieel deel van de koolstofvraag kunnen vervangen, waardoor er een behoefte blijft aan koolstofhoudende brandstoffen. Tot slot erkent het kabinet dat de totale vraag afhankelijk is van de sturing op één van bovengenoemde ontwikkelingsrichtingen. Stuurt de overheid op fossielvrij, zal de vraag naar koolstofdragers afnemen. Is fossiel nog een optie, zal de vraag groter blijven. Kortom, we kunnen de vraag niet los zien van de keuze voor een bepaalde ontwikkelrichting in de koolstofketen.

Onzekerheden aan de aanbodkant

Het aanbod van duurzame koolstofdragers hangt af van het tempo waarin de binnenlandse en internationale productie van duurzame koolstofdragers kan worden opgebouwd. Het internationale opschalingstempo is uiteraard van invloed op de hoeveelheid die Nederland kan importeren. De eerste voorzichtige schatting van de beschikbare binnenlandse capaciteit voor de productie van duurzame koolstofhoudende energiedragers op basis van

[82] *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050, ETES 2050 (2023).*

[83] *Voor de internationale mobiliteit geldt dat de ambities ook vertaald zijn naar bindende doelstellingen. Voor circulaire economie blijft het internationaal vooralsnog bij ambities.*

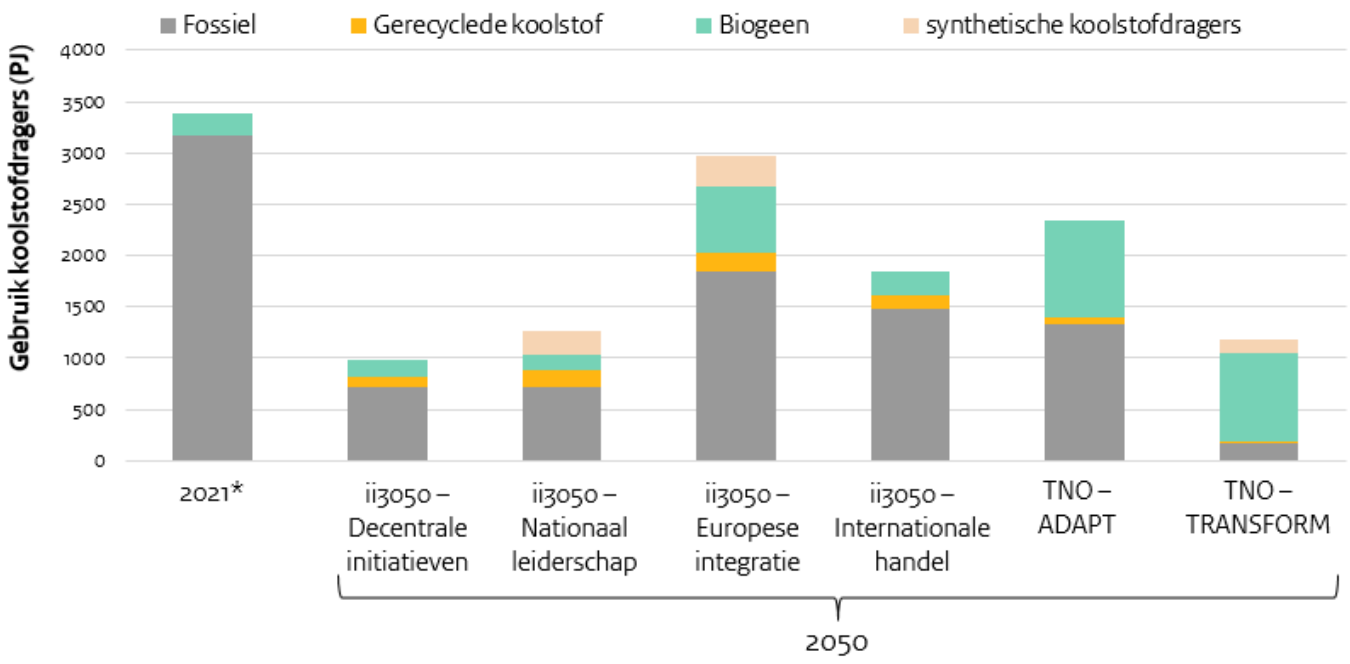
binnenlandse biogrondstoffen[84] en recycling van reststromen[85] komt uit op maximaal 330 PJ. Aanvullend zal Nederland ook een bepaalde hoeveelheid synthetische koolstofdragers kunnen produceren, op basis van niet-fossiele CO_2 en waterstof. Toch zal het gat tussen de vraag en het binnenlandse aanbod aan duurzame koolstofdragers waarschijnlijk groot zijn. Daarmee blijft import van, ofwel duurzame, ofwel fossiele koolstofdragers onvermijdelijk om dit gat op te vullen. Dit betekent dat ook het mondiale opschalingstempo voor duurzame koolstofdragers een belangrijke en onzekere factor is om rekening mee te houden.

Een klimaatneutraal Nederland is niet per definitie hetzelfde als een fossielvrije samenleving. Dit verschil kan worden verklaard door twee aspecten. Het eerste is dat resterend fossiel gebruik voor binnenlands finaal gebruik (zowel voor energetische als niet-energetische toepassingen) kan plaatsvinden binnen een klimaatneutraal systeem door CO_2 uitstoot af te vangen en op te slaan of CO_2 uitstoot te compenseren door koolstofverwijdering (zie tekstbox 2 over koolstofverwijdering in paragraaf 3.4). Een tweede aspect is dat een gedeelte van de uitstoot, door internationale afspraken over de emissieboekhouding, buiten de nationale klimaatdoelen valt. Dit geldt voor de uitstoot van CO_2 door de internationale lucht- en scheepvaart. Deze tweede vorm van resterend fossiel gebruik is vanuit mondiaal klimaatperspectief problematischer omdat CO_2-afvang en opslag technologie voor de lucht- en zeevaart vooralsnog niet beschikbaar is.[86] Bovendien is er nog geen mondiale wetgeving is die compensatie van uitstoot via koolstofverwijdering borgt, wat ook geldt voor uitstoot die ontstaat bij verbranding van geëxporteerde producten in het buitenland (zoals kunststoffen). Voor internationaal transport wordt daarom nu door het kabinet verkend of het mogelijk is een gedeelte van de uitstoot uit deze sectoren onder het nationale klimaatneutraliteitsdoel voor 2050 te laten vallen. Binnen bestaande scenariostudies varieert de verwachte mate waarin fossiele koolstofdragers een rol blijven spelen dan ook sterk (zie Figuur 11).

[84] *Het maximale potentieel voor de inzet van biogrondstoffen voor energie en de chemie is gebaseerd op: Bioscope – toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa, CE Delft (2020). Hierin is gecorrigeerd voor stromen die in een circulaire economie logischerwijs voor materiaaltoepassingen worden ingezet. De stromen die zijn meegenomen zijn: de additioneel vrijkomende biogrondstoffen uit de productiestroom en primaire reststroom in de landbouwketen en de volledige secundaire en tertiaire reststroom uit deze keten. Voor de houtketen zijn alleen de tertiaire reststromen meegenomen. Voor overige stromen zijn groenafval en tertiaire organische afvalstromen meegenomen. Hiermee komt het totale potentieel uit op 243 PJ. In werkelijkheid kan van dit potentieel wellicht slechts een kleiner deel van de reststromen voor het energiesysteem benut worden, omdat voor een deel van de reststromen, vooral in de landbouwketen mogelijk nog hoogwaardigere circulaire toepassingen gevonden worden.*

[85] *Het beschikbare potentieel aan recyclaat uit binnenlands afval is geschat op 40 tot 80 PJ. Deze grove schatting moet verder worden onderzocht. Het gaat daarbij om de totale recyclaatproductie (mechanisch en chemisch) op basis van de aanname dat in 2050 90% van het plastic afval (1600 kton in 2017 (Plasticgebruik en verwerking van plastic afval in Nederland. CE Delft (2019)) wordt ingezameld en gerecycled, dat zich vertaalt naar ongeveer 60 PJ. Omdat het plasticgebruik waarschijnlijk afneemt richting 2050, zal de beschikbaarheid van recyclaat mogelijk lager uitvallen. Daar staat tegenover dit alleen plastics betreft en dat ook andere koolstofhoudende producten gerecycled kunnen worden.*

[86] *Er is in Nederland wel veel onderzoek gaande voor het ontwikkelen van dergelijke technieken, zie bijvoorbeeld het project Everlong.*



*Figuur 11 Vraag naar koolstofdragers in het energiesysteem in 2050 voor energetisch gebruik en voor inzet als grondstof volgens de recente systeemstudies van TNO (2022)[87] en Netbeheer Nederland (2023).[88] Cijfers van de ii3050 studie van Netbeheer Nederland zijn inclusief doorvoer van brandstoffen en producten en de cijfers uit de TNO-studie exclusief. *Vraagcijfers voor 2021[89] betreffen primair energiegebruik inclusief bunkers en exclusief doorvoer.*

Op basis van de hierboven geschetste scenario's komen globaal drie mogelijke ontwikkelrichtingen naar boven:

1. Geen restrictie op inzet fossiele koolstofdragers: ruim baan voor fossiel en CCS, in combinatie met veel koolstofverwijdering om het grote restant aan emissies nog te compenseren (voorbeeld: ADAPT-scenario TNO, 2022)
2. Minimaliseren inzet fossiele koolstofdragers richting 2050, maar beperkt ruimte laten voor inzet fossiel in chemische sector/bunkerbrandstoffen indien alternatieven in 2050 moeilijk of nog onvoldoende voor handen zijn (voorbeeld: TRANSFORM-scenario TNO, 2022).
3. Sturen op fossielvrij in 2050: geen inzet van fossiele koolstofdragers in 2050, wat betekent dat het gebruik van fossiele energiedragers gestaag moet worden uitgefaseerd. Dit betekent ook dat snel moet worden gewerkt aan de opbouw van het aanbod en gebruik van duurzame koolstofdragers.

[87] *Een klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland. TNO (2022).*
[88] *Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's. Netbeheer Nederland (2023).*
[89] *Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik. CBS (2022)*

3.3. Gewenste ontwikkelrichting voor de koolstofketen

Evaluatie ontwikkelrichting 1 op basis van publieke belangen[90]

Bij sturing op ontwikkelrichting 1 is er in 2050 niet zo zeer een probleem van "koolstofschaarste", omdat er meer ruimte blijft voor het gebruik van fossiele grondstoffen dan bij ontwikkelrichtingen 2 en 3. Een groter aanbod aan (deels fossiele) koolstof kan vanuit het perspectief van betaalbaarheid en verdienvermogen voordelig zijn. Deze ontwikkelrichting sluit echter niet aan bij de nationale en Europese ambitie voor een circulaire en fossielvrije economie zoals opgenomen in het coalitieakkoord en sluit ook niet goed aan op het publieke belang van duurzaamheid[91]. Bovendien is er door het ontbreken van sturing op de opschaling van duurzame koolstofdragers in 2050 nog steeds een redelijk beperkt aanbod van dergelijke dragers, waardoor de afhankelijkheid van koolstofdragers langer in stand blijft. Daarnaast levert deze ontwikkelrichting op lange termijn een grote afhankelijkheid op van het afvangen en opslaan van fossiele CO_2 (CCS) en, bij toepassingen waar CCS niet mogelijk is, ook van koolstofverwijdering om klimaatneutraal te worden. Bovendien is het afvangpercentage van CO_2 geen 100%, hoewel innovatieve CO_2-afvangtechnologie hier wel steeds dichterbij in de buurt komt. Een meer langdurig gebruik van fossiele koolstofdragers betekent dat een kleiner deel van de binnenlandse CO_2 opslagcapaciteit beschikbaar blijft voor koolstofverwijdering en dus dat Nederland na 2050 voor een groter aandeel van de benodigde koolstofverwijdering afhankelijk wordt van het buitenland.[92] Hoewel er in Europa in meerdere landen CO_2-opslagcapaciteit wordt ontwikkeld en er een behoorlijk potentieel aan opslagruimte beschikbaar is,[93] is het nog onzeker hoe het aanbod aan koolstofvastleggingsroutes zich zal verhouden tot de vraag. Afhankelijkheid van buitenlands aanbod aan koolstofvastleggingsroutes resulteert in minder invloed van de Nederlandse overheid op de bijbehorende kosten. Dit kan dus de initiële betaalbaarheid van (langer) gebruik van fossiele koolstofdragers uiteindelijk verminderen of zelfs tenietdoen.

De internationale trend is al jaren dat de afspraken over de verduurzaming van internationaal transport eens in de paar jaar verder worden aangescherpt in de richting van fossielvrij, zo is ook weer gebleken bij de IMO-onderhandelingen voor de zeevaart in de zomer van 2023. Ook op de inzet van recyclaat als grondstof zijn op Europees niveau doelstellingen aangekondigd. Dit maakt dat het breed inzetten van koolstofdragers in het gehele toekomstige energiesysteem – en veel ruimte houden voor de inzet van fossiele energiedragers – geen robuust beleid oplevert met een consistente lange-termijn koers. Op basis van deze overwegingen tezamen past ontwikkelrichting 1 niet goed bij een klimaatneutraal en robuust eindbeeld.

Afweging tussen ontwikkelrichting 2 en ontwikkelrichting 3

Aansturen op volledig fossielvrij betekent dat alleen duurzame koolstofdragers kunnen worden ingezet. Omdat duurzame koolstof naar verwachting schaars zal zijn, is het essentieel dat de totale koolstofvraag beperkt wordt en dat het aanbod van duurzame koolstofdragers wordt opgebouwd. Om meer flexibiliteit te behouden voor gevallen waarin deze randvoorwaarden niet tijdig bereikt worden, wordt binnen ontwikkelrichting 2 de mogelijkheid voor (beperkte) inzet van fossiele koolstofdragers opengehouden. Dit maakt dat, wanneer de inzetbaarheid van bijvoorbeeld elektriciteit en waterstof onvoldoende is, het mogelijk is dat bepaalde sectoren terugvallen op het gebruik van fossiele koolstofdragers. Denk hierbij aan een groter aandeel van (binnenlandse) mobiliteit die afhankelijk blijft van (bio)brandstoffen of industrieën die gebruik blijven maken van fossiele energiebronnen in combinatie met CCS.

Om de leveringszekerheid van koolstofdragers en de betaalbaarheid van grondstoffen voor de chemie en brandstoffen voor de transportsector te borgen, ligt er richting 2050 een uitdaging om het aanbod van duurzame koolstofdragers op te schalen. Dit geldt zowel binnenlands als op mondiaal en EU-niveau. Vandaag de dag is Nederland voor het leeuwendeel van de gebruikte koolstofdragers afhankelijk van import. Dit zal ook in de toekomst gelden voor duurzame koolstofdragers. Er bestaat op dit moment wel een

[90] *Zie Verdiepingsdocument A voor een uitgebreide toelichting over de publieke belangen die centraal staan in het NPE*

[91] *Het publieke belang duurzaamheid bevat zowel het tegengaan van klimaatverandering middels emissiereductie, maar ook het beperkten van de impact op milieu en biodiversiteit.*

[92] *Koolstofverwijdering voor klimaatbeleid - Analyse van behoefte, aanbod en beleid voor negatieve emissies in Nederland. CE Delft & TNO (2023).*

[93] *EU Geological CO_2 storage summary, Geological Survey of Denmark and Greenland for Clean Air Task Force (2021)*

internationale markt voor biogrondstoffen, maar die is qua volume niet te vergelijken met de internationale handel in fossiele koolstofdragers. Voldoende opschaling van duurzaam aanbod zal tijd vergen. Ook de markten voor secundaire grondstoffen staan nog in de kinderschoenen. Bij de opschaling van deze markten is het van belang om de negatieve impact van de winning en het gebruik van duurzame bronnen op milieu en biodiversiteit te minimaliseren.

Het leggen van een (te) groot beslag op duurzame koolstofdragers uit het buitenland zou er in sommige gevallen toe kunnen leiden dat er in die landen zelf langer van fossiele koolstofdragers gebruik wordt gemaakt, waarmee het beoogde mondiale klimaateffect weer teniet wordt gedaan. Daarnaast is het mogelijk dat juist het uitfaseren van het laatste deel fossiele koolstofdragers hoge kosten met zich meebrengt. Dit kunnen argumenten zijn om inzet van fossiele koolstofdragers beperkt toe te staan in 2050 en de uitstoot daarvan zo veel mogelijk te mitigeren en de restemissies te compenseren met koolstofverwijdering.

Het aanbod van duurzame koolstofdragers moet van voldoende kwaliteit zijn om het huidige gebruik van fossiele grondstoffen te kunnen vervangen. Dit geldt met name voor specifieke toepassingen in de chemie. Momenteel worden fossiele grondstoffen in de chemie voor uiteenlopende producten gebruikt. Daaronder vallen producten die aan hoge kwaliteitseisen moeten voldoen zoals medicijnen, cosmetica en contactlenzen. Dit betekent dat er technieken en innovaties nodig zijn die uit duurzame koolstofbronnen een homogene en kwalitatief hoogwaardige grondstof maken die geschikt is de productie van dit soort producten. Dit maakt dat de technische haalbaarheid van een volledige overstap naar fossielvrije koolstofbronnen op dit moment nog onzeker is.

Tot slot is het vanuit het perspectief van concurrentievermogen van de Nederlandse industrie wenselijk om in lijn te blijven met internationale doelstellingen voor sectoren met een grote koolstofvraag zoals de chemische industrie en de internationale mobiliteit, om daarmee een gelijk speelveld te bewaren. Dit is een argument om te kiezen voor ontwikkelrichting 2. Daar staat tegenover dat de inzet op volledig fossielvrij nieuwe, duurzamere bedrijvigheid kan aanjagen wat zorgt voor een sterke internationale concurrentiepositie voor Nederland vanwege de koplopersrol. Deze inzet kan dus ook juist toekomstbestendig verdienvermogen opleveren.

Vanuit duurzaamheidsoogpunt is het juist wel wenselijk om ondanks de minder ambitieuze internationale afspraken, nationaal te streven naar een 100% circulaire én fossielvrije economie. Het is nu al duidelijk dat koolstofverwijdering nodig is om de opwarming van de aarde te beperken tot 1,5 graad. Het aanwenden van nieuwe, fossiele grondstoffen in 2050 past daarmee niet in de ambitie om binnen de planetaire grenzen te leven. Fossiele brandstoffen zullen immers altijd leiden tot CO_2-uitstoot. Ook de fossiele grondstoffen in materialen zullen voor een deel tot additionele CO_2-uitstoot (of extra behoefte aan koolstofverwijdering) leiden via afvalverbranding of in het geval van recycling doordat er conversieverliezen plaatsvinden. Binnenlands geldt daarbij dat deze uitstoot kan worden gemitigeerd met CCS, maar voor export van fossiele producten naar buiten Europa is dit moeilijker te borgen.

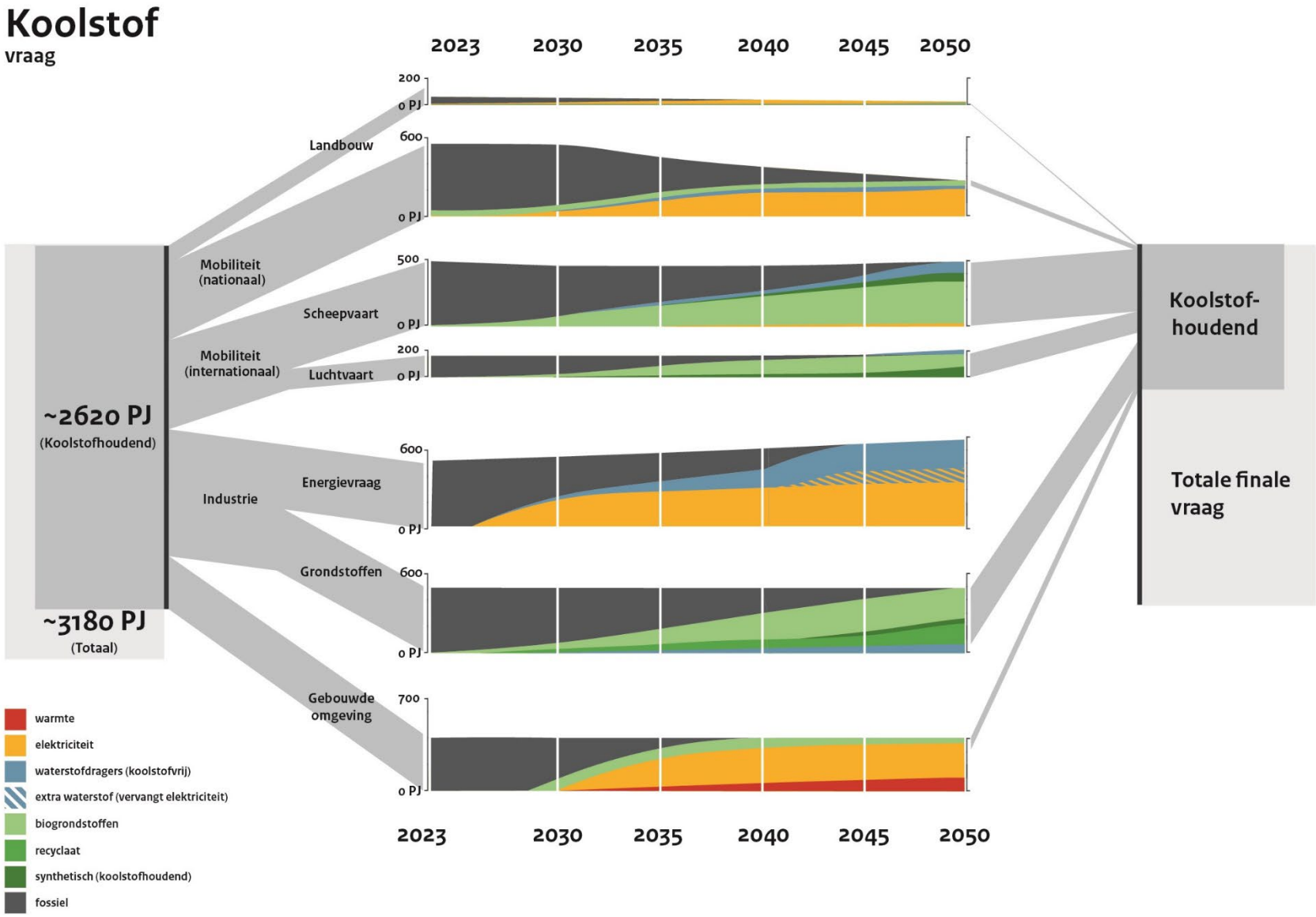
Om te zorgen voor voorspelbaar en robuust, toekomstbestendig beleid is het van belang dat het energiebeleid (richt)doelen kent die zo min mogelijk schuiven. Een helder transitiepad draagt immers ook bij aan de investeringszekerheid van bedrijven. Het sturen op fossielvrij past daarbij en sorteert tegelijkertijd voor op het steeds verder aanscherpen van ambities in internationale sectoren. Dit sluit ook aan bij de binnenlandse beleidsinzet voor de verduurzaming van de brandstofvraag voor internationaal transport. Daarbij moet wel aandacht blijven voor mogelijke beperkingen in het tempo dat Nederland kan maken. Andere landen gaan mogelijk minder snel vooruit. Het is niet mogelijk om nationaal ambitieuzere bindende normen te hanteren dan de afgesproken EU-normen. Als het gebruik van fossiele koolstofdragers in internationaal transport in 2050 geoorloofd blijft zal er internationaal vraag blijven naar fossiele brandstoffen. Dit maakt het lastig voor Nederland om hierop vooruit te lopen en zal implicaties hebben voor onze producerende industrie. Bovendien leidt unilateraal vooruitlopen op dit soort afspraken tot verplaatsing van activiteiten, wat betekent dat er mondiaal geen klimaatwinst is. Inzetten op een minimaal Europese aanpak ligt daarom meer voor de hand.

Het argument dat inzet op fossielvrij onwenselijk is vanuit het oogpunt van leveringszekerheid kan ook vanuit een ander perspectief worden bekeken. Juist in onvoldoende ontwikkelde markten kunnen duidelijke doelstellingen helpen om opschaling van het aanbod aan te jagen. Hierbij kan gedacht worden aan Europese doelen voor hernieuwbare energie en bijmengverplichtingen in de mobiliteit. Dan is het bereiken van

voldoende opschaling nog steeds een uitdaging, maar is er wel een prikkel gecreëerd om de vraag naar koolstofdragers te beperken en duurzaam aanbod te vergroten. Een hard doel op fossielvrij dwingt deze keuzes af, waardoor er uiteindelijk ook meer duurzaam aanbod aan koolstofdragers overblijft voor de sectoren waarvoor koolstofdragers in 2050 hoe dan ook essentieel blijven.

Gewenste beleidsinzet

Het kabinet werkt toe naar een klimaatneutraal, circulair en fossielvrij Nederland. Het kabinet ziet een fossielvrije koolstofketen in 2050 als de gewenste ontwikkelrichting. Omdat er onvoldoende zicht is op de technische en economische haalbaarheid en consequenties van een volledig fossielvrije samenleving in 2050 – en de consequenties daarvan voor internationale sectoren – is het op dit moment niet wenselijk om van een fossielvrije koolstofketen een hard beleidsdoel te maken. Het kabinet zet daarom in op handhaving van "klimaatneutraal– als centraal beleidsdoel voor 2050 (ontwikkelrichting 2), maar hecht er wel aan om in de vormgeving van de beleidsinstrumenten zoveel mogelijk te sturen richting "fossielvrij" (ontwikkelrichting 3). Vooralsnog betekent dit dat er in 2050 indien nodig beperkt ruimte is voor het gebruik van fossiele koolstofdragers. Het aandeel fossiel moet wel zoveel mogelijk worden geminimaliseerd. De komende jaren wordt verder onderzocht wat ervoor nodig is om 2050 als jaartal voor fossielvrij binnen bereik te houden en of daar een concrete doelstelling aan kan worden verbonden. Een belangrijke factor daarin is dat het kabinet zich zal inzetten om in Europees en internationaal verband de doelstellingen voor luchtvaart, scheepvaart en de chemische sector in lijn te brengen met de nationale ambities voor de lucht- en scheepvaart en de nationale doelstellingen uit het Nationaal Programma Circulaire Economie. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt de gewenste ontwikkelrichting verder uitgewerkt. Figuur 12 is een schematische weergave van de ontwikkeling van de koolstofketen, waarin zowel de afname van de totale vraag naar koolstofhoudende energiedragers als de ingroei van duurzame koolstofdragers zichtbaar is.



Figuur 12. Indicatieve ontwikkeling van de finale vraag naar koolstofdragers (2023-2050) per sector inclusief opbouw van alternatieven (elektriciteit, waterstofdragers, warmte).

Schets van de ontwikkeling van de koolstofketen richting 2035 en 2050

Nu – 2035

Tussen nu en 2035 zal het totale gebruik van koolstofdragers al sterk afnemen door het vervangen van fossiele koolstofdragers door elektriciteit en in beperkte mate ook door hernieuwbare waterstof en duurzame warmte. Binnen de elektriciteitssector zal de afname in het gebruik van koolstofdragers relatief het meest substantieel zijn. Naast (de voorkeursopties) hernieuwbare en koolstofarme waterstof is er mogelijk na 2035 nog behoefte aan CO_2-vrije[94] koolstofdragers (biogrondstoffen, aardgas met CCS) voor CO_2-vrij regelbaar vermogen. Tegelijkertijd wordt er ook gewerkt aan de verduurzaming van het aanbod van koolstofdragers en wordt gewerkt aan de opbouw van de daarvoor benodigde productie (en import). In de lucht- en scheepvaart groeit het aandeel hernieuwbare brandstoffen van een zeer gering aandeel vandaag de dag naar rond de 15% in 2035. Ook in de chemie zal het aandeel duurzame grondstoffen tegen die tijd sterk zijn gegroeid. Figuur 13 laat op schematische wijze het huidige koolstofgebruik zien. Figuur 14 geeft het verwachte koolstofgebruik in 2035 weer, waarin dus ook de beschreven ontwikkelingen zichtbaar worden.

2035-2050

De totale finale vraag naar koolstofdragers binnen Nederland (dus exclusief doorvoer naar buurlanden) wordt op basis van de verschillende sectorale transitiepaden geschat tussen 1000-1400 PJ in 2050.[95] 1000 tot 1400 PJ aan energiedragers in de vorm van verschillende typen koolstofdragers staat grofweg gelijk aan 19 tot 26 Mton koolstof.[96] Dit betreft een schatting, omdat het afhangt van welke typen koolstofdragers zullen worden ingezet (zie ook tekstbox 1 voor een toelichting op de omrekening van PJ naar Mton C).

Het grootste deel van de vraag is afkomstig van de internationale mobiliteit en de chemische sector. Daarnaast is in deze totale vraagschatting opgenomen dat er beperkt ruimte blijft voor inzet van koolstofdragers voor toepassingen waar alternatieven beschikbaar zijn, maar waar het vanwege uitvoerbaarheid of betaalbaarheid wenselijk is om koolstofdragers te blijven inzetten. Dit geldt bijvoorbeeld voor de (beperkte) inzet van groen gas in de gebouwde omgeving en de inzet van koolstofhoudende brandstoffen voor de binnenvaart en zwaar wegtransport. Het gewenste eindbeeld voor de koolstofketen in 2050 is schematisch weergegeven in Figuur 15 en Figuur 16. In Figuur 16 zijn ook de omzettingsverliezen zichtbaar. De aanname is dat er sprake is van 20% omzettingsverliezen. De finale vraag is dus 20% minder dan de primaire vraag.[97]

In 2050 zal er ook vraag zijn naar koolstof ten behoeve van de realisatie van negatieve emissies (hierna: koolstofverwijdering). Hoe hoger de hoeveelheid restemissies, hoe meer koolstofverwijdering gerealiseerd moet worden om te komen tot een klimaatneutrale samenleving in 2050. Daarnaast is er nog overige vraag naar (niet-fossiele) CO_2, bijvoorbeeld als meststof in de glastuinbouw en als grondstof in de voedingsmiddelenindustrie.[98] Een deel van de vraag naar niet-fossiele CO_2 voor koolstofverwijdering en overige toepassingen kan mogelijk worden ingevuld met CO_2 die vrijkomt bij de verwerking van koolstofdragers (omzettingsverliezen) waardoor dit niet leidt tot “extra” vraag naar koolstofdragers ten opzichte van de 19-26 Mton C voor energetische toepassingen en de chemie. Daarnaast kan een deel van de vraag naar koolstofdragers voor de chemie overlappen met de vraag naar koolstofdragers voor koolstofverwijdering, omdat koolstof die wordt vastgelegd in producten mogelijk ook een bijdrage kan leveren aan de hoeveelheid gerealiseerde koolstofverwijdering. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 3.4. De vraag naar koolstofdragers van 1000-1400 PJ is dus expliciet de vraag naar koolstofhoudende

94 Strikt genomen zijn aardgas met CCS en koolstofarme waterstof niet helemaal CO_2-vrij, omdat afvang van CO_2 niet 100% is.

95 Een optelling van de vraag naar koolstofdragers in de verschillende sectoren komt in de basis uit op afgerond 1100 PJ. Deze vraag zou kunnen oplopen (richting de 1400 PJ) op het moment dat het aanbod aan koolstofvrije alternatieven tegenvalt. Zie ook paragraaf 3.4.

96 Schatting op basis van energie- en koolstofinhoud van verschillende koolstofdragers. De verdeling tussen verschillende typen koolstofdragers is deels gebaseerd op de sectorale transitiepaden en deels gebaseerd op aannames. Zie ook paragraaf 3.4.

97 1100 PJ aan finale vraag (het basispad, zie ook voetnoot 95) betekent 1375 PJ aan primaire vraag naar koolstofdragers.

98 De vraag naar (extern geleverde) CO_2 als meststof in de glastuinbouw wordt voor 2040 (aanname dat dit gelijk is voor 2050) geschat op ongeveer 2,5 Mton CO_2 – gelijk aan ongeveer 0,7 Mton C. De CO_2-vraag voor overige toepassingen bedraagt op dit moment ongeveer 1 Mton CO_2 – gelijk aan ongeveer 0,3 Mton C (The Market for CO_2. Royal HaskoningDHV (2020)).

energiedragers voor energetische toepassingen en de chemie en omvat slechts gedeeltelijk de vraag naar koolstof voor koolstofverwijdering en overige toepassingen.

