

Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050

Expertteam Energiesysteem 2050

April 2023

Voorwoord

Nederland werkt samen met de rest van de wereld aan een grote verbouwing van het energiesysteem. Dat nieuwe energiesysteem belooft een stap vooruit te zijn. Het kan rechtvaardig, robuust en duurzaam worden. Wie een huis verbouwt weet dat een verbouwing een aanslag is op de routines van het huishouden. Door de juiste maatregelen naar voren te halen en door goed het perspectief op het eindresultaat te houden kunnen we deze verbouwing goed aan. En we weten ook waarom de verbouwing noodzakelijk is.

Als expertteam energiesysteem 2050 hebben wij ons op verzoek van het Kabinet gebogen over het vraagstuk hoe het nieuwe energiesysteem en het pad daarnaar toe eruit gaat zien. Een klimaatneutraal Nederland in 2050 is daarbij het grote doel. Alle scenario's wijzen er op dat het inderdaad hard werken zal zijn om dit nieuwe energiesysteem in een paar decennia te realiseren. Het systeem gaat behoorlijk op zijn kop. Elektriciteit uit steeds meer hernieuwbare bronnen gaat de fossiele brandstoffen vervangen. Consequentie is dat de energievraag in Nederland zich steeds meer op elektriciteit zal moeten richten.

De energietransitie is nodig vanwege de klimaatverandering die zich nu al manifesteert. Maar de verbouwing van Nederland zal ook een antwoord moeten bieden voor de afnemende biodiversiteit en het te grote gebruik van natuurlijke hulpbronnen. Daarom moeten we de energietransitie in samenhang zien met de zorg om biodiversiteit en de transitie naar een circulaire economie.

In tijden van grote verandering komen vele gevestigde belangen onder druk te staan. Dat maakt het heel belangrijk om de veranderingen zo rechtvaardig mogelijk vorm te geven. Dat kan door maatregelen voortdurend van te voren op

hun rechtvaardigheidseffecten te beoordelen. En door steeds bij te sturen als dat nodig is.

In de Outlook die nu voorligt heeft het expertteam geprobeerd een zo helder mogelijke schets te geven van de contouren van het nieuwe energiesysteem. Met alle onzekerheden die de toekomst nu eenmaal met zich meebrengt.

“Werk aan een rechtvaardige, robuuste en duurzame transitie”, is de hoofdboodschap van deze Outlook. Het energiesysteem kent verschillende schaalniveaus.

Robuustheid vraagt om lokale oplossingen waar dat kan, en tegelijk om elementen die passen in het Europese systeem. Rechtvaardig betekent zoveel mogelijk partijen betrekken bij het hele proces en alle belangen daarbij evenwichtig wegen.

Het expertteam heeft zelf ook geprobeerd om burgers en bedrijven te betrekken bij het ontstaan van deze Outlook. Ik wil vanaf deze plaats iedereen bedanken voor de open gesprekken en de constructieve inzet in de rondetafelgesprekken, in ons Open Forum en in de vele bilaterale gesprekken. De door het expertteam georganiseerde Inwonerraad met een representatieve groep Nederlanders wil ik daarbij in het bijzonder noemen. Als expertteam waren wij onder de indruk van de geweldige positieve manier waarop de deelnemers mee wilden en konden denken over de belangrijke maatschappelijke vragen die bij de energietransitie een rol spelen.

Zonder goede ondersteuning had het expertteam deze Outlook niet kunnen produceren. Er past daarom een grote dankzegging aan de leden van de werkgroep die het expertteam op een deskundige en enthousiaste manier heeft ondersteund. Ik besef dat het expertteam in de zoektocht van het afgelopen jaar veel heeft gevraagd en dat

het heel hard werken was. De bijlage met jullie namen verdient een ereplekje in dit rapport.

Als voorzitter was het een feest om in dit expertteam te mogen werken. Een team met heel verschillende personen en expertises, experts die zich allemaal heel verbonden voelden met de opdracht, voortdurend probeerden de juiste inbreng te leveren en daarbij goed konden luisteren naar elkaar. Ook daarvoor heel veel dank!

Met deze Outlook is het mandaat van het expertteam afgerond. Maar het gesprek over de transitie zeker nog niet. En de uitvoering van de transitie al helemaal niet. Volgens de Outlook is het nieuwe energiesysteem binnen bereik. Maar het werken daaraan kan geen dag meer wachten. Aan de slag dus!

Bernard ter Haar, voorzitter van het Expertteam Energiesysteem 2050



Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	6
Hoofdstuk 1: Introductie en scope	20
1.1 De vraag aan het expertteam Energiesysteem 2050	21
1.2 Uitgangspunten voor de Outlook	21
1.3 Lessen uit het verleden	23
1.4 Het Nederlandse energiesysteem vanuit een internationaal perspectief	24
1.5 Leeswijzer	25
Eindbeeld: Een dag in 2050	26
Hoofdstuk 2: Eindbeelden 2050 en ontwerpprincipes	28
2.1 Inleiding	29
2.2 Nederland ziet er in 2050 anders en beter uit	29
2.3 Een klimaatneutraal Nederland is haalbaar, het vereist urgentie en snelheid	33
2.4 Ontwikkelingen in Nederland en de wereld: De positie van Nederland verandert, en blijft sterk	35
2.5 Om keuzes te maken zijn ontwerpprincipes nodig	37
2.6 Conclusie: het kan!	41
Hoofdstuk 3: Vraag en aanbod van elektriciteit en waterstof	42
3.1 Inleiding	43
3.2 Het eindbeeld in 2050	43
3.3 Knelpunten en enabling conditions	53
3.4 Aanbevelingen	62
Hoofdstuk 4: De mogelijkheden van lokale energiesystemen	64
4.1 “Wat je niet nodig hebt, hoef je ook niet op te wekken”	65
4.2 Stad en platteland: het eindbeeld voor 2050	66
4.3 Lokale energiesystemen in 2050	67
4.4 Toetsing op basis van de ontwerpprincipes	70
4.5 Hoe komen we bij het eindbeeld?	73
4.6 Knelpunten en enabling conditions	76
4.7 Aanbevelingen	78

Hoofdstuk 5: Nieuwe koolstofketens in de industrie	82
5.1 Inleiding	83
5.2 Eindbeelden	84
5.3 Dilemma's en enabling conditions	103
5.4 Aanbevelingen	105
Hoofdstuk 6: Reflectie op Inwonerraad Energie	106
6.1 Doel en samenstelling van de Inwonerraad Energie	107
6.2 Algemene reflectie op adviezen	108
6.3 Relatie adviezen Inwonerraad Energie en Outlook	109
6.4 Reflectie op proces	120
6.5 Conclusie en advies voor toekomstige inzet	122
Hoofdstuk 7: Systemoplossingen op weg naar 2050	124
7.1 Inleiding	125
7.2 Integrale visie	125
7.3 De organisatie van de aansturing	128
7.4 Financiële systeemverandering	130
7.5 De instrumentenmix: oplopende normeringen, subsidies zodat iedereen mee kan doen en informatie over urgentie	131
7.6 De uitvoering: Zorg dat beleid doenbaar en uitvoerbaar is	135
Hoofdstuk 8: Hoofdboodschappen	138
Bijlage I: Verantwoording	142
Bronvermelding	144

Samenvatting

Een nieuw wereldwijd klimaatneutraal energiesysteem is nodig om de klimaatveranderingen te beperken. Het levert ook aanzienlijke voordelen op: een rechtvaardig, robuust en duurzaam energiesysteem betekent een schoner, stiller en groener Nederland. Zo ver zijn we nog niet. Nederland is nog verre van klimaatneutraal en staat voor grote uitdagingen om dat doel voor 2050 te bereiken.