Het binnenlandse productiepotentieel voor biogrondstoffen wordt ingeschat op maximaal 250 PJ[99] en het productiepotentieel voor recyclaat is in de ordegrootte van 40-80 PJ[100]. Daarnaast kan Nederland wellicht nog een bepaald volume aan synthetische koolstofdragers produceren met niet-fossiele CO_2 als koolstofbron en waterstof als energiebron. Het productiepotentieel hiervoor wordt dus beperkt door het beschikbare aanbod van (betaalbare) waterstof, elektriciteit en niet-fossiele CO_2. Bovengenoemde schattingen betreffen het beschikbare primaire aanbod[101] van duurzame koolstofdragers. Omdat bij de productie van de benodigde producten en brandstoffen (aanzienlijke) omzettingsverliezen optreden is dit potentieel niet direct te vertalen naar een getal dat de vraag dekt.[102] Daarbij geldt wel dat de CO_2 die vrijkomt bij conversie van biogrondstoffen mogelijk kan worden ingezet voor de productie van synthetische koolstofdragers (afhankelijk van beschikbaarheid waterstof en elektriciteit). De energieverliezen die optreden leiden dus niet per definitie tot "koolstofverlies".[103] De toepassing van niet-fossiele CO_2 voor synthetische koolstofdragers concurreert in dat geval met overige toepassingen van niet-fossiele CO_2, namelijk koolstofverwijdering en overige toepassingen van CO_2 (als meststof of in de voedingsmiddelenindustrie).

Het is zo goed als zeker dat het binnenlandse aanbod van duurzame koolstofdragers ontoereikend zal zijn om aan de verwachte vraag te voldoen. Deze constatering is in lijn met bevindingen uit de recent gepubliceerde scenariostudie van de netbeheerders en verkennende analyses van het Sustainable Industry Lab.[104] Het Sustainable Industry Lab komt uit op een totale koolstofvraag van ongeveer 20 Mton koolstof voor internationale mobiliteit en grondstoffen voor de chemie[105] en spreekt de verwachting uit dat mogelijk slechts 15% hiervan (~3 Mton) met binnenlands aanbod kan worden ingevuld. Ook het Expertteam Energiesysteem (ETES) 2050 verwacht een grote importbehoefte.[106] Het kabinet voorziet dus dat er in de koolstofketen een grote importbehoefte blijft, net als in het huidige systeem, waar ook het overgrote deel aan fossiele koolstofdragers wordt geïmporteerd.

99 Zie voetnoot 84

100 Zie voetnoot 85

101 De mate waarin de finale vraag naar koolstofdragers en het binnenlandse primaire aanbod verschillen hangt af van de vorm waarin de koolstofdragers in Nederland bewerkt worden. Bij bewerking van ruwe biomassa zijn de verliezen vrij groot, hetgeen leidt tot een hogere primaire vraag. Als meer bewerkte vormen van (geïmporteerde) biogrondstoffen (bijvoorbeeld biopyrolyse-olie) worden gebruikt zijn deze verliezen aanzienlijk lager. Bij import van finale producten zoals bio-ethanol is de primaire vraag gelijk aan de finale vraag. De vorm waarin biogrondstoffen geïmporteerd worden is dus van belang voor de omvang van de omzettingsverliezen en daarmee de primaire vraag.

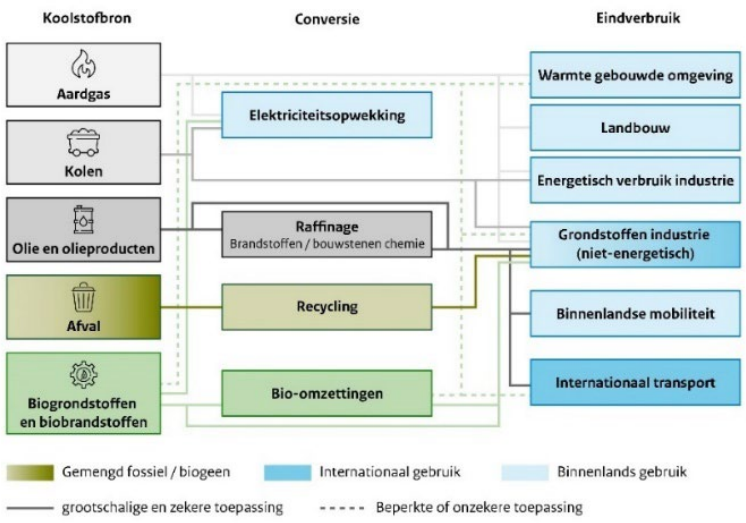
102 De aanname in dit hoofdstuk is dat de omzettingsverliezen gemiddeld 20% bedragen. Zie voetnoot 97.

103 Deze koolstofverliezen – vaak in de vorm van gasvormige koolwaterstoffen of CO_2 – gaan dus niet per definitie voor de koolstofketen verloren. Restgassen worden nu vaak ingezet voor de energiebehoefte (vaak in WKKs) van het raffinageproces. Deze gassen zouden echter direct als grondstofstroom kunnen worden ingezet. Ook de CO_2 kan bij afvang worden benut als koolstofbron bij de productie van synthetische koolstofdragers of worden gebruikt voor het realiseren van koolstofverwijdering.

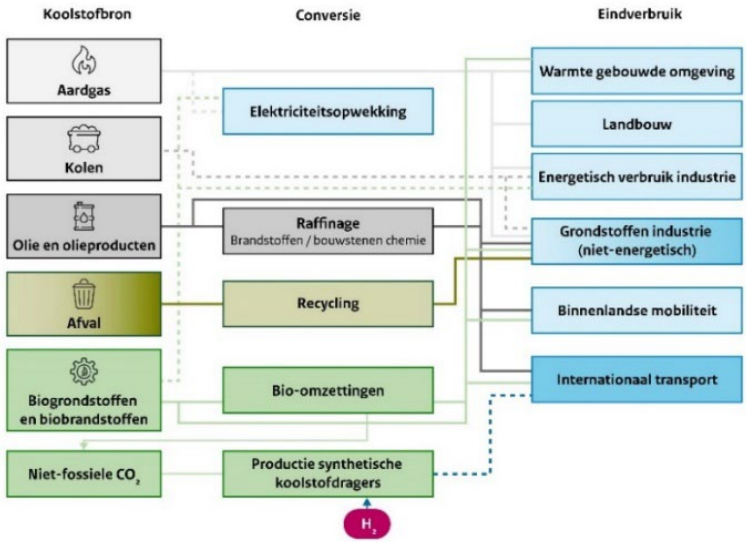
104 Groene keuzes voor de Nederlandse basisindustrie. Sustainable Industry Lab (2023)

105 Dit is exclusief resterende vraag naar koolstofdragers voor de gebouwde omgeving, binnenlandse mobiliteit, de glastuinbouw, de benodigde koolstof voor koolstofvastlegging (koolstofverwijdering). Zie paragraaf 3.4. Het Sustainable Industry Lab gaat ervanuit dat van de 20 Mton ongeveer 15 Mton in producten terecht komt.

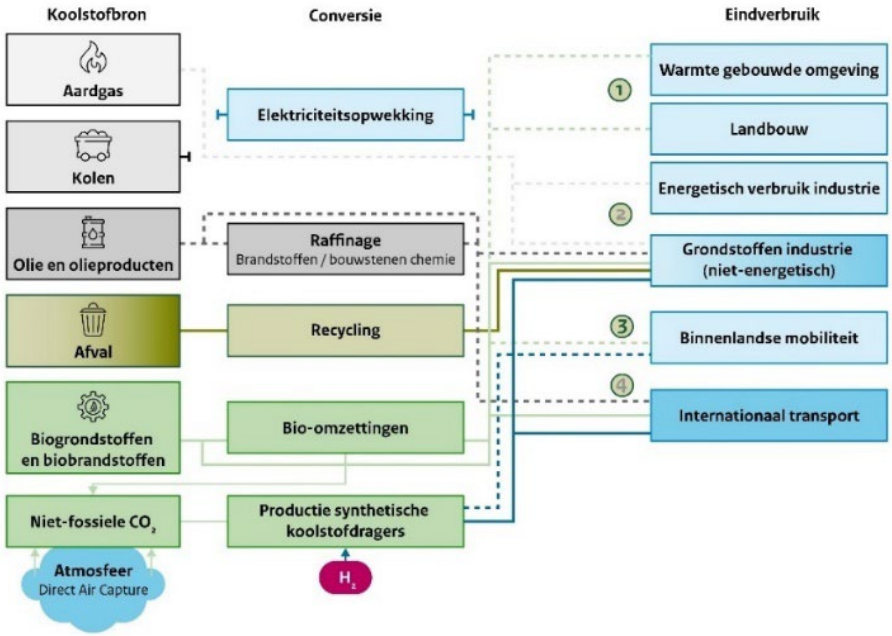
106 Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050. ETES 2050 (2023).



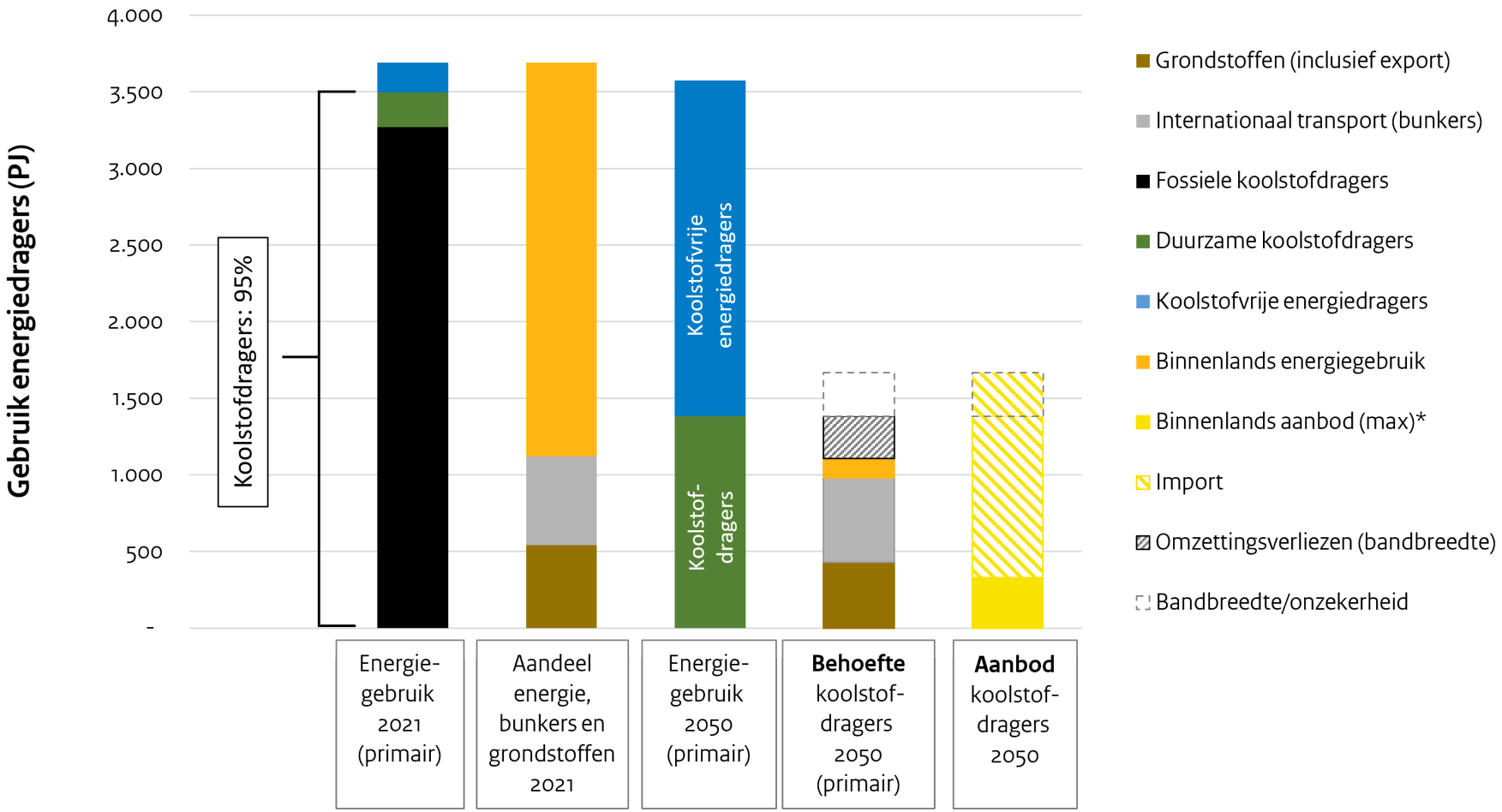
Figuur 13. Schematische weergave van de huidige koolstofstromen.



Figuur 14 Schematische weergave van de verwachte koolstofstromen in 2035.



Figuur 15. Schematische weergave van de verwachte koolstofstromen in 2050. In het eindbeeld is sprake van resterend energetisch koolstofgebruik, met name in de gebouwde omgeving (1) en binnenlandse mobiliteit (3). Het is nog onzeker of er sprake is van resterend fossiel koolstofgebruik in de industrie (2) en de internationale mobiliteit. Ontbrekend in de figuur: toepassing van niet-fossiele CO_2 voor koolstofverwijdering en overige CCU-toepassingen.



*Figuur 16. Verandering van vraag en aanbod in koolstofketen tussen nu en 2050 op basis van sectorale transitiepaden (verdiepingsdocument C) en overige inschattingen uit het NPE. * In de inschatting van het maximale binnenlands aanbod is het Nederlandse biogrondstoffenpotentieel dat beschikbaar is voor energie en chemie meegenomen evenals een inschatting van de beschikbaarheid van recyclaat op basis van in Nederland gegenereerd afval. De productie van synthetische koolstofdragers is niet in het binnenlandse potentieel meegenomen, omdat de productie hiervan wat betreft koolstofinput voor een groot deel afhankelijk is uit CO_2-reststromen die vrijkomen bij het gebruik van (geïmporteerde) biogrondstoffen. CO_2 vastlegging door middel van direct air capture (DAC) is vooralsnog niet in het binnenlandse aanbod potentieel meegenomen, maar biedt mogelijk extra aanbod aan niet-fossiele CO_2 (zie ook paragraaf 3.4).*

Uitgangspunten die volgen uit de ontwikkelrichting

De haalbaarheid van een fossielvrije economie in 2050 is nog onzeker. Wat wel zeker is, is dat de Nederlandse economie uiteindelijk fossielvrij zal worden. Daarom vindt het kabinet het belangrijk om nu al stappen te zetten die voorsorteren op een fossielvrije toekomst. Voorsorteren op een fossielvrije toekomst betekent ook voorsorteren op de verwachte schaarste aan duurzame koolstofdragers. Uit de grove schets van het eindbeeld van de koolstofketen in 2050 komt naar voren dat het systeem verandert van een systeem met overvloedig gebruik van (fossiele) koolstofdragers naar een systeem met beperkt beschikbare duurzame koolstofdragers. Dit leidt tot de volgende uitgangspunten voor de omgang met koolstofdragers in het beleid:

1. Beperk de vraag naar duurzame koolstofdragers (zie Figuur 17 op pagina 71) .
   - Stuur op efficiënte inzet van duurzame koolstofdragers door koolstofhoudende energiedragers te vervangen met koolstofvrije energiedragers wanneer koolstof niet essentieel is.
   - Reduceer en verduurzaam blijvende vraag naar koolstofdragers voor (bunker)brandstoffen en de chemische industrie.
2. Maximaliseer het aanbod aan duurzame koolstofdragers.
   - Maximaliseer zowel het binnenlands productiepotentieel als de benutting daarvan.
   - Stel een importstrategie op.

Omdat de verwachting is dat duurzame koolstofdragers niet overvloedig beschikbaar zullen zijn, is het belangrijk om de toepassing van koolstofdragers op systeemniveau zoveel mogelijk te beperken. Dit is nodig om de betaalbaarheid te borgen van het energiesysteem als geheel en om de leveringszekerheid te garanderen van duurzame koolstofdragers voor de toepassingen waarvoor ze onmisbaar zijn. Dit kan enerzijds door de vraag zoveel mogelijk te beperken, bijvoorbeeld door te sturen op energie-efficiëntie en duurzamere consumptiepatronen. Anderzijds kan dit worden bewerkstelligd door waar mogelijk in te zetten op koolstofvrije energiedragers en grondstoffen. Vooral de inzet van elektriciteit en waterstof voor energetische toepassingen (waar nu (fossiele) koolstofdragers worden gebruikt) kan de totale vraag naar koolstofdragers aanzienlijk verkleinen. Bij inzet van koolstofdragers als grondstof is het vervangingspotentieel beperkter dan bij energetisch gebruik, doordat het merendeel van de eindproducten koolstofhoudend is.

Concreet betekent de bovengenoemde inzet op vervanging dat koolstofdragers vooral zullen worden ingezet in de koolstofchemie en in de internationale mobiliteit (lucht- en zeevaart) en alleen als sluitstuk in de gebouwde omgeving en binnenlandse mobiliteit. Daar waar koolstof niet strikt noodzakelijk is, maar wel heel wenselijk vanwege uitvoerbaarheids- of betaalbaarheidsgronden, blijft er beperkt ruimte voor de inzet van koolstofdragers. Het kabinet voorziet een behoefte aan groen gas in de gebouwde omgeving, beperkte inzet van biobrandstoffen voor zwaar wegtransport en een zeer beperkte resterende inzet in de landbouw.

Naast een sterke inzet op het zoveel mogelijk beperken van de vraag naar koolstofdragers, zal het beleid zich ook moeten richten op het vergroten van het aanbod van duurzame koolstofdragers. Dit is nodig om het resterende aandeel fossiel in 2050 zo klein mogelijk te houden. Het betekent inzet op het zoveel mogelijk benutten van het binnenlandse productiepotentieel, maar ook op beleid dat gericht is op de import van duurzame koolstofdragers. Vanuit het perspectief van leveringszekerheid en betaalbaarheid van koolstofdragers moet dit beleid er in eerste instantie op gericht zijn het wereldwijde aanbod van duurzame koolstofdragers te vergroten. Vanuit het perspectief van mondiale rechtvaardigheid is het namelijk niet wenselijk als Nederland een buitenproportioneel groot beslag zou leggen op het mondiaal beschikbare aanbod aan duurzame koolstofdragers.

In de komende paragrafen wordt eerst de ontwikkeling van de vraag naar en het aanbod aan duurzame koolstofdragers in meer detail uitgewerkt (paragraaf 3.4). Vervolgens wordt in paragraaf 3.5 geschetst hoe de bovengenoemde beleidsuitgangspunten kunnen worden vertaald naar beleid.

Figuur 17. Uitgangspunten beleidsinzet koolstofketen. Ontbrekend in deze figuur: inzet van koolstof voor de realisatie van negatieve emissies (koolstofverwijdering).

3.4. Uitwerking van de gewenste ontwikkelrichting

Efficiënte inzet van koolstof: sturen op alternatieven per sector

Binnen het huidige beleid wordt nog op meerdere plaatsen uitgegaan van de inzet van koolstofdragers voor toepassingen waarvoor ook alternatieve koolstofvrije toepassingen bestaan. De potentiële vraag die voortkomt uit de mogelijke toepassingen waarin koolstofdragers kunnen worden ingezet, is veel groter dan het beschikbare aanbod. Dit betekent dat er zoveel mogelijk gestuurd moet worden op koolstofvrije alternatieven bij toepassingen waar dit mogelijk is. Een dilemma dat hieruit voortkomt, is dat de ideale inzet van koolstofdragers bezien vanuit fysieke schaarste er in sommige sectoren toe kan leiden dat de kosten van verduurzaming (veel) hoger worden. Hoewel de prijs van schaarse koolstof zal stijgen, zijn er toepassingen waarvoor koolstofvrije alternatieven nog veel duurder zullen zijn. Enerzijds moet de inzet van koolstofdragers dus zoveel mogelijk beperkt blijven, anderzijds moet het uitvoerbaar en betaalbaar houden van het bereiken van een klimaatneutrale samenleving in 2050 worden meegewogen, ook met het oog op een rechtvaardige verdeling van lusten en lasten over sectoren en gebruikers en het behouden van draagvlak voor de energietransitie. Dit betekent dat voor sommige gevallen verdedigbaar is om in beperkte mate van de inzet op alternatieve energiedragers af te wijken.

Het is van belang om te voorkomen dat meerdere sectoren zich rijk rekenen met hetzelfde beperkte aanbod aan duurzame energiedragers, zoals ook benadrukt in het ii3050-rapport.[107] Dit geldt zeker ook voor duurzame koolstofdragers. Het afzetten van de totale verwachte vraag (optelsom van alle sectoren) tegen het totale verwachte beschikbare aanbod, helpt daarbij. In deze paragraaf wordt daarom per sector uiteengezet in hoeverre de huidige koolstofvraag kan worden vervangen door alternatieve energiedragers. Dit resulteert in een inschatting van de resterende vraag naar koolstofdragers in 2050.

Elektriciteit

De elektriciteitssector maakt nu nog voor een aanzienlijk deel gebruik van fossiele koolstofdragers (kolen, aardgas) en duurzame koolstofdragers (biogrondstoffen) voor elektriciteitsopwekking, maar het aandeel hernieuwbare koolstofvrije energie (zon, wind en op termijn kernenergie) neemt steeds verder toe. In het gewenste eindbeeld voor 2050 spelen koolstofdragers in de elektriciteitssector geen rol. In de elektriciteitssector is elektriciteitsproductie uit kolen na 2029 verboden. Het streven van het huidige kabinet is om de elektriciteitsketen in 2035 CO_2-vrij te maken. Dit streven kan op gespannen voet staan met het borgen van de leveringszekerheid en betaalbaarheid van elektriciteit. Met name doordat het realiseren van voldoende CO_2-vrij regelbaar vermogen een uitdaging vormt. Naast (de voorkeursopties) hernieuwbare en koolstofarme waterstof zijn aardgas met CCS en biogrondstoffen (met of zonder CCS) CO_2-vrije koolstofdragers[108] die zouden kunnen voorzien in de behoefte aan regelbaar vermogen in 2035. Aan deze opties hangen verschillende (ongelijksoortige) voor- en nadelen of beperkingen wat betreft tijdige beschikbaarheid. Het is nog onduidelijk of en, zo ja, hoeveel CO_2-vrije koolstofdragers er na 2035 nodig zijn om de behoefte aan regelbaar vermogen in te vullen.

Daarnaast is er een behoefte aan het realiseren van negatieve emissies (koolstofverwijdering). Elektriciteitsproductie uit biogrondstoffen in combinatie met afvang en opvang van de biogene CO_2 die hierbij vrijkomt is één van de routes die bij kan dragen aan koolstofverwijdering (zie tekstbox 2). In hoeverre het wenselijk is om aardgas met CCS of biogrondstoffen (met of zonder CCS) na 2035 nog tijdelijk in te zetten voor capaciteit aan regelbaar vermogen of, in het geval van biogrondstoffen met CCS, de realisatie van koolstofverwijdering in de elektriciteitssector moet verder worden onderzocht en worden bekeken in samenhang met het Duurzaamheidskader biogrondstoffen. Dit hangt ook samen met de verwachte toenemende schaarste van duurzame koolstofdragers in verband met toenemende vraag uit andere sectoren en moet worden afgewogen tegen de beschikbare alternatieve routes.

[107] *Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's. Netbeheer Nederland (2023).*

[108] *Strikt genomen is de inzet van aardags met CCS niet CO_2-vrij maar CO_2-arm, omdat afvang van CO_2 geen 100% bedraagt. Hetzelfde geldt voor koolstofarme waterstof.*

Energetisch gebruik industrie

Op dit moment worden in de industrie veel (fossiele) koolstofdragers gebruikt voor energetische toepassingen. De Cluster Energiestrategieën (CES) zetten erop in om de huidige inzet van koolstofdragers zoveel mogelijk te vervangen door elektriciteit en waterstof en dus geen biogrondstoffen in te zetten voor hoge-temperatuur proceswarmte in de industrie. Het kabinet doet er alles aan om, zoals te lezen is de hoofdstukken elektriciteit (verdiepingsdocument B, hoofdstuk 1), waterstof (verdiepingsdocument B, hoofdstuk 2) en het sectorale transitiepad industrie (verdiepingsdocument C, hoofdstuk 3) de hiervoor benodigde infrastructuur voldoende op te schalen. Dit betekent dat er in het hier geschetste gewenste eindbeeld geen koolstofdragers worden gebruikt voor (finaal) energiegebruik[109] in de industrie. Het kabinet realiseert zich dat indien de opschaling van de benodigde infrastructuur onvoldoende lukt, de vraag naar hoge-temperatuur warmte verschuift van waterstof naar biogrondstoffen of fossiel in combinatie met CCS.[110] Indien biogrondstoffen in combinatie met CCS worden ingezet, zou dit bijdragen aan de realisatie van koolstofverwijdering.

Binnenlandse mobiliteit

Ook voor de binnenlandse mobiliteit (personenvervoer, zwaar wegtransport, binnenvaart) geldt dat het kabinet zoveel mogelijk inzet op de verduurzaming met koolstofvrije energiedragers. Voor het transport op de weg en de binnenvaart betekent dit dat zoveel mogelijk inzet op elektrificatie, waar nodig aangevuld met waterstof. Dit neemt niet weg dat in de transitiefase richting 2050 biobrandstoffen vanwege een gebrek aan (voldoende) alternatieven een belangrijke rol spelen in de reductie van CO_2-uitstoot. Bepaalde toepassingen zullen dus op korte termijn eerst worden opgebouwd en daarna worden afgebouwd. Dit geldt voor de inzet van biobrandstoffen voor een breed scala aan toepassingen, vooral in het zwaar wegtransport en de binnenvaart. Om een lock-in te voorkomen zet het kabinet ook in op alternatieve ontwikkelingen, zoals bijvoorbeeld het gebruik van waterstof in deze sectoren. Zo heeft het kabinet middelen gereserveerd voor een subsidie voor waterstof in het zwaar wegvervoer en de binnenvaart.[111] Ook voor de mobiliteit geldt dat hoe sneller het lukt om te elektrificeren en voldoende waterstof te produceren, hoe eerder de toepassing van biobrandstoffen (en fossiele brandstoffen) in de binnenlandse mobiliteit kan worden afgebouwd.

In het eindbeeld voorziet het kabinet een beperkte rol voor biobrandstoffen (ordegrootte 30-40 PJ) voor zwaar wegtransport en de binnenlandse scheepvaart. De uitdaging is om deze hoeveelheid beperkt te houden door voldoende in te zetten op de ontwikkeling van alternatieven (zie ook het sectorale transitiepad mobiliteit in verdiepingsdocument C, hoofdstuk 2). Gezien het feit dat er tot 2035 nog auto's met verbrandingsmotoren worden verkocht, waarvan een deel ook nog in 2050 zal rondrijden, rijst de vraag hoe de energievoorziening voor de resterende voertuigen zal worden ingevuld.

Gebouwde omgeving

Voor het invullen van de warmtevraag in de gebouwde omgeving zet het kabinet in op een brede aanpak gericht op energiebesparing, isolatie, de uitrol van warmtenetten en de uitrol van volledig elektrische en hybride warmtepompen in combinatie met duurzaam gas (groen gas of waterstof). In de gebouwde omgeving is het eindbeeld daarmee zoveel mogelijk koolstofvrij. Dit past binnen het beeld om de toepassing van duurzame gassen in de gebouwde omgeving als sluitstuk te beschouwen voor dat deel van de gebouwen waar de alternatieven – warmtenetten en all-electric-oplossingen – zeer kostbaar of niet toepasbaar zijn. Daar waar duurzame gassen nodig blijven is het uitgangspunt dat deze worden ingezet in hybride warmtepompen. Daarnaast zullen duurzame gassen en biogrondstoffen mogelijk ook een beperkte maar belangrijke rol spelen in het verduurzamen van de piekwarmtelevering bij warmtenetten.

Het Programma Groen Gas richt zich tot 2030 primair op opschaling van de productie, waarbij groen gas tot 2030 voornamelijk wordt ingezet in de gebouwde omgeving. De inzet van groen gas na 2030 is mogelijk in meerdere sectoren en is mede afhankelijk van de vraag vanuit de sectoren en de totale beschikbaarheid van groen gas. Richting 2050 wordt de inzet

[109] *Bij verwerking van biogrondstoffen en recyclaat tot eindproducten treden verliezen op, onder meer in de vorm van restgassen. Vandaag de dag worden deze primaire energieverliezen vaak energetisch toegepast. Dergelijke energetische inzet van koolstofdragers betreft geen finaal energiegebruik en is dus ook niet in de hier getoonde kwantitatieve figuren meegenomen.*

[110] *Daarom is in de bandbreedte in Figuur 16 ook beperkte energetische inzet van koolstofdragers in de industrie meegenomen in lijn met het Nationale drijfveren scenario uit II3050.*

[111] *Kamerstuk 32813 nr. 1230 - Voorjaarsbesluitvorming Klimaat.*

van groen gas in de gebouwde omgeving als sluitstuk beschouwd voor toepassingen waarbij alternatieven niet realistisch zijn. De ii3050 scenario's (2023)[112] gaan voor 2050 uit van een totale resterende behoefte aan groen gas in de gebouwde omgeving van 30-80 PJ op een totale behoefte van 35-120 PJ aan duurzame gassen. Binnen het NPE wordt in het centrale scenario uitgegaan van 75 PJ[113] aan duurzame gassen, wat in andere scenario's kan oplopen tot circa 140 PJ, plus ongeveer 15 PJ inzet van groen gas en biogrondstoffen voor het invullen van de pieklast van warmtenetten. In welke mate de behoefte aan duurzame gassen in 2050 ingevuld wordt met groen gas of met waterstof hangt af van de relatieve beschikbaarheid en prijzen van deze gassen. Daarnaast hangt de totale inzet van duurzame gassen ook samen met de technische ontwikkelingen van de alternatieven zoals all-electric systemen en de relatieve kosten daarvan.

Landbouw

In de landbouwsector zet het kabinet ook in op het minimaliseren van het gebruik van koolstofdragers voor de warmtevoorziening. In de glastuinbouw wordt het aardgasgebruik volledig afgebouwd en resteert een verwachte vraag van 8 PJ aan groen gas en biogrondstoffen (zie ook verdiepingsdocument C, hoofdstuk 4). Ook hier geldt dat het tempo van de opbouw van alternatieven bepalend is voor de vraag naar koolstofdragers. Voor de landbouw geldt ook dat er mogelijk sprake is van inzet van lokaal geproduceerd biogas. Naast de energietoepassing kent de landbouw ook de toepassing van CO_2 als meststof in de teelt, welke nu vaak afkomstig is uit de verbranding van aardgas in warmte-krachtkoppelinginstallaties (WKK's) en gasketels of uit de industrie. Doordat bedrijven in een klimaatneutrale glastuinbouw geen gebruik meer maken van aardgasgestookte WKK's zal de CO_2 die zij nodig hebben voor de teelt extern geleverd moeten worden. Als het koolstofgebruik voor energietoepassingen afneemt, zal ook de beschikbaarheid van CO_2 - voor de mesttoepassing afnemen. Daarom wordt ingezet op besparing van de toepassing van CO_2 als meststof in de teelt, maar deze zal belangrijk blijven voor het verdienvermogen van glastuinbouwbedrijven en daarvoor zal dus gezocht moeten worden naar duurzame bronnen voor niet-fossiele CO_2. Op dit gebied zijn er onder andere koppelkansen met biogasproductie waar ook veel biogene CO_2 bij vrijkomt, welke kan worden ingezet voor duurzame CO_2 bemesting. Bij een klimaatneutrale glastuinbouw in 2040 is er naar schatting een behoefte aan 2,5 Mton aan extern geleverde CO_2.[114] Dit komt neer op 0,7 Mton koolstof (zie tekstbox 1 in paragraaf 3.1).

Internationale lucht- en scheepvaart

In de internationale lucht- en scheepvaart is de inzet uiteindelijk ook om zoveel mogelijk te sturen op het gebruik van koolstofvrije energiedragers. In 2050 zal een groot deel van de vraag echter nog steeds met koolstofhoudende energiedragers moeten worden ingevuld vanwege de beperkte energie-inhoud van koolstofvrije energiedragers en daarmee de beperkte actieradius en/of de grote impact op het tankvolume (en dus de transportcapaciteit van het schip). In de scheepvaart en in mindere mate in de luchtvaart worden op termijn de mogelijkheden voor de inzet van koolstofvrije dragers ook groter, maar naar verwachting zijn die mogelijkheden in 2050 nog relatief beperkt. Het gaat hierbij met name om ammoniak, maar de inzet hiervan als energiedrager in de scheepvaart is omgeven met grote onzekerheid. Dit wordt toegelicht in de komende twee alinea's. Met welk type brandstof de energievraag in de scheepvaart zal worden ingevuld is daarnaast ook sterk afhankelijk van de (ontwikkeling van) beschikbare duurzame brandstoffen op korte termijn. De beschikbaarheid is bepalend voor de langetermijninvesteringen die gedaan zullen worden in het type schepen.

Ammoniak heeft het voordeel dat het relatief makkelijk te produceren is uit hernieuwbare waterstof en atmosferische stikstof en dat het redelijk makkelijk te importeren is over grote afstanden. Bijkomend voordeel is dat ammoniak geen koolstof bevat en dat de inzet ervan dus koolstofschaarste vermindert. De inzetbaarheid van ammoniak als energiedrager in de scheepvaart is echter erg onzeker. Het is een giftige stof waaraan veiligheidsrisico's kleven. Vanwege het veiligheidsrisico dat gebruik, opslag en transport ervan met zich meebrengt[115] – dat is nog afgezien van de uitstoot van stikstofoxiden bij inzet in een verbrandingsmotor –

[112] *Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's, Netbeheer Nederland (2023)*
[113] *Dit is als uitgangspunt genomen voor de figuren met cijfers in dit hoofdstuk.*
[114] *Prognoses CO_2 -emissie glastuinbouw 2030, Wageningen Economic Research, 2018.*
[115] *Onderzoek externe veiligheid bunkeren van alternatieve brandstoffen voor de zeescheepvaart. DNV (2021).*

is de inzet van ammoniak als koolstofvrije energiedrager in de zeevaart nog in grote mate onzeker.

In een recente scenariostudie over de verduurzaming van de scheepvaart varieert de rol van ammoniak in de energiemix in 2050 tussen de 0 en 60%. In de fossielvrije scenario's is het aandeel ammoniak gemiddeld wel hoger.[116] In het sectorhoofdstuk voor mobiliteit (verdiepingsdocument C, hoofdstuk 2) en in dit hoofdstuk is ervan uitgegaan dat circa 90 PJ van de totale bunkervraag in de zeevaart wordt ingevuld door ammoniak. Of ammoniak daadwerkelijk een onderdeel wordt van de energiemix zal ervan afhangen of de bovengenoemde belemmeringen op acceptabele wijze kunnen worden weggenomen.

Tabel 6 EU-doelstellingen met betrekking tot het aandeel duurzame brandstoffen in de lucht- en scheepvaart

Doelstellingen EU	2035	2040	2045	2050
Scheepvaart (FuelEU Maritime)	14,5%	31%	62%	80%
Luchtvaart (Refuel EU)	20%	34%	42%	70%

De verwachte beperkte beschikbaarheid van koolstofvrije alternatieven in 2050 betekent dat er voor de lucht- en scheepvaart tussen nu en 2050 vooral een opbouw qua inzet van duurzame koolstofdragers zichtbaar is. Het aandeel brandstoffen in de scheepvaart loopt in de EU-doelstellingen op van 14,5% in 2035 naar 80% in 2050, zie ook Tabel 6.[117] Ook in de luchtvaart zal het aandeel hernieuwbare brandstoffen flink toenemen tot 70% in 2050. Het kabinet streeft richting hogere percentages om in 2050 een 100% fossielvrije luchtvaart te bereiken. Tot aan 2040 zal het grootste deel hernieuwbare brandstoffen voor de lucht- en scheepvaart naar verwachting worden ingevuld met biobrandstoffen. Na 2040 neemt ook het aandeel synthetische koolstofdragers en mogelijk ook het aandeel koolstofvrije dragers toe. In het verwachte eindbeeld voor 2050 zal ongeveer 80 tot 95% van de energiemix voor de lucht- en scheepvaart worden ingevuld met koolstofdragers. Oftewel, de eindvraag naar koolstofdragers in 2050 hangt met name af van de grootte van de totale bunkervraag. In het vervolg van deze paragraaf wordt dit verder uiteengezet.

Niet-energetisch koolstofgebruik industrie

Wat betreft het niet-energetisch koolstofgebruik in de industrie kan onderscheid gemaakt worden tussen de toepassingen waarvoor koolstof niet essentieel is (bijvoorbeeld kunstmestproductie uit aardgas) en toepassingen waarvoor koolstof wel essentieel is (organische chemie op basis van aardgas en aardolie). Het kabinet gaat er in het eerste geval vanuit dat de chemische sector (grotendeels) koolstofvrije routes op basis van waterstof zal kiezen. Hierbij speelt niet alleen de beschikbaarheid van koolstofdragers een rol maar ook de beschikbaarheid van waterstof als grondstof in de industrie. Mogelijk blijft er nog wel vraag naar ureum, een koolstofhoudende vorm van kunstmest. Dit gaat echter om een relatief klein aandeel van de totale koolstofvraag voor niet-energetische toepassingen.[118]

Voor de organische chemiesector daarentegen zal koolstof altijd essentieel zijn. Hiervoor geldt dus dat de koolstofbehoefte niet afhangt van de toename aan alternatieven, maar van de grootte van de sector als geheel waarbinnen de invulling van de koolstofbehoefte moet worden verduurzaamd. In het vervolg van deze paragraaf wordt dit verder uiteengezet.

Reductie koolstofvraag en verduurzaming blijvende koolstofvraag: (bunker)brandstoffen en chemische industrie

Internationale lucht- en scheepvaart

De ontwikkeling van de vraag naar koolstofhoudende bunkerbrandstoffen voor de lucht- en scheepvaart is onzeker. Deze hangt vooral af van de ontwikkeling van de vraag naar brandstoffen voor de internationale zeevaart. Het is de verwachting dat de haven van Rotterdam zijn functie als logistieke mainport in West-Europa zal behouden. Deze functie biedt kansen voor de haven om ook in de toekomst een belangrijke energiehub te blijven. Desalniettemin is de toekomstige vraag naar bunkerbrandstoffen voor de zeevaart moeilijk

[116] *Maritime forecast to 2050. DNV (2022)*
[117] *Infographic - Fit for 55: increasing the uptake of greener fuels in the aviation and maritime sectors_Refuel EU (2023)*
[118] *Bij gelijkblijvende ureumvraag in 2050 gaat het om ongeveer 0,3 Mton koolstof.*

in te schatten. De bunkervraag wordt enerzijds gedreven door het volume van de transportbewegingen in de haven en anderzijds door de mate van aantrekkelijkheid van de haven als bunkerplaats. Dit laatste hangt sterk samen met de prijs van bunkerbrandstoffen. Nu vervult de haven van Rotterdam een rol als "tankstation van Europa", mede vanwege de gunstige prijzen van bunkerbrandstoffen mede mogelijk gemaakt door de aanwezigheid van een groot aantal raffinaderijen in het havengebied. De zogeheten "zware fractie" uit het raffinageproces (onder meer stookolie) is daarbij van oudsher het minst waardevolle "restproduct".

De trend in de vraag naar internationaal goederenvervoer is groei. Dit betekent dat ook in de internationale zeevaart een toenemend volume aan transportbewegingen wordt verwacht. De tendens om meer nadruk te leggen op Europese strategische economie en het versterken van de Europese maakindustrie kan hierop een dempend effect hebben. Op dit moment bestaat ruwweg een derde van het transportvolume (in tonnen) door de Rotterdamse haven uit het bulktransport van koolstofdragers. In de toekomst zal een substantieel deel van de huidige vraag naar moleculaire energiedragers (kolen, olie, gas, biogrondstoffen) worden vervangen door elektriciteit. Daardoor wordt de hoeveelheid energiedragers die per schip vervoerd moet worden kleiner. Internationale studies schatten in dat het internationale transport van energiedragers in een klimaatneutrale wereld met 40-50% afneemt (qua tonnage)[119]. Veel niet-fossiele bunkerbrandstoffen hebben bovendien een lagere energiedichtheid dan fossiele brandstoffen. Dit betekent dat schepen vaker en dus geografisch meer verspreid zullen moeten bunkeren. Hoe het samenspel van deze factoren zich zal vertalen naar de totale vraag naar brandstoffen in de zeevaart in Nederland in 2050 zal verder moeten worden onderzocht.

De totale bunkervraag (lucht- en scheepvaart) vandaag de dag ligt rond de 670 PJ[120] en in systeemstudies varieert de vraag in 2050 tussen de 600 en 1000 PJ.[121] Wat dit betekent voor de vraag naar koolstofdragers hangt af van het aandeel koolstofvrije energiedragers dat zal worden ingezet (zie voorafgaande paragraaf op pagina 74). Hoewel de hoeveelheid bunkerbrandstoffen dus moeilijk te schatten is voor 2050, gaat het kabinet er vooralsnog vanuit dat de vraag naar bunkerbrandstoffen voor de scheepvaart stabiliseert en daarmee rond de 480 PJ blijft liggen. Er wordt aangenomen dat een deel van de energievraag wordt ingevuld met ammoniak en walstroom. Op basis van deze aanname is de resulterende vraag naar koolstofdragers ongeveer 375 PJ[122]. De totale energievraag in de luchtvaart is ook onzeker. De totale energievraag in de luchtvaart is geschat op 205 PJ, waarvan 175 PJ wordt ingevuld met koolstofhoudende brandstoffen, namelijk Sustainable Aviation Fuels (SAFs); biogene of synthetische kerosine (zie ook het sectorale transitiepad mobiliteit in verdiepingsdocument C, hoofdstuk 2). De totale vraag naar koolstofdragers voor lucht- en scheepvaart komt op basis van bovenstaande aannames uit op 550 PJ in 2050.[123]

Waar het voor lucht- en scheepvaartbrandstoffen logisch is om de hoeveelheid benodigde energie als uitgangspunt te nemen, is het wel relevant om te kijken hoe dat zich vertaalt naar de koolstofvraag in Mton C. Zoals toegelicht in tekstbox 1 in paragraaf 3.1 is de omrekening afhankelijk van het type koolstofdrager. In de luchtvaart, waar uitgegaan wordt van 175 PJ aan biogene of synthetische kerosine komt dit neer op 3,5 Mton C. Uitgaande van de gemiddelde verdeling tussen verschillende typen brandstoffen uit de scenariostudie van DNV[124] komt 375 PJ aan duurzame koolstofdragers voor de scheepvaart neer op 6,4 Mton koolstof. Dit is dus echter met veel onzekerheid omgeven. Op het moment dat het aandeel LNG stijgt, neemt de koolstofbehoefte licht af vanwege de relatief hoge energiehoeveelheid per koolstofeenheid (PJ/Mton C).

Een van de uitdagingen voor de verduurzaming van de internationale lucht- en scheepvaart is de internationale context van deze sectoren. De inzet op zoveel mogelijk fossielvrij in 2050 sluit mogelijk niet aan op de internationale markt. In paragraaf 3.5 wordt dit verder uiteengezet.

Niet-energetisch koolstofgebruik industrie

[119] *Shipping's Role in the Global Energy Transition. International Chamber of Shipping (2022)*
[120] *Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik. CBS (2022).*
[121] *Eindbeelden Nederlands Energiesysteem. ETES 2050 (2022)*
[123] *Indien een groter deel van de brandstoffenvraag met koolstofhoudende brandstoffen wordt ingevuld, kan de vraag oplopen richting 685 PJ. Hier is rekening mee gehouden in de totale bandbreedte (1000-1400 PJ).*
[124] *Maritime forecast to 2050. DNV (2022)*

Nederland heeft een relatief grote chemische sector en hoewel de competitiviteit van de Nederlandse chemie vrij hoog wordt ingeschat blijft er een zekere mate van onzekerheid omtrent de toekomstige omvang van dergelijke economische activiteiten in Nederland.[125] Dit komt ook doordat dergelijke industrieën vaak multinationals zijn met meerdere vestigingen verspreid over de wereld. Er is op dit moment nog altijd sprake van een toename in vraag naar chemicaliën en koolstofhoudende producten. Zo is de wereldwijde vraag naar plastics gegroeid van 375 Mton in 2020 naar ruim 390 miljoen ton in 2021.[126] Anderzijds is er een nationale en Europese inzet om het gebruik aan koolstofhoudende producten, zoals kunststoffen, terug te dringen, bijvoorbeeld door middel van de Europese Single-use plastic richtlijn. Bij het reduceren van de vraag naar koolstofhoudende producten moet rekening worden gehouden met de duurzaamheid van het alternatief. In het Nationaal Programma Circulaire Economie is dan ook het uitgangspunt om kunststofgebruik te reduceren waar het kan en duurzaam toe te passen waar dat moet. Koolstofgebruik kan ook worden verminderd door innovatie op bijvoorbeeld meer koolstofarme (en zuurstofrijke) producten.

De ontwikkeling van de vraag naar koolstofhoudende producten is dus onzeker. De aanname in dit NPE is dat de omvang van de chemische sector ongeveer gelijk blijft. De huidige hoeveelheid fossiele koolstofdragers die wordt ingezet als grondstof in de chemie bedraagt ongeveer 500 PJ[127]. Een deel hiervan bedraagt inzet van aardgas voor waterstof- en kunstmestproductie waarbij de koolstof die het aardgas bevat niet nodig is voor het eindproduct[128]. Voor dit aandeel wordt aangenomen dat zal worden overgestapt op waterstof als grondstof. Op basis daarvan blijft een vraag van ongeveer 430 PJ aan fossiele koolstofdragers over. Hieronder valt naast de vraag naar koolstofdragers voor chemicaliën en plastics (die op dit moment wordt ingevuld met aardolie en aardgas) ook de vraag naar koolstof die als grondstof wordt gebruikt in de staalproductie (nu afkomstig uit kolen).[129]

Zoals eerder toegelicht in tekstbox 1 is de energiewaarde van deze inputstromen minder relevant dan de koolstofinhoud. Omgerekend bevat de 430 PJ aan inputproducten ongeveer 8,5 Mton koolstof.

Ervanuit gaande dat de vraag naar koolstof ongeveer gelijk blijft zal die 8,5 Mton C moeten worden ingevuld met duurzame koolstofdragers. Het is nog niet bekend met welke koolstofdragers de toekomstige vraag naar koolstof voor de chemische sector zal worden ingevuld. Het is goed denkbaar dat dit voor een deel nog steeds nafta zal zijn, maar dan van biogene of synthetische oorsprong. Een deel van de vraag kan ook worden ingevuld met bijvoorbeeld methanol of groen gas. De hoeveelheid duurzame koolstofhoudende energiedragers (in PJ) die nodig is voor de invulling van 8,5 Mton koolstofvraag is afhankelijk van de verhouding tussen de verschillende typen koolstofdragers waarmee de vraag zal worden ingevuld (zie ook tekstbox 1 in paragraaf 3.1). Bij volledige invulling met biogene of synthetische nafta en/of methanol resulteert het in een vraag van ongeveer 430 PJ. Naar mate het aandeel groen gas stijgt, neemt deze hoeveelheid toe, omdat groen gas naar verhouding meer energie bevat. In de basis gaan we uit van een vraag van ongeveer 430 PJ aan duurzame koolstofdragers voor niet-energetisch gebruik.[130]

Bovenstaande toelichting maakt duidelijk dat het bepalen van de toekomstige vraag naar koolstof onzeker en complex is. Daar komt nog bij dat niet alle koolstof die als input gebruikt wordt in de chemische sector uiteindelijk ook terechtkomt in de eindproducten. In de productieprocessen is namelijk ook nog sprake van conversieverliezen. Op basis van de huidige productieprocessen is het verlies aan koolstof ongeveer 1 Mton en komt 7,5 Mton

[125] *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050, ETES 2050 (2023).*

[126] *Plastics – the Facts 2022, Plastics Europe (2022)*

[127] *Dit omvat 380 PJ aan aardoliegrondstoffen en producten, 110 PJ aan niet-energetische inzet van aardgas (CBS, 2019) en ongeveer 10 PJ aan niet energetische inzet kolen voor staalproductie (inschatting op basis van: Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's, Netbeheer Nederland (2023))*

[128] *Schatting op basis van: Impactanalyse belastingmaatregelen basisindustrie. Kalavasta (2023). Ongeveer 40 PJ aardgas wordt ingezet voor ureum (type kunstmest) en methanol, waarvoor koolstof wel een essentieel ingrediënt vormt.*

[129] *Kolen worden in de staalproductie duaal gebruikt: het grootste deel is energetische inzet, en een klein deel eindigt als koolstof in het staal. De energetische inzet van kolen wordt vervangen met koolstofvrije alternatieven, maar het niet-energetische aandeel van de vraag blijft bestaan.*

[130] *Op basis van ii3050 scenario's komt de bandbreedte uit op 200-650 PJ voor niet-energetisch gebruik van koolstofdragers in de chemie. Daarbij is de kanttekening op zijn plaats dat hier wordt uitgegaan van de inzet van olie (waaronder pyrolyse) en gas. Naar mate het aandeel biogrondstoffen stijgt, stijgt ook de totale koolstofbehoefte door conversieverliezen. Beleidsinzet op fossielvrij zou tot verandering van deze bandbreedte kunnen leiden.*

koolstof daadwerkelijk in producten terecht.[131] Uitgaande van 430 PJ input aan duurzame koolstofdragers, komt dan ongeveer 380 PJ[132] daadwerkelijk in de producten terecht. Omdat het nog onzeker is welke type processen in de toekomst toegepast zullen worden, is het ook onzeker in hoeverre de conversieverliezen in de toekomst vergelijkbaar zijn met de huidige processen.
Het vervangen van fossiele koolstofdragers door duurzame koolstofdragers is voor de chemische sector een grote innovatie-uitdaging. Fossielvrij betekent immers geen fossiele inzet voor de productie van een groot aantal zaken. Denk daarbij niet alleen aan brandstoffen maar ook aan medicijnen, lijm, matrassen, cosmetica, zeep, lenzen, pleisters, auto's en rubber. In de organische chemie is behoefte aan innovatie op technisch vlak en op het gebied van bedrijfsvoering en beleid om fossiele grondstoffen te vervangen door biogrondstoffen, secundaire grondstoffen en niet-fossiele CO_2. De kwaliteit van de grondstoffen en het homogeniseren van het heterogene aanbod aan biogrondstoffen en secundaire grondstoffen spelen daarbij een belangrijke rol. De aandacht voor circulariteit en de interacties met het energiesysteem en het streven naar fossielvrij zijn van relatief recente aard. Dit maakt dat de bredere implicaties voor het energiesysteem en de benodigde ontwikkelingen om dit mogelijk te maken slechts beperkt in kaart zijn gebracht. Het is belangrijk om de implicaties voor de productie en het gebruik van grond- en brandstoffen in kaart te brengen. Dat betekent onder meer in kaart brengen voor welke productieprocessen het nu al mogelijk is om met duurzame koolstofdragers te werken en welke aanvullende innovaties nodig zijn.

Het is onzeker of alle alternatieve productieprocessen op basis van duurzame koolstofstofdragers op tijd ontwikkeld zullen zijn. Het kabinet zet erop in om de duurzame processen zo snel mogelijk te stimuleren. Op dit moment is er een discrepantie tussen de bestaande prikkels en de prioritering volgens het Duurzaamheidskader biogrondstoffen. Er zijn wel prikkels voor het toepassen van biogrondstoffen voor energetische doeleinden maar weinig voor niet-energetische. Daarnaast geldt dat voor zowel biogrondstoffen als recyclaat de meerprijs ten opzichte van fossiele koolstof een belemmering vormt op de korte termijn.

[131] *Schatting op basis van de hoeveelheid CO_2-emissies in de petrochemische sector, gecorrigeerd voor de emissies uit energetisch gebruik van fossiele koolstofdragers.*
[132] *Op basis van de aanname dat de eindproducten ongeveer dezelfde hoeveelheid energie per Mton C bevatten als nafta, hoewel nu op basis van duurzame koolstofbronnen.*

De aangekondigde nationale verplichting van een minimum aandeel van 25-30% van recyclaat en biogrondstoffen in de plasticsproductie brengt hier verandering in. Als er onvoldoende alternatieven op basis van duurzame koolstof in 2050 zijn zal een gedeelte van de grondstoffen voor de chemie nog van fossiele oorsprong zijn. Daarom is het belangrijk om het gebruik van duurzame koolstof in de chemische sector te stimuleren, bij voorkeur op Europees niveau (zie ook paragraaf 3.5).

Koolstofverwijdering

Om in 2050 klimaatneutraal te zijn moet de netto broeikasgasuitstoot in 2050 nul zijn. Dit betekent dat resterende moeilijk te vermijden uitstoot moet worden gecompenseerd met negatieve emissies, ook wel koolstofverwijdering (uit de atmosfeer) genoemd. Behalve vraag naar duurzame koolstofdragers voor energetische en niet-energetische toepassingen zal er daarom in 2050 ook vraag zijn naar duurzame koolstofdragers ten behoeve van koolstofvastlegging (waarmee CO_2 uit de atmosfeer verwijderd is en dus koolstofverwijdering gerealiseerd wordt). Daarom is het relevant om ook koolstofverwijdering mee te nemen binnen de scope van het NPE. Bovendien speelt het energiesysteem een rol bij de realisatie van koolstofverwijdering[133], ook voor het compenseren van emissies buiten het energiesysteem.

Tekstbox 2: Achtergrondinformatie koolstofverwijdering

Definitie koolstofverwijdering
Er is sprake van koolstofverwijdering wanneer door menselijke activiteiten per saldo CO_2 uit de atmosfeer wordt onttrokken en langdurig wordt opgeslagen in geologische-, land- of zeereservoirs of in producten. Ook wordt gesproken over broeikasgasverwijdering of negatieve emissies. Dat kan door middel van industriële (bijv. biogene of atmosferische CO_2 afvangen met ondergrondse opslag, of opname in materialen via mineralisatie of verwerking in kunststoffen) of biologische routes (bijv. vastlegging in bomen, de bodem en hout/vezels), of een combinatie hiervan. Er is sprake van netto koolstofverwijdering wanneer er meer CO_2 verwijderd is dan dat er broeikasgasemissies zijn uitgestoten, waardoor de concentratie CO_2 in de atmosfeer afneemt.

[133] *Dit is het geval bij koolstofvastleggingsroutes die onderdeel zijn van het energiesysteem. Bijv. als CO_2 wordt afgevangen bij elektriciteits-, brandstoffen- of chemicaliënproductie op basis van biogrondstoffen.*

Het is van belang onderscheid te maken tussen het vermijden van emissies, het reduceren van emissies en het verwijderen van CO_2 uit de atmosfeer. Alleen in het laatste geval gaat het om koolstofverwijdering. Definities van koolstofverwijdering verschillen met name op het vlak van de mate van permanentie van de maatregelen die wordt vereist om te mogen tellen. In toonaangevende wetenschappelijke definities wordt ervan uitgegaan dat oplossingen alleen als koolstofverwijdering kunnen worden gezien als de CO_2 bewijsbaar permanent kan worden opgeslagen. In de recente communicatie van de Europese Commissie valt een breder scala aan maatregelen onder de definitie en worden dus ook routes met "langdurige opslag" meegenomen. Recent onderzoek van CE Delft en TNO besteedt daarom ook aandacht aan routes met langdurig opslagpotentieel (ten minste 100 jaar). Deze maatregelen, en de permanente routes worden wel apart beschouwd. Routes voor langdurige opslag hebben weliswaar meer risico op later weer vrijkomen van de CO_2, maar ze kunnen op korte termijn het vastleggingspotentieel wel vergroten.

Definitie restemissies

Restemissies zijn emissies die na het nemen van mitigatiemaatregelen in het systeem overblijven. In dit kader wordt vaak gesproken over moeilijk vermijdbare emissies, maar de definities hiervan zijn dubbelzinnig. Voor een deel van de processen met moeilijk vermijdbare emissies geldt namelijk dat alternatieve processen zonder emissies wél mogelijk zijn maar heel kostbaar (geldt veelal voor industriële procesemissies). In sommige gevallen is verder sturen op relatieve uitstootvermindering bij gelijkblijvende omvang van activiteiten nauwelijks een optie is. In dat geval gaat het om emissies die alleen vermeden kunnen worden door volumemaatregelen, dit laatste geldt bijvoorbeeld voor uitstoot in de veeteelt. Welke emissies in 2050 worden gezien als onvermijdbaar, en dus maatschappelijk acceptabel zijn als restemissie, moet in de toekomst bepaald en meegewogen worden in de beleidsontwikkeling omtrent koolstofverwijdering.

Ontwikkeling en beschikbaarheid CCS-capaciteit

Op korte termijn wordt de CCS-capaciteit met name beperkt door de hoeveelheid (lege gas-) velden die ontwikkeld worden voor CCS. De lange doorlooptijden van CO_2-opslagprojecten om van onderzoek en ontwerpfase tot ingebruikname (injectie) te komen (7 jaar), maken dat het van belang is om op tijd te beginnen met het ontwikkelen van voldoende velden. Om op kortere termijn aan de potentiële vraag naar CCS van zowel binnenlandse industrieën als van buurlanden die hun CO_2 willen exporteren voor opslag te kunnen voldoen, moet het tempo van de ontwikkeling van het opslagaanbod dus omhoog.

Op dit moment is het ontwikkeltempo van CCS-capaciteit nog relatief beperkt. Echter, wanneer Nederlandse opslagcapaciteit in hoog tempo wordt ontwikkeld kan– op basis van de binnenlandse opslagbehoefte voor fossiele CO_2[134] ten behoeve van uitstootreductie én substantiële import van CO_2 uit België en Duitsland - al rond 2050 het einde van de binnenlandse opslagcapaciteit van offshore lege gasvelden in zicht komen. Hierbij gaan CE Delft en TNO in hun studie uit van een totale offshore opslagcapaciteit van 1700 Mton CO_2.[135] Die capaciteit kan mogelijk daarna (beperkt) aangevuld worden met binnenlandse opslag in zogeheten (offshore saliene) aquifers.[136] Dit betekent dat het bij significante CO_2 importen mogelijk is dat door opslag van fossiele CO_2 in de transitieperiode het binnenlandse opslagpotentieel al grotendeels gebruikt is.
Voor de opslag van niet-fossiele CO_2 ten behoeve van koolstofverwijdering is daardoor waarschijnlijk behoefte aan buitenlandse CO_2-opslagcapaciteit. Landen als Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk beschikken over een ruimer opslagpotentieel dan Nederland en staan open voor CO_2 import. In een pilot project is het eerste voorbeeld van grensoverschrijdende CO_2 export en opslag al gerealiseerd[137] en ook in Nederland bestaan al plannen voor CO_2 export.[138] Indien andere landen gebruik maken van de CCS-faciliteiten in Nederland en op deze wijze CO_2-reductie realiseren, kan het gesprek met deze landen worden aangegaan om te bezien wat deze landen te bieden hebben waardoor Nederland aan haar klimaatdoelstellingen kan voldoen, bijvoorbeeld op het gebied van koolstofvastlegging in bodems, bossen en landbouw, waar de Nederlandse overheid of bedrijven uit Nederland gebruik van kunnen maken.

Koolstofverwijdering draagt dus bij aan het realiseren van klimaatneutraliteit in 2050 door moeilijk te reduceren emissies te compenseren (doel 1). Op de korte termijn kan koolstofverwijdering ook bijdragen aan het behalen van nationale emissiereductiedoelen door tijdelijke compensatie van emissies die op termijn wel gereduceerd kunnen worden (doel 2). Tot slot is koolstofverwijdering op de lange termijn (na 2050) onvermijdelijk om na verwachte overschrijding de opwarming weer terug te brengen tot 1,5 graden (doel 3). In dit hoofdstuk ligt de focus op het inschatten van de vraag naar duurzame koolstofdragers voor koolstofvastlegging ten behoeve van het realiseren van klimaatneutraliteit in 2050 (doel 1), maar wordt ook rekening gehouden met een toename in de vraag ten behoeve van een Nederlandse bijdrage aan de compensatie van de overschrijding van mondiale koolstofbudget voor het 1,5 gradendoel (doel 3).

Hoe meer resterende emissies er zijn, bijvoorbeeld veroorzaakt door inzet van methaanemissies in het landgebruik en de landbouw, hoe groter de vraag zal zijn naar compensatie door middel van koolstofverwijdering. Bandbreedtes van restemissies in 2050 verschillen sterk tussen studies. Deze bandbreedte hangt (onder meer) af van de mate waarin rekening is gehouden met sturing op het minimaliseren van restemissies. Op basis van bevindingen van CE Delft en TNO[139] blijkt dat er bij het handhaven van huidige economische activiteiten minimaal zo'n 10 a 15 Mton (per jaar) aan restemissies over blijven

[134] *Ook op korte termijn zal er voor een deel biogene CO_2 worden opgeslagen afkomstig uit AVI's.*
[135] *Koolstofverwijdering voor klimaatbeleid - Analyse van behoefte, aanbod en beleid voor negatieve emissies in Nederland. CE Delft & TNO (2023).*
[136] *Het gaat om offshore aquifers. De bruikbaarheid van aquifers voor CO_2 opslag en het opslagpotentieel worden momenteel nog verder onderzocht, eind 2023 komt hierover meer informatie beschikbaar.*
[137] *History written offshore Denmark: First CO_2 storage in the North Sea. Offshore Energy (2023).*
[138] *Major milestone for decarbonizing Europe. Yara (2022).*
[139] *Koolstofverwijdering voor klimaatbeleid - Analyse van behoefte, aanbod en beleid voor negatieve emissies in Nederland. CE Delft & TNO (2023).*

in 2050[140]. In dit scenario is een groot deel van de restemissies afkomstig uit de landbouw en landgebruik. Hier gaat een afweging omtrent het maatschappelijke belang van deze activiteiten aan vooraf. In andere scenario's zijn de restemissies hoger (bovengrens van 40 Mton), doordat een grotere hoeveelheid resterend fossiel energiegebruik zonder CCS wordt aangenomen. Scenario's met dit uitgangspunt sluiten echter niet aan bij de beleidsinzet voor verduurzaming van de koolstofketen (zie paragraaf 3.3 van dit hoofdstuk), namelijk om te sturen op het minimaliseren van het gebruik van fossiele koolstofdragers. Naast compensatie van restemissies is er mogelijk ook nog een vraag naar duurzame koolstofdragers ten behoeve van een Nederlandse bijdrage aan de compensatie van de overschrijding van het mondiale koolstofbudget voor het 1,5 gradendoel (doel 3). Met die internationale bijdrage kan de benodigde koolstofverwijdering alsnog oplopen richting de 40 Mton CO_2 per jaar.[141]

Ervan uitgaande dat er vanaf 2050[142] jaarlijks 10-15 Mton CO_2 (restemissies, gelijk aan 3-4 Mton C) gecompenseerd moeten worden door middel van koolstofverwijdering, leidt dit tot een additionele vraag naar duurzame koolstofdragers in de vorm van niet-fossiele CO_2. Dit komt (gedeeltelijk) bovenop de geschatte vraag naar duurzame koolstof van 19-26 Mton C (ongeveer 1000-1400 PJ aan koolstofhoudende energiedragers) voor de chemie en energetische toepassingen. De omvang van de extra vraag hangt met name af van de gekozen routes van koolstofvastlegging (hieronder toegelicht) en de grootte van de hoeveelheid reststromen aan niet-fossiele CO_2 die vrijkomt bij de verwerking van de duurzame koolstofdragers.[143]

Er is een breed scala aan binnenlandse routes (maatregelen en technieken) die koolstofverwijdering kunnen realiseren met opgeteld een aanzienlijk potentieel. Er bestaan echter veel interacties tussen routes en maatregelen die elkaars potentieel (negatief) beïnvloeden, bijvoorbeeld doordat ze alternatieven van elkaar zijn. Een van de belangrijke beperkingen betreft de competitie tussen enerzijds het gebruik van biogrondstoffen of niet-fossiele (biogene of atmosferische) CO_2 voor het maken van duurzame brandstoffen en grondstoffen en anderzijds het realiseren van koolstofverwijdering. Daarnaast kan er competitie zijn om ondergrondse CO_2-opslagcapaciteit. Door de beperkte ruimte in Nederland hebben de biologische routes (koolstofopslag in bos, bodem en biobased producten) voor koolstofverwijdering in Nederland een vrij beperkt potentieel. De potentie zit vooral in routes die biogene of atmosferische CO_2 afvangen en ondergronds opslaan (CCS). Deze routes scoren ook het best op het criterium van permanentie.
Bij de routes die vragen om een geconcentreerde CO_2-stroom, waaronder alle routes met CCS, is er concurrentie met de toepassing van niet-fossiele CO_2 voor Carbon Capture Utilisation (CCU)[144]. De beschikbaarheid van niet-fossiele CO_2 is bovendien sterk afhankelijk van het volume en het type biogene processen dat in Nederland plaatsvindt. Op het moment dat we ruwe biogrondstoffen importeren en in Nederland omzetten naar brandstoffen of chemicaliën, komt er een geconcentreerde stroom van biogene CO_2 beschikbaar als restproduct. Andersom is er minder niet-fossiele CO_2 beschikbaar als we in hoge mate verwerkte biogrondstoffen importeren. Een geconcentreerde CO_2 stroom kan op termijn ook voortkomen uit Direct Air Capture (DAC). Daarbij is er geen afhankelijkheid van de verwerking van biogrondstoffen, maar liggen de beperkingen op het vlak van energie- en ruimteconsumptie (zie ook onderstaande paragrafen over CCU).