Een klimaatneutraal energiesysteem, het kán

- **We hebben perspectief op een aantrekkelijke toekomst.** 2050 kan er écht anders en beter uitzien dan nu. Onze manier van leven, wonen, kopen, eten en reizen wijzigt. De economie verandert en vernieuwt.
- **Een gedeelde allesomvattende visie op een klimaatbestendig en aangenaam Nederland vormt de basis voor een rechtvaardig, robuust en duurzaam energiesysteem in 2050.** Besluiten over investeringen, infrastructuur, ruimtegebruik, innovatie en beleid moeten we vanaf nu nemen met dit perspectief als leidraad, in samenhang met Europese ontwikkelingen en met een doorkijk naar 2100.
- **Het doel van een klimaatneutraal Nederland is ambitieus,** maar het kan en veel studies laten dat ook zien. De transitie vraagt om duidelijke **tussendoelen**. Klimaatneutraliteit in 2050 betekent dat we zo vroeg mogelijk in de periode 2040-2045 een CO₂-neutraal energiesysteem hebben. Dat betekent **geen netto-uitstoot meer uit het elektriciteitssysteem per 2035**. Dit is mogelijk als we een duidelijke visie hebben, nu snelheid maken en durven door te zetten. De transitie is omvangrijk, maar het eindpunt is aantrekkelijk.

De minister voor Klimaat en Energie, Rob Jetten, heeft in het voorjaar van 2022 het Expertteam Energiesysteem 2050 ingesteld om bouwstenen aan te leveren voor het Nationaal Plan Energiesysteem 2050. Dat is een plan voor de transitie van het energiesysteem als onderdeel van de klimaatneutrale samenleving die we in 2050 willen zijn.

In 2050 ziet Nederland er anders en beter uit

In een klimaatneutraal 2050 ziet Nederland er nog herkenbaar en toch ook fundamenteel anders uit dan nu. De Nederlandse economie zal vernieuwen en de gebouwde omgeving, industrieterreinen, transportnetwerken en landbouwgebieden zullen grote veranderingen ondergaan. Een klimaatneutrale samenleving is geen utopie. Ze kan voor 2050 werkelijkheid worden. De gevolgen van een klimaatopwarming voorbij 1,5 tot 2 graden zullen ook voor Nederland aanzienlijk zijn. Een klimaatneutraal energiesysteem is nodig om die klimaatverandering een halt toe te roepen. De transitie op weg naar dit nieuwe energiesysteem is omvangrijk maar als energie niet meer via verbranding wordt opgewekt is Nederland schoner, stiller en groener. Als de energietransitie samengaat met meer respect voor de grenzen van onze planeet en er meer gewicht wordt toegekend aan brede welvaart gaan we anders leven. We reizen minder. En als we reizen doen we dat vaker met het openbaar vervoer, te voet en met de fiets. Ook wonen we in compacte groene steden en dorpen met voorzieningen op loopafstand en de economie is gericht op welvaart én welzijn. We kopen anders, hergebruiken vrijwel alles, en voeden ons plantaardiger. De totale energievraag gaat omlaag.

Outlook biedt een nieuwe kijk op het toekomstig energiesysteem

De Outlook die het expertteam in dit rapport presenteert heeft een wezenlijk ander karakter dan bijvoorbeeld de Klimaat- en Energieverkenningen van de afgelopen jaren of het rapport “scherpe doelen, scherpe keuzes” dat de IBO-werkgroep klimaat in maart 2023 [uitbracht](#)¹. Het expertteam hoeft in deze Outlook niet te bepalen hoeveel megaton uitstoot van broeikasgas iedere sector kan verminderen en tot hoeveel vermindering dit optelt. In een klimaatneutrale samenleving is het totaal immers netto nul. In deze Outlook kiest het expertteam voor een beschrijving van de ontwikkelpaden van de belangrijkste elementen van het nieuwe energiesysteem en niet voor een aanpak per sector. Die ontwikkelpaden zijn:

- Vraag en aanbod van elektriciteit en waterstof
- De mogelijkheden van lokale energiesystemen
- Nieuwe koolstofketens in de industrie

Elektriciteit wordt in ons land de belangrijkste energiedrager. Het ontwikkelpad gaat vooral over de ontwikkeling op landelijke schaal van vraag en aanbod van duurzame energie en de daarbij horende infrastructuur. Op lokaal niveau zijn veel mogelijkheden om vraag en aanbod van energie te combineren en te sturen, waarbij ook het landelijk systeem wordt ontlast. Lokale energiesystemen staan het dichtst bij de burgers, zij gaan daar in hun dagelijks leven het meest van merken. Daarom heeft dit in de Outlook een eigen plek gekregen. Koolstof blijft een belangrijke grondstof voor de energie-intensieve industrie. Het energiegebruik van deze industrie rechtvaardigt de keuze voor een specifiek ontwikkelpad voor de nieuwe koolstofketens, en het daaraan verbonden energie- en grondstoffengebruik, die zich in internationaal perspectief zullen ontwikkelen.

De urgentie van een klimaatneutraal energiesysteem is groot

Klimaatneutraliteit in 2050 vereist dat eerder tussendoelen zijn bereikt. Het eerste tussendoel is netto nul-CO₂ uitstoot uit het elektriciteitssysteem per 2035. Voor het bredere energiesysteem is het tussendoel netto nul CO₂-uitstoot in de periode 2040-2045, en binnen die periode zo vroeg mogelijk. Dit is nodig omdat onvermijdbare broeikasgasuitstoot zal blijven bestaan, en praktisch gezien alleen CO₂ ter compensatie uit de lucht kan worden verwijderd. Onvermijdbare broeikasgasuitstoot van CO₂, methaan en lachgas kan blijven bestaan in de landbouw, de industrie en het internationaal transport, met name luchtvaart.

Een klimaatneutraal Nederland in 2050 is alleen haalbaar als we het huidige transitietempo fors opvoeren. Lastige keuzes, zoals beleid gericht op vermindering van energievraag, zijn de afgelopen decennia vaak vermeden. Dat zal niet meer kunnen. Er is een langetermijnvisie voor 2050 nodig die leidend is voor een integraal overheidsbeleid. Omdat de levensduur van veel investeringen tot na 2050 strekt, gaat deze langetermijnvisie voor de ruimtelijke ontwikkeling verder, richting 2100.

Transitie in recordtempo vraagt om sterke sturing en grote betrokkenheid van alle partijen

Er zijn al talrijke scenario's gemaakt voor de energietransitie naar 2050. Scenario's kennen hun beperkingen door de vele aannames die nodig zijn, maar er valt wel veel uit te leren. De transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem is ingrijpend maar haalbaar. Er resteert weinig tijd om de aanpassing van energievraag en -aanbod en de daarbij passende infrastructuur te realiseren. Er is een versnelling nodig en dat vraagt om heldere doelen, een proactief bedrijfsleven, krachtige aansturing door de overheid, een instrumentarium dat snelheid kan afdwingen en een uitvoering door alle betrokken partijen met zoveel mogelijk saamhorigheid. Niet

alles zal goed gaan, coulance voor beslissingen die achteraf gezien niet handig waren is ook nodig. De partijen handelen onder onzekerheid.

De overheid moet alle maatschappelijke partijen bij deze snelle transitie betrekken en hun belangen en zorgen serieus meewegen in de besluitvorming. Van alle partijen worden immers grote veranderingen gevraagd. De overheid kan iedereen meenemen in het verhaal waarom deze transitie zo belangrijk is, maar niet alle partijen helemaal ontzorgen. Belangrijker nog, de overheid kan een perspectief schetsen waarin iedereen voor zichzelf een rol ziet. De energietransitie gaat namelijk over iedereen die energie gebruikt of produceert. De burgers van Nederland moeten goed worden gehoord en betrokken zodat de transitie op een rechtvaardige manier kan verlopen. Het expertteam heeft verkend welke mogelijkheden daarvoor zijn en doet in deze Outlook verslag van de ervaringen met de Inwonerraad Energie.

Drie ontwerpprincipes staan centraal: rechtvaardig, robuust en duurzaam

Het expertteam beveelt aan om bij het ontwerp van het energiesysteem uit te gaan van drie ontwerpprincipes: rechtvaardig, robuust en duurzaam.

- Een **rechtvaardig** ontwerp betekent dat de kosten en baten eerlijk worden verdeeld en dat de transitiekosten betaalbaar zijn voor iedereen. Dat betekent geen gelijke maar wel een eerlijke verdeling van lasten en lusten over verschillende (inkomens)groepen, tussen bedrijven en burgers, tussen stad en platteland, en over generaties. Het verplaatsen van lasten naar andere landen en generaties is niet rechtvaardig. Het betekent ook dat de besluitvorming en aansturing op

eerlijke en transparante wijze wordt vormgegeven, met zeggenschap voor betrokkenen en met aandacht voor in het verleden aangedaan onrecht. Het expertteam vindt rechtvaardigheid een belangrijk ontwerpprincipe, omdat dit een aantrekkelijk perspectief voor alle inwoners en bedrijven biedt, het tempo kan versnellen en zorgt voor een eerlijk aandeel van Nederland in de wereldwijde transitie.