Een aantal koolstofvastleggingsroutes, zoals bebossing en herbebossing, absorberen atmosferische CO_2 uit de lucht. Deze routes vergen dus geen geconcentreerde CO_2 stroom die is afgevangen bij chemische processen of door middel van Direct Air Capture. Deze

[140] *Koolstofverwijdering voor klimaatbeleid - Analyse van behoefte, aanbod en beleid voor negatieve emissies in Nederland. CE Delft & TNO (2023). De studie komt op een bandbreedte van 10-40 Mton.*

[141] *Koolstofverwijdering voor klimaatbeleid - Analyse van behoefte, aanbod en beleid voor negatieve emissies in Nederland. CE Delft & TNO (2023). Die bijdrage is afhankelijk van verdelingsprincipes. De studie geeft daarvoor een bandbreedte van 1,6–33 Mton/jaar, vanaf 2050.*

[142] *In de Klimaatwet is vastgelegd om in 2050 klimaatneutraal te zijn als samenleving. Vanaf 2050 moeten dus alle restemissies worden gecompenseerd. In de jaren daarvoor dient echter ook al compensatie plaats te vinden om daar naartoe te werken.*

[143] *Bij de verwerking van ruwe biogrondstoffen en koolstofhoudend afval vinden conversieverliezen plaats. Indien de koolstof die hierbij vrijkomt wordt afgevangen en niet op een andere manier benut kan worden, kan deze CO_2 worden ingezet voor CCU of koolstofverwijdering. Hetzelfde geldt voor koolstofverliezen die vrijkomen bij de verwerking van grondstoffen voor de chemie richting eindproducten.*

[144] *Met name met de productie van synthetische koolstofdragers, maar ook met de levering van CO_2 aan de glastuinbouw*

koolstofvastleggingsroutes concurreren daarom niet met de CO_2 die ook kan worden ingezet voor de productie van synthetische koolstofdragers en resulteren daarmee ook niet in een additionele vraag naar duurzame koolstofdragers. In sommige gevallen kan er wel sprake zijn van concurrentie in landgebruik.

Wanneer koolstof wordt vastgelegd in materialen en producten, zoals bij houtbouw en biobased chemie is er geen behoefte aan additionele koolstof ten opzichte van de reeds bestaande duurzame koolstofvraag voor deze producten. Hierbij gaat het in beginsel om tijdelijke vastlegging, gedurende de levensduur van de producten (zie ook tekstbox 2 met betrekking tot routes voor "langdurige opslag"). De mate waarin de vastlegging van koolstof in producten bijdraagt aan de behoefte aan koolstofverwijdering hangt af van de hoeveelheid koolstof (CO_2) die aan het einde van de levensduur alsnog in de atmosfeer terechtkomt. In theorie zou dit vrijwel 0% kunnen zijn, er vanuit gaande dat 100% van de producten worden ingezameld, en vervolgens gerecycled[145] of verbrand worden in een afvalverbrandingsinstallatie met CCS waarbij alle CO_2 wordt afgevangen. In de praktijk zal er sprake zijn van een "koolstoflek" als een deel van de CO_2 toch in de atmosfeer komt, dan wel in Nederland dan wel in het buitenland na export van producten. Dit kan een fysiek lek zijn of een boekhoudkundig lek. De grootte van het lek bepaalt in feite de mate waarin er concurrentie is tussen de toepassing van duurzame koolstofdragers als grondstof en de toepassing van duurzame koolstofdragers voor koolstofvastlegging.

Kortom, zowel de grootte van de vraag naar koolstofdragers voor koolstofvastlegging (resulterend in koolstofverwijdering) is nog onzeker evenals de mate waarin dit leidt tot additionele vraag naar koolstofdragers ten opzichte van de geschatte vraag voor de chemie en energetische toepassingen. Wel kan een inschatting gemaakt worden van de ordegrootte van de koolstofvraag voor koolstofvastlegging ten opzichte van de totale vraag voor de chemie en energetische toepassingen. 1000 tot 1400 PJ aan energie in de vorm van verschillende koolstofhoudende energiedragers staat ongeveer gelijk aan 19 tot 26 Mton koolstof[146]. Daarnaast staat 10 tot 15 Mton aan CO_2 gelijk aan 3 tot 4 Mton koolstof (C). De behoefte aan koolstof voor koolstofvastlegging staat (op basis van de aannames in dit hoofdstuk) dus gelijk aan ongeveer 10-20% van de totale koolstofvraag in 2050. Dit is exclusief de mogelijke bijdrage aan compensatie van overschrijding van mondiale koolstofbudgetten. Met die internationale bijdrage kan de benodigde koolstofverwijdering alsnog zo'n 40 Mton CO_2 per jaar bedragen, oftewel 12 Mton C per jaar. Het is echter nog onzeker in hoeverre deze bijdrage in Nederland moet worden gerealiseerd of dat dit ook kan middels een bijdrage aan koolstofverwijdering in het buitenland. Daarom is deze vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Maximaliseren binnenlandse duurzame koolstofproductie

Om de importbehoefte voor duurzame koolstofdragers te verkleinen en de leveringszekerheid te vergroten, acht het kabinet het van belang om in te zetten op het maximaliseren van het duurzaam binnenlands productiepotentieel aan duurzame koolstofdragers en dit vervolgens ook maximaal te benutten. Grofweg zijn er drie duurzame koolstofbronnen: duurzame biogrondstoffen, secundaire grondstoffen en niet-fossiele CO_2. Niet-fossiele CO_2 komt bijvoorbeeld vrij bij het verwerken van biogrondstoffen of biogeen afval of wordt uit de lucht of zee gewonnen door middel van Direct Air Capture (DAC) of Direct Ocean Capture (DOC). Deze niet-fossiele CO_2 kan verwerkt worden tot synthetische koolstofdragers, bij voldoende beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit en waterstof. Voor biogrondstoffen, secundaire grondstoffen en synthetische koolstofdragers wordt het potentiële aanbod in 2035 en 2050 hieronder uiteengezet. Daarnaast wordt toegelicht welke uitdagingen er met de aanbodontwikkeling gepaard gaan en welke keuzes over de ontwikkeling van het aanbod de komende jaren voorliggen. In paragraaf 3.5 wordt vervolgens uiteengezet op welke manier het kabinet hier vorm aan zal geven.

Biogrondstoffen

Biogrondstoffen zullen een belangrijke rol vervullen in het energiesysteem als grondstof, brandstof en voor de realisatie van koolstofverwijdering.[147] Ze zijn echter inherent beperkt beschikbaar en er bestaat onzekerheid over de mate van beschikbaarheid (en de

[145] *Hierbij zouden dan ook de koolstofverliezen bij recycling moeten worden afgevangen en opgeslagen.*
[146] *Schatting op basis van energie- en koolstofinhoud van verschillende dragers en de vraag naar bepaalde dragers op basis van de sectorale transitiepaden.*
[147] *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050. ETES 2050 (2023).*

ontwikkeling daarvan over tijd) van duurzame biogrondstoffen op nationaal, EU en mondiaal niveau. Zeker is dat een sterke toename nodig is om aan de vraag te kunnen voldoen. Bovendien moet de toepassing van het aanbod aan biogrondstoffen voortdurend getoetst worden aan het Duurzaamheidskader Biogrondstoffen. Dit kader bevat een duidelijke groepering en prioritering waaraan de toepassingen van biogrondstoffen moeten voldoen en stellen eisen aan de productie van biogrondstoffen. Andere toepassingen van biogrondstoffen, zoals in het voedselsysteem, voor de bodem of als grondstof voor houtbouw, mogen niet in het geding komen. In de beschikbaarheidsschattingen moet voor deze toepassingen dus gecorrigeerd worden. Het kabinet zet in op het maximaal duurzaam ontsluiten van het binnenlands productiepotentieel voor biogrondstoffen, dat geschat wordt op maximaal 250 PJ.[148] Het gaat hierbij met name om biogene reststromen, zoals afvalhout, GFT-afval en restproducten uit de voedselindustrie, die geen andere toepassing vinden in de bouw, bodem of voor voedselproductie. Hierbij geldt dat te allen tijde aandacht moet zijn voor duurzaamheidseisen en zogeheten cascadering, zodat biogrondstoffen zo efficiënt en hoogwaardig mogelijk worden ingezet.

Tekstbox 3: Duurzaamheid biogrondstoffen

Het kabinet is ervan overtuigd dat in de transitie naar een klimaatneutrale en circulaire economie in 2050 een belangrijke rol is weggelegd voor biogrondstoffen. Daarbij geldt voor het kabinet het uitgangspunt dat alleen duurzame biogrondstoffen een bijdrage aan die transitie kunnen leveren en dat duurzame biogrondstoffen uiteindelijk zo hoogwaardig mogelijk moeten worden ingezet. Men spreekt over duurzame biogrondstoffen wanneer deze duurzaam zijn geproduceerd. Dat wil zeggen zonder nadelige gevolgen voor mens en milieu. Met de borging van duurzaamheidscriteria voor biogrondstoffen in regelgeving worden milieurisco's op niet duurzame productie en verwerking van grondstoffen zo veel mogelijk beperkt – zoals uitputting van de bodem, verontreiniging van grondwater en oppervlaktewater, aantasting van biodiversiteit en luchtvervuiling. Er wordt daartoe gewerkt aan het vastleggen van de milieucriteria en de borging daarvan in regelgeving over duurzaamheid van biogrondstoffen, specifiek in een besluit en regeling. Deze regelgeving richt zich op de toepassing van alle soorten biogrondstoffen, inclusief materialen voor de circulaire economie (zoals bijvoorbeeld materialen voor de bouw en grondstoffen voor de chemische industrie) en het gebruik voor energieopwekking. Het gaat daarbij om biogrondstoffenstromen en toepassingen die door de overheid gestimuleerd of gereguleerd worden.

Om het maximale potentieel beschikbaar te maken zijn er verschillende innovatieopgaven. Er is namelijk sprake van grote diversiteit aan biogrondstoffen, met grote verschillen in kwaliteit en eigenschappen. Verschuivingen in een specifieke stroom of toepassing hebben daarmee impact op veel transitiepaden. Homogenisering van biogrondstofstromen via robuuste verwerkingstechnieken tot één of meerdere bruikbare producten kan een manier zijn om grip te krijgen op deze ketens. Hierbij is het ook van belang dat de productieketens zo zijn doorontwikkeld, dat de duurzame koolstof ook in de benodigde producten en brandstoffen kan worden omgezet. Voor biogrondstoffen ligt de voornaamste innovatieopgave dan ook op het ontwikkelen van voorbewerkingstechnieken die gecascadeerd gebruik van biogrondstoffen mogelijk maken. Andere opgaven zijn het ontwikkelen, verbeteren en opschalen van diverse conversieroutes (thermochemisch, waaronder pyrolyse en vergassing, chemisch-katalytisch en biotechnologisch, waaronder vergisting) om biogas, (geavanceerde) biobrandstoffen en chemicaliën te produceren. Daar hoort ook de opwerking tot de gewenste kwaliteit bij. Dit is van groot belang om van heterogene inputstromen te komen tot homogene producten.[149]

Daarbij zijn er verschillende beleidsmatige opgaven. Zo wordt vanuit verschillende transitieopgaven gekeken naar reststromen terwijl hoogwaardige cascade van reststromen momenteel onvoldoende wordt beloond. Ook wordt het hoogwaardig gebruik van reststromen in sommige gevallen nog beperkt door wet- en regelgeving. Daarnaast is de milieu-impact van verschillende toepassingen van biogene reststromen niet altijd duidelijk, wat een complicerende factor is in het bepalen van de optimale toepassing.

Secundaire grondstoffen

Naast op biogrondstoffen zet het kabinet ook in op het zoveel mogelijk circulair maken van binnenlandse koolstofstromen. Inzet op circulariteit is ook volgens het ETES 2050 essentieel om de transitie naar een klimaatneutrale koolstofketen te realiseren.[150] Op dit moment richt het beleid zich met name op het stimuleren van plasticrecycling, maar ook de recycling van andere koolstofhoudende producten (bijvoorbeeld chemicaliën) kan bijdragen aan het recyclaataanbod. Het potentieel hiervan moet nog verder worden uitgewerkt. Daarom is deze paragraaf beperkt tot de recycling van plastics.

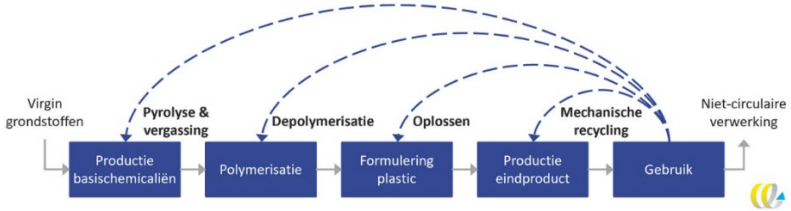
[148] *Zie voetnoot 84*

[149] *MMIP6: Sluiting van industriële ketens, TKI Energie & Industrie.*

[150] *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050. ETES 2050 (2023)*

Het huidige recyclingpercentage van het ingezamelde plasticafval staat op 45%, wat resulteert in een input van 12,5% recyclaat in nieuwe producten.[151] Dat betekent dat veel plastic nu nog in verbrandingsovens terechtkomt en dat een sterke groei in de productie van recyclaat mogelijk is. Het kabinet heeft eerder aangekondigd om in te zetten op meer kunststofsortering en verdere beprijzing van afvalverbranding.[152] De totale beschikbaarheid van binnenlandse koolstofhoudende afvalstromen is echter beperkt ten opzichte van de productie, mede door de export aan kunststofproducten. Binnenlands aanbod voor niet-primaire fossiele koolstof uit koolstofhoudend afval is geschat op ordegrootte 40-80 PJ[153] in 2050. Import van afval of verwerkte vormen van afval (bijvoorbeeld pyrolyse-olie) behoort ook tot de opties.

Om het binnenlandse recyclingpotentieel te benutten, dient de recyclingcapaciteit richting 2050 drastisch te worden opgeschaald, wat flinke investeringen vereist. De inzet bij recycling is het zo kort mogelijk houden van de kringloop, waarbij polymeerketens zoveel mogelijk intact blijven. De technieken om recyclaat te produceren zijn grofweg in te delen in twee categorieën: mechanische recycling en chemische recycling (onder te verdelen in solvolyse, depolymerisatie, pyrolyse en vergassing). Voor een overzicht zie Figuur 18. De mechanische recyclingtechniek is het verst gevorderd en zal de komende jaren verder worden geoptimaliseerd. Ook inzameling en voorbewerking (waaronder sorteren, karakteriseren, wassen) spelen een belangrijke rol. Betere uitsortering maakt het makkelijker om mechanisch te recyclen. Chemische recycling is nog in ontwikkeling. De eerste demonstratieprojecten worden opgestart. Richting 2040 wordt groei van zowel mechanische als chemische recycling verwacht door toename aan recyclebare producten en toenemende investeringen in sortering- en recyclingcapaciteit. Richting 2050 voorziet het kabinet verdere capaciteitsgroei, maar ook verbeteringen in rendement, kwaliteit en energiebehoefte van recyclingmethoden.



Figuur 18. Schematische weergave van verschillende routes voor recycling van plastics en de lengte van de loops. Bron: CE Delft - Chemische recycling kunststof.

Als het gaat om de ontwikkeling van recyclaat vormt met name de lage kwaliteit en heterogeniteit ervan een technische uitdaging. Er is een spanningsveld tussen kwaliteit, rendement, energiebehoefte en de prijs van recycling. Pyrolyse heeft een relatief laag rendement, waardoor er relatief veel afval nodig is om voldoende recyclaat te maken. Mechanische recycling heeft een lagere energiebehoefte. Niet alle plastic kan echter mechanisch gerecycled worden en de plastickorrels kunnen niet zo breed worden ingezet als pyrolyse-olie. De vraag die voorligt aan het kabinet is hoe de juiste (diversiteit aan) recyclingroutes gestimuleerd kunnen worden, zodat mechanische en chemische recycling elkaar aanvullen. Recyclingtechnieken met een lange recyclingloop (pyrolyse en vergassing) zouden niet onverkort moeten worden ondersteund. Hierin schuilt namelijk een lock-in risico met de kans op een oneerlijk speelveld en een risico dat investeringen worden gedaan in installaties die afvalstromen op een onnodig lange en inefficiënte manier recyclen. De focus zal eerder moeten liggen op het stimuleren van routes met een hoog rendement en een laag energieverbruik. Tegelijkertijd moeten ook de (energie-intensieve) technieken die essentieel zijn voor de verwerking van sterk vervuilde stromen kunnen worden ontwikkeld en groeien, want ook deze zijn onderdeel van de oplossing, zo geeft ook het ETES 2050 aan. Wat hier ook een rol speelt is de toekomstige mix aan koolstofproducten die in de afvalstroom belanden. Op dit moment zijn die zeer heterogeen en bevatten ze veel verschillende soorten plastics. Het toepassen van circulaire ontwerpprincipes kan bijdragen aan minder heterogene afvalstromen en daarmee aan het verbeteren van het recyclingaandeel.[154]

[151] *Nederland Europees koploper in recycling plastic afval, maar verbrandt ook 55% van ingezamelde plastic afval. Plastics Europe (2020).*

[152] *Kamerstuk 32813 nr. 1230 - Voorjaarsbesluitvorming Klimaat.*

[153] *Zie voetnoot 85*

[154] *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050. Expertteam Energiesysteem 2050 (2023)*

Productie synthetische koolstofdragers op basis van niet-fossiele CO_2 en waterstof

Tot slot is er de optie om met niet-fossiele CO_2 (als koolstofbron) en hernieuwbare waterstof (als energiebron) synthetische koolstofdragers te produceren. Dit is een vorm van Carbon Capture and Utilisation (CCU). Onder meer vanwege het Duurzaamheidskader Biogrondstoffen, waaruit volgt dat op lange termijn (na 2050) zo min mogelijk biogrondstoffen dienen te worden ingezet voor energetisch gebruik, wordt er in de luchtvaart en (vooralsnog) in mindere mate in de internationale scheepvaart sterk gestuurd op de inzet van synthetische brandstoffen. Richting 2030 zullen syntheseroutes op basis van het hergebruik van CO_2 worden doorontwikkeld en getest op laboratoriumniveau en in pilot- en demoprojecten. Veel verschillende syntheseroutes (biotechnologisch, elektrochemisch en thermo-katalytisch) en een drietal productklassen (brandstoffen, materialen en voeding) zijn te onderscheiden. De verschillende routes kosten relatief veel energie en zijn afhankelijk van de beschikbaarheid van hernieuwbare waterstof en niet-fossiele CO_2. Grootschalige commerciële inzet van CCU wordt vooralsnog niet voor 2040 verwacht.

Meer onderzoek en opschaling van processen naar pilotfases is nodig om te beoordelen welke routes kansrijk zijn om naar de markt te brengen. Voor CCU liggen er in Nederland met name kansen voor de ontwikkeling van vereiste CCU-technologie en de opschaling naar pilot- en demonstratieschaal en productie op beperkte schaal. Verschillende Nederlandse startups, scale-ups, onderzoeksinstellingen en grote bedrijven zijn in Nederland actief op dit gebied.

De mate waarin binnenlands geproduceerde synthetische koolstofdragers een rol spelen in het eindbeeld is erg onzeker en sterk afhankelijk van de ontwikkeling van andere energieketens (waterstof, elektriciteit). Dit is mede het geval omdat de omzetting van CO_2 en waterstof naar synthetische koolstofdragers gepaard gaat met aanzienlijke verliezen. Als Nederland alleen al voor de binnenlandse vraag synthetische brandstoffen zou willen produceren in 2050, dan legt dit al een groot beslag op het energiesysteem. Het kabinet zal verkennen in hoeverre binnenlandse productie van synthetische koolstofdragers binnen de draagkracht van het energiesysteem past richting 2050. Bovendien zal de mate van ontwikkeling van Nederlandse productiecapaciteit afhangen van de beschikbaarheid en de kosten van synthetische koolstofdragers op de internationale markt. Zeer grootschalige productie om te voorzien in de (Noordwest-)Europese vraag naar synthetische koolstofdragers ligt nog niet voor de hand, omdat het waarschijnlijk is dat dergelijke productie elders in de wereld met lagere hernieuwbare energieproductiekosten competitiever is.[155]

Binnenlandse productie wordt daarnaast gelimiteerd door de hoeveelheid beschikbare niet-fossiele CO_2. De CO_2 die voor de productie nodig is, moet namelijk of van biogene oorsprong zijn of uit de lucht gehaald worden door middel van Direct Air Capture (DAC) of uit de zee middels Direct Ocean Capture (DOC). De beschikbare biogene CO_2 hangt samen met de toename in biogrondstoffengebruik en de mate waarin de conversie in Nederland plaatsvindt. Bij de verwerking van biogrondstoffen tot homogene inputproducten ten behoeve van industrie en brandstoffen is namelijk sprake van (relatief hoge) conversieverliezen. Als de CO_2 die hierbij vrijkomt wordt afgevangen kan die input zijn voor de productie van synthetische koolstofdragers, of worden benut voor koolstofverwijdering of andere CCU-toepassingen (bijvoorbeeld als meststof in de landbouw of in de voedingsmiddelenindustrie). Ook DAC of DOC kan op termijn wellicht voor aanvullend niet-fossiel CO_2 aanbod zorgen, maar dit voegt nog een energie-intensieve stap toe aan toch al energie-intensieve productie van synthetische koolstofdragers. Mogelijk kunnen innovaties op dit gebied wel bijdragen aan het naar beneden brengen van de energie- en ruimte-intensiteit.

Importbehoefte koolstofdragers

Het beperkte binnenlandse aanbod aan duurzame koolstofdragers in combinatie met een hoge vraag door de in Nederland aanwezige chemische sector en buitengewoon grote vraag naar brandstoffen voor de scheepvaart betekent dat er in 2050 behoefte is aan import van koolstofdragers, in de vorm van biogrondstoffen, secundaire grondstoffen en synthetische koolstofdragers. Daarom is een importstrategie nodig (zie paragraaf 3.5 voor verdere uitwerking).

[155] *Impacts of FuelEU Maritime on the Dutch maritime sector, CE Delft (2021).*

Schaarste van duurzame koolstofdragers in Nederland hoeft door import niet te leiden tot tekort aan koolstofdragers voor binnenlandse toepassingen. Vanuit het perspectief van mondiale rechtvaardigheid en consumptie binnen planetaire grenzen is het wel onwenselijk om een buitenproportioneel beslag te leggen op het mondiaal beschikbare aanbod aan duurzame koolstofdragers. Daarom vindt het kabinet het belangrijk om in sectoren waar koolstofvrije alternatieven beschikbaar zijn, deze ook zo goed mogelijk te benutten. De totale vraag naar duurzame koolstofdragers wordt hierdoor beperkt en het aanbod kan juist daar worden ingezet waar alternatieven niet of beperkt beschikbaar zijn (chemie, internationale mobiliteit en ten behoeve van koolstofvastlegging).

3.5. Beleidsagenda voor de koolstofketen

In paragraaf 3.3 is geschetst wat het kabinet ziet als de gewenste ontwikkelrichting van de koolstofketen. Het kabinet zet in op handhaving van een klimaatneutrale samenleving als centraal beleidsdoel voor 2050, maar hecht er wel aan om in de vormgeving van de beleidsinstrumenten zoveel mogelijk te sturen richting een tevens fossielvrije samenleving. De komende jaren wordt verder onderzocht wat ervoor nodig is om 2050 als jaartal voor fossielvrij binnen bereik te houden, of daar een concrete doelstelling aan kan worden verbonden en wat de technische en economische consequenties zouden zijn. In paragraaf 3.4 is vervolgens uiteengezet hoe de vraag naar en het aanbod van duurzame koolstofdragers zich mogelijk kunnen ontwikkelen, maar ook welke belemmeringen dit met zich meebrengt. In deze paragraaf wordt geschetst welke stappen er kunnen worden genomen om in de richting van het gewenste eindbeeld te bewegen. -

Efficiënte inzet van koolstof: sturen op alternatieven per sector

Om de druk op de totale vraag naar koolstofdragers te verlagen is het van belang dat voor de sectoren waarvoor koolstofdragers niet essentieel zijn de vraag tot een minimum wordt beperkt. Dit geldt, zoals eerder beschreven, met name voor energetische inzet van (fossiele) koolstofdragers in de industrie, het gebruik van groen gas in de gebouwde omgeving en het gebruik koolstofhoudende brandstoffen in de binnenlandse mobiliteit. Voor de laatste twee toepassingen geldt dat het totale gebruik van duurzame koolstofdragers momenteel wordt opgebouwd. Afhankelijk van de snelheid waarmee koolstofvrije alternatieven voor de verschillende sectoren zich ontwikkelen kunnen deze toepassingen van koolstof de komende jaren weer worden afgebouwd. Naast prikkels voor de opbouw van koolstofvrije alternatieven zal in samenhang ook de afbouw van fossiele koolstofdragers vragen om prikkels die verder moeten worden uitgewerkt. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de beschikbaarheid van de koolstofvrije alternatieven.

Het eindbeeld van beperkt gebruik van koolstofdragers als sluitstuk in de gebouwde omgeving en binnenlandse mobiliteit zal een uitgangspunt moeten worden in het sectorale beleid, zoals de Jaarverplichting Energie Vervoer waarin de afbouw momenteel nog niet is verwerkt. In de gebouwde omgeving zal het aandeel van gasvormige energiedragers gestaag afnemen door de inzet van hybride en all-electric warmtepompen en duurzame warmtenetten. Echter, om de resterende vraag naar gasvormige energiedragers duurzaam in te kunnen vullen wordt momenteel gewerkt aan de opschaling van de productie en inzet van groen gas. De mate van groen gas inzet in 2050 in de gebouwde omgeving zal afhangen van de relatieve beschikbaarheid en prijzen van groen gas ten opzichte van waterstof, en de doorontwikkeling van gasvrije oplossingen en de vraag vanuit andere sectoren.

Wat betreft de energetische inzet van koolstofdragers in de industrie is het van groot belang dat op korte termijn sterk wordt ingezet op de beschikbaarheid van voldoende hernieuwbare elektriciteit en hernieuwbare waterstof(dragers). Hiermee kan de inzet op fossiel gebruik in combinatie met CCS, waar mogelijk worden voorkomen. Dit neemt niet weg dat CCS bij fossiele emissies onvermijdbaar een belangrijke rol speelt in de transitieperiode naar 2050 om voldoende tempo in de emissiereductie te houden. Op termijn zal echter wel duidelijk moeten worden gemaakt op welk moment afbouw van fossiel energiegebruik in combinatie met CCS wenselijk wordt geacht, zodat CCS uiteindelijk alleen nog wordt ingezet voor de realisatie van koolstofverwijdering.[156] Dat betekent dat CCS, hoewel vaak benoemd als transitieoplossing voor de afvang en opslag van fossiele emissies, ook na 2050 een belangrijke rol zal vervullen voor de afvang en opslag van niet-

[156] *Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050. ETES 2050 (2023)*

fossiele emissies, omdat er onvoldoende potentieel is om koolstofverwijdering zonder CCS te realiseren.

Om CCS te kunnen realiseren zal ook de benodigde CO_2-infrastructuur de komende jaren ontwikkeld moeten worden. Hoewel deze infrastructuur in eerste instantie dient om fossiele CO_2 te transporteren, zal de infrastructuur op termijn ook ingezet kunnen worden voor koolstofverwijdering en voor CCU. Daar waar CO_2-infrastructuur niet alleen bijdraagt aan het faciliteren van fossiele CCS maar ook aan toekomstige chemische ecosystemen en koolstofverwijdering zal dit worden meegenomen in de afweging om CO_2-infrastructuurprojecten op te nemen in het MIEK.

Reductie en verduurzaming blijvende koolstofvraag: (bunker)brandstoffen en chemische industrie

De bulkvraag naar duurzame koolstofdragers zal, ook in 2050, terug te voeren zijn op de grootte van de Nederlandse chemische industrie en de behoefte aan bunkerbrandstoffen voor de internationale lucht- en scheepvaart. De toekomstige vraag naar koolstofdragers van deze sectoren is onzeker. De keuze die hier aan het kabinet voorligt de komende jaren is of, en zo ja hoe, op reductie van de vraag gestuurd moet worden om schaarste aan duurzame koolstofdragers tegen te gaan. Hierbij geldt dat het kabinet minder grip heeft op de grootte van de internationale vraag in vergelijking tot de nationale vraag.

Naast vraagreductie zal de blijvende vraag naar koolstofdragers die nu vooral fossiel wordt ingevuld in toenemende mate met duurzame koolstofdragers worden ingevuld. Dit betekent dat er aan de vraagkant prikkels moeten zijn voor de inzet van duurzame koolstofdragers. Daarbij komt, zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven, de uitdaging dat voor alle internationale sectoren, die samen het leeuwendeel van de overblijvende vraag naar koolstofdragers vertegenwoordigen, internationale afspraken nog ruimte laten voor fossiele inzet in 2050. Dit betekent dat voor het bereiken van de gewenste ontwikkelrichting van een fossielvrije koolstofketen internationale samenwerking op dit vlak essentieel is om het gelijke speelveld voor de Nederlandse economie niet te schaden. Daarom zet het kabinet zich in Europese en internationale onderhandelingen in voor een ambitieuze inzet op duurzame (koolstof)dragers voor internationaal transport en de chemie.

Op het vlak van internationaal transport zijn de Europese ambities met betrekking tot de verduurzaming van de brandstoffenvraag al aangescherpt en is voor luchtvaart een aandeel van 70% hernieuwbare brandstoffen afgesproken en een 80% daling van de emissie-intensiteit voor de internationale scheepvaart. Voor de luchtvaart wordt onderzocht hoe Nederland ambities rondom 100% duurzame luchtvaartbrandstoffen kan borgen in 2050 in het nationaal beleid, wetende dat een nationale kop op de Europese doelstellingen niet mogelijk is. In juli 2023 heeft de IMO de herziene broeikasgasreductie strategie vastgesteld naar netto nul uitstoot in of nabij 2050 en met tussentijdse doelen van 20% reductie (met een streven naar 30%) in 2030, en 70% reductie (met een streven naar 80%) in 2040[157]. De komende twee jaar wordt gewerkt aan afspraken over de maatregelen die deze ambitie moeten gaan waarmaken. Deze maatregelen worden uiterlijk in 2025 vastgesteld om in 2027 in werking te kunnen treden.

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

De chemie is de enige sector waar bindende doelen voor vervanging van fossiele koolstofdragers op Europees of internationaal niveau vooralsnog volledig ontbreken.[158] Op Europees niveau bestaat de ambitie van een 100% circulaire economie. In de Europese communicatie voor duurzame koolstofcycli wordt een streefdoel ten aanzien van de

[157] *Het gaat om broeikasgasreductie is t.o.v. referentiejaar 2008*

[158] *The Importance of Sustainable Carbon. Ministerie van EZK en Ministerie van IenW (2023)*

verduurzaming van koolstofketens geschetst (20% duurzame koolstof in chemicaliën en plastics in 2030). Deze ambities moeten snel worden vertaald in bindende doelen met concrete normen voor inzet van duurzame koolstofdragers.

Op nationaal niveau heeft het kabinet recent de nationale verplichting aangekondigd voor een minimum aandeel recyclaat of biogrondstoffen in de plasticproductie, waarmee het gebruik van een oplopend percentage recyclaat en biogrondstoffen richting 2030 verplicht wordt. Deze verplichting is echter alleen van toepassing op kunststoffen en omvat dus niet het gebruik van duurzame koolstof voor andere koolstofhoudende producten (zoals cosmetica, verf en medicijnen). Hiervoor zijn ook stimulerende maatregelen nodig. Vanuit de sector zijn zorgen geuit over het behoud van een gelijk speelveld ten opzichte van andere landen. Daarom zet het kabinet in op een Industrial Sustainable Carbon Regulation in Europa, gericht op ambitieuze doelen voor het gebruik van duurzame koolstofdragers in de chemie. Ook wordt breder ingezet op aanvullende maatregelen op Europees niveau om het gebruik van duurzame koolstofdragers in de gehele chemische sector te stimuleren. Hierbij is de inzet een gestage opbouw van niet-fossiele inzet over de tijd. Daarbij is het essentieel dat de chemische sector in staat is om duurzame koolstofdragers te gebruiken als input voor productieprocessen. Voor deze transitie zijn naast de bestaande processen ook innovatieve processen cruciaal. Om dit te bewerkstelligen speelt innovatie binnen de productieketens een belangrijke rol. Er zijn meer prikkels voor niet-energetisch gebruik van duurzame koolstofdragers nodig, zodat de grondstoffentransitie richting fossielvrij kan accelereren en de balans met de energietransitie beter wordt.

Afbouw gebruik fossiele koolstofdragers

Naast het stimuleren van het gebruik van duurzame koolstofdragers zet het kabinet ook in op het stimuleren van de afbouw van fossiele koolstofdragers.
Het kabinet ziet het als de hoeksteen van het energie- en klimaatbeleid dat broeikasgasemissie en andere vormen van vervuiling een prijs krijgen die de klimaat- en milieuschade die het veroorzaakt omvat, of dat via normering broeikasgasemissies en andere vervuiling worden teruggebracht. Het is van belang dat er geen perverse prikkels zijn die juist vervuiling stimuleren (in dit geval de inzet van fossiele koolstofdragers), dat het toewerken naar deze volledige beprijzing aansluit bij het handelingsperspectief van de partijen die de verduurzamingsstappen moeten maken, en dat in geval van internationaal concurrerende bedrijven ook rekening gehouden wordt met het behoud van een internationaal gelijk speelveld.

In het streven naar volledige beprijzing heeft het kabinet in het *Belastingplan 2023*, de *Voorjaarbrief Klimaat* en het *Belastingplan 2024* verschillende tarieven in de milieubelastingen verhoogd en zullen verschillende verlaagde tarieven en vrijstellingen die voor specifieke groepen gelden, worden afgebouwd. Ook heeft het kabinet in de Miljoenennota (bijlage 25) een inventarisatie gemaakt van alle vrijstellingen, verlaagde tarieven, degressieve tariefstructuren in de milieubelastingen en andere regelingen die bij kunnen dragen aan onvolledige beprijzing van klimaat- en milieuschade die gepaard gaat met het gebruik van fossiele koolstofdragers. In verband met de demissionaire status heeft het kabinet niet meer besloten over verdere afbouw van de regelingen die zijn geïnventariseerd. Wel heeft het kabinet impactanalyses laten maken die in kaart brengen wat de impact is van het afschaffen van de geïnventariseerde regelingen op huishoudens, bedrijven en het klimaat.

Voor de opbouw van de duurzame koolstofketen zijn een aantal van de regelingen in het bijzonder relevant. Deze hebben betrekking op de verduurzaming van de chemie en de internationale lucht- en scheepvaart. Ten eerste de vrijstelling van accijns op non-energetisch verbruik minerale oliën (waaronder nafta). Op basis van de Energy Taxation Directive (ETD) is accijns op minerale oliën alleen verschuldigd als die minerale oliën worden gebruikt als motor- of verwarmingsbrandstof. Het verbruik van minerale oliën als grondstof (non-energetisch) is daarom niet belast met accijns. Het is juridisch niet mogelijk om deze regeling nationaal aan te passen, omdat non-energetisch verbruik van minerale oliën niet belast(baar) is met accijns. Met een aparte belasting buiten de accijns om kan dit wel nationaal worden belast.[159] Bij een dergelijke nationale maatregel moet wel rekening gehouden worden met het behoud van een internationaal gelijk speelveld.

[159] *Miljoenennota bijlage 25*

Ten tweede de regelingen met betrekking tot de internationale lucht- en scheepvaart. Er geldt een vrijstelling van accijns op het gebruik van kerosine in het internationale luchtverkeer, om het gebruik van stookolie (met name zeevaart). Het is juridisch niet mogelijk om deze vrijstellingen nationaal aan te passen, omdat ook deze verplicht zijn vrijgesteld in de ETD[160]. Mocht de verplichte vrijstelling uit de ETD worden afgeschaft, geldt internationaal nog steeds dat wederuitvoer of uitvoer onder de accijns geen belastbare feiten zijn, waardoor de kerosine voor vluchten buiten de EU en stookolie voor scheepvaart naar buiten de EU evengoed niet belast kunnen worden. Daarnaast geldt er nog een BTW-vrijstelling op kerosine, die niet nationaal kan worden aangepast van wege een verplicht btw-nultarief volgend uit de Europese btw-richtlijn. Tot slot is er een BTW-vrijstelling op internationaal personenvervoer (lucht- en scheepvaart). Deze regeling kan deels worden aangepast voor het deel van de reis dat in Nederland plaatsvindt.[161]

In het kader van het traject *Bouwstenen voor een beter en eenvoudiger belastingstelsel* zullen scenario's worden uitgewerkt voor afbouw van regelingen die kunnen leiden tot onvolledige beprijzing van de milieu- en klimaatschade die het gebruik van fossiele koolstofdragers voortbrengt. Hierbij worden tevens mogelijke weglekeffecten, de impact op een gelijk speelveld en onze economie, en de effectiviteit van bestaand klimaatbeleid zoals het ETS meegenomen. Met het uitwerken van deze scenario's wordt invulling gegeven aan de motie Kröger c.s.[162] en de motie Erkens en Boswijk[163]. Voor de regelingen rondom de koolstofketen geldt dat de afbouw in samenhang moet worden bekeken met de opbouw en beschikbaarheid van duurzame koolstofdragers.

Om verplaatsing van productie van landen die voorlopen naar andere landen en koolstoflekkage te voorkomen is het van belang dat het streven naar een volledige beprijzing van klimaatschade zoveel mogelijk internationaal wordt vormgegeven. Nederland zet daarom in op internationale samenwerking om het toewerken naar volledige beprijzing van klimaatschade mondiaal. In Glasgow (COP26) hebben landen toegezegd om inefficiënte subsidies (voordelen) voor fossiele brandstoffen[164] uit te faseren. Nederland wil met een kopgroep verder invulling geven aan deze toezegging.

Tijdens COP28 zal Nederland, samen met gelijkgezinde landen, andere landen oproepen tot gezamenlijke actie op basis van de volgende elementen: (1) inzet op vergroten transparantie rondom fossiele brandstoffen subsidies (voordelen) en het tot stand brengen van een goede, internationaal geaccepteerde methode om fossiele brandstoffen subsidies (voordelen) op vergelijkbare wijze in kaart te brengen en onderbeprijzing zichtbaar te maken; (2) inzet op het identificeren waar internationale verdragen een belemmering vormen voor het komen tot volledige beprijzing en wegnemen van deze belemmeringen, en (3) een internationale dialoog over het uitfaseren van onderbeprijzing en fossiele brandstoffen subsidies (voordelen), om lekkage te voorkomen.

Koolstofverwijdering

Uit het onderzoek van CE Delft en TNO[165] volgen een aantal belangrijke beleidsimplicaties over de ontwikkeling van koolstofverwijdering. Vanwege het feit dat het daadwerkelijke aanbod van koolstofvastleggingsroutes beperkter (en duurder) kan zijn dan het theoretische potentieel (mede vanwege de beperkte beschikbaarheid aan duurzame koolstofdragers) is het logisch om aan te sturen op minimalisatie van de hoeveelheid restemissies, wat keuzes

[160] *Lidstaten zijn wel vrij om kerosine gebruikt voor binnenlandse commerciële vluchten te belasten. Een accijns op vliegtuigbrandstoffen voor vluchten tussen lidstaten binnen de EU is op grond van de ETD evenwel mogelijk als de EU-lidstaten onderling bilaterale overeenkomsten sluiten. Bij de introductie van de vliegbelasting is aangegeven dat het kabinet destijds geen voorstander was van een lappendeken aan bilaterale regelingen binnen de EU. Dit doet namelijk afbreuk aan het concept van één interne markt, creëert onduidelijkheid over de tussen lidstaten geldende regels en kan het gelijke speelveld voor luchtvaartmaatschappijen verstoren. Daarom is het kabinet er destijds toe overgegaan een vliegbelasting in te voeren.*

[161] *Het vervoer van personen is volgens de Europese btw-richtlijn dáár belastbaar waar dat vervoer feitelijk plaatsvindt. De vrijstelling voor het deel dat zich op Nederlands grondgebied kan daarom worden afgeschaft, maar niet voor de rest van de reis.*

[162] *Kamerstuk 321813, nr. 1297*

[163] *Kamerstuk 36410 XIII, nr. 43*

[164] *In internationale afspraken/initiatieven wordt gesproken over 'fossil fuel subsidies'. Omdat de internationale inzet voortbouwt op internationale afspraken, zoals de COP26 conclusies, ziet de internationale inzet richting COP28 specifiek op de brandstoffen kant.*

[165] *Koolstofverwijdering voor klimaatbeleid - Analyse van behoefte, aanbod en beleid voor negatieve emissies in Nederland. CE Delft & TNO (2023).*

vergt over welke bronnen van restemissies in 2050 acceptabel zijn en wat de omvang van die restemissies mag zijn.

Om de emissies die overblijven te compenseren is koolstofverwijdering nodig. Daartoe moet een keuze worden gemaakt, bij voorkeur op Europees niveau, welke koolstofvastleggingsroutes ter compensatie waarvan mogen worden ingezet. In het beleid dient daartoe een duidelijk onderscheid te worden gemaakt in koolstofvastleggingsroutes die permanent zijn en routes die tijdelijk zijn. De belangrijkste uitdaging is om voldoende prikkels te creëren om in koolstofverwijdering te investeren zonder dat dit leidt tot minder inzet op emissiereductie. Dit betekent dat het bijvoorbeeld verstandig kan zijn om de huidige markt voor emissies (het ETS), dat emissiereductie als doel heeft, en een toekomstig (markt)mechanisme voor koolstofverwijdering gescheiden te houden of de omvang van de inzet van compensatie te reguleren. Naast marktprikkels zijn ook andere instrumenten denkbaar.

In het algemeen is het van belang dat er afspraken gemaakt worden over hoe koolstofvastlegging met transparante, gestandaardiseerde en verifieerbare methoden kan worden geborgd in wettelijke instrumenten van de EU, waaronder ETS of nieuwe instrumenten. Tot slot is het van belang om in het innovatie-instrumentarium de criteria zodanig aan te passen dat niet alleen technieken die tot emissiereductie leiden maar ook koolstofverwijderingstechnologieën effectief ondersteund kunnen worden, in hoeverre dat nog niet het geval is.

Gezien de grenzen van het binnenlandse CO_2-opslagpotentieel én de blijvende behoefte aan koolstofverwijdering zijn keuzes nodig over de omgang met het beschikbare binnenlandse en buitenlandse opslagpotentieel en wat dit betekent voor de hoeveelheden fossiele en niet-fossiele CO_2 die kunnen worden opgeslagen. Hierbij is van belang dat ook op Europees niveau het potentieel voor het realiseren van koolstofverwijdering naar verwachting weliswaar behoorlijk groot, maar niet oneindig is en de kosten onzeker. Dat potentieel loopt bovendien uiteen tussen lidstaten, terwijl vooralsnog beperkt EU-beleid is over de mate waarin koolstofverwijdering meetelt voor de klimaatdoelen en de flexibiliteit tussen lidstaten. Ten slotte kan er in sommige gevallen concurrentie optreden tussen het gebruik van duurzame koolstofdragers voor chemie en energie en de klimaatnoodzaak van koolstofverwijdering. Hierdoor ontstaat de behoefte aan duidelijkheid over de prioritering van verschillende toepassingen van biogrondstoffen en niet-fossiele CO_2. Het kabinet zal het beleidskader voor koolstofverwijdering de komende tijd verder uitwerken en daarbij bovengenoemde overwegingen meenemen.

Maximaliseren binnenlands potentieel

Eén van de uitgangspunten van dit NPE is dat het aanbod aan koolstof, waterstof, elektriciteit en warmte maximaal wordt opgeschaald. Daarbij is het streven om zelfvoorzienend te zijn voor het grootste deel van de binnenlandse energievraag (inclusief niet-energetisch gebruik). Hoewel het merendeel van de vraag naar koolstofdragers afkomstig is van internationaal gerichte sectoren, zou het streven in dit geval zijn om voor het deel van de vraag dat toekomt aan Nederlandse consumptie ook zoveel mogelijk zelfvoorzienend te zijn. Daarom is het van belang om het binnenlandse aanbodpotentieel van duurzame koolstofdragers te maximaliseren en dit potentieel vervolgens maximaal te benutten. Het kabinet kan een aantal dingen doen om het aanbod te vergroten: 1) het ontwikkelen van een biogrondstoffenstrategie voor de Nederlandse productie van biogrondstoffen; 2) de vraag naar duurzame koolstofdragers stimuleren (marktvraag stimuleert aanbodontwikkeling) en 3) inzetten op technologische innovatie. De mogelijkheden worden hieronder verder uiteengezet.

Als eerste pijler zal worden gewerkt aan een biogrondstoffenstrategie voor de Nederlandse productie van biogrondstoffen. De Nederlandse biogrondstoffenstrategie heeft als doel om de cascade van verschillende biogrondstofstromen te optimaliseren en daarnaast te onderzoeken hoe teelt en gebruik van biogrondstoffen voor niet-voedseltoepassingen passen in een duurzaam landbouw- en voedselsysteem van de toekomst, op Nederlands en Europees niveau. Kansen liggen bijvoorbeeld in de productie van dubbeldoelgewassen, totaal gebruik van bestaande gewassen en andere gewasrotatie. In de strategie zal de koppeling gelegd worden met bestaande en te ontwikkelen beleidskaders zoals het Nationaal Programma Landelijk Gebied, de eiwit- en voedselstrategie en het Duurzaamheidskader Biogrondstoffen.

Vraagstimulering voor duurzame koolstofdragers vormt de tweede pijler. De verplichting van de inzet van biogrondstoffen en recyclaat in de Nederlandse plasticproductie draagt niet

alleen bij aan de verduurzaming van de plasticindustrie, maar zal ook helpen bij het opbouwen van een markt voor duurzame koolstofdragers. Als de vraag naar duurzame koolstofdragers immers stijgt, stijgt ook de prijs. Hierdoor is het aantrekkelijker om biogrondstoffen en secundaire grondstoffen te verwerken tot hoogwaardige input voor de chemische industrie.

Als derde pijler speelt technologische innovatie aan de aanbodkant een belangrijke rol, omdat het maximaal benutten van binnenlands potentieel vraagt om de ontwikkeling, verbetering en opschaling van conversietechnologieën waarmee heterogene input als biogrondstoffen en afvalstromen kunnen worden omgezet in homogene, kwalitatief hoogwaardige koolstofdragers. Deze technische uitdagingen op het gebied van ontwikkeling, procesverbetering en opschaling zijn in paragraaf 3.4 per vraag- en aanbodtype aan de orde geweest. In het Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma 6 (MMIP6)[166] wordt voor zowel biogrondstoffen, circulaire kunststoffen als CCU (waaronder de productie van synthetische koolstofdragers) een programmatische aanpak met innovatieopgaven geschetst. Met het oog op 2030 staan in dit MMIP belangrijke ambities, die zullen bijdragen aan het vergroten van het duurzame aanbod aan koolstofdragers. Een aantal voorbeelden hiervan zijn het ontwikkelen van twee chemische recyclinginstallaties in 2026, het produceren van 100 PJ transportbrandstoffen, het ontwikkelen van drie bioraffinagecomplexen voor gecombineerde productie van chemische bouwblokken, brandstoffen en energie, en het bereiken van significante verbeteringen in CO_2 conversietechnologieën. Ook innovatie op het gebied van DAC of DOC kan op termijn bijdragen aan het vergroten van het potentieel aan duurzame koolstof.

Naast het stimuleren van de benodigde technologie en opschaling zijn ook keteninnovaties van belang waarbij verschillende (veelal bestaande) processen op nieuwe manieren worden gecombineerd. Hierbij speelt kennisopbouw en -deling een belangrijke rol. Het kabinet zal de komende jaren bezien of er voldoende aansluiting is tussen de huidige MMIP's, de bijbehorende instrumenten (de MOOI, de DEI en het Klimaatfonds) en de gewenste ontwikkelrichting van de koolstofketen zoals geschetst in dit NPE. Mogelijk zijn aanvullende maatregelen nodig om de benodigde innovatie voor de koolstofketen te stimuleren.

Daarnaast stimuleert het kabinet de transitie naar een duurzame koolstofketen via het Nationaal Groeifonds met de projecten Circular Plastics NL en Biobased Circular.

Importstrategie

Om het resterend verbruik aan fossiele koolstofdragers tot een minimum te beperken is het essentieel dat er voldoende import mogelijk is van (verwerkte) biogrondstoffen, (verwerkte) secundaire grondstoffen en synthetische koolstofdragers. Zoals eerder benoemd is daarom ook het vergroten van het Europese en mondiale aanbod aan duurzame koolstofdragers van belang. Dit kan worden gestimuleerd door ambitieuzere internationale doelstellingen.

Nederland heeft belang bij een liquide markt voor duurzame koolstofdragers en bij de mogelijkheid om koolstofdragers in te kopen bij een brede groep landen. Daarom vindt het kabinet het van belang om de komende jaren toe te werken naar een importstrategie voor duurzame koolstofdragers. Het kabinet zal de komende jaren verkennen waar een importstrategie voor koolstofdragers aan moet voldoen. In de context van het waterstofbeleid wordt al sterk op energiediplomatie ingezet om toekomstige importen van waterstof(dragers) veilig te stellen. Het kabinet zal verkennen of vergelijkbare stappen kunnen worden gezet voor de import van duurzame koolstofdragers. Dit zou zich kunnen vertalen naar een bredere importstrategie voor duurzame energiedragers.

Een belangrijke vraag is in welke vorm de import plaatsvindt. Dit zal dus ook onderdeel uitmaken van de importstrategie. Er zal moeten worden onderzocht op welke schaal het wenselijk is dat de conversie van (ruwe) biogrondstoffen en afval tot homogene inzetbare producten of recyclaat in Nederland zelf plaatsvindt. Het alternatief is om verwerkte producten zoals biobrandstoffen of pyrolyseolie te importeren. Ook de inzet op diversificatie van het aanbod zal onderdeel zijn van de importstrategie. Het kabinet verkent tot slot welke randvoorwaarden gesteld moeten worden aan de import van biogrondstoffen, secundaire grondstoffen of synthetische koolstofdragers en zal deze voorwaarden indien nodig verwerken in de importstrategie.

Borging leveringszekerheid

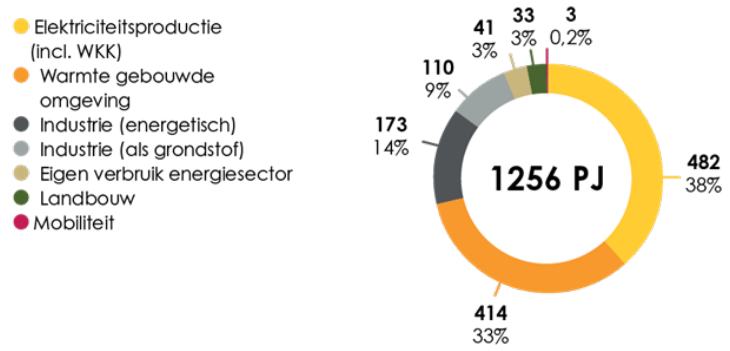
[166] *MMIP6: Sluiting van industriële ketens, TKI Energie & Industrie.*

Sinds de oliecrisis in de jaren '70 beschikken landen in Europa en zo ook Nederland over strategische voorraden voor ruwe olie en olieproducten. Strategische voorraden zijn bedoeld om ten tijde van ernstige verstoringen of (extreme) schaarste in te zetten om ontwrichting van de economie en samenleving te voorkomen. Strategische voorraden olie (product) worden bij voorkeur collectief in Europees of internationaal verband ingezet. Gedurende de transitie van een door fossiele koolstofdragers gedomineerde energiemix naar een energiemix waarin andere energiedragers geïmporteerd worden, zal opnieuw overwogen moeten worden in hoeverre en voor welke energiedragers en toepassingen strategische voorraden wenselijk zijn. Een dergelijke afweging zou gemaakt kunnen worden voor waterstof en daaruit afgeleide dragers, maar dat kan ook gelden voor duurzame koolstofdragers. De komende periode zal in de uitwerking van de NPE-beleidsagenda de behoefte aan en wenselijkheid van strategische voorraden verder verkend en geduid worden, zodat hier een visie op ontwikkeld kan worden. Het borgen van leveringszekerheid kan daarnaast ook een argument zijn om een zeker niveau aan binnenlandse productie van duurzame koolstofdragers wenselijk te achten. Ook dit aspect zal worden meegewogen in de verdere uitwerking van het beleid. Ook voor de resterende behoefte aan fossiele koolstofdragers blijft het borgen van de leveringszekerheid van belang. Specifiek voor aardgas wordt dit beschreven in paragraaf 3.6.

3.6. Aardgasafbouwpad

Rol van aardgas in huidig energiesysteem

Sinds de jaren vijftig is aardgas uitgegroeid tot de belangrijkste energiedrager in het Nederlandse energiesysteem. Op dit moment is aardgas de bron van meer dan 40% van het totale primaire energieverbruik.[167] We gebruiken het met name in gascentrales om elektriciteit en warmte op te wekken (38%), in de gebouwde omgeving om onze huizen te verwarmen en te koken (33%), en in de industrie als energiebron (14%) en als grondstof (9%) (zie Figuur 19). Daarnaast is Nederland van oudsher een belangrijk doorvoerland van gas naar onze buurlanden (gasrotonde), dit zowel vanwege significante eigen productie als vanwege omvangrijke import.

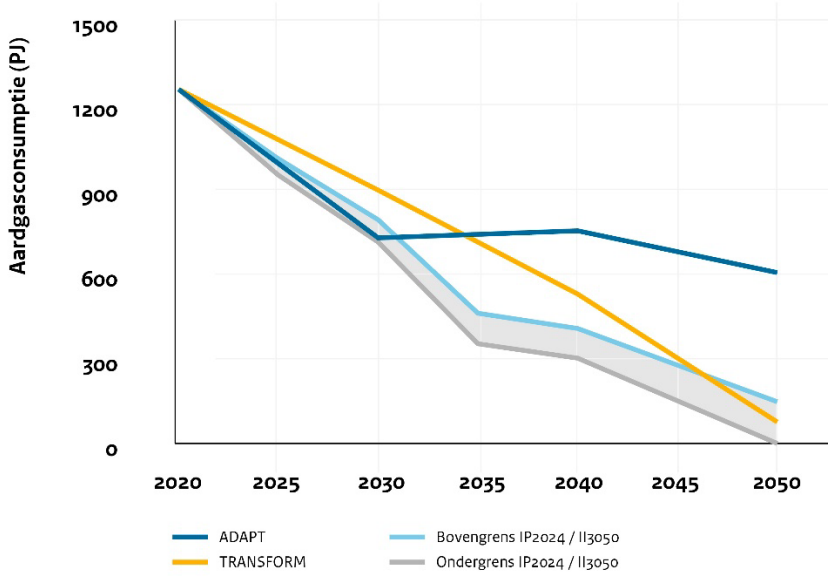


Figuur 19. Aardgasverbruik per sector in 2021.[168]

In de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem zal de rol van aardgas steeds kleiner worden en uiteindelijk zelfs helemaal verdwijnen. Terwijl de energieketens voor het toekomstige energiesysteem opgebouwd worden, wordt het aardgasgebruik afgebouwd. Dat betekent dat aardgas vervangen wordt door ofwel andere, alternatieve energiedragers zoals elektriciteit en waterstof, ofwel door groen gas waardoor het gasverbruik verduurzaamt. Bij een vergelijking van verschillende scenario's[169,170,171] (Figuur 20, pagina 92) daalt het aardgasgebruik in 2030 naar 700 tot 900 PJ. In 2040 daalt het aardgasgebruik naar 300 tot 500 PJ. Het zogeheten TRANSFORM-scenario van TNO kent een relatief hoge aardgasvraag in de transitieperiode vanwege inzet van aardgas als brandstof in de internationale mobiliteit. Internationale mobiliteit valt buiten de scope van de IP2024/II3050 scenario's en de bandbreedte zoals weergegeven in Figuur 20 refereert dus aan het binnenlandse aardgasgebruik. Richting 2050 daalt het aardgasgebruik verder naar 0 tot 200 PJ. Een uitzondering daarop is het ADAPT-scenario van TNO waarin aardgas nog steeds een relatief grote rol speelt in combinatie met CCS. Dit komt vooral doordat het ADAPT-scenario geen doelstelling kent voor het afbouwen van fossiele koolstofdragers. Dit scenario past niet

[167] *Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik. CBS (2021).*
[168] *Energie in cijfers. EBN (2023) (op basis van: Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik. CBS (2021)).*
[169] *Een klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland, TNO (2022).*
[170] *Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's, Netbeheer Nederland (2023)*
[171] *Scenario's investeringsplannen 2024, Netbeheer Nederland (2023).*

bij de inzet van het kabinet om te sturen op het minimaliseren van de inzet van fossiele koolstofdragers, waaronder aardgas. De overige scenario's sluiten beter aan bij de gewenste ontwikkelrichting.



Figuur 20. Bandbreedte van primair aardgasverbruik op basis van scenario's van Netbeheer Nederland (IP2024 en II3050) en TNO (ADAPT en TRANSFORM).

Het aardgasafbouwpad op basis van dit NPE volgt uit de sectorale transitiepaden (verdiepingsdocument C) en de ontwikkeling van het duurzame aanbod. De ontwikkelingen in het aardgasverbruik per sector zijn sterk van invloed op de keuzes die gemaakt moeten worden met betrekking tot de productie, import en om- en afbouw van transport-, distributie- en opslagcapaciteit. In het algemeen geldt dat verschillende groepen gebruikers verschillende afbouwmogelijkheden hebben met elk hun eigen complicerende factoren. Dat zit hem bijvoorbeeld in het verschil in laagcalorisch en hoogcalorisch gasverbruik. Dat zit ook verweven in de infrastructuur. In onderstaande paragrafen wordt daarom eerst grof geschetst welke rol aardgas richting 2050 zal spelen binnen de verschillende sectoren. Vervolgens wordt uiteengezet welk type vraagstukken hieruit volgen voor de afbouw van productie en import en het gebruik van gasopslagen en transport- en distributienetten.

Afbouw aardgasverbruik

In de transitiefase van de elektriciteitssector verandert de rol van aardgas: eerst als alternatief voor de kolencentrales die op korte termijn (uiterlijk in 2030) worden uitgefaseerd. Ook zal er in de transitiefase aardgas gebruikt worden voor de productie van koolstofarme waterstof (met toepassing van CCS). Later mogelijk ook nog in een back-uprol als er sprake blijkt van onvoldoende opbouw van CO_2-vrij regelbaar productievermogen in de elektriciteitsketen, waarbij het uitgangspunt is dat deze in 2035 CO_2-neutraal moet zijn. Op basis van dit streefdoel is er in principe geen ruimte voor inzet van aardgas zonder CCS.

In de gebouwde omgeving wordt de rol van aardgas geleidelijk afgebouwd doordat huishoudens overstappen naar alternatieve warmtebronnen. In het klimaatakkoord is afgesproken dat gemeenten per wijk bepalen wanneer deze van het aardgas afgaan en op welk alternatief wordt overgegaan. Hoewel in de gebouwde omgeving wordt gestreefd naar de uitbreiding van warmtenetten en elektrische warmtepompen, zijn er ook huizen (bijvoorbeeld monumentale panden in oude binnensteden of lastig te isoleren woningen het buitengebied) waarvoor deze alternatieven mogelijk niet haalbaar zijn. In dat geval moet er duurzaam gas in combinatie met een hybride warmtepomp worden ingezet (waterstof of groen gas). Daarnaast is aardgas vooralsnog ook vaak een bron voor de warmteproductie voor collectieve warmtenetten.
Aardgas wordt in de industrie niet alleen als energiebron ingezet, maar ook als grondstof. In de industrie is de afbouw minder geleidelijk omdat het veelal grootverbruikers betreft. Dit roept de vraag op hoe om te gaan met overstappende grootverbruikers (zowel van kolen naar aardgas als transitiebrandstof, als van aardgas naar waterstof) en welke impact dit heeft op het gasnet. De afbouw van aardgas hangt daarmee voor de industrie nauw samen met de opbouw van waterstof. Hoe lang aardgas nog een (grote) rol speelt hangt daarnaast ook af van de mate waarin aardgas nog zal worden ingezet in combinatie met CCS en als grondstof voor de productie van koolstofarme waterstof.

De landbouw en de mobiliteitssector verbruiken relatief weinig aardgas ten opzichte van de overige sectoren. Voor de glastuinbouw is het streven om uiterlijk in 2040 geen aardgas meer te gebruiken. In de mobiliteitssector zal de komende jaren mogelijk wel een toename in aardgasgebruik zichtbaar zijn, vanwege de rol van LNG (liquid natural gas) als transitiebrandstof voor de scheepvaart.

Ook de functie van Nederland als doorvoerland zal de komende jaren veranderen. Allereerst door de al in gang gezette afbouw van de export van laagcalorisch gas naar België, Duitsland en Frankrijk. In 2030 zal deze export tot praktisch nul zijn afgebouwd. Maar ook de doorvoer van hoogcalorisch gas is aan het veranderen, met name vanwege veranderde gasstromen door de oorlog in Oekraïne. Er komt momenteel nauwelijks nog gas uit Duitsland naar Nederland terwijl de aanvoer uit België en het Verenigd Koninkrijk naar Nederland is toegenomen, net als de doorvoer naar Duitsland. Op de langere termijn zal de doorvoer afnemen, want ook buurlanden zetten in op de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem. De komende tijd brengt het kabinet verder in kaart hoe de afbouw van het aardgasverbruik eruit zal zien[172]. Daarbij is het relevant om onderscheid te maken tussen de inzet van aardgas als brandstof en de inzet van aardgas als grondstof.

Vraagstukken volgend uit afbouwpad aardgas

De afbouw van het aardgasgebruik heeft grote gevolgen voor de afbouw van productie, import en het gebruik van gasopslagen, transport en distributienetten. Tegelijkertijd zullen ook in het toekomstige energiesysteem gasvormige energiedragers worden ingezet (waterstof en groen gas). Daarnaast zal ook CO_2 voor Carbon Capture and Storage (CCS) en Carbon Capture and Utilisation (CCU) getransporteerd en opgeslagen moeten worden. Uit het afbouwpad van aardgas en het opbouwpad van duurzame gassen volgen verschillende vraagstukken voor de afbouw en ombouw van productie, import, opslaglocaties en transport- en distributienetten. Om de transitie naar een fossielvrij energiesysteem in 2050 mogelijk te maken, zullen er op deze terreinen tussen nu en 2035 onomkeerbare stappen naar voren komen. Deze stappen vragen om goed getimede keuzes van het kabinet. In dit NPE brengt het kabinet de keuzes in beeld die de komende tijd verder worden uitgewerkt.

De vraagstukken kunnen grofweg ingedeeld worden in drie categorieën, gerelateerd aan de publieke belangen *duurzaamheid, leveringszekerheid, betaalbaarheid en rechtvaardigheid*. Vanuit duurzaamheidsoogpunt is het wenselijk om zoveel mogelijk bestaande infrastructuur her te gebruiken voor duurzame gassen en CO_2. Vragen die hieruit voortkomen zijn 1) wanneer eventuele ombouw en afbouw plaats zou moeten vinden, 2) op welke manier infrastructuur het best kan worden hergebruikt en 3) welke vorm van (nationale) coördinatie hierbij gewenst is. Daarnaast zijn er vraagstukken die voortkomen uit het belang om leveringszekerheid van de resterende aardgasvraag te borgen. Bijvoorbeeld op welke manier investeringsbereidheid in nieuwe productie en bestaande infrastructuur in stand gehouden kan worden en in hoeverre nationale coördinatie nodig is op het zeker stellen van voldoende toevoer aan aardgas voor het resterende gebruik. Vanwege de grote mate van onzekerheid die gepaard gaat met de opbouw van duurzaam aanbod, moet hierbij ook rekening gehouden worden met de back-up rol van aardgas gedurende de transitie. Vanuit rechtvaardigheids- en betaalbaarheidsoogpunt volgt tot slot de vraag wat een wenselijke kostenverdeling is voor gebruik, hergebruik en onderhoud van gasinfrastructuur op de lange termijn als het aantal gebruikers afneemt.

In onderstaande paragrafen wordt per schakel in de gasketen (productie, import, opslag, transport en distributie) het huidige beleid in relatie tot bovenstaande vraagstukken verkent. Het kabinet werkt dit de komende tijd verder uit.

Productie

Het kabinet heeft de gasproductie op het Groningenveld per 1 oktober 2023 naar nul gebracht. Alleen in bepaalde zeer uitzonderlijke situaties kan in gasjaar 2023-2024 in beperkte mate gas worden gewonnen uit het veld. Op 3 oktober 2023 is een wetsvoorstel aan de Tweede Kamer aangeboden, waarmee de gaswinning op het Groningenveld per 1 oktober 2024 definitief wordt beëindigd.

De Nederlandse gaswinning op land en op zee levert de komende jaren een belangrijke bijdrage aan de leveringszekerheid. De productie van aardgas uit kleine velden voorzag in 2022 voor ongeveer een derde van de binnenlandse gasvraag. Dat neemt door natuurlijke uitputting van reserves in de komende decennia steeds verder af. Het huidige kabinet continueert het beleid van het vorige kabinet om geen nieuwe opsporingsvergunningen op land te verlenen. Ook zullen er geen nieuwe vergunningsaanvragen in behandeling worden genomen voor gaswinning onder de Waddenzee. Het kabinet ziet het meeste aardgaspotentieel op de Noordzee. Het is noodzakelijk om de exploratie en winning van

[172] *Toezegging aan Kamerlid Boucke op 12 oktober 2023*

aardgas op de Noordzee te stimuleren om een snelle daling van de gasproductie zoveel mogelijk af te vlakken (de zogeheten versnelling) om de leveringszekerheid de komende decennia zoveel mogelijk te waarborgen. Daarnaast wordt de sector geacht haar operaties te verduurzamen, bijvoorbeeld door elektrificatie van platforms, wat naast CO_2 uitstootreductie ook een bijdrage levert aan de gasleveringszekerheid. [173]

De productie zal richting 2050 in lijn zijn met de visie op de transitie naar een klimaatneutrale koolstofketen. Voor de zomer (2023) is een Kamerbrief verstuurd over het perspectief op de afbouw van de fossiele productie in de komende decennia, waar de aardgasproductie uit de kleine velden een belangrijk onderdeel van uitmaakt. Vragen die om nadere uitwerking vragen zijn hoe de gasproductienetten van operators op zee kunnen worden hergebruikt, hoe de investeringsbereidheid voor productie op de Noordzee voor de eindfase van de productie op peil blijft en in hoeverre leeggeproduceerde velden en de bijbehorende infrastructuur (tijdig) beschikbaar zijn voor CO_2- en waterstof transport- en opslag.