- Een **robuust** ontwerp betekent dat er voldoende energie en bijbehorende infrastructuur beschikbaar is en dat dit slim kan worden benut. Het is voor duurzame energiesystemen van belang om vraag en aanbod van energie op elkaar aan te sluiten. Dit vraagt om samenhangend beleid voor transport, opslag en conversie. Daarnaast is het nodig om te sturen op vermindering van het energiegebruik, omdat compactheid van het energiesysteem bijdraagt aan de robuustheid ervan. Robuust betekent ook leveringszekerheid in een veranderend klimaat en in een onzekere geopolitieke wereld wat kan leiden tot extreme situaties zoals oorlog. Dit ontwerpprincipe is belangrijk voor de economische en maatschappelijke continuïteit.
- Een **duurzaam** ontwerp betekent een energiesysteem dat geen broeikasgassen meer uitstoot en waarbij bijvoorbeeld bij het gebruik van biomassa de vrijkomende CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen in de diepe ondergrond. Dit vermindert de CO₂ die al in de atmosfeer aanwezig is en compenseert onvermijdelijke broeikasgassen in de landbouw, industrie en internationaal transport. Het energiesysteem blijft binnen de grenzen van een leefbare wereldwijde samenleving, met een op circulariteit gebaseerde economie. Dit ontwerpprincipe is belangrijk om binnen grenzen van onze planeet te blijven en ook in de toekomst de aarde leefbaar te houden.

Belangrijkste elementen van het energiesysteem in drie ontwikkelpaden

Vraag en aanbod van elektriciteit en waterstof

- **Elektriciteit wordt het belangrijkste element van het energiegebruik. Investerings in adequate elektriciteitsnetten zijn cruciaal.** Andere energiedragers, zoals waterstof, spelen een beperkte rol.
- Het is nodig om te sturen op **maximale elektrificatie, de energievraag af te stemmen op het aanbod**, en op een klein maar noodzakelijk deel andere CO₂-neutrale energiedragers. De transitie wordt gemakkelijker als de totale energievraag wordt beperkt. We moeten rekening houden met schaarste in mensen, middelen, ruimte en materiaal.
- Het elektriciteitsverbruik zal in 2050 ten minste twee- tot driemaal zo hoog zijn als nu. Het tijdig en op de juiste plaats realiseren van **adequate elektriciteitsnetten** ziet het expertteam als de hoofdpoging van de vernieuwing van het energiesysteem. **Energie-infrastructuur wordt een vestigingsplaatsfactor** in een breder **ruimtelijk perspectief voor Nederland**.

De overheid heeft ambitieuze doelen gesteld voor de duurzame elektriciteitsproductie, vooral windenergie op zee. In toenemende mate zal het aanbod op bepaalde momenten groter zijn dan de vraag naar elektriciteit, of andersom. Nu zijn gascentrales beschikbaar om bij te springen als de vraag naar elektriciteit groter is dan het beschikbare aanbod van wind- en zonne-energie. Dit regelbaar vermogen moet uiterlijk in 2035 klimaatneutraal zijn. Flexibiliteit van de vraag naar elektriciteit en goede verbindingen met omliggende landen verminderen de noodzaak van dit regelbaar vermogen. Toch blijft regelbaar

vermogen noodzakelijk, maar omdat het steeds minder wordt ingezet neemt de winstgevendheid af. Daarom moet er op tijd duidelijkheid zijn over onder andere de financieringsmogelijkheden van bijvoorbeeld waterstofcentrales.

In de huidige schattingen neemt de elektriciteitsvraag tot 2030 minder snel toe dan het aanbod, maar bij uitvoering van de Europese beleidsagenda gaat de vraag tot 2030 enorm toenemen. Omvang van de vraag in relatie tot het aanbod bepaalt ook de prijs. Als er zeer lage elektriciteitsprijzen verwacht worden zijn investeringen in (nieuwe) duurzame elektriciteitsproductie onaantrekkelijk. Samenhang tussen het groeiende aanbod van hernieuwbare elektriciteit en de groeiende vraag gaat dus een cruciale rol spelen in de energietransitie.

Investeren in waterstof is no-regret, maar de uiteindelijke rol van waterstof zal beperkt zijn

Duurzame (groene) waterstof is een onmisbaar onderdeel van het energiesysteem, maar op energiegebied niet erg efficiënt. Het aandeel waterstof in de toekomstige Nederlandse energievoorziening is onzeker en zal waarschijnlijk beperkt zijn. Waterstof speelt vooral een rol in flexibiliteit om het wisselende aanbod van zon en wind op te vangen. De waterstofketen die hiervoor ontwikkeld wordt is een no-regret optie die de flexibiliteit levert om het grote Nederlandse potentieel aan goedkope hernieuwbare elektriciteitsproductie te kunnen ontsluiten. Waterstof kan ook ingezet worden voor de energievoorziening van moeilijk te elektrificeren sectoren. De inzet van waterstof in de energie- en vooral grondstoffenbehoefte van de op koolstof gebaseerde industrie en de vraag naar brandstoffen voor de scheep- en luchtvaart is onzeker. Hij is ook afhankelijk van de industriële activiteit in 2050, de Nederlandse en Europese kaders en het industriebeleid in omliggende lidstaten.

Een rechtvaardig elektriciteitssysteem vergt verdere politieke besluitvorming

Het ontwikkelpad elektriciteit en waterstof is getoetst aan de ontwerpprincipes. Daarbij lijken de graadmeters van duurzaamheid vooral positief te scoren. Die van robuustheid kunnen met beleidsaandacht ook positief uitpakken. Het principe rechtvaardigheid verdient meer beleid en politieke besluitvorming. De keuze over verdeling van lasten is nog niet geborgd vanuit generatie- of internationaal perspectief.

Het expertteam komt tot de volgende aanbevelingen:

- Baseer beleid en de uitvoering op een visie over de eindbeelden van de samenhangende onderdelen van het energiesysteem. Aandelen van 70% directe elektriciteit, minimaal 10-15% waterstof en 10-15% warmte en biomassa kunnen nu richtinggevend zijn. Beoordeel deze visie regelmatig en stuur bij waar ontwikkelingen daartoe aanleiding geven. Dit vereist stimulering van elektrificatie, waarbij waterstof als een noodzakelijke energiedrager beschouwd kan worden die alleen ingezet wordt waar direct gebruik van elektriciteit onmogelijk is.
- Zie de energie-infrastructuur als een vestigingsplaatsfactor. Benader de uitbreiding van elektriciteitsnetten vanuit de gewenste situatie in 2040-2045: een nul-emissiesysteem. Geef daarbij de ruimte aan netbeheerders om planmatig te werken vanuit de verwachte vraag in de visie. Daarmee kan infrastructuurontwikkeling tijdens de energietransitie worden versneld en wordt het risico op vertragende netcongestie beperkt. Dit kan plaatselijk tot overdimensionering leiden. Als de infrastructuur tekort schiet, zijn de kosten veel hoger dan de kosten van de plaatselijke overdimensionering.
- Erken de noodzaak van een omslag van een vraag- naar een aanbodgestuurd elektriciteits-

systeem en ontwikkel daarop gericht beleid. Stimuleer de flexibele elektriciteitsvraag. Start daarbij onderzoek naar potentieel groot-schalige vraag vanuit de industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit. Bezie of de mijlpalen met betrekking tot flexibele vraag, regelbaar opwekvermogen, import/export en opslag in samenhang kunnen worden bereikt en stuur daarin regelmatig bij.