Import

Omdat aardgas op de middellange termijn nog wel een belangrijke rol speelt, blijft het voorlopig nog een uitdaging om voldoende gas naar Nederland te halen. Vanwege het wegvallen van de gasaanvoer via pijpleidingen uit Rusland is Nederland in 2022 afhankelijker geworden van de aanvoer van Liquid Natural Gas (LNG), als onderdeel van de nationale 'gasmix'. Om die reden is in 2022 de LNG-importcapaciteit in Nederland in korte tijd uitgebreid van 12 naar 24 bcm[174] (billion cubic meters, miljard kubieke m^3) per jaar (Eemshaven 8 bcm en GATE 4 bcm). In de Kamerbrief over gasleveringszekerheid van 14 april 2023[175] zijn de verwachtingen over de ontwikkelingen op het gebied van LNG en geplande uitbreidingen voor komende jaren nader beschreven. Voor de lange termijn, richting 2050, dient de aanvoer van LNG echter te worden afgebouwd. Mede daarom worden nieuwe terminals zo veel als mogelijk 'waterstof ready' opgeleverd, zodat deze in de toekomst gemakkelijker kunnen worden getransformeerd om waterstof of andere groene energiedragers te kunnen importeren. De kennis en techniek hiervoor is echter nog in ontwikkeling. Op basis van het afbouwpad en de rol die Nederland speelt als doorvoerland zal moeten worden bepaald welke LNG-terminals voor welke duurzame energiedrager worden ingezet en wanneer.

Opslag

Vorig jaar speelde gasopslag bij het wegvallen van de toevoer van Russisch gas een belangrijke rol in het voorkomen van gastekorten. Ook in de transitie naar het toekomstige energiesysteem heeft gasopslag een belangrijke rol. Door het afbouwen van de gaswinning in Nederland is gasopslag op korte termijn de enige bron van flexibiliteit. Gasopslag vervult een strategische rol voor de stabiliteit van het energiesysteem als geheel, ook voor de op het Nederlandse net aangesloten buurlanden. Dat wil zeggen dat gasopslag een belangrijke rol gaat spelen om bijvoorbeeld piekvragen naar gas op te vangen. Eerder had het Groningenveld die functie. Met de afbouw van de vraag naar gas, zal ook de hoeveelheid gas die in Nederland moet worden opgeslagen minder worden. Gezien deze context is het kabinet voor de zomer gekomen met een langetermijnstrategie voor de inzet van gasopslagen. Hierin zet het kabinet uiteen welke meer structurele maatregelen het kabinet voornemens is om te zorgen dat gasopslagen de komende jaren (richting 2030) voldoende gevuld worden. Hiermee samen hangen vraagstukken rondom financiering en kostenverdeling wanneer de behoefte aan opslag afneemt. Voor de langere termijn geldt ook voor opslaglocaties dat moet worden verkend op welk moment de opslagen kunnen worden omgebouwd en ingezet ten behoeve van de opslag van groen gas of waterstof.

Transport en distributie

In Nederland kennen we verschillende typen transport- en distributienetten met elk hun eigen uitdagingen wat betreft ombouw[176] en afbouw: het landelijk gastransportnet van Gasunie Transport Services (GTS), de regionale gastransportnetten en de gasproductienetten die productielocaties op land en zee koppelen aan het landelijk gastransportnet. Het landelijk gastransportnet van GTS bestaat uit twee hoofdtransportleidingennetten (één voor laagcalorisch gas en één voor hoogcalorisch gas).

[173] *Kamerstuk 33 529, nr. 1058*
[174] *24 bcm is gelijk aan ongeveer 850 PJ*
[175] *Kamerstuk 29023, nr. 417*
[176] *Ombouw verwijst in dit hoofdstuk naar de handelingen die nodig zijn om de aardgasinfrastructuur geschikt te maken voor hergebruik voor andere gassen dan aardgas (groen gas, waterstof, CO_2).*

Die zijn onderling gekoppeld via meng- en conversiestations en een regionaal transportleidingennet. Verder kennen hoofdtransportleidingennetten diverse verbindingen met de ons omringende landen waarmee gas wordt geïmporteerd en geëxporteerd.

Met name de timing van ombouw of afbouw van deze netten is relevant, waarbij een deel van de netten juist in stand zal worden gehouden voor het gebruik van groen gas en waterstof. De timing van ombouwen of afbouwen hangt af van zeker twee complexe factoren. Ten eerste is het afhankelijk van de timing waarop groepen huishoudens, industrie en elektriciteitscentrales overstappen op alternatieven en van ontwikkelingen ten aanzien van de export en doorvoer van aardgas. Ten tweede volgt vanuit de technische opbouw van de transport en distributienetten de vraag hoe groot het gebied is dat per keer moet worden afgesloten van aardgas of worden omgezet op alternatief gebruik. Dit hangt ook nauw samen met de opbouw van alternatieven als groen gas en waterstof en waar deze dragers zullen worden ingezet. Dit maakt afbouw en ombouw van gasinfrastructuur tot een complexe puzzel. Voor het landelijk transportnet van GTS is de puzzel iets minder complex, omdat dat bestaat uit zes tot acht parallelle leidingen. Hier kan de keuze per leiding worden gemaakt, waardoor meerdere gasdragers parallel aan elkaar kunnen worden getransporteerd. Het waterstoftransportnet wordt dan ook grotendeels (85%) gerealiseerd op basis van hergebruik van bestaande gasleidingen.

In de basis zijn de afspraken met betrekking tot onderhoud en het afsluiten van gasnetten in de gaswet toegewezen. Netbeheerders hebben de taak om via hun investeringsplannen het beheer en onderhoud van gasnetten te plannen. In het wetsvoorstel Gemeentelijke instrumenten warmtetransitie wordt gemeenten de mogelijkheid gegeven om gasnetten met het oog op ruimteverwarming af te laten sluiten. Op de lange termijn komt door de complexiteit van ombouw en afbouw van het transport en distributienet als geheel de vraag naar boven op welke wijze deze maatschappelijke afwegingen het beste gemaakt kunnen worden en door wie. Daarnaast leidt dit tot de vraag in welke mate afstemming met de ons omringende landen moet plaatsvinden om tot een gezamenlijke aanpak te komen ten aanzien van de inzet van deze netten voor het transport van niet-fossiele moleculen zoals waterstof.

Vanuit het robuustheidsprincipe is het wenselijk om de opties voor hergebruik van leidingen zo lang mogelijk open te houden. Aan de andere kant gaan er kosten gepaard met het in stand houden van de infrastructuur. Het is dus ook wenselijk om op tijd de keuze voor hergebruik te maken. Doordat het aantal verbruikers sterk zal dalen richting 2050 zal ook de verdeling van kosten voor het gebruik van de infrastructuur moeten meebewegen. Zo moet worden voorkomen dat een kleine groep resterende verbruikers in toenemende mate wordt belast. Tot slot is het vanuit de belangrijke rol van aardgas in de komende jaren én met de sterke afbouw richting 2050 in zicht, een vraag hoe investeringen in private infrastructuur, waaronder ook netten van private partijen, zoals van private producenten op zee, in stand kunnen blijven.

Omdat de fysieke ombouw en afbouw van het grootste deel van de gasinfrastructuur tussen 2030 en 2040 op gang zal komen, is het van belang dat bovenstaande vragen al op relatief korte termijn (voor 2030) worden beantwoord. Het kabinet werkt dit de komende tijd verder uit.

4. Ontwikkelpad warmteketen

Samenvatting

- Het ontwikkelpad van de warmteketen richt zich primair op de ontwikkeling van collectieve warmtevoorziening door middel van een warmtenet. De direct relevante eindgebruikerssectoren zijn de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. De warmtevraag in de industrie wordt hier buiten beschouwing gelaten, maar wordt behandeld in het transitiepad industrie (verdiepingsdocument C, hoofdstuk 3).
- De verduurzaming van de warmtevraag in de gebouwde omgeving en glastuinbouw is een breder vraagstuk dan enkel de uitrol van collectieve warmtevoorzieningen. Energiebesparing en de inzet van volledig elektrische warmtepompen en hybride warmtepompen op elektriciteit in combinatie met duurzame gassen spelen hierin een belangrijke rol. Dit ketenontwikkelpad kan dus niet los worden gezien van deze andere verduurzamingsroutes voor de warmtevraag, zoals weergegeven in de sectorale transitiepaden voor gebouwde omgeving en landbouw (verdiepingsdocument C, hoofdstukken 1 en 4).
- Voor het transitiepad van de gebouwde omgeving is een viertal scenario's gemaakt, die uitkomen op een groei van de collectieve warmtelevering naar 66-172 PJ (enkel (zeer) lage en middentemperatuur) in de periode tot 2050 (huidig volume: +/- 20 PJ). Voor de glastuinbouw is er een verwachte vraag naar warmte van 60 PJ in 2040 die volledig duurzaam ingevuld moet worden (huidig volume duurzame warmte: 13 PJ).
- Deze groei is in lijn met de doelen die het kabinet nastreeft voor het doorontwikkelen van collectieve warmte. Hierbij wordt gestreefd naar het duurzaam invullen van de warmtevraag voor collectieve warmte. Die wordt vooralsnog ingeschat op ongeveer 50 PJ in 2030 en rond de 100 PJ in 2050 (enkel voor de gebouwde omgeving). Hiernaast wordt voor de glastuinbouwsector een doel van 30 PJ 'duurzame alternatieven' in 2030 nagestreefd, wat vrijwel allemaal in de vorm van warmte zal zijn.
- Bij de opschaling van de collectieve warmtevoorziening is het belangrijk om zo veel mogelijk rekening te houden met de kenmerken van het toekomstige, duurzame energiesysteem. Daarin zal meer behoefte zijn aan flexibele vraag om fluctuaties in het aanbod van elektriciteit op te vangen. Verder zal het meer uitdagend zijn om de piekvraag van warmte in de winter op te vangen, met name op dagen met een gering elektriciteitsaanbod.
- Ook de ontwikkeling van de koudevraag kan invloed hebben op de ontwikkeling van warmtenetten. Met name ZLT netten kunnen aantrekkelijker worden en harder groeien dan voorzien in verband met de ontwikkeling van de koudebehoefte.
- Dit leidt tot twee gewenste ontwikkelrichtingen en twee uit te werken vraagstukken
  - Gewenste ontwikkelrichting 1: Sterke inzet op de opschaling van warmtenetten met duurzame warmtebronnen, met zo goed mogelijke benutting van lokale bronnen en zo beperkt mogelijke behoefte aan systemische energiedragers
  - Gewenste ontwikkelrichting 2: Inzet op de doorontwikkeling en opschaling van warmteopslag (met name seizoensopslag).
  - Vraagstuk 1: Welke indicatoren zijn nodig om te beoordelen of de warmtenetten en -bronnen optimaal bijdragen aan de duurzaamheid van het energiesysteem in Nederland?
  - Vraagstuk 2: Wat is vanuit energiesysteemperspectief per situatie de meest wenselijke oplossing voor duurzame invulling van de piekwarmtevraag bij een warmtenet?

4.1. Huidige situatie en beleid

De gebouwde omgeving en de glastuinbouw hebben warmte nodig om te zorgen dat woningen en gebouwen een comfortabele binnentemperatuur en warm tapwater hebben en om te zorgen dat het klimaat in kassen geschikt is voor de gewenste teelt. Deze functionele warmtevraag is decennialang voor het overgrote deel ingevuld door verwarmingsketels en warmtekrachtkoppeling-installaties (wkk's)[177] die worden gevoed met aardgas. Inmiddels is de transitie naar een duurzame warmtevoorziening zonder aardgas in volle gang.

De netto warmtevraag in de gebouwde omgeving betreft ca 432 PJ (2021). Deze warmtevraag wordt voor het grootste deel ingevuld met (aard)gasgestookte ketels (398 PJ). De resterende warmtevraag wordt ingevuld door warmtenetten (19 PJ), volledig elektrische warmtepompen (12 PJ) en hybride warmtepompen (4 PJ). Het huidige beleid voor de gebouwde omgeving richt zich op de volgende oplossingen.

- Isoleren richting de standaard voor woningisolatie die in 2021 is vastgesteld.[178]
- Het wijkgericht aardgasvrij maken van de gebouwde omgeving waar een goed alternatief is (warmtenet of volledig elektrisch).
- Hybride warmtepompen als een tussenoplossing of (in beperkte mate) als eindoplossing in combinatie met duurzaam gas.

Daarnaast richt het beleid zich op het ontwikkelen van duurzame bronnen, energiedragers en infrastructuren, waaronder groen gas (onder meer via de bijmengverplichting), warmtenetten (onder meer via de Warmtenetten Investeringssubsidie – WIS-regeling) en de daaraan gekoppelde duurzame warmtebronnen zoals geothermie, restwarmte, omgevingswarmte en aquathermie (onder meer via SDE++ en innovatieprogramma's).

De concrete beleidsdoelen voor 2030 zijn het isoleren van 2,5 miljoen woningen, het verduurzamen van 120.000 utiliteitsgebouwen, de installatie van 1 miljoen hybride warmtepompen in de bestaande bouw, het realiseren van 500.000 nieuwe aansluitingen op warmtenetten in de bestaande bouw[179] het verduurzamen van 1,5 miljoen woningen via de wijkgerichte aanpak en het bijmengen van 1,6 bcm (billion cubic meters, miljard kubieke meter) groen gas (50 PJ).[180] Naast het Nederlandse beleid is er ook Europees beleid dat relevant is voor de warmtetransitie, zoals de uitbreiding van het emissiehandelssysteem naar de gebouwde omgeving (ETS-BRT), de herziening van de Energy Efficiency Directive (EED) en de herziening van de Richtlijn Energiepresentatie van Gebouwen (EPBD) met de introductie van de minimale energieprestatiestandaarden voor gebouwen en woningen. In het transitiepad gebouwde omgeving wordt in meer detail op het beleid voor de gebouwde omgeving ingegaan.

In 2021 was het warmtegebruik in de glastuinbouw ongeveer 94 PJ.[181] Aan de vraag werd met name voldaan door middel van aardgasgestookte wkk's en ketels. Er werd voor 12,9 PJ aan duurzame warmte toegepast, deels via eigen productie en deels ingekocht bij derden. Aardwarmte (6,3 PJ) en biobrandstof (5,8 PJ) waren de meest gebruikte bronnen.[182] Het huidige beleid stimuleert de sector door middel van een samenhangend pakket aan maatregelen op het vlak van normeren, beprijzen en subsidiëren om in 2030 een restemissie van 4,3 Mton CO_2-eq te bereiken. Om dit doel te halen moet de sector minder aardgas gebruiken voor met name de warmtevoorziening. Dat kan worden bereikt door de overstap op duurzame warmtebronnen en door energiebesparing. De overstap naar duurzame warmtebronnen wordt onder andere gestimuleerd door de SDE++. Daarnaast heeft het kabinet in april 2023 onder meer aangekondigd dat er een individueel CO_2-systeem met vlakke heffing komt op fossiel energiegebruik en dat er vanuit het Klimaatfonds middelen beschikbaar worden gemaakt voor warmtenetten in de glastuinbouw en voor energiebesparende maatregelen.[183] In het convenant energietransitie glastuinbouw 2022-

[177] *Warmtekrachtkoppeling staat voor het gelijktijdig elektriciteit en warmte opwekken. Wkk's hebben een hoger rendement dan een gasgestookte elektriciteitscentrale, omdat de warmte nuttig wordt ingezet.*

[178] *Kamerstukken 2020 – 2021, 30 196, nr. 749.*

[179] *Hiernaast zullen naar verwachting ook op kleinere schaal warmtenetten worden gerealiseerd voor nieuwbouw. Het totale aantal aansluitingen op warmtenetten in 2030 waarnaar wordt gestreefd is 1,05 miljoen.*

[180] *Ministerie van BZK (2022), Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving.*

[181] *Energiemonitor glastuinbouw 2021, Wageningen Economic Research. Totale energieverbruik is 117 PJ waarvan 80% warmte is. Warmtegebruik omvat eigen productie en warmte die geleverd is aan de glastuinbouw.*

[182] *Energiemonitor glastuinbouw 2021, Wageningen Economic Research, p. 28.*

[183] *https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/04/26/voorjaarsbesluitvorming-klimaat.*

2030 zijn afspraken gemaakt met de sector over de energietransitie. In het convenant is onder andere het doel opgenomen om in 2030 circa 30 PJ van het energieverbruik met duurzame alternatieven te voorzien.[184] Aangezien het energiegebruik in de glastuinbouw voor 80% bestaat uit warmte zal de invulling van dit doel vooral moeten plaatsvinden door middel van duurzame warmtebronnen.[185] Europees gezien vallen vrijwel alle glastuinbouwbedrijven binnen de scope van de Effort Sharing Regulation (ESR) en slechts een handvol vallen onder het Emissions Trading System (ETS).

Ook de industrie heeft warmte nodig. Bijvoorbeeld proceswarmte voor koken, drogen en indampen. (Zeer) hoge temperatuur warmte voor de chemie, raffinage en metaalindustrie. Of stoomnetwerken voor onderlinge warmte-uitwisseling tussen industriële partijen. Omdat het warmtegebruik in de industrie vaak integraal onderdeel is van bredere productieprocessen en niet of nauwelijks kan worden geleverd middels collectieve systemen, wordt dit niet losstaand beschreven in dit hoofdstuk maar komt dit terug in het transitiepad van de industrie (verdiepingsdocument C, hoofdstuk 3). In dit ontwikkelpad van de warmteketen is de industrie wel relevant als bron van restwarmte die nog bruikbaar kan zijn voor de verwarming van woningen, gebouwen en kassen.

De warmtevoorziening voor alle sectoren kan worden onderverdeeld naar individuele en collectieve oplossingen. Individuele oplossingen betreffen installaties die bij de eindgebruiker worden geïnstalleerd, zoals een (hybride) warmtepomp of een cv-ketel. Collectieve oplossingen betreffen collectieve warmtevoorzieningen zoals geothermie, aquathermie, zonthermie, restwarmte en collectieve warmtepompen die via een warmtenet aan de eindgebruiker warmte leveren. In de glastuinbouw is het onderscheid tussen collectief en individueel minder scherp, omdat bedrijven ook zelf warmte in kunnen voeden op een collectief warmtenet. Het is ook mogelijk dat een bedrijf zelf een van de genoemde collectieve warmtebronnen beheert.

Voor de ontwikkeling van collectieve warmtevoorzieningen zijn specifieke beleidsinstrumenten en wetgeving van toepassing zoals de Warmtenetten Investeringssubsidie (WIS), het Subsidie Instrument Warmte Glastuinbouw (SWIG) en de Wet collectieve warmtevoorziening (Wcw). Die zijn relevant voor alle eindgebruikssectoren die van een collectieve warmtevoorziening gebruikmaken (vooral gebouwde omgeving en glastuinbouw). De warmtetransitie in de gebouwde omgeving beslaat zowel het collectieve- als individuele spoor. Omdat de afweging tussen de verschillende strategieën voor de warmtetransitie in de wijkgerichte aanpak plaatsvindt bestaat er overlap tussen wat beschreven wordt in de warmteketen en het transitiepad voor de gebouwde omgeving. In dit hoofdstuk wordt vooral aandacht besteed aan de aanbodkant van de warmtetransitie en zal de nadruk liggen op collectieve warmtevoorziening. Verdere verdieping van de vraagkant van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving volgt in het transitiepad voor de gebouwde omgeving (verdiepingsdocument C, hoofdstuk 1).

4.2. Mogelijke ontwikkelrichtingen en uitgangspunten

Met de energietransitie gaat Nederland naar een situatie in 2050 waarin geen aardgas meer wordt gebruikt om woningen, gebouwen en kassen te verwarmen. Hierbij is de eerste stap om het warmtegebruik zoveel mogelijk terug te dringen middels isolatie en energiebesparende maatregelen. Hiermee wordt ook het gebruik van lage temperatuur warmte in gebouwen (lage temperatuur afgifte) mogelijk, waardoor (zeer) lage temperatuur warmtebronnen efficiënter kunnen worden benut.[186]

Om de resterende warmtevraag duurzaam in te vullen zijn er grofweg drie opties:

- Warmtebronnen (geothermie, restwarmte, aquathermie, omgevingswarmte uit de lucht, etc.) die via collectieve warmtesystemen (warmtenetten) worden benut (en in sommige gevallen rechtstreeks in de glastuinbouw). Afhankelijk van de temperatuur van de bron in combinatie met (collectieve of individuele) warmtepompen, en al dan niet in combinatie met seizoensopslag van warmte (WKO, MTO en HTO).
- Volledig elektrische warmtepompen (all-electric) met een individuele warmtebron, zoals omgevingswarmte, zonthermie of bodemwarmte.
- Hybride warmtepompen met de inzet van duurzaam gas (waterstof of groen gas).

[184] *https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2b15b6c2504f87d0fcd6bf3e80bcbf94c7455830/pdf.*
[185] *Energiemonitor glastuinbouw 2021, Wageningen Economic Research.*
[186] *Zie sectortransitiepaden gebouwde omgeving (C.1) en glastuinbouw (C.4) voor meer informatie hierover.*

Een belangrijk onderscheid tussen de opties zijn de energiedragers die ervoor nodig zijn en de mogelijke schaarste. Hierbij maken we onderscheid tussen systemische energiedragers en lokale energiedragers. Systemische energiedragers zijn bijvoorbeeld elektriciteit, waterstof en biogrondstoffen en hebben het kenmerk dat ze (relatief) ver kunnen worden getransporteerd en daardoor systeembreed inzetbaar zijn. Voor die energiedragers is er dus ook een verdelingsvraagstuk. Ze hebben veel verschillende toepassingen en op nationale en internationale energiemarkten wordt een evenwicht gevonden tussen het aanbod en de betalingsbereidheid van de verschillende eindgebruikers. Hierdoor is er bij systemische energiedragers een risico dat die bij schaarste relatief duur worden en dat eindgebruikers die geen alternatief hebben hoge kosten zullen hebben. Dit kan een tijdelijke schaarste zijn zoals die op korte termijn wordt verwacht voor groene waterstof of een meer permanente schaarste zoals die wordt verwacht voor koolstofdragers (waaronder groen gas). Of een schaarste op specifieke dagen van het jaar. Zo kan er schaarste ontstaan voor elektriciteit op windstille winterdagen.[187]

Naast de systemische energiedragers zijn er lokale energiedragers. Denk aan warmte uit de bodem of het oppervlaktewater en restwarmte van bijvoorbeeld datacenters, afvalverbrandingsinstallaties of de industrie. Het transport van deze warmte over grotere afstanden kan met betrekkelijk weinig energieverlies, maar is wel erg kostbaar. Zulke thermische energie is dus vooral bruikbaar in de nabije omgeving van de warmtebron. Door deze warmte te gebruiken, kan de vraag naar mogelijk schaarse systemische dragers zoals elektriciteit, waterstof en biogrondstoffen worden verkleind. Hierdoor kan de importafhankelijkheid worden verlaagd en kunnen stabielere prijzen voor de eindgebruiker worden gerealiseerd. Tegen deze achtergrond wordt in het NPE onder meer geconcludeerd dat sterke inzet op benutting van lokale warmtebronnen gewenst is. Dit geldt met name op plekken waar de lokale situatie voldoende aantrekkelijk en veilig is wat betreft de beschikbaarheid van warmtebronnen en de concentratie van de warmtevraag. Het ontwikkelpad van de warmteketen richt zich dan ook primair op de uitdagingen die met de opschaling van lokale warmtebronnen en warmtenetten gepaard gaan.

[187] *De beschikbaarheid en eventuele schaarste is nader uitgewerkt in de andere ketenhoofdstukken over elektriciteit (B.1) waterstof (B.2) en koolstof (B.3).*

Ontwikkeling warmtebehoefte uit collectieve warmtevoorziening

Binnen de sectortransitiepaden voor de gebouwde omgeving en landbouw is een inschatting gemaakt van de potentiële bijdrage van lokale warmtenetten aan het invullen van de warmtevraag. In deze sectie vatten we de resultaten hiervan kort samen.

Type warmtevraag

Bij de inschatting van de warmtevraag die ingevuld kan worden door collectieve warmtenetten maken we onderscheid tussen

- zeer lage temperatuur (ZLT) netten met aanvoertemperatuur tot 30 graden.
- lage temperatuur (LT) netten tussen 30 en 55 graden.
- midden temperatuur (MT) netten tussen 55 en 75 graden.
- hoge temperatuur (HT) netten vanaf 75 graden.

Warmtenetten worden op dit moment nog met name gevoed door warmtekrachtkoppeling-installaties (wkk's) in elektriciteitscentrales en aftapwarmte uit afvalverbrandingsinstallaties. De komende decennia zal die warmtelevering worden overgenomen door duurzame (CO_2-vrije en/of hernieuwbare) warmtebronnen: met name restwarmte, geothermie, aquathermie, zonthermie en omgevingswarmte uit de lucht. Afhankelijk van de temperatuur van de warmtebron is er nog een opwaardering nodig. Zo heeft oppervlaktewater een temperatuur van 4-30 °C. Die moet worden opgewaardeerd om bruikbaar te zijn voor een LT- of MT-warmtenet. Die opwaardering wordt meestal gedaan met elektriciteit d.m.v. een collectieve warmtepomp, eventueel aangevuld met gas voor de piekvoorziening. Bij een ZLT warmtenet vindt de opwaardering plaats met een individuele warmtepomp in het gebouw. (Z)LT-warmtenetten kunnen ook worden gebruikt om woningen en gebouwen te koelen.

Warmtevraag gebouwde omgeving

Voor het transitiepad voor de gebouwde omgeving zijn vier scenario's gemaakt (verdiepingsdocument C, hoofdstuk 1). Voor deze scenario's is een inschatting gemaakt van de totale finale energievraag voor functionele warmte in 2050. De verwachting is dat de

netto warmtevraag ongeveer 370 PJ zal zijn. Afhankelijk van het scenario zal daarvan 66 tot 172 PJ als finale energie in de vorm van warmte via collectieve warmtenetten worden geleverd. De mate waarin warmtenetten op verschillende temperatuurniveaus worden ontwikkeld, hangt ook af van factoren en keuzes in de scenario's. De warmtevraag per temperatuurniveau ligt in die scenario's binnen de volgende bandbreedtes[188]

- MT-warmtenetten: tussen 52 en 134 PJ
- LT-warmtenetten: tussen 0 en 15 PJ
- ZLT-warmtenetten: tussen 12 en 23 PJ

De onzekerheid in deze inschattingen is groot. Dat komt doordat in het transitiepad voor de gebouwde omgeving onzeker is welk aandeel van de gebouwen zal overstappen op de verschillende verduurzamingsopties (warmtenet, volledig elektrische warmtepomp of hybride warmtepomp). De aannames hieromtrent worden toegelicht in het transitiepad voor de gebouwde omgeving (verdiepingsdocument C, hoofdstuk 1). Als de vraag naar koeling sterker toeneemt dan aangenomen in de scenario's, kan dat ook tot een andere verdeling van de voorkeurstechnieken leiden.

In het model dat is gebruikt voor de scenario's is ook berekend welke systeeminput nodig is om de benodigde finale energie bij de gebouwen te kunnen leveren. Daarbij zijn de volgende zaken meegenomen

- Warmteverliezen in de distributie van warmte.
- Omzetting van lagere temperatuurbronnen naar hogere temperatuurwarmte met een collectieve warmtepomp. Dit betekent dat een finale MT-warmtevraag geleverd kan worden door een (Z)LT-bron en elektriciteit voor de collectieve warmtepomp.
- Invulling van de piekvoorziening met hoofdzakelijk ketels op duurzame brandstof en e-boilers.
- Elektrische pompenergie voor warmtedistributie.

Dit leidt tot de volgende bandbreedtes voor de behoefte aan duurzame warmtebronnen in 2050:

- MT-warmte: tussen 51 en 125 PJ
- LT-warmte: tussen 7 en 17 PJ
- ZLT-warmte: tussen 18 en 46 PJ
- Voor de collectieve warmtenetten is nog 6-21 PJ elektriciteit nodig, voor collectieve warmtepompen, pompenergie en elektrische piekketels.

Daarnaast is de verwachting dat er in 2050 een significante koudevraag zal zijn in de gebouwde omgeving. (Z)LT-warmtenetten kunnen mogelijk een bijdrage leveren aan het invullen van deze koudevraag. De invulling van de koudevraag komt verder aan bod als onderdeel van het transitiepad voor de gebouwde omgeving en wordt de komende jaren verder in beeld gebracht.

Warmtevraag glastuinbouw

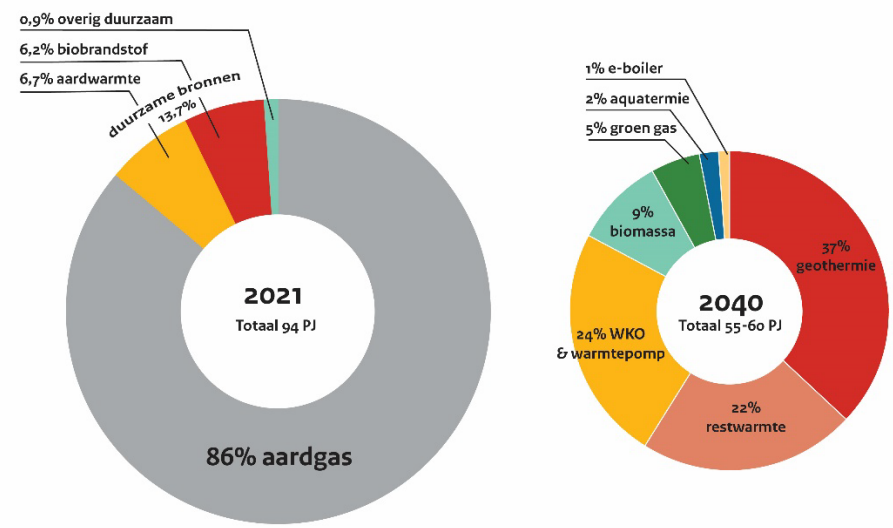
In de glastuinbouw zullen bedrijven naar verwachting investeren in verschillende opties, omdat er behoefte is aan een energiemix op basis van de verschillende lasten (basis-, midden- en pieklast). Dit maakt het ook mogelijk om rendabel in te kunnen spelen op de verschillende warmtebehoeften in de tijd. Daarnaast geeft diversificatie van de energiemix bedrijven een back-up warmtevoorziening. Waar mogelijkheden zijn voor geothermie en/of restwarmte, zullen deze bronnen worden ingezet voor de basislast.

Ramingen van de warmtevraag en het aanbod in de glastuinbouw geven een beeld van de mogelijke energiemix in 2040.[189] De verwachting is dat er in de glastuinbouw een warmtevraag zal zijn van 60 PJ in 2040. Om aan deze vraag te voldoen is momenteel een warmtevoorziening van 54,5 PJ in beeld. Het is hierbij belangrijk om een onderscheid te maken tussen basis-, (lage en hoge) midden- en pieklast. De belangrijkste warmtebronnen voor de glastuinbouw zijn naar verwachting geothermie, gevolgd door warmtepomp met warmte- en koudeopslag (wko) en restwarmte. Qua omvang wordt vooralsnog uitgegaan

[188] *De laagste en hoogste waardes tellen niet op tot de laagste en hoogste inschatting van het totale volume, omdat een lage invulling door MT-warmtenetten vaak gepaard gaat met een hogere invulling door (Z)LT-warmtenetten.*

[189] *WEcR 2023 (te verschijnen).*

van een bandbreedte die aan de bovenkant gelijk is aan de huidige omvang van het areaal (iets meer dan 10.000 hectare) en aan de onderkant van 9.000 hectare. Energieprijzen kunnen een rol spelen bij de omvang van het areaal in Nederland, maar zijn niet allesbepalend. Bedrijven in Nederland hebben ook voordeel van bijvoorbeeld de goede logistieke positie, de nabijheid van de belangrijkste exportmarkten en de kennis die aanwezig is. Andere landen hebben steeds vaker uitdagingen met betrekking tot schaarste van water en oplopende temperaturen. Het is daarom ook mogelijk dat het glastuinbouwareaal in Nederland niet kleiner wordt, maar dat bedrijven hun teeltmethoden zullen aanpassen. Ook op het vlak van energiebesparing valt nog voortgang te boeken.



Figuur 21. Invulling van huidige en toekomstige warmtevraag glastuinbouw. Bron huidige warmtevraag: Energiemonitor glastuinbouw 2021, Wageningen Economic Research. Bron toekomstige vraag: WEcR 2023 (te verschijnen).

Hierbij zijn verder de volgende overwegingen en verwachtingen van toepassing:

- In gebieden zonder mogelijkheden voor geothermie of restwarmte zal de individuele ondernemer de afweging moeten maken welke combinatie van teelt en warmtebronnen rendabel zijn.
- Voor middenlast is de verwachting dat warmtepompen in combinatie met een wko een prominente rol zullen spelen, naast restwarmte.
- Aardgasgestookte warmtekrachtkoppeling-installaties (wkk's) binnen de glastuinbouw zullen op termijn worden uitgefaseerd (of op waterstof gaan draaien, maar wkk's op waterstof hebben voorlopig een onaantrekkelijke businesscase. Biogas en biomassa zijn ook mogelijkheden).
- De businesscase voor glastuinbouwbedrijven in relatie tot de energiemix moet bezien worden in een geheel: een bedrijf heeft waarschijnlijk aardwarmte of restwarmte en een warmtepomp en daarnaast voor pieklast waterstof, duurzame biogrondstoffen of biogas nodig. Dat laatste deel is duur, maar is maar drie maanden van het jaar nodig. Tuinders kijken vanuit die opties naar het businessmodel. Wellicht laten sommigen de kas in de winter leegstaan, maar er zijn ook bedrijven (met rozen bijvoorbeeld) die de kas het hele jaar moeten verwarmen. De vraag naar warmte en per bron verschilt dus door het jaar heen in het algemeen en per bedrijf.

Benodigde groei van de collectieve warmtevoorziening

Uit het sectorale transitiepad van de gebouwde omgeving volgt een vraag naar collectieve warmte van 66-172 PJ. Afgezet tegen de huidige collectieve warmtevoorziening van +/- 20 PJ is dit een aanzienlijke toename. Hiernaast wordt vanuit de glastuinbouw een sterke groei van duurzame warmtevoorziening voorzien, van 13 PJ naar 60 PJ. Om deze ambities waar te maken zal de benutting van (collectieve) duurzame warmtebronnen met 100-200 PJ moeten groeien.

4.3. Gewenste ontwikkelrichtingen voor de warmteketen

Om de additionele vraag naar collectieve warmte tijdig in te vullen en op een manier die goed past in het toekomstige energiesysteem zijn er een tweetal gewenste ontwikkelrichtingen gedefinieerd. In deze sectie zetten we die uiteen. Hiernaast zijn nog een aantal andere relevante vraagstukken voor de ontwikkeling van de warmteketen geïdentificeerd waarvoor nog geen duidelijke ontwikkelrichting is vastgesteld. Deze worden in de volgende sectie behandeld.

Gewenste ontwikkelrichting 1:

Sterke inzet op de opschaling van warmtenetten met duurzame warmtebronnen zoals geothermie, restwarmte, zonthermie, aquathermie en bodemenergie, met zo goed

mogelijke benutting van lokale bronnen en zo beperkt mogelijke behoefte aan systemische energiedragers voor opwaardering.

Onderbouwing

De behoefte om de warmtevoorziening uit duurzame bronnen op te schalen komt direct voort uit de transitiepaden voor de gebouwde omgeving en landbouwsector. De opschaling van deze warmtebronnen heeft verschillende voordelen:[190]

- Ontsluiting additionele energiebronnen: In Nederland is een aanzienlijke hoeveelheid energie in de vorm van warmte beschikbaar, op verschillende temperaturen. Deze warmte is voornamelijk bruikbaar voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving en glastuinbouw. Door deze warmtebronnen zoveel mogelijk te benutten, wordt extra potentieel ontsloten en kan de vraag naar energiedragers die breder inzetbaar zijn (elektriciteit, groen gas, waterstof) worden verminderd.
- Ook vanuit de publieke belangen betrouwbaarheid (geen afhankelijkheid van het buitenland), betaalbaarheid (stabiele en redelijke prijzen), leefomgevingskwaliteit (geringe ruimtelijke impact) en participatie (lokale systemen, met eventuele mogelijkheden tot financiële participatie) zijn er meer goede redenen voor deze inzet.

Met het theoretisch potentieel van duurzame warmtebronnen kan de verwachte (collectieve) warmtevraag worden ingevuld.[191] Hierbij gaat het niet alleen om de verduurzaming van bestaande netten en de uitrol van nieuwe netten, maar ook om het opvangen van de geleidelijk wegvallende warmtelevering uit biogrondstoffen en wkk's (STEG, AVI en wkk's voor de glastuinbouw). De mate waarin de potentie van duurzame warmtebronnen wordt verzilverd in praktisch (en economisch) potentieel hangt mede af van beleidskeuzes en sector- en marktontwikkelingen.

Een recente studie van CE Delft[192] laat zien dat er onder het huidige beleid en de huidige omstandigheden voor de (middel)grote warmtenetten t/m 2030 voldoende duurzame warmtebronnen in ontwikkeling zijn en komen om aan de verwachte warmtevraag van 50 PJ in 2030 te kunnen voldoen. De groei van deze warmteproductie komt naar schatting voor 75% voort uit de uitbreiding van bestaande netten en gebeurt derhalve met MT en (in mindere mate) HT-bronnen. De groei van warmtenetten met (Z)LT-bronnen zal t/m 2030 nog relatief beperkt zijn en vooral plaatsvinden in kleinschalige (coöperatieve) projecten.

Voor de periode na 2030 is de verwachting dat het praktisch potentieel van alleen MT-bronnen niet voldoende is om aan de warmtevraag in 2050 te voldoen. Ook (Z)LT-bronnen zijn nodig en hebben hun eigen toepassingsbereik en kansen in de gebouwde omgeving en glastuinbouw. Op plaatsen zonder MT-bronnen of met een lage warmtevraag kunnen (Z)LT-netten een goede eindoplossing zijn. Dat kan eventueel stapsgewijs door kleine netten op termijn aan elkaar te koppelen (modulaire groei) en door bronnen elkaar te laten afwisselen in de basislastvoorziening. Deze kunnen ook een goede invulling zijn voor gebouwen met een significante koelvraag. Het beleidsuitgangspunt voor 2050 is dan ook dat collectieve warmte-koudesystemen voor een aanzienlijk deel van de gebouwde omgeving een maatwerkvoorziening leveren met een zo goed mogelijke match tussen warmteaanbod en -vraag. Gewenste ontwikkelrichting 1 onderschrijft dit uitgangspunt.

Uitdagingen

Er zijn verschillende uitdagingen bij de opschaling van duurzame warmtebronnen. Een voorname uitdaging is de betaalbaarheid. De kosten voor (de ontwikkeling van) warmtebronnen en infrastructuur leiden onder de huidige marktcondities vaak tot een onrendabele top (in ieder geval ten opzichte van de kosten voor verwarming met aardgas die voor 2021/2022 gebruikelijk waren). Daarnaast zijn warmtenetten complexe projecten die lange doorlooptijden hebben. Ze kennen ook specifieke risico's, zoals de kans dat eindgebruikers onvoldoende snel overstappen op het warmtenet (vollooprisico). Verder liggen er potentieel uitdagingen rond rechtvaardigheid, omdat de kosten van collectieve warmtevoorziening per regio sterk kunnen verschillen. Dit kan mogelijk leiden tot verschillende prijzen per wijk of regio. Tot slot vergt de opschaling van collectieve warmte

[190] *De wenselijkheid voor het opschalen van deze warmtebronnen wordt onderschreven door het Expertteam Energie 2050 in haar rapport Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050 en zijn in lijn met die uit het rapport EBN (2023). Energiesysteem op weg naar 2050.*

[191] *Op basis van interne inventarisatie van het potentieel per bron. Aanvullend onderzoek hiernaar loopt.*

[192] *'Verduurzaming bronnen voor warmtenetten. Opgave, onrendabele top en knelpunten richting 2030', CE Delft 2023.*

een opbouw van publieke uitvoeringskracht, gezien het besluit om doorslaggevend publiek zeggenschap in warmtebedrijven op te nemen in de Wet collectieve warmte (Wcw).

Huidige en toekomstige beleidsinzet

Het huidige beleid is erop gericht dat de wenselijkheid en haalbaarheid van een warmtenet lokaal wordt onderzocht. Ook het initiatief om een warmtenet te ontwikkelen wordt lokaal genomen in samenspraak tussen gemeente(n) en een (beoogd) warmtebedrijf. Vanuit het Rijk wordt gezorgd voor de juiste condities om duurzame warmtebronnen en warmte-infrastructuur op te schalen. Hierbij zijn de volgende beleidsdoelstellingen geformuleerd:

- Opschaling collectieve warmte-infrastructuur om in 2030 met 500.000 nieuwe aansluitingen in de bestaande bouw te realiseren ten opzichte van 2021, optellend tot 1,1 mln. aansluitingen in totaal.50 PJ collectieve warmtelevering in 2030 (enkel voor de gebouwde omgeving) om de toegenomen warmtevraag in te vullen.
- 30 PJ 'duurzame alternatieven' in 2030 voor de glastuinbouwsector. Vrijwel allemaal warmte, maar niet allemaal collectief.
- In de periode na 2030 collectieve warmtesystemen aanleggen in wijken waar dat met het oog op de maatschappelijke kosten, eindgebruikerskosten en efficiëntie van het energiesysteem de meest wenselijke verduurzamingsstrategie. Naar verwachting 15-45% van de totale gebouwde omgeving, in huidige prognose 2,6 miljoen woningen en 100.000 utiliteitsgebouwen.
- 100 PJ (bandbreedte 66-172 PJ) collectieve warmtelevering in 2050 (enkel voor de gebouwde omgeving).
- Duurzaamheid van warmtenetten: maximaal 18,9 kg CO_2/GJ gemiddeld in Nederland, maximaal 25 kg CO_2/GJ per net.

Om deze doelstellingen te realiseren zijn verschillende instrumenten ontwikkeld. Voor het opschalen van de infrastructuur is er de WIS-regeling waarmee de onrendabele top bij de aanleg van warmtenetten ten behoeve van de gebouwde omgeving wordt afgedekt. Daarvoor is tot en met 2030 € 1,6 miljard beschikbaar gemaakt vanuit het Klimaatfonds. Voor het opschalen van warmte-infrastructuur ten behoeve van de glastuinbouw is er de SWIG waarmee de onrendabele top bij de aanleg van warmtenetten wordt afgedekt. Daarvoor is t/m 2030 € 300 miljoen beschikbaar gemaakt vanuit het Klimaatfonds. De verwachting is dat deze regelingen voldoende stimulans en zekerheid bieden voor de ontwikkeling van warmtenetten. Kostengebaseerde tariefregulering zal verdere ontwikkeling van warmtenetten in de gebouwde omgeving steeds meer stimuleren, totdat deze volledig kostengebaseerd zijn. Wel is het denkbaar dat in die fase risico-instrumenten de doelmatigheid en betaalbaarheid kunnen verbeteren.

Het belangrijkste instrument voor het opschalen van duurzame warmtebronnen is de SDE++. Hierbij zijn bij de openstelling van 2023 hekjes om de domeinen lage- en hogetemperatuurwarmte (en moleculen) gezet. Die afbakening is een belangrijke maatregel om de SDE++ een grotere bijdrage aan de opschaling van duurzame warmtebronnen te laten leveren. Duurzame warmtetechnieken zijn namelijk veelal op basis van subsidie-intensiteit niet voldoende concurrerend met andere SDE++-technieken. Ze hebben daardoor een relatief kleine kans op subsidie vanuit de SDE++-regeling. Door hekjes in te voeren wordt meer zekerheid gecreëerd dat deze technieken in aanmerking komen voor SDE++-subsidie. Als prikkel om restwarmtebronnen zoveel mogelijk te benutten introduceert de Wet collectieve warmtevoorziening het 'ophaalrecht' voor restwarmte. Dit omvat duidelijke eisen en kaders die warmtebedrijven en restwarmteproducenten houvast bieden voor het verkennen van een kansrijke businesscase. Ook geven de eisen en kaders duidelijkheid over de rechten en plichten bij een leveringsovereenkomst en vergoeding van de uitkoppelkosten. In het voorjaarspakket met klimaatmaatregelen is tevens budget aangekondigd voor de ondersteuning van innovatie voor (ondiepe) lagetemperatuurgeothermie. Twaalf innovatieve warmteprojecten die bijdragen aan kostendaling en versnelde groei van duurzame warmtenetten krijgen ondersteuning van het Nationaal Groeifonds in het programma NieuweWarmteNu!.

Gewenste ontwikkelrichting 2:

Inzet op de doorontwikkeling en opschaling van warmteopslag.

Onderbouwing

Een van de belangrijkste veranderingen in de transitie van een fossiel energiesysteem naar een duurzaam energiesysteem is dat het aanbod minder makkelijk regelbaar is. Zo zal een groot deel van het aanbod van fluctuerende energiebronnen komen (zon-pv en wind). Ook duurzame warmtebronnen zoals geothermie en restwarmte zijn op zichzelf minder flexibel inzetbaar dan wkk's en gasketels. Hierdoor ontstaat er een grotere behoefte aan flexibiliteit

in energievraag en aanbod. De voornaamste manier waarop de warmteketen hier een bijdrage aan kan leveren is door middel van warmteopslag en, waar relevant, koudeopslag (flexibilisering van de warmtevraag bij de eindgebruiker wordt behandeld in de hoofdstukken over de eindgebruikssectoren gebouwde omgeving en landbouw - verdiepingsdocument C, hoofdstuk 1 en 4). Met warmteopslag kan de warmteketen op verschillende manieren bijdragen aan de efficiëntie van het energiesysteem als geheel.

- Door de elektriciteitsconsumptie te verhogen op momenten dat er een overschot aan elektriciteitsproductie is, kan curtailment (het 'afknijpen' van te veel productie van elektriciteit bij de bron) van windenergie en zon-pv worden voorkomen.
- Door elektriciteitsconsumptie te verlagen op momenten met een tekort aan elektriciteitsproductie kan de inzet van regelbaar vermogen (bijvoorbeeld gascentrales op aardgas, groen gas of waterstof) worden verminderd en de benodigde capaciteit aan regelbaar vermogen worden verlaagd. Het minimaliseren van de inzet van regelbaar vermogen is wenselijk, omdat dit leidt tot verlaging van CO_2-uitstoot (zolang aardgas wordt gebruikt) en energieverliezen voorkomt (wanneer waterstof wordt gebruikt). Daarnaast verlaagt het de kosten voor de warmtevoorziening, omdat regelbaar vermogen relatief duur is.
- Door de vraag constanter te maken kan het aantal vollasturen van duurzame warmtebronnen worden verhoogd waarmee de benodigde capaciteit van primaire duurzame warmtebronnen verlaagd kan worden. Dit zal tot lagere vaste kosten per geleverde eenheid warmte leiden.
- Door de piekvraag naar elektriciteit te verlagen, kan een kleinere netaansluiting worden gebruikt.
- Door vraag te sturen op basis van lokale netcongestie kan een bijdrage worden geleverd aan het oplossen hiervan.

Om deze redenen is het wenselijk om in te zetten op de doorontwikkeling en opschaling van (collectieve) warmteopslag.[193]

Uitdagingen en beleidsinzet

Seizoensopslag van warmte (warmte-koude-opslag, wko) wordt al grootschalig toegepast en heeft zich bewezen in bestaande systemen. Opslag op hogere temperatuur (HTO en MTO) bevindt zich nog in de ontwikkelfase. Het vereist nog kennisontwikkeling, onder meer over de effecten die het heeft in de ondergrond. De Routekaart Energieopslag gaat hier verder op in en beschrijft de inzet op groei van deze technieken. Met name in het Nationaal Programma Bodem & Ondergrond (IenW) moet in beeld worden gebracht welke obstakels in de wet- en regelgeving voor de ondergrond kunnen worden weggenomen om warmteopslag letterlijk en figuurlijk de ruimte te geven waar dat kan.

Een uitdaging ligt bij betaalbaarheid. Systeemintegratie en de ontwikkeling van een gezonde businesscase voor duurzame warmtenetten kunnen hand in hand gaan voor warmtebedrijven en publieke partijen zoals netbeheerders. Maar de kosten en baten binnen het energiesysteem landen momenteel niet op de juiste plek. Daardoor blijven de juiste prikkels uit. De Routekaart Energieopslag[194] brengt verder in kaart welke acties ondernomen moeten worden om energieopslag, waaronder warmteopslag, te bevorderen.

4.4. Aanvullende vraagstukken voor ontwikkeling warmteketen

Naast de gewenste ontwikkelrichtingen die al duidelijk zijn voor de warmteketen, is er ook een aantal vraagstukken dat wel relevant is voor de ontwikkeling van de warmteketen, maar waar nog te veel onduidelijkheden zijn om een gewenste ontwikkelrichting te bepalen. Deze vraagstukken worden de komende periode verder onderzocht.

Vraagstuk 1:

Welke indicatoren zijn nodig om te beoordelen of de warmtenetten en warmtebronnen optimaal bijdragen aan de duurzaamheid van het energiesysteem in Nederland?

[193] *Deze bevindingen zijn in lijn met die uit het rapport EBN (2023). Energiesysteem op weg naar 2050. Daarin wordt geadviseerd: "Er moet rekening gehouden worden met de integratie binnen het totale energiesysteem. Lokale warmtesystemen kunnen bijdragen aan de flexibiliteit van het elektriciteitssysteem door bijvoorbeeld overschotten op te slaan in warmte met warmtepompen en e-boilers. Andersom kan warmteopslag bijdragen aan het dempen van de piekvraag naar elektriciteit". Ook het Expertteam Energiesysteem 2050 onderschrijft het belang van het stimuleren van warmteopslag in haar rapport Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050.*

[194] *Kamerstukken 2022 – 2023, 29 023, nr. 430.*

Formulering en analyse

Een warmtenet als invulling van de warmtevraag is een goede oplossing als de bronnen voor het warmtenet passen in het totale energiesysteem. Tot nu ligt de nadruk op de waardering op basis van CO_2-emissie per geleverde GJ-warmte. Daarmee komt niet alle belasting van het energiesysteem goed in beeld. De volgende situaties komen in die waardering niet naar voren

- Een warmtenet met CO_2-arme bronnen, maar met een hoog warmteverlies.
- Een warmtenet met een grote vraag naar elektriciteit of andere CO_2-arme bronnen (groen gas). Als we ervan uitgaan dat de elektriciteit CO_2-vrij is, scoort het warmtenet goed, maar is het wel een zware belasting voor het energiesysteem.
- Een warmtenet dat veel elektriciteit nodig heeft op het moment dat er weinig zon en wind is.
- Power-to-heat wordt in de indicator CO_2 per GJ nog niet gewaardeerd, alleen voor de e-boiler is nu een aanpassing gedaan in de duurzaamheidsrapportage.
- Een warmtenet met warmteopslag. Het verlies van warmte in de opslag vermindert de prestatie van het warmtenet, terwijl het mogelijk sterk bijdraagt aan de duurzaamheid van het hele energiesysteem.
- Warmtenetten die leveren aan diverse sectoren, bijvoorbeeld gebouwen en glastuinbouw, hebben verschillende eigenschappen. Daardoor zullen de indicatoren per sector verschillen. In een gecombineerd warmtenet wordt de beoordeling van de prestaties lastig.

Om warmtenetten op deze 'systeemefficiëntie' te kunnen beoordelen, is er behoefte aan meer indicatoren dan alleen de CO_2-emissie per geleverde GJ. Die indicatoren moeten rekening houden met het gebruik van bronnen (ook CO_2-vrije bronnen), het warmteverlies in het warmtenet en de tijdsafhankelijkheid. Met de tijdsafhankelijkheid kan mogelijk opslag ook voldoende worden gewaardeerd.

Beschrijving van de mogelijke beleidsopties

Het oplossen van dit vraagstuk kan op verschillende manieren. Een deel van de genoemde beperkingen in de huidige methode hebben te maken met de variatie van de CO_2-emissie van de bron in de tijd. Dit speelt met name bij elektriciteit. Dit is oplosbaar door niet op jaarbasis te berekenen, maar op uurbasis. Eventueel kan dit benaderd worden door een verdeling in piek-dal of een vergelijkbare indeling. De dynamische referentieprijs die voor e-boiler wordt gehanteerd is al een voorbeeld hiervan.

Naast het aanpassen van de CO_2-berekening kunnen nog aanvullende indicatoren worden gebruikt. Bijvoorbeeld

- Warmteverlies in de distributieleidingen.
- Gebruik van bronnen op basis van bijvoorbeeld een primaire energiefactor (de totale primaire energiefactor, niet alleen fossiel).
- De opslagcapaciteit in uren.

In eerste instantie gaat het om indicatoren. Als marktmechanismes niet goed werken kan worden overwogen om de indicatoren te gebruiken in subsidieverlening of als eis in wet- en regelgeving. Een andere aanpak is deze marktmechanismes aan te passen, bijvoorbeeld door de CO_2-emissie in de prijs te verwerken of piekvraag extra te belasten.

Beleidsinzet

Op korte termijn is er geen probleem met de huidige beoordeling van warmtenetten. Maar met de verwachte ontwikkeling in de elektriciteitsvoorziening en de elektrificatie van de warmtevoorziening is er wel behoefte aan meer sturing dan alleen op basis van huidige methode voor berekening van de CO_2-emissie. De behoefte aan aanpassing van de huidige beoordeling kan worden vastgesteld door verder onderzoek te doen. Dat onderzoek kan zich richten op de te verwachten ontwikkelingen in warmtenetten en de vraag of met de huidige beoordeling en de huidige marktstimulansen er ongewenste ontwikkelingen te verwachten zijn. Daarnaast wordt een verkenning voorgesteld voor de mogelijke aanvullende indicatoren voor beoordeling van een warmtenet.

Vraagstuk 2:

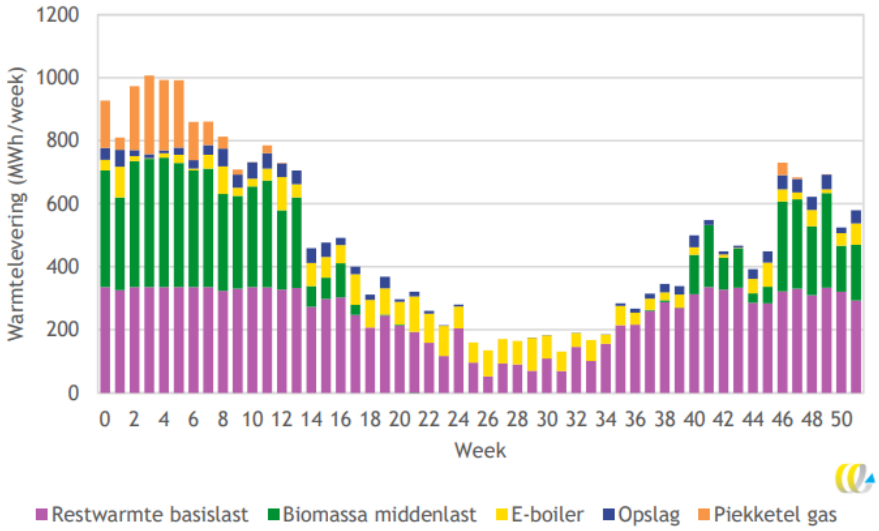
Wat is vanuit energiesysteemperspectief per situatie de meest wenselijke oplossing voor duurzame invulling van de piekwarmtevraag bij een warmtenet?

Formulering en analyse

De behoefte aan flexibiliteit in de warmtelevering is goed zichtbaar in het vraagprofiel van een warmtenet (Figuur 22). De warmtevraag van zowel huishoudens als glastuinbouw-

bedrijven vertoont over het jaar heen een duidelijk badkuipprofiel. In de zomer is er een beperkte warmtevraag. In de koude maanden zijn er hoge pieken van warmtevraag. In het profiel is een vrij duidelijk onderscheid te maken tussen het deel van de warmtevraag dat jaarrond relatief stabiel is (basislast) en de minder homogene uitschieters in de warmtevraag in de eerste en laatste maanden van het jaar (piekvraag). Het leveren van de basislast uit duurzame warmtebronnen is (met alle uitdagingen van dien) relatief eenvoudig, omdat er veel vollasturen (vaak 5000-6000) geleverd kunnen worden. Daardoor kan de bron efficiënt worden ingezet en ligt de eventuele subsidie-intensiteit niet te hoog.

Met het verduurzamen van de basislastbronnen kunnen de warmtebedrijven de komende jaren goed voldoen aan de duurzaamheidsnorm die in de Wet collectieve warmtevoorziening (Wcw) wordt geïntroduceerd. Het is de verwachting dat die norm in de jaren na 2030 dwingend gaat worden. Het doel van een dwingende norm is om ook de middenlast- en piekbronnen (met grofweg tussen de 200 en 2000 vollasturen) te verduurzamen.



Figuur 22. Simulatie van inzet van warmtebronnen per jaar voor een situatie met een e-boiler en tank thermal energy storage (TTES). In de figuur is goed te zien hoe er een relatief stabiele basislast is die grotendeels met restwarmte wordt ingevuld, er een last is die in de koudste helft van het jaar vrij stabiel is (middenlast) die grotendeels ingevuld wordt door biomassa, en in een beperkt aantal weken van het jaar een pieklast is die door een gasketel ingevuld wordt. Bron: CE Delft (2023). Power-to-Heat en warmteopslag in warmtenetten.

Door de verduurzamingsnorm in de Wcw en de wens om versneld onafhankelijk te worden van fossiele bronnen verwacht het kabinet dat de inzet van gasketels in de gebouwde omgeving mogelijk al vóór 2030 begint af te nemen. Daarnaast beginnen de beschikkingen voor biomassacentrales na 2030 geleidelijk af te lopen. Die centrales leveren nu veelal basislast, maar zijn daarnaast flexibel inzetbaar. Door het wegvallen van biomassawarmte kan de flexibiliteit van warmtelevering na 2030 dus verder afnemen. Dat vergroot de noodzaak voor andere piekbronnen. Ook in de glastuinbouw zal er door de verwachte afname van gasgebruik vanaf 2030 meer behoefte zijn aan andere piekbronnen. De sector heeft de ambitie om in 2040 klimaatneutraal te zijn, waardoor er dan geen plaats meer is voor aardgasgestookte warmtevoorziening en ook de volledige flexibiliteitsbehoefte duurzaam moet worden ingevuld. Als piek- en back-upvoorziening zijn gasketels vooralsnog echter onmisbaar. Daarom is er een toenemende behoefte aan duurzame flexibiliteitsopties. Daarnaast biedt het koppelen van de warmtenetten in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw kansen voor flexibiliteit op dag niveau. De glastuinbouw kan zijn warmteverbruik gedurende de dag aanpassen op basis van het aanbod (en de prijs) van warmte. Ook beschikt de tuinbouw over warmtebuffers die ingezet kunnen worden op piekmomenten van de dag. Hiervoor zijn echter wel prijsprikkels nodig.

Beschikbare opties en belangrijkste barrières

Zoals eerder omschreven bij de gewenste ontwikkelrichtingen, kan warmteopslag een belangrijke bijdrage leveren aan het flexibiliseren van de warmtevraag. Hiermee kan warmteopslag ook een deel van de pieklast opvangen. Daarnaast zijn er nog de volgende opties om de piekvraag duurzaam in te vullen

- E-boiler.
- Collectieve warmtepomp in combinatie met warmteopslag.
- Piekketels met duurzaam gas of duurzame biogrondstoffen.

Voor alle flexibiliteitsopties is de onrendabele top momenteel het grootste aandachtspunt. De businesscase voor duurzame piekbronnen is nog moeilijk. Het diagram in Figuur 22 laat duidelijk zien dat piekbronnen een klein aandeel (<10%) van de warmte leveren. Maar op het moment dat het nodig is, moeten ze wel de helft van het vermogen kunnen leveren. Piekbronnen moeten dus een flinke capaciteit hebben. Daardoor is de investering (te) hoog in verhouding tot het aantal vollasturen. En dus laten investeringen in piekbronnen zich

onder de huidige condities lastig terugverdienen. Adequate financiële ondersteuning is nodig om piekbronnen tijdig te kunnen helpen verduurzamen, waarmee ook verdere kostendaling gestimuleerd wordt. De systematiek van de exploitatiesubsidie van de SDE++ leent zich slecht voor piekbronnen. Dat komt doordat bij de SDE++ wordt gewerkt met een berekende subsidie-intensiteit op basis van het aantal vollasturen en een uitkering van de subsidie op basis van het daadwerkelijk aantal vollasturen. Voor piekbronnen is het niet wenselijk om het aantal vollasturen in de praktijk te maximaliseren: wanneer de piek afgevlakt kan worden en de inzet van piekbronnen verminderd kan worden, zal dat doorgaans efficiënter zijn voor het energiesysteem. Een investeringssubsidie zou daarom wellicht beter passen. Er wordt extra onderzoek verricht om te beoordelen hoe piekbronnen effectiever gestimuleerd kunnen worden.

Bij het uitvoeren van een duurzame bronnenstrategie kan het zijn dat de rol van een bron verschuift van basis- naar middenlast. Een warmtenet kan bijvoorbeeld starten met een aquathermiebron en vervolgens gaan groeien. Bij het bereiken van een bepaalde omvang kan bijvoorbeeld een geothermiebron worden toegevoegd. De aquathermiebron kan dan verschuiven naar de middenlast. Een dergelijke 'evolutie' van netten is goed denkbaar en moet de ruimte krijgen. Het is dan onwenselijk dat de inzet van warmtebronnen is vastgelegd door starre subsidiebeschikkingen.

De beschikbaarheid van bronnen die invulling kunnen geven aan pieklast is ook een aandachtspunt. Het lijkt waarschijnlijk dat deze schaars zullen zijn door onder meer concurrentie met andere sectoren en toepassingen. Een gelijk speelveld met andere sectoren is daarom belangrijk om toegang tot deze bronnen niet op voorhand te beperken.

Momenteel zijn er glastuinbouwbedrijven die biogrondstoffen inzetten voor basislast en middenlast. Dat geldt bijvoorbeeld voor solitaire glastuinbouwbedrijven die geen mogelijkheid hebben om aan te sluiten bij een warmtenet. De verwachting is dat deze constructie op termijn sterk zal teruglopen door de hoge kosten van dergelijke schaarse bronnen. De inzet van vaste biobrandstoffen voor de gebouwde omgeving geldt als een laagwaardige en onwenselijke toepassing. Dat gaat echter (met name) om inzet voor de basislast. Bovenstaande analyse maakt duidelijk dat de basislast relatief eenvoudig is te verduurzamen, maar dat het verduurzamen van de piekvoorziening met oog op flexibiliteit en systeemkosten nog ingewikkeld is. In dat licht kan worden overwogen om de inzet van duurzame biobrandstoffen voor de piekvoorziening van warmte als hoogwaardige toepassing te beschouwen. Hierbij is het wel relevant om oog te houden voor de externe effecten. Een toename van de import van biogrondstoffen kan bijvoorbeeld invloed hebben op landbouw- en landgebruiksystemen in derde landen. In hoeverre de inzet van biobrandstoffen als piekvoorziening nodig en wenselijk is, behoeft nog verder onderzoek.

Bij warmtenetten kan de opwaardering van de temperatuur behalve door de beschreven centrale bronnen ook decentraal (op woningniveau) worden ingevuld door individuele warmtepompen. Beide routes hebben voor- en nadelen die afhankelijk van de situatie bepalen welke oplossing technologisch en economisch de voorkeur heeft. Een collectieve warmtepomp opereert efficiënter dan een reeks individuele, maar daar staan hogere warmteverliezen in het net en vaak een hogere vereiste productietemperatuur tegenover. Een voordeel van centrale opwaardering is de mogelijk snellere aanpassing van de bron van het net. Als op langere termijn bijvoorbeeld overgestapt moet worden van elektriciteit naar duurzaam gas of andersom, is het waarschijnlijk eenvoudiger en minder kostbaar om één centrale voorziening te vervangen dan om opnieuw grote aanpassingen in alle woningen te moeten doen. Dit aspect van flexibiliteit is één van de afwegingen die is meegewogen in een recente studie naar de eigenschappen van verschillende configuraties van warmtenetten[195]. Andere aspecten die in deze afweging meespelen zijn onder meer de energie-efficiëntie, de kosten en het ruimtebeslag in de wijk, woning en ondergrond.

In de glastuinbouw wordt al meer gebruikgemaakt van warmtepompen in combinatie met warmte-koudeopslag (wko). De verwachting is dat hier een sterke groei zal plaatsvinden en dat deze toepassing de belangrijkste warmtebron zal worden in de sector om op een duurzame manier invulling te geven aan middenlast.

[195] *Criteria voor onderlinge vergelijking van warmtenetconfiguraties, Deltares 2022, in opdracht van RVO en TKI Urban Energy.*

Overwegingen bij verdere uitwerking

Om de vraag te beantwoorden wat vanuit energiesysteemperspectief per situatie de meest wenselijke oplossing voor duurzame invulling van de piekwarmtevraag bij een warmtenet is, is een sectoroverstijgende analyse nodig. Deze analyse is op dit moment nog onvoldoende beschikbaar, waardoor voor dit vraagstuk nog geen 'gewenste ontwikkelrichting' valt te definiëren.