- Maak een breder integraal afwegingskader voor keuzes in opwektechnieken en aansturingmechanismen in elektriciteitsproductie. Onderzoek daarbij de tijdelijke inzet van biomassa in kolencentrales met opslag van koolstof, zodat negatieve uitstoot kosteneffectief de resterende uitstoot compenseert.
- Beoordeel of financiële deelname in kerncentrales een goede besteding van overheidsgeld is. Hoogstwaarschijnlijk zal kernenergie een relatief klein onderdeel van het schone elektriciteits-systeem vormen. Bij een overvloedig aanbod van wind- en zonne-energie zullen kerncentrales niet volcontinu kunnen draaien, waardoor ze duur zullen zijn. De robuustheid van het systeem wordt, met meer aanbodopties zoals kernenergie, wel groter. Er zou ook minder infrastructuur voor flexibiliteit nodig zijn. Nieuwe kerncentrales kunnen pas relatief laat in het elektriciteits-systeem worden ingepast op een mogelijk onhandige locatie. Het is daarom verstandig deze inpassing beter te analyseren. Het expertteam beveelt aan om tot die tijd geen onomkeerbare stappen te zetten.
- Versterk vanuit het belang van goede internationale afspraken het Pentalateraal Energieforum. Dit houdt bij of er in buurlanden vermogenstekorten dreigen. Ook kan er overleg plaatsvinden over de verschillende bronnen om elektriciteit op te wekken in de deelnemende landen. Nodig meer kennispartijen uit om deze overleggen met scenario-analyses voor te bereiden.
- Zet naast belastingen, heffingen en subsidies sterker in op normering en handhaving van

energiebesparing. Let daarbij ook op procedurele rechtvaardigheid. Herzie, bij voorkeur in Europees verband, de degressieve tarieven in de energiebelasting.

De mogelijkheden van lokale energiesystemen

- In 2050 zijn bijna alle **wijken energieneutraal** of zelfs energiepositief, de andere wijken gebruiken (netto) nog maar weinig energie. Het uitgangspunt is dat de totale energiebehoefte van de wijk zo laag mogelijk is (warmte, elektriciteit, koeling en lokale mobiliteit). Op die manier kunnen met elkaar samenhangende lokale energiesystemen worden opgezet.
- Voor rechtvaardigheid is het belangrijk om **prioriteit te geven aan het verbeteren van slecht geïsoleerde woningen in collectief bezit**. De transitie versnelt bij het combineren van energiebeleid met maatregelen voor sociale en maatschappelijke opgaven en groene, duurzame en mensgerichte ruimtelijke keuzes.

Lokale energiesystemen met vooral elektriciteit zijn weinig belastend voor het nationale systeem

In 2050 is de gebouwde omgeving aantrekkelijk om te wonen. Ze gebruikt (netto) nog maar weinig energie. Veel wijken zijn energieneutraal of zelfs energiepositief, de andere wijken gebruiken (netto) iets meer dan ze produceren. Consumenten kunnen – al dan niet in samenwerkingsverband – energie produceren, verhandelen, opslaan en gebruiken. Veel energie blijft in de wijk, de bewoners kunnen daarvan profiteren. Dit toekomstbeeld is bereikbaar als we daar vanaf nu systematisch naartoe werken. Iedere voor- genomen maatregel moet getoetst worden aan dit eindbeeld van de gehele energievoorziening in de wijk. Het gaat om het totale toekomstige verbruik (warmte, elektriciteit, koeling en mobi-

liteit), inclusief pieken en dalen. Daarvoor wordt de beste voorziening ontworpen. Dit borgt een goede opzet van met elkaar samenhangende lokale energiesystemen. Waar mogelijk worden de verbeteringen op het gebied van energie gekoppeld aan andere opgaven in de wijk, zoals de ruimtelijke en sociale wensen.

Het toekomstig energiesysteem in de wijken is voornamelijk op elektriciteit gebaseerd, mogelijk gecombineerd met lokale warmtebronnen. Er is opslag van elektriciteit en - als er warmtenetten zijn - van warmte en koude. De energievoorziening bestaat uit lokale systemen, [loosely coupled](#)² met het nationale energiesysteem. Aardgas is uitgefaseerd.

Stedelijk gebied is compacter, landelijk gebied gevarieerder

Het expertteam verwacht steden, dorpen en bedrijfsterreinen die stiller en schoner zijn, met meer ruimte voor groen en blauw, met veel gedeelde voorzieningen. De stad is compacter met een hogere bewoningsdichtheid, automobilititeit speelt een minder dominante rol. Er zijn veel hoogwaardige openbare, vaak collectieve voorzieningen op fiets- en loopafstand van de woningen.

Het landelijk gebied is gevarieerder: er is minder veeteelt, andere gewassen worden verbouwd, ook als grondstof voor natuurlijke materialen. Bossen, bodems, grasland en natte natuur houden CO₂ maximaal vast. De elektrische (deel)auto speelt, naast het openbaar vervoer, een belangrijke rol.

Gebouwen verbruiken veel minder energie. In principe is elk gebouw energiearm en uitgerust met een warmtevoorziening en koeling. De gebouwen worden slim aangestuurd op basis van data. Zo wordt alle opgewekte energie zo efficiënt mogelijk ingezet. Elektrische auto's, samen met buurtaccu's, worden gebruikt om het elektriciteitsnet te balanceren. Gebouwen spelen ook een rol bij klimaatadaptatie. Groene daken, voedsel verbou-

² Met 'Loosely coupled' wordt de notie aangemerkt die het innovatief vermogen van een systeem koppelt aan de mogelijkheid onderdelen te vervangen of toe te voegen zonder dat het hele systeem instabiel wordt. Ook te operationaliseren in termen van regelgeving die burgers en bedrijven duidelijkheid geeft hoe ze zelf creatief kunnen zijn, minder dan dat de regelgeving het gebruiken van specifieke technologische toepassingen voorschrijft. Dus geen beleid gericht op stimulering van 'warmtepompen' maar liever sturen op optimalisatie van het achterliggende doel (radicale CO₂ reductie).

wen of recreatie op daken is normaal. Gebouwen zien er anders uit doordat natuurlijke materialen de norm zijn. Dit geeft ontwerpers nieuwe inspiratie en gebruikers een prettige beleving.

Integrale aanpak met normeren en beprijzen en grootschalig isoleren gericht op energie-armoede

Op dit moment is er vaak een apart beleid voor verschillende aspecten van de gebouwde omgeving. Isolatie, anders verwarmen, koelen of mobiliteit: ieder onderdeel wordt apart beoordeeld. Het expertteam beveelt aan deze versnipperde aanpak plaats te laten maken voor een aanpak waarbij al deze elementen in hun onderlinge samenhang ontwikkeld worden tot een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050. Koude, warmte, isolatie en elektriciteit voor gebouwen, openbare ruimte en mobiliteit krijgen gebiedsgericht integraal vorm.

Om daar te komen beveelt het expertteam de volgende stappen aan:

- Alle plannen en investeringsbeslissingen in wijken worden getoetst aan een – zo mogelijk – energieneutrale toekomst in 2050. Zet de gehele energievoorziening centraal: mobiliteit, elektriciteit, koude, en warmte (incl. isolatie) Maak van deelaspecten zoals isolatie, aardgasvrij of een warmtenet geen doel op zichzelf. Het gaat om één geheel, waarbij netto zo min mogelijk energie wordt gebruikt. Ingrep op het gebied van energie worden steeds direct gekoppeld aan de ruimtelijke en sociale aspecten. Neem daarbij de klimaatneutrale situatie in 2050 als uitgangspunt en werk daarnaar toe. Voorkom een fossiele lock-in. Bepaal een moment, bijvoorbeeld 2040, waarop aardgas niet langer ingezet mag worden voor de energievoorziening in de gebouwde omgeving.
- Verlaag de energievraag via subsidies, informeren, normering en verplichting. Ook het beoogde EU-eindbeeld 2050 schrijft voor dat

gebouwen in 2050 nog maar weinig energie verbruiken. Laat het einddoel en het tijdspad tot 2050 zien, inclusief de steeds strengere normen. Stimuleer belanghebbenden om zo veel mogelijk in één stap naar de maximale energiezuinigheid voor het hele gebouw (bij collectief bezit) of het aan te pakken gebouw of delen daarvan (bij individueel bezit). Maak het aantrekkelijk (regelgeving/instrumenten) voor bewoners, bedrijven en corporaties, om daar direct naartoe te werken. Dit levert een technisch haalbare reductie op van 70% voor ruimteverwarming en warm tapwater. Volgens de “Paris proof energierantsoen”-methode is er in Nederland 360 PJ beschikbaar³ aan energie voor de gebouwde omgeving. Ten opzichte van het huidige energieverbruik betekent dit een besparing van 60-70% aan energieverbruik.

- Isoleer slecht geïsoleerde woningen in collectief bezit in hoog tempo, veel sneller dan tot nu toe het geval is. Daarmee worden meteen stappen gezet in energiearmoedebestrijding en innovatie. Als veel woningen tegelijk worden verbeterd, kunnen ondernemingen het aanbod industrialiseren, waarbij kant en klare pakketten op de bouwplaats worden gemaakt. Hierdoor dalen de kosten en zijn ook minder arbeidskrachten nodig.
- Stimuleer, zoals Europa eist, lokale productie van energie. Stimuleer ook voldoende opslagcapaciteit voor de korte termijn en seizoensopslag van elektriciteit en warmte.
- Focus op verwarmingssystemen die met lage temperatuur (LT) werken. Deze systemen zijn toekomstbestendiger dan hoge temperatuursystemen. LT-systemen beschikken over meer bronnen en maken een efficiëntere toepassing van een warmtepomp mogelijk.
- Zorg dat burgers zo snel mogelijk een volwaardige partij (zowel als consumenten als producenten, de zgn. “handelende prosumenten”) kunnen zijn op de energiemarkten, waarbij zij flexibiliteit kunnen leveren, kunnen handelen

in energie, bijvoorbeeld met de burens, en ook samen kunnen opslaan. Flexibele prijzen per uur kunnen hierbij helpen. Maak de weg vrij voor coöperaties. Schep mogelijkheden in de wetgeving en fysiek voor sociaal ondernemen in de wijk. Dit heeft ook een positieve impact op de lokale economie, de acceptatie van de energietransitie en het vergroot de sociale cohesie. Hierdoor verandert ook de rol van energiebedrijven, van verkopers van energie naar dienstverleners voor (groepen) burgers.

- Maak de voordelen van energietransitie zichtbaar. Dat kan met voorbeeldwoningen in de wijk die inzichtelijk maken hoe comfortabel een woning na renovatie is. Deel ter inspiratie beelden en ervaringen over goede projecten, zoals de wijk Lombok in Utrecht en de Weense wijk Sonnwendviertel.
- Zorg dat iedereen mee kan komen met de energietransitie en zorg dat bewoners een stem hebben in de keuzes op lokaal niveau.
- Stuur met de vormgeving en inrichting van nog aan te leggen infrastructuur het gedrag van mensen richting gewenste invulling aan mobiliteit.
- Het terugbrengen van de energievraag van gebouwen gaat gepaard met een sterke toename van materiaalgebruik. Stimuleer daarom natuurlijke materialen en circulaire toepassingen op dit gebied en treedt op als launching-customer voor innovaties.

De nieuwe koolstofketens in de industrie

- **De toekomst van de Nederlandse industrie** moet richting 2050 bezien worden vanuit **Europees perspectief**. De vestigingsplaatsfactoren veranderen door de overgang van fossiel naar hernieuwbaar. Het is van belang hier tijdig op voorbereid te zijn.
- **Toekomstige schaarste in koolstof** en andere

materialen vraagt voor een energiesysteem volgens de ontwerpprincipes om **een sterkere inzet op circulariteit** (van zowel plastics als CO₂) en vermindering van de energievraag.

Het Nederlandse industrielandchap verandert

In 2050 zal de Nederlandse industrie er, hoe dan ook, anders uitzien dan nu. Het is waarschijnlijk dat het gebruik van fossiele brandstoffen beperkt of bijna geheel uitgefaseerd is, door autonome mondiale ontwikkelingen en klimaat- en circulariteitsbeleid. De vraag naar koolstof zal voor een breed scala aan producten echter niet verdwenen zijn. Omdat de koolstof van fossiele bronnen grotendeels wegvalt, is het noodzakelijk dat de koolstof ergens anders vandaan komt. Dat kan uit hergebruikt materiaal (gerecycled plastic), biomassa, of de lucht. Dit heeft invloed op de energievraag en de import en duurzaamheid van grondstoffen.

Het expertteam heeft de bestaande scenario's doorgenomen voor de vier energie-intensieve industriële sectoren die momenteel grotendeels op fossiele brandstoffen draaien en alle een grote uitstoot hebben. De industriële sectoren zijn ijzer en staal, raffinage, chemie en kunstmest. Samen vertegenwoordigen deze sectoren ongeveer 80 procent van de huidige industriële energie- en grondstoffenvraag. Het expertteam constateert dat de bandbreedte tussen de bestaande scenario's erg groot is. Om de gevolgen van verschillende scenario's voor het energiesysteem te kunnen onderzoeken schetst het expertteam twee ontwikkelpaden. De voor huidige stand van zaken, marktvooruitzichten en transitiebeelden vormen de basis voor deze ontwikkelpaden. Eén ontwikkelpad is gebaseerd op plannen en ontwikkelingen die zich nu al lijken af te tekenen. Het ander leidt tot een significant lager energie- en grondstoffengebruik, maar behoudt grotendeels (eind)productie voor Nederland. Voor dit ontwikkelpad is mede gebruik gemaakt van beleidsinterventies in beleidskaders die nog volop in ontwikkeling zijn. De varianten zijn

gekozen om de dilemma's zichtbaar te maken, en tegenwoordigen niet een bandbreedte of de meest waarschijnlijke ontwikkeling.

Deze ontwikkelpaden leveren een aantal knelpunten en conclusies op. De industriële energievraag loopt sterk uiteen – meer dan een factor twee. De grote variatie is ook het geval bij scenario's in andere studies en reflecteert de grote onzekerheid. Toch zijn er conclusies te trekken. De relaties tussen sectoren leveren dilemma's op en competitie tussen schaarse hulpbronnen. Bij raffinage kunnen biomassa en plastic afvalstromen die koolstof leveren voor synthetische brandstoffen schaars worden, en hun duurzaamheid kan onder druk komen te staan. Bovendien loopt de energievraag sterk op, hetgeen aan de grenzen van de benodigde capaciteit van hernieuwbare elektriciteit (voor groene waterstofproductie) raakt. Een lagere vraag naar brandstoffen vermindert deze spanning.

De sleutel ligt in circulariteit en vermindering van laagwaardig gebruik

De vraag naar fossiele brandstoffen zal sterk gaan dalen door elektrificatie in de industrie, in wegtransport en door toenemend gebruik van hernieuwbare brandstoffen in lucht- en scheepvaart. De koolstof- en energiebehoefte bij transformatie van de bestaande fossiele bunkerbrandstofproductie naar grootschalige productie van synthetische brandstoffen maakt import van waterstof noodzakelijk. Als fossiele import helemaal moet verdwijnen met behoud van de chemie, dan zijn er grote stappen op circulariteit en/of biomassa-import nodig.

De integratie tussen raffinage en chemie (met name plastics) blijft, maar verandert substantieel. Als de vraag naar producten uit de chemische industrie groeit en de fossiele raffinagecapaciteit daalt, stijgt de vraag naar koolstof uit andere bronnen. Sturing op vraag naar plastics beperkt de uit-

daging, terwijl sturing op productontwerp (circular by design) bij kan dragen aan hogere aandelen recycling. Circulariteit, deels energie-intensief, is een noodzakelijke deeloplossing. Via meer recycling, gebruik van biomassa, en op termijn CO₂ uit de lucht kan mogelijk lokaal koolstof gewonnen worden. Dit levert mogelijk een duurzamere sector en een kleinschaligere chemische productie. Voor kunstmest en staal zijn er opties om halffabricaten te importeren, maar daardoor verplaatst de energie-intensieve productie. De duurzaamheid hiervan hangt af van de vraag waarnaar toe. Is dit naar gebieden met goede mogelijkheden voor hernieuwbare energie- en groene waterstofproductie, of niet? Voor kunstmest gaat er waarschijnlijk ammoniak ingevoerd worden, vooral voor de Europese markt. Voor ijzer en staal gaat meer schroot verwerkt worden. Voor de vraag naar nieuw staal zijn er meerdere opties. Bij een gelijkblijvende of grotere Nederlandse productie is er een duidelijk hogere waterstof- en daarmee elektriciteitsvraag. Dit kan leiden tot spanningen met andere sectoren binnen en buiten de industrie die ook gaan elektrificeren. Productie van staal in Europa voorkomt afhankelijkheid van landen buiten Europa.

Industrie vraag veel energie, maar koolstof staat centraal

Ook is duidelijk dat zelfs in 2050 fossiele brandstoffen nog in de energiemix voor kunnen komen, al is dat in sterk afgenomen mate. Dit betekent dat CO₂ afvang en opslag (CCS) nodig blijft om emissies te reduceren, dat emissies in de keten blijven bestaan, dat negatieve emissies noodzakelijk zijn, en dat er dilemma's optreden rondom internationale rechtvaardigheid en duurzaamheid. Het maakt veel uit welk ontwikkelpad wordt ingezet. Het eerste pad leidt tot een industriële energievraag van rond de 1300 Petajoule (PJ), het tweede pad leidt tot een vraag van ca. 600 PJ.

De analyses laten zien dat een systeemtransformatie in de industrie nodig is. Vanwege de energievraag van de huidige industrie, de consequenties voor duurzaamheid en de schaarse ruimte, is vanuit de ontwerpprincipes moeilijk voor te stellen dat de huidige omvang van de industrie in Nederland in stand blijft. Een aantal recente ontwikkelingen laat dit ook al zien. Maatregelen om de broeikasgasuitstoot naar nul te krijgen vragen om een inzet op meerdere 'enabling conditions'.

Om daar te komen doet het expertteam de volgende aanbevelingen. Net als bij ontwikkelpad Elektriciteit en Waterstof is de inzet op elektrificatie waar mogelijk en het voeren van beleid op infrastructuur ook toepasbaar op de industrie. Daarnaast zijn er een aantal specifieke aanbevelingen:

- Vraag naar materialen verminderen lijkt haalbaar en maakt de dilemma's rondom de ontwerpprincipes minder prangend. Dit vergt gericht beleid op vraagreductie, normering om circulariteit te stimuleren en productontwerp voor circulariteit te bevorderen. Een sterke regie op basis van een breed gedragen visie voor de Nederlandse industrie zou rechtdoen aan de ontwerpprincipes én de overwegingen van de inwonerraad.
- Zonder sterke en sturende inzet op circulariteit, wordt de transitie naar een klimaatneutrale koolstof-intensieve industrie in Nederland moeilijk om te realiseren. Het beleid op circulariteit zou moeten worden gekoppeld aan klimaatbeleid zodat perverse prikkels, bijvoorbeeld voor emissies in de keten, worden voorkomen.
- Handelsstromen gaan veranderen, waarmee ontwerpprincipes onder druk kunnen komen te staan. Borg duurzaamheid en rechtvaardigheid in ketens, alsmede in wat je importeert. Dergelijke kaders bestaan al voor biomassa, maar zullen ook voor waterstof, ammoniak, en

andere grondstoffen en halffabricaten moeten gaan gelden. Normering voor meer gebruik van natuurlijke en circulaire materialen is onderdeel hiervan.

- Voer industriebeleid. Dit vraagt van de overheid niet om maatwerk op basis van de industrie van nu, maar om maatwerk op basis van een industrievisie voor de periode 2040-2045.
- Stem deze industrievisie, en de inzet van instrumenten in Nederland, af op het beleid van de Europese Unie en de ons omringende landen.
- Ook met maximale inzet op elektrificatie, groene waterstof en circulariteit blijft CCS noodzakelijk: op de korte termijn om de emissies naar beneden te krijgen, maar ook op de lange termijn voor het beperken van restemissies en het realiseren van negatieve emissies in de industrie.

Burgerparticipatie met een Inwonerraad Energie

- De Inwonerraad Energie laat zien dat **burgerparticipatie** kan worden ingezet om **burgers na te laten denken over het energiesysteem van de toekomst**, met oog voor een langetermijnvisie en systeemperspectief. De aanbevelingen van de inwonerraad komen op vrijwel alle terreinen overeen met de inzichten van het expertteam en geven inzicht in de randvoorwaarden voor de transitie die inwoners belangrijk vinden.

Het expertteam ziet een belangrijke rol voor burgerparticipatie bij de energietransitie. Daarom heeft het expertteam besloten om een inwonerraad te organiseren. Het eerste doel daarbij was inzicht krijgen in de randvoorwaarden die mensen van belang vinden bij het realiseren van de energietransitie. Het tweede doel was om inzicht te verwerven in de kansen en beperkingen van burgerparticipatie als middel voor burgerbetrokkenheid in de energietransitie.

De inwonerraad als representatieve groep Nederlanders

De Inwonerraad Energie heeft onafhankelijk van het expertteam geopereerd en een eigen werkwijze gevolgd. De Inwonerraad Energie is een groep van 50 inwoners uit Nederland die een afspiegeling vormen van de Nederlandse bevolking. De groep is divers voor wat betreft woonplaats, gender, leeftijd, opleidingsniveau, migratieachtergrond en politieke oriëntatie. De inwonerraad is gevraagd om op basis van gedeelde waarden (groene waarden, zelfwaarden, genietwaarden en medemenselijke waarden) tot concrete adviezen te komen met betrekking tot de randvoorwaarden voor het energiesysteem van de toekomst. Deze adviezen zijn opgesteld aan de hand van discussies tussen de inwoners tijdens vier bijeenkomsten.

Expertteam en inwonerraad hebben gedeelde inzichten

De Inwonerraad Energie heeft geleid tot concrete adviezen over het energiesysteem van de toekomst. In totaal hebben de deelnemers van de Inwonerraad Energie over 25 adviezen gestemd, waarvan 19 adviezen door de inwonerraad zijn aangenomen. De adviezen, werkwijze en ervaringen van de deelnemers zijn te vinden in de aparte notitie Inwonerraad Energie. De aanbevelingen van de inwonerraad komen vrijwel allemaal overeen met de inzichten van het expertteam. In de adviezen komen met name leveringszekerheid (in termen als 'stabiel energiesysteem', 'langetermijnvisie voor energievoorziening', 'continu voldoende energie opwekken'), rechtvaardigheid en betaalbaarheid (in overwegingen als 'niemand blijft achter', 'rechtvaardige verdeling', 'eerlijke prijs'), en een groene leefomgeving (in termen als 'een zo groen mogelijk systeem', 'prettige leefomgeving', 'aarde bewaren') terug als belangrijke randvoorwaarden voor het energiesysteem van 2050. In meerdere adviezen wordt

het belang van begrijpelijke en positieve communicatie benoemd om gedragsverandering van de consument en bedrijven te stimuleren. Daarnaast ziet de inwonerraad de overheid als de partij die de meeste verantwoordelijkheid heeft voor het uitvoeren van deze adviezen en daarbij een duidelijke regierol heeft.

Burgerraden hebben een grote toegevoegde waarde voor langetermijnvraagstukken

De inwonerraad laat zien dat deze vorm van burgerparticipatie kan worden ingezet om burgers na te laten denken over het energiesysteem van de toekomst, met oog voor een langetermijnvisie en systeemperspectief. Het expertteam is onder de indruk van de constructieve wijze waarop de inwonerraad heeft gefunctioneerd en beveelt daarom aan om een burgerberaad of inwonerraad vaker in te zetten voor vraagstukken die om een langetermijn- en systeemperspectief vragen. Hierbij is het belangrijk om van tevoren duidelijkheid te verstrekken over de rol die de opgestelde adviezen hebben in het besluitvormingsproces (bijvoorbeeld informierend, adviserend of beslissend), zodat deelnemers weten wat hun mandaat is. Het is interessant om te onderzoeken in welke mate adviezen die tot stand zijn gekomen door een burgerparticipatietraject breed gedragen worden door de samenleving en om na te gaan of breed maatschappelijk draagvlak voor de transitie wordt versterkt door het organiseren van een burgerberaad of inwonerraad.

Systeemoplossingen voor consistentie en congruentie

- Een **overkoepelende en gedeelde visie vormt de basis voor besluiten** over beleid gericht op het versnellen van de energietransitie, zoals ruimtegebruik, innovatie, infrastructuur en investeringen.

- Een **duidelijke rolverdeling** voor de overheid, burgers en bedrijven en op tijd helderheid verschaffen over gewenst gedrag en investeringen is belangrijk. Een **mix van beleidsinstrumenten** is nodig om burgers en bedrijven de juiste prikkels te geven om bij te dragen aan de transitie. Normering met adequate handhaving leidt vaak tot snellere resultaten dan beprijzing, maar beprijzing blijft nodig. Ook ruimtelijk beleid, infrastructuur en informatieverstrekking zijn onderdeel van die mix. Ook moet de overheid via prikkels zorgen dat de financiële sector transformeert.
- Voor de **uitvoering** moeten **voldoende middelen** (kennis, mensen, materialen, ruimte) beschikbaar zijn, waarbij **in geval van schaarste prioritering** plaatsvindt op basis van de eindvisie.
- Het energiesysteem is een complex systeem en daarin heeft leren een centrale plaats.
- Het is belangrijk om de voortgang te **monitoren en te evalueren**, en bij te sturen indien nodig. Investeringen in **innovatie, kennisontwikkeling en kennisdeling** gericht op samenhangende systeemveranderingen zijn relevante randvoorwaarden.

Voor een klimaatneutraal energiesysteem zijn burgers, bedrijven en de overheid samen aan zet. In het huidige energiesysteem worden producenten en gebruikers van energie onvoldoende geconfronteerd met de negatieve klimaatgevolgen van fossiel energiegebruik. De noodzaak van overheidsinterventies staat daarom buiten kijf.

Het expertteam definieert een systeemoplossing als volgt: het terugkomt in elk ontwikkelpad, als het gerelateerd is aan de verbindingen en/of coördinatie tussen de ontwikkelpaden of als het een oplossing is vanuit het hele energiesysteem. Het expertteam benoemt een aantal systeemoplossingen.

Ontwikkel een breed gedeelde overkoepelende visie op het energiesysteem van de toekomst (2050 en daarna)

Een breed gedeelde langetermijnvisie voor 2050 én daarna geeft richting aan plannen en beleid van de overheid. Bij het ontwikkelen van deze visie is het belangrijk om alle relevante beleids terreinen te betrekken en de energietransitie te koppelen aan de transitie naar een circulaire economie, met de ontwerpprincipes rechtvaardig, robuust en duurzaam als uitgangspunt. Economische en sociaal-maatschappelijke ontwikkelingen horen hier ook bij, zoals de manier van wonen en werken en de toekomst van de industrie. De visie kan de overheid ook gebruiken bij het ontwikkelen, uitvoeren, monitoren en evalueren van beleid op andere beleidsterreinen en maatschappelijke opgaven, zoals bijvoorbeeld de woningbouwopgave. Dan werken we samen toe naar de gewenste Nederlandse samenleving in 2050 en daarna.

Zorg voor een heldere rolverdeling die past bij de transitie en het lange termijn-eindbeeld door het creëren van de juiste voorwaarden

De transitie van het energiesysteem is een gezamenlijke verantwoordelijkheid van overheid, het bedrijfsleven en burgers, met een overheid die de regie voert en erop toeziet dat hij op een rechtvaardige manier verloopt. Dit gebeurt door alle partijen te betrekken bij de besluitvorming, ervoor te zorgen dat alle belangen evenwichtig meewegen, en dat kosten en baten eerlijk zijn verdeeld. Denk daarbij ook aan niet-financiële waarden, zoals bijvoorbeeld natuur en medemenselijkheid.

Daarbij is tijdig duidelijkheid nodig over wat aan de markt wordt overgelaten en waar een interventie van de overheid nodig is. Burgers spelen als consument, initiatiefnemer, kiezer, ondernemer en bewoner een cruciale rol. Alleen als de burgers de veranderingen ondersteunen, slaagt de transitie.

Een transformatie naar een klimaatbewust en -bekwaam financieel systeem

Met een grote financiële sector en de ligging in een delta is Nederland zowel financieel kwetsbaar voor klimaatverandering als in de positie om een verandering van het financiële systeem mede in gang te zetten. De overheid kan die verandering stimuleren door eisen te stellen aan het kennisniveau van financiers over duurzaamheid, transitieplannen verplicht te stellen en in het toezicht tegenover klimaatgerelateerde risico's hogere kapitaalseisen te zetten. Ook economische prikkels verhogen de aantrekkelijkheid van duurzame investeringen. Daarbij kan de overheid ook meer zelf mee investeren.

Zet in op normeringen, belastingen en een leidende rol van de energie-infrastructuur om tot structurele (gedrags-)verandering te komen en investeerders zekerheid te bieden; gebruik subsidies en geef informatie om de transitie voor burgers en bedrijven praktisch mogelijk te maken op een rechtvaardige manier, waarbij iedereen mee kan doen

Het binnenlands gebruik van (fossiele) energie kan via normering en beprijzing sterk dalen. Samen met onze buurlanden kan de overheid de energiebelastingen afstemmen om energiegebruik in chemische industrie en bunkerbrandstoffen te verlagen.

Heldere normen zorgen ervoor dat burgers en bedrijven beter weten welke gedragsveranderingen van hen in 2050 en de weg daarnaartoe worden verwacht. Beprijzen geeft transparantie over de prijs die burgers en bedrijven moeten betalen en zorgt voor een prikkel om vervuilend gedrag te verminderen. Voor huishoudens met lage inkomens kan compensatie nodig zijn vanuit het principe van rechtvaardigheid.

De energie-infrastructuur van Nederland moet leidend worden voor de ruimtelijke, sociale en economische ontwikkeling, en niet meer volgend

zoals nu. Infrastructuur heeft een sturende werking op gedrag van burgers en bedrijven. Met de aanleg van nieuwe en verzwaring van bestaande energienetwerken worden nieuwe mogelijkheden gecreëerd voor burgers en bedrijven. Daarvoor moeten netbeheerders investeringsruimte, wettelijke mogelijkheden, en fysieke ruimte krijgen. Ook voor burgers, corporaties en gemeentes is juridische ruimte nodig zodat ze zelf met lokale duurzame energiesystemen aan de slag kunnen gaan en lokaal maatwerk mogelijk wordt. De energie-infrastructuur geeft ook het verdienvermogen van Nederland vorm. De energie-infrastructuur zou dus een prominente plaats moeten krijgen in de nieuwe Nota Ruimte (2024) van het kabinet.

Subsidies en verstrekking van informatie kunnen ingezet worden om een rechtvaardige transitie te realiseren waarin iedereen mee kan doen.

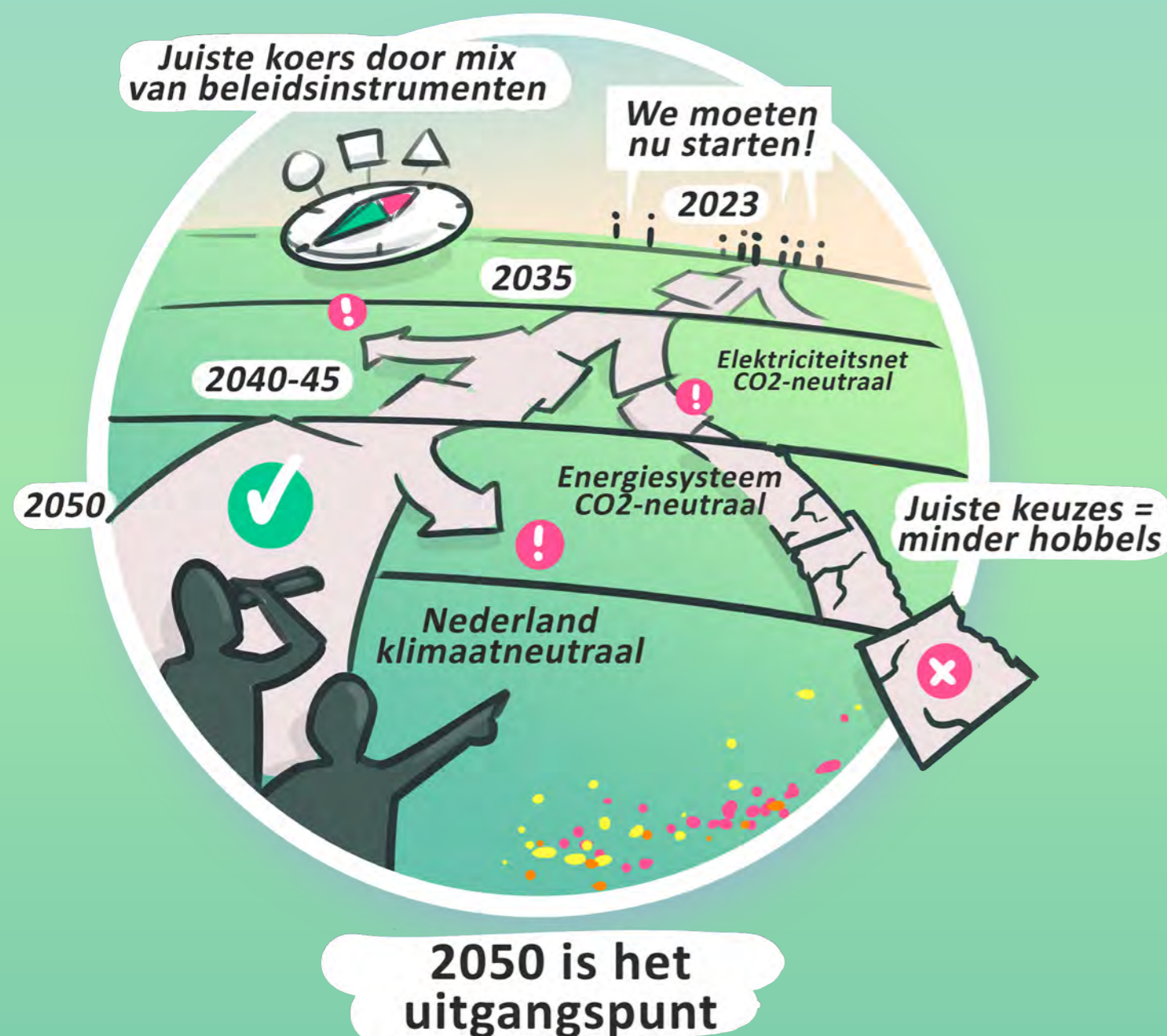
Een succesvolle energietransitie vereist keuzes

De energietransitie zal plaatsvinden in een omgeving en een periode van aanzienlijke schaarste. Er is weinig ruimte in de boven- en de ondergrond, de arbeidsmarkt is zeer krap en er is schaarste aan materialen. Dit vereist een scherpe prioritering. Niet alles kan, dus prioritering is nodig naar wat het meeste bijdraagt aan de integrale visie. Inzet van alle beschikbare kennis en ruimte geven aan innovaties kan bijdragen aan het minder beknellend maken van de schaarste-elementen.



Het Expertteam Energiesysteem 2050. Boven (v.l.n.r.): Bert Stuij, Maarten Hajer, Heleen de Coninck, Aniek Moonen en Annelies Huygen. Onder (v.l.n.r.): Rens van Tilburg, Gülbahar Tezel, Bernard ter Haar (voorzitter) en Pieter Boot. Niet op de foto: Linda Steg.

1. Introductie en scope



1.1. De vraag aan het Expertteam Energiesysteem 2050

Op voordracht van de minister voor Klimaat en Energie heeft het kabinet in het voorjaar van 2022 het Expertteam Energiesysteem 2050 ingesteld voor de periode van een jaar. De opdracht aan dit team was om – in de vorm van een 'outlook' – bouwstenen aan te leveren voor het Nationaal Plan Energiesysteem 2050. Dat plan verschijnt medio 2023. Het expertteam is samengesteld uit tien onafhankelijke personen die samen een brede bundeling van (wetenschappelijke) expertises vertegenwoordigen.

Dit is de outlook waarmee het expertteam aan het kabinet rapporteert over haar bevindingen. In de aanloop hiernaartoe zijn in mei 2022 een [Notitie uitgangspunten Outlook Energiesysteem 2050](#)³ en in november 2022 een [tussenrapportage](#)⁴ uitgebracht.

1.2. Uitgangspunten voor de Outlook

1.2.1. De economie en maatschappij in 2050 zijn het uitgangspunt

De manier waarop wij produceren, consumeren, wonen, werken en reizen gaat wijzigen als gevolg van actuele ontwikkelingen. Denk daarbij aan de klimaatverandering, grondstofschaarste, digitalisering en de platformeconomie. Die veranderingen zijn bepalend voor het energiesysteem van 2050 en ook daarna. De beschikbaarheid van (hernieuwbare) energiedragers is net als andere comparatieve voordelen van een land ook sturend voor maatschappelijke ontwikkelingen. Zoals ooit de beschikbaarheid van het Groningen-gasveld onze economische structuur en samenleving ingrijpend heeft beïnvloed, zal een toekomstig

duurzaam energiesysteem ook de ontwikkeling van economie en samenleving in 2050 beïnvloeden.

Voor een klimaatneutraal Nederland in 2050 is meer nodig dan een klimaatneutraal energiesysteem. Ook de landbouw en het landgebruik tellen mee. Terwijl het landgebruik in de meeste Europese landen leidt tot koolstofopname, kent Nederland broeikasgasemissies door landbouw en landgebruik. Vooral door vee en de lage grondwaterstand in veenweidegebieden komt er methaangas vrij.

1.2.2. Publieke belangen vanuit een brede maatschappelijke afweging

Het is niet mogelijk om nu al te bepalen hoe het energiesysteem er in 2050 uit gaat zien. Toch moeten we op korte termijn keuzes maken over de te volgen ontwikkelpaden. Het expertteam vindt dat die keuzes gebaseerd moeten worden op een brede, maatschappelijke afweging. De staatssecretaris en minister van Economische Zaken en Klimaat hebben in december 2021 in een brief aan de Tweede Kamer toegelicht welke publieke belangen moeten worden afgewogen bij de keuzes op weg naar het klimaatneutraal energiesysteem in 2050:

- Leveringszekerheid en betrouwbaarheid;
- Betaalbaarheid;
- Veiligheid en afhankelijkheid;
- Leefomgevingskwaliteit en maatschappelijke betrokkenheid.

Het expertteam beveelt aan deze belangen te vertalen naar de volgende leidende principes:

- **Rechtvaardigheid:** omdat het voor alle inwoners en bedrijven een wenkend perspectief biedt, het tempo kan versnellen, en zorgt voor een eerlijk aandeel van Nederland in de wereldwijde transitie.

- **Robuustheid:** omdat het functioneren van de energievoorziening op korte en lange termijn van belang is voor de economische en maatschappelijke continuïteit.
- **Duurzaamheid:** omdat we binnen de planetaire grenzen moeten blijven, om ook in de toekomst de aarde leefbaar te houden.

1.2.3 De energietransitie is veel meer dan een systeemtechnische exercitie

De energietransitie gaat niet alleen om de realisatie van een klimaatneutraal technisch energiesysteem. Het gaat ook om een verandering van de maatschappij, de economie, instituties en sociale netwerken. Het is daarmee een verandering van een complex socio-technisch systeem dat bestaat uit technische, sociale en organisatorische componenten die met elkaar interacteren. Deze interacties zorgen voor de extra complexiteit van het systeem, waardoor maatschappelijke effecten van interventies in het systeem lastig te voorspellen zijn. Een complex systeem zoals het Nederlandse energiesysteem is daarom voortdurend in beweging.

Het huidige vooral fossiel gedreven energiesysteem heeft nog een zekere eenvoud. Grote internationaal opererende energieproductie-bedrijven leveren een primair aanbod van fossiele energiedragers kolen, olie en aardgas. Twee nationale en vier regionale netwerkbedrijven zorgen voor het transport en distributie van elektriciteit en aardgas. Het systeem maakt deel uit van de Noordwest Europese energiemarkt en is via hoogspanningskabels en gasleidingen verbonden met andere landen.

Een klimaatneutraal energiesysteem is waarschijnlijk complexer. Het primaire aanbod bestaat dan volgens de meeste scenario's grotendeels uit duurzaam opgewekte elektriciteit, merendeels grootschalig, deels kleinschalig, uit zon en wind geproduceerd. Dit kan worden aangevuld met bijvoorbeeld biobrandstoffen, traditionele fossiele energiedragers (met CO₂-afvang en -opslag) en kernenergie. Een variatie van internationale en lokaal opererende bedrijven,

burgers en coöperaties leveren dit