Quintel heeft in opdracht van EZK al wel een eerste onderzoek gedaan naar dit vraagstuk[196]. Daaruit zijn enkele conclusies te trekken.

- Bij de piekvoorziening van warmtenetten geldt dat in veel gevallen het toepassen van een e-boiler voor de piekvoorziening (dus niet i.c.m. met een ketel en opslag waarbij de e-boiler alleen aan hoeft bij een overschot aan elektriciteit) leidt tot méér primair energiegebruik dan invulling van de piekvraag met een waterstof gestookte ketel. Dit komt doordat de piekbehoefte vaak niet samenvalt met voldoende elektriciteitsaanbod en er dus flexibel opwekvermogen ingezet moet worden. Het leidt daarom ook tot extra benodigd opgesteld vermogen. Dit komt door de (relatief) lage efficiëntie van een e-boiler en het feit dat deze in dit geval niet gestuurd kan worden op gebruik van overschotten aan duurzame energie, en dus de verliezen van opwek van elektriciteit erbij komen. Dit beeld zou anders kunnen uitpakken op het moment dat er wordt gewerkt met een industriële warmtepomp.
- Als een e-boiler wel geheel flexibel ingezet kan worden en gecombineerd wordt met grootschalige thermische opslag, kan elektriciteit benut worden die anders zou worden weggegooid en die dus niet met waterstof of andere brandstof hoeft te worden opgewekt. CE Delft heeft ingeschat dat de potentie voor de inzet van warmte uit flexibel inzetbare e-boilers via power-to-heat ongeveer 16 PJ aan warmte is[197]. Aangezien power-to-heat een relatief goedkope flex-optie is, lijkt het voor de hand te liggen dat dit potentieel wordt ontsloten als wetgeving de deelname van warmtebedrijven in de elektriciteitsmarkt mogelijk maakt.

De vraag bij deze conclusies is wel hoeveel onbenutte elektriciteit er te verwachten is in een goed uitgebalanceerd systeem in 2050, en hoeveel dan via inzet van flex met opslag toch benutbaar kan worden. Ook is onduidelijk hoe groot de opslag dan moet zijn. Als er meerdere aanbieders van een flexvraag zijn, kan dit getal weer gaan verschuiven.

Verder zijn in het algemeen enkele factoren te benoemen die belangrijk zijn voor het kiezen van de beste duurzame piekvoorziening, zowel voor het betreffende warmtenet als het energiesysteem.

- Robuustheid: diversificatie van de bronnenmix en beschikbaarheid van piek- en back-upbronnen, zodat op elk moment de (maatschappelijk of financieel) meest wenselijke inzet kan worden gebruikt.
- Flexibiliteit: een uitdaging is de flexibiliteit van de energievraag van duurzame piekbronnen. Een gasketel heeft momenteel altijd gas tot zijn beschikking en voor een biomassacentrale kan een buffer met brandstof worden aangelegd. Maar voor een collectieve warmtepomp zijn de netcapaciteit, de elektriciteitsprijs en het aandeel hernieuwbare elektriciteit van belang. Dat zijn mogelijk beperkende factoren op het moment dat inzet gewenst is. Het is onwenselijk dat een gascentrale harder moet gaan draaien om een collectieve warmtepomp van elektriciteit te voorzien op momenten dat er te weinig aanbod van groene stroom is. Andersom heeft het aspect van onvoorspelbaarheid van de elektriciteitsvraag een impact op de vereiste netcapaciteit. Meer flexibiliteit in de inzet betekent minder onvoorspelbaarheid en mogelijk minder noodzaak voor netverzwaring. Dit vereist een integrale beoordeling van de kosten en baten (inclusief vermeden kosten elders in het energiesysteem) van flexibiliteitsopties.
- Betaalbaarheid: collectieve warmtevoorziening is voor grote delen van de gebouwde omgeving de wenselijke optie. Om dat te realiseren is draagvlak cruciaal, wat nauw samenhangt met de energielasten voor klanten. Het verduurzamen van de piekvoorziening als gevolg van de duurzaamheidsnorm en leveringsplicht mag niet leiden tot disproportioneel hogere tarieven. Dit wordt verder onderzocht. Zie hiervoor ook de vraagstukken rond maatschappelijke waarde en eindgebruikerskosten in het transitiepad van de gebouwde omgeving (verdiepingsdocument C, hoofdstuk 1).

[196] *Quintel (2023). Effecten van piekverwarming: elektrisch of met duurzaam gas?*

[197] *CE Delft (2023). Power to heat en warmteopslag in warmtenetten.*

5. Decentrale energiesystemen en initiatieven

5.1. De ontwikkeling van decentrale energiesystemen naast het centrale energiesysteem

Het oude energiesysteem is centraal ingericht. Opgewekte energie kwam uit grotere kolen- of gascentrales en werd getransporteerd naar plekken waar het werd gebruikt. In de toekomst wordt een deel van de energie nog centraal op zee opgewekt en getransporteerd naar land. Een deel wordt ook decentraal opgewekt, door zon- en windparken, zonnepanelen op daken, geothermie en andere decentrale bronnen. Door decentrale opwek slim te koppelen met decentraal gebruik, kan het centrale energiesysteem worden ontlast. Er ontstaat dan een meer decentraal energiesysteem waar energievraag en -aanbod op elkaar worden afgestemd op en tussen verschillende schaalniveaus.
De mate van decentrale productie en afstemming per schaalniveau verschilt per energievorm. Voor waterstof zal grootschalige productie en transport op (inter)nationaal niveau de boventoon voeren. Warmte en koeling zullen meer en meer ook van decentrale bronnen afkomstig zijn. Elektriciteit wordt zowel grootschalig opgewekt op zee en met grote wind- en zonneparken op land, maar ook in de gebouwde omgeving. Daarnaast spelen opslag en flexibiliteit op elk schaalniveau een belangrijke rol.

Deze ontwikkeling vereist inzet voor het ontwikkelen van slimme decentrale energiesystemen. Deze systemen bieden kansen voor (financiële) participatie van inwoners, zodat zij profiteren van baten (zoals een lagere energierekening en meer zeggenschap). Op verschillende plekken ontstaan momenteel initiatieven om decentraal energie op te wekken en uitwisseling te organiseren tussen groepen gebruikers en tussen vormen van energie, zoals elektriciteit en warmte. Er bestaan verschillende visies op de mate waarin deze decentrale ontwikkeling binnen het energiesysteem een substantiële omvang zal uitmaken en in welke mate dit tot maatschappelijke optimalisatie leidt, bezien vanuit de verschillende publieke belangen. In ieder geval is er overeenstemming over de wens om decentrale opwek van bijvoorbeeld elektriciteit en warmte volop te ontwikkelen en om te onderzoeken hoe slimme oplossingen op decentraal niveau een antwoord kunnen bieden op (tijdelijke) congestie in het elektriciteitsnet.

Initiatieven voor het ontwikkelen van decentrale systemen ontstaan vanuit verschillende redenen:

- **Duurzaamheidsreden:** lokale productie en gebruik van duurzame energie draagt bij aan het verduurzamen het energiesysteem als geheel;
- **Economische reden:** eindgebruikers (bedrijven en inwoners) kunnen niet of onvoldoende uitbreiden, vestigen of verduurzamen, vanwege gebrek aan capaciteit op het elektriciteitsnet en/of beschikbaarheid van de juiste hoeveelheid energie in de gewenste vorm op het juiste moment. Dit raakt ook aan andere opgaven zoals de woningbouwopgave en de verduurzaming van logistiek en mobiliteit;
- **Technische reden**: decentrale energiesystemen hebben de potentie om het centrale elektriciteitsnet te ontlasten, door decentraal energie te delen, op te slaan of om te zetten en daardoor netcongestie op het centrale net verminderen. Daarnaast kunnen decentrale energiesystemen het net lokaal ontlasten door meer lokaal vraag en aanbod te balanceren;
- **Sociale reden**: Decentrale energie-initiatieven bieden sociale voordelen voor gemeenschappen, zoals meer sociale cohesie en het terug laten vloeien van inkomsten in de gemeenschap;
- **Collectieve reden**: In decentrale energiesystemen kunnen collectieve winsten worden behaald ten opzichte van individuele oplossingen. Samen bereik je meer.

Door komende jaren decentrale energiesystemen te ontwikkelen, kan de toegevoegde waarde hiervan worden vergroot en de mogelijkheden worden verkend richting de ontwikkeling van het toekomstige energiesysteem als geheel.
In een decentraal energiesysteem spelen provinciale energieclusters, energiehubs, warmtenetten, energiegemeenschappen en slimme sturing van apparaten een belangrijke rol. Met name op regionale en lokale schaalniveaus ontstaan er de behoefte én de kansen voor uitwisseling van verschillende energiedragers en uitwisseling tussen sectoren. Denk daarbij aan de uitwisseling van elektriciteit, warmte en duurzame gassen en uitwisseling tussen de sectoren als industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit. Daarbij zijn er mogelijkheden om vraag en aanbod flexibel op elkaar af te stemmen door middel van opslag, conversie en verschuiving van vraag en aanbod van energie.

Betrokkenheid van de verschillende regionale en lokale partijen bij de vormgeving van decentrale energiesystemen is essentieel. Het vraagt ook om gebiedsgerichte keuzes en maatwerk met inbreng en betrokkenheid van overheid, netbeheerders, bedrijven en burgers in verschillende samenwerkingsconstructies.

Sturing op afstemming van decentraal en centraal energiesysteem

Bij de afstemming over wat er in een gebied gebeurt komen centrale en decentrale plannen bij elkaar. Aan de ene kant zijn er nationale plannen die al een duidelijke richting geven van de energietransitie, en kaders waarbinnen gebiedsgerichte plannen kunnen gemaakt worden. Tegelijkertijd vergt een integraal gebiedsgericht duurzaam energiesysteem een mate van regionale en lokale autonomie. Hierbij kan er spanning ontstaan tussen afwegingen die worden gemaakt vanuit een sector of in de ruimtelijke ordening van een gebied enerzijds en afwegingen die voortkomen uit de ontwikkeling van het energiesysteem vanuit een hoger gelegen schaalniveau anderzijds. Dit vraagt erom de visievorming, besluitvorming en werkwijzen van rijksoverheid, provincies, gemeenten en netbeheerders voortdurend op elkaar af te stemmen, in continue wisselwerking tussen deze verschillende schaalniveaus. En op elk schaalniveau steeds in goede samenwerking met bedrijven en burgers.

Vooral vanuit ruimtelijke planvorming en energie-infrastructuurontwikkeling (en schaarste van ruimte en ontwikkelcapaciteit) zijn hierbij voortdurend keuzes nodig – op alle schaalniveaus – die alleen in onderlinge samenhang goed te maken zijn. Het kabinet werkt daarom de komende jaren actief samen met decentrale overheden, netbeheerders, marktpartijen en lokale initiatieven aan de verdere uitwerking van decentrale energiesystemen:

- Doorontwikkeling van het integraal programmeren, waaronder het op regionaal niveau opstellen van een stappenplan voor het opstellen van een energievisie, Provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur, Energie en Klimaat (PMIEK) en uitvoeringsafspraken. Dit in samenhang met integraal programmeren op nationaal niveau.
- Op basis van ervaring uit de praktijk bezien of het wetgevend kader en specifiek de uitvoeringsregelgeving op basis van onder meer de Energiewet de juiste prikkels en randvoorwaarden biedt voor de ontwikkeling van decentrale energiesystemen.
- Reeds opgedane kennis verspreiden. De afgelopen jaren is al kennis verspreid die voortkwam uit de meerjarige missiegedreven innovatieprogramma's, regelingen voor energie-innovaties, pilots en R&D-projecten.
- Specifiek voor de ontwikkeling van energiehubs heeft het kabinet € 166 miljoen vrijgemaakt. Het budget is bestemd voor het opzetten van een stimuleringsprogramma van lokale en regionale energiehubs. Het richt zich primair op het tegengaan van netcongestie, maar in een breder perspectief is het ook gericht op de ontwikkeling van een meer decentraal energiesysteem.

Toelichting kernbegrippen

Decentrale energiesystemen

Rondom het thema decentrale energiesystemen worden verschillende, soms (deels) overlappende termen gebruikt. Decentrale energiesystemen is hierbij de verzamelnaam voor het op decentraal niveau (lokaal en regionaal) produceren, omzetten, opslaan, uitwisselen en gebruiken van energie. Het is de tegenhanger van centrale productie en toevoer van energie die als eenrichtingsverkeer via distributie zijn weg vindt naar afnemers. Centrale en decentrale systemen zijn in de praktijk onderling verbonden en niet precies van elkaar af te bakenen.

Energiehubs

Een energiehub is een specifieke vorm van een decentraal energiesysteem. De energiehub is een term die zowel het technische aspect dekt, als de organisatievorm. Waarbij de organisatievorm twee aspecten kent: afspraken met de netbeheerder over gebruik van het publieke net en afspraken tussen de partijen onderling ten aanzien van de energiehub. In de meeste gevallen wordt een juridische entiteit opgericht om de afspraken in te formaliseren. De partijen die de juridische entiteit oprichten vormen tezamen een energiegemeenschap, bijvoorbeeld een coöperatie.

Energiegemeenschappen en lokale energie-initiatieven

Een energiegemeenschap is een vorm van samenwerking tussen burgers, al dan niet met deelname van lokale overheden zoals gemeenten en ondernemingen. De samenwerking wordt vastgelegd in een juridische entiteit. Er zijn verschillende juridische entiteiten mogelijk, zoals een coöperatie, een BV of een stichting. Een energiehub vormt altijd een energiegemeenschap. Tegelijk is een energiegemeenschap niet noodzakelijk een energiehub. Een energiegemeenschap kan ook ontstaan op wijkniveau om lokale energie-initiatieven te ontwikkelen,

Lokale energie-initiatieven zijn vaak burgerinitiatieven, maar kunnen ook bestaan uit organisaties en bedrijven, die samen duurzame energie willen opwekken of energie willen besparen. Paragraaf 5.3 gaat hier verder op in.

5.2. Energiehubs in een decentraal energiesysteem

Soorten energiehubs

Hoewel er geen officiële definitie van een energiehub is, gaat het hier over een lokale samenwerking tussen meerdere partijen op het gebied van energie. Het schaalniveau is dat van een bedrijventerrein of een woonwijk dan wel op regionaal niveau. Dus buiten beschouwing blijven het gebouwniveau of het niveau van de Noordzee waarbij de op zee opgewekte elektriciteit wordt verzameld en (deels) wordt omgezet naar waterstof. Samenwerkende partijen stemmen energieopwek, -opslag, -conversie en -verbruik op elkaar af en maken daarover onderlinge afspraken. Ook is er een juridische entiteit of natuurlijk persoon die de partijen vertegenwoordigt. Deze heeft een wettelijke status en handelt namens de samenwerkende groep. De samenwerkende groep wordt ook wel een energiegemeenschap genoemd.

Energiehubs kennen verschillende benaderingen. Naast de technologische energiesysteembenadering kan gekeken worden naar de gebruiksmogelijkheden die het biedt voor de sectoren en de gebiedsfuncties. En naast de economische benadering kan gekeken worden naar betrokkenheid en zeggenschap (en daarmee sturingsmogelijkheden) van de betrokken partijen in een hub. Energiehubs kennen verschillende verschijningsvormen:

- op bedrijventerreinen.
- rond laadinfrastructuur voor elektrisch vervoer (logistieke hub en laadpleinen).
- wijken met integratie van warmte en elektriciteitssystemen.
- een regionaal systeem van hubs bezien vanuit een meer regionale behoefte om energie zoveel mogelijk te koppelen aan lokaal en regionaal verbruik.

Welke waarden kunnen energiehubs hebben?

Energiehubs voorzien in de behoefte aan systeemintegratie en zeggenschap op gebiedsniveau. Ze kunnen daardoor in een gebied leiden tot meer energiegebruiksmogelijkheden. Zo kan met een hub op verschillende manieren flexibiliteit worden gecreëerd ten behoeve van het gebruik van energie en het transport van energie. Pieken in de elektriciteitsproductie van wind en zon kunnen met energiehubs worden opgevangen en aangepast aan de vraag. Ook kunnen hubs worden gecombineerd met de lokale behoefte aan warmte (of waterstof). Daarnaast zijn nog andere combinaties denkbaar. Energiehubs kunnen hierdoor vraag en aanbod van verschillende energiedragers efficiënt bij elkaar brengen. En daardoor kunnen ze een alternatief bieden bij congestie in het elektriciteitsnet. Ook kunnen ze leiden tot een besparing van geld, ruimte en middelen als ze netverzwaring voorkomen.
Daarnaast kan meer lokale opwek van duurzame bronnen leiden tot een semi-autonoom systeem, omdat het flexibel is en vraag en aanbod binnen een gebied combineert. Op die manier ontstaat er een robuuster energiesysteem dat minder gevoelig is voor verstoringen op hogere schaalniveaus. Doordat een energiehub leidt tot gebiedsgerichte samenwerking kan het ook een aanjager zijn van andere vormen van samenwerking, bijvoorbeeld op het gebied van circulaire economie.

Energiehubs vereisen lokale organisatiekracht

De betrokkenheid en inzet van de regio en de lokale gemeenschappen zijn cruciaal voor de realisatie van de verduurzaming van het energiesysteem. Verduurzaming van bedrijventerreinen en het realiseren van energiehubs met zoveel mogelijk lokaal gebruik van lokaal opgewekte energie kan niet zonder het organiseren van samenwerking tussen bedrijven en andere partijen. Het Programma Verduurzaming bedrijventerreinen (PVB) 2024-2027) heeft als doel de organisatiegraad op bedrijventerreinen, als randvoorwaarde voor energiehubs, te vergroten. Verduurzaming van de gebouwde omgeving vereist betrokkenheid 'tot aan de keukentafel'. De inpassing van zon en wind in de leefomgeving en het benutten van warmtebronnen kan niet zonder draagvlak. Energiehubs maken meer lokaal eigenaarschap van energie mogelijk, met zeggenschap van energiegemeenschappen, zoals energiecoöperaties (met verschillende rollen voor burgers, bedrijven en overheden).

Het toekomstperspectief voor energiehubs in het energiesysteem

De ontwikkeling van energiehubs is nog pril. Netcongestie is een belangrijke drijfveer voor het willen opzetten van energiehubs. We zien enkele voorbeelden op bedrijventerreinen en bij de opwek van wind- en zonneparken. Maar ook duurzaamheid, innovatieve kansen voor systeemintegratie en de behoefte aan lokaal eigenaarschap kunnen motieven zijn om energiehubs te willen realiseren.
Dat er energiehubs in verschillende vormen ontstaan lijkt zeker. De mate waarin en de vorm van energiehubs is nog onzeker. Nederland kent zo'n 3.800 bedrijventerreinen. Uit een verkennende studie in Oost-Nederland bleek dat daar 7% van de 700 bedrijventerreinen zich

als potentieel volwaardige energiehub kwalificeert. Onderzoek naar logistieke hubs laat zien dat er 200-300 logistieke 'hot spots' voor elektrisch laden op bedrijventerreinen zijn in Nederland. Onderzoek van de Unie van Waterschappen wijst uit dat de rioolwaterzuiveringsinstallaties van waterschappen interessante locaties zijn om energiehubs te ontwikkelen. De potentie voor energiehubs rond warmtenetten, laadpleinen en opweklocaties van zon en wind is nog minder in beeld.

Het realiseren van een energiehub is, afhankelijk van het type hub, niet eenvoudig. Het vereist samenwerking tussen verschillende partijen met nieuwe rollen en taken. Ook is inzicht nodig in de mogelijkheden en kansen voor een hub. Er moeten technische voorzieningen worden gerealiseerd. En er zijn een digitaal platform en daarbij behorende (juridische) afspraken nodig.
Overheidsbeleid heeft een belangrijke randvoorwaarden scheppende en faciliterende rol. Met daarbij onder meer aandacht voor de rolverdeling tussen en rolopvatting van Rijk, provincie en gemeente. Als ook voor rollen en taken van ontwikkelaars en beheerders van verschillende typen energiesystemen en -infrastructuren.

De aanpak voor 'integraal programmeren van het energiesysteem' biedt een goed kader voor het positioneren van energiehubs. Met behulp van regionale energievisies wordt inzichtelijk hoe energiehubs onderdeel worden van ruimtelijk beleid voor energievraag en -aanbod. Ook wordt daarmee inzichtelijk wat dit betekent voor investeringen in energie-infrastructuur.

De totstandkoming van energiehubs
In de ideale situatie wordt er een geheel nieuw energiesysteemplan op nationaal niveau geschetst en wordt het energiesysteem vervolgens ontworpen en gerealiseerd met daarin een rol voor energiehubs. Er is echter al een bestaand energiesysteem dat in transitie is. Daarbinnen moeten energiehubs zich ontwikkelen en rekening houden met de bestaande systemen, werkwijzen en geldende kaders. Er is dus veeleer sprake van ombouw dan van nieuwbouw. Het stimuleringsprogramma voor energiehubs beoogt hiervoor de aanzetten te geven.
De totstandkoming van een energiehub kent in hoofdlijnen de volgende fases:

- Initiatiefase: Initiërende partijen formuleren intenties en komen tot een concept of ontwerp.
- Ontwikkelingsfase: Het concept wordt klaargemaakt voor uitvoering in een technisch ontwerp, organisatorische vastlegging van rollen, contractering van partners en bindende financiële commitments.
- Realisatiefase: Daadwerkelijke uitvoering. Dit kan eenvoudig zijn met de plaatsing van een component en het inregelen van een digitaal platform. Maar ook complex en langdurig met de bouw van een energie-opwek en/of energie-opslag met bijbehorende infrastructuur en optimalisatie van energie-uitwisseling tussen een groot aantal partijen.
- Exploitatiefase: Werkzaamheden voor bijsturing van vraag en aanbod, beheer en onderhoud van assets, administratieve werkzaamheden, etc.
- Uitbreidingsfase: Het inpassen van nieuwe ontwikkelingen en/of deelnemers.

De realisatie van een energiehub vraagt om regie op deze fases, waarbij samenwerking tussen betrokken partijen wordt georganiseerd. De overheidsrol (Rijk, provincie, gemeente) en de rol van netbeheerders kan variëren. Het zwaartepunt zal daarbij liggen op de initiatie- en de ontwikkelingsfase en de kaders voor de vervolgfases.

Welk beleid is nodig?
De veelheid aan verschijningsvormen van een energiehub maakt een maatschappelijke kosten-batenanalyse niet eenvoudig. Sowieso lijken energiehubs voor een aantal bedrijventerreinen relevant om de netcongestieproblematiek te verlichten. Daarmee zijn ze randvoorwaardelijk voor verduurzaming en nieuwe (economische) bedrijvigheid. De scope is echter breder. Hoeveel, waar en in welke vormen en mate energiehubs positieve maatschappelijke baten hebben, dient nog beter in beeld te komen. Door het stimuleren en faciliteren van initiatieven zal dit beeld scherper worden. Kennisontwikkeling en kennisdeling rond de verschillende aspecten van energiehubs zal hierbij helpen.

Naast kennis kunnen verschillende beleidsacties worden onderscheiden. Energiehubs zullen een plek krijgen in de (regionale) programmering van het energiesysteem en de prioritering bij uitbreiding van netinvesteringen. Daarnaast vraagt de ontwikkeling van energiehubs om ondersteuning in de verschillende fases en bij de verschillende elementen van energiehubs. Waar energiehubs tegen belemmeringen in regelgeving aanlopen moet gestructureerd

bezien worden hoe hier mee om te gaan. En als blijkt dat (bepaalde) energiehubs wel maatschappelijke waarde hebben, maar voor deelnemende partijen geen voldoende sluitende economische businesscase bieden, kan dit aanleiding zijn voor overheden om financieel te participeren in de oprichting en wellicht in de realisatiefase.

Een programmatische aanpak voor de ontwikkeling van energiehubs is vergelijkbaar met en gerelateerd aan het programmeren van het (regionale) energiesysteem. Voor bedrijventerreinen wordt bezien of Regionale Ontwikkelingsmaatschappijen (ROM's) hierbij een belangrijke rol kunnen vervullen als aanjager van die samenwerking. Voor betrokkenheid van burgers kunnen (professionele) energiecoöperaties een belangrijke rol vervullen. Maar ook de betrokkenheid en inzet van provincies, gemeenten en regionale netbeheerders zijn nodig om deze ontwikkeling te faciliteren en te versnellen.

Tabel 7. Overzicht van benodigd beleid

Top-down ontwikkeling (maatschappelijke businesscase)	Bottom-up ontwikkeling (economische businesscase)
- Beleidsvisie (gebiedsgericht) - Faciliteren (met o.a. kennis) - Programmeren en prioriteren - Reguleren - Stimuleren ontwikkelfase en realisatiefase - Kaders voor participeren	- Beleidsvisie (gebiedsgericht) - Faciliteren (met o.a. kennis) - Programmeren en prioriteren - Reguleren - Stimuleren ontwikkelfase

Specifiek voor de ontwikkeling van energiehubs heeft het kabinet € 166 miljoen vrijgemaakt voor het opzetten van een stimuleringsprogramma van lokale en regionale energiehubs. Primair is het programma gericht op het tegengaan van netcongestie, maar in een breder perspectief richt het zich op de ontwikkeling van een meer decentraal energiesysteem.

5.3. Lokale energie-initiatieven in het energiesysteem

Types lokale energie-initiatieven

Er zijn verschillende types lokale energie-initiatieven. De koepelterm voor burgers en andere partijen die samen energie produceren, uitwisselen en leveren, balanceren en flexibiliteit leveren, is de energiegemeenschap[198].Twee subtypes hierbij zijn energiecoöperaties en energiecollectieven. Energiecoöperaties organiseren gezamenlijk opwek van energie. Energiecollectieven gaan een stap verder en creëren door middel van (slimme) software een nieuw systeem om energie te behandelen[199]. Energiegemeenschappen kennen dus verschillende activiteiten. Niet elke gemeenschap ontwikkelt elke activiteit[200]:

- Services aan de gemeenschap bieden
- Collectief eigenaarschap van energiebronnen
- Energielevering, -verkoop en -uitwisseling
- Impliciete vraagsturing en balancering van energiestromen binnen de gemeenschap
- Expliciete vraagsturing en flexibiliteit aanbieden op balancering- en congestiemarkten
- Energiedomeinoverstijgende activiteiten

In 2022 heeft Nederland in totaal 705 energiecoöperaties. De inschatting is dat 120.000 Nederlanders lid zijn van een energiecoöperatie.

Kansen voor lokale energie-initiatieven

Er zijn verschillende kansen voor burgers en andere lokale partijen om een lokaal energie-initiatief op te richten of erbij aan te sluiten. Zo kunnen lokale energie-initiatieven lokaal financiële voordelen genereren, zowel aan burgers of een lokale gemeenschap. Burgers kunnen via lokale energie-initiatieven meer zeggenschap hebben over hun eigen energierekening, welke meer stabiel kan zijn dan wanneer ze bij een commerciële partij hun energie afnemen[201]. Daarnaast is er de kans voor mensen om lokaal bij te dragen aan de energietransitie en kunnen ze invulling geven aan een intrinsieke motivatie om te willen verduurzamen. Via een lokaal energie-initiatief kunnen ze lokaal een steentje bijdragen aan meer duurzame opwek en aan energiebesparing[202]. Daarnaast zijn er kansen voor sociale

[198] Europese richtlijnen voor energiegemeenschappen (de *Clean Energy Package)* introduceren twee types energiegemeenschap: *energiegemeenschap van burgers* en *hernieuwbare energiegemeenschap*. De Nederlandse wetgeving maakt dit onderscheid niet.

[199] *Hierin volgen we de definities zoals beschreven door TKI Urban Energy (2023). Energiecollectieven.*

[200] *TNO (2023). Energiegemeenschappen in een veranderend juridisch landschap.*

[201] *HIER opgewekt (2023). Lokale Energie Monitor 2022.*

[202] *International Energy Agency (2023). Empowering people – the role of local energy communities in clean energy transitions. ; Hanke et al. (2022). Energy communities' social role in a just energy transition, in Löbbe et all., Energy Communities (pp.195-208), Academic Press; AS I-Search – Anne Marieke Schwencke*

verbinding en voor wijkontwikkeling, welke meer uitgebreid worden besproken in Verdiepingsdocument D, hoofdstuk 3.3.

Het kabinet staat positief tegenover lokale energie-initiatieven, en waardeert de bijdrage van de mensen die zich met deze initiatieven in willen zetten voor de energietransitie. Lokale burgerinitiatieven zijn belangrijk, vooral vanuit publieke waarden zoals participatie en leefomgevingskwaliteit. Het opzetten van een energie-initiatief kan bovendien ook andere (toekomstige) initiatieven inspireren.

Barrières voor lokale energie-initiatieven

Lokale energie-initiatieven ervaren een aantal belemmeringen. Elk project is namelijk uniek en vergt maatwerk. Daarnaast vergen de grote verantwoordelijkheden bij de uitvoer van marktactiviteiten door energiecollectieven veel van de leden. De leden zijn bovendien veelal als vrijwilligers betrokken en hebben dus vaak beperkte kennis en/of tijd. Dit is waarom het kabinet wil inzetten op het stimuleren en faciliteren van energie-initiatieven, onder meer door belemmeringen weg te nemen.

Een aantal belemmeringen is in kaart gebracht:

- Ontbreken van een eerlijk speelveld voor burgerinitiatieven ten opzichte van commerciële ontwikkelaars. Burgers hebben vaak minder (professionele) capaciteiten en mogelijkheden om een project te laten slagen en kunnen daardoor niet met gelijke mogelijkheden 'concurreren' met commerciële partijen.
- Behoefte aan meer samenwerking met netbeheerders: lokale energie-initiatieven kunnen bijdragen aan vermindering van netcongestie. Op lokaal niveau kan dit door initiatieven en netbeheerders in gesprek te laten gaan over hoe burgerinitiatieven kunnen bijdragen aan het verminderen van netcongestie of het voorkomen ervan.
- Ontbreken van duidelijke kaders in wet- en regelgeving. Zo moet het kunnen delen van energie tussen actieve afnemers nog goed vastgelegd worden. De nieuwe Energiewet biedt hier mogelijkheden. Met de nieuwe Energiewet worden ook vormen van energie uitwisselen geïntroduceerd, en in de nieuwe Elektriciteitsmarkt Richtlijn vanuit Europa wordt waarschijnlijk energiedelen geïntroduceerd voor energiegemeenschappen en actieve afnemers.
- Behoefte aan meer uitwisseling van kennis en kunde. Bij sommige initiatiefnemers en faciliterende organisaties bestaat de behoefte om meer kennis uit te wisselen over energiegemeenschappen. Er moet voor burgers, netbeheerders en beleidsmakers (meer) informatie beschikbaar komen over hoe slim om te gaan met initiatieven, waar ze aan kunnen bijdragen en hoe deze mogelijk kunnen worden ondersteund.

In de Kabinetsvisie Burgerbetrokkenheid is een actielijn opgenomen om deze drempels verder te onderzoeken en te onderzoeken welke barrières de rijksoverheid kan wegnemen.

Randvoorwaarden voor lokale energie-initiatieven

Een randvoorwaarde voor de ontwikkeling van lokale energie-initiatieven is consumentbescherming. Geborgd moet zijn dat burgers niet in de kou komen te zitten en niet onwenselijke financiële risico's lopen bij het mislukken van een project. In het proces van totstandkoming en realisatie van een initiatief moeten technische en procesmatige randvoorwaarden worden gesteld, zonder de energie en creativiteit van deze initiatieven uit te doven.

Gewenste ontwikkelrichting en beleidsrichting voor lokale energie-initiatieven

Er ligt een taak voor de rijksoverheid om meer hulp en minder drempels te faciliteren voor lokale energie-initiatieven. Een startpunt hiervoor is een onderzoek naar hoe de rijksoverheid in samenwerking met regionale overheden het beste de ervaren barrières voor lokale energie-initiatieven weg kan nemen. Voor lokaal eigendom kan in dit kader onderzocht worden wat voor handvatten er bestaan voor regionale overheden om hier beter op te kunnen sturen, en wat er nodig is om het beleidsdoel van 50% lokaal eigendom zon en wind op land te realiseren. Inzichten uit onderzoek en praktijkvoorbeelden bieden een basis voor maatregelen om burgerinitiatieven te faciliteren en te stimuleren.
Daarbij is het van belang om de leveringszekerheid bij energie-initiatieven te waarborgen. Hiervoor kan gekeken worden naar voorbeelden die al in de praktijk zijn gebracht.

(2019). Verkenning toekomstpotentieel burger-energiebeweging 2030. In opdracht van EZK en EnergieSamen.

Vervolgens moeten de lessen die hieruit getrokken kunnen worden een vertaalslag krijgen naar beleid dat kan borgen dat burgers niet in de kou komen te zitten of veel financieel risico moeten dragen. Tot slot is er ook beleid nodig voor het faciliteren dat kennis en kunde wordt ontwikkeld en ook gedeeld wordt met initiatiefnemers, en lokale beleidsmakers en netbeheerders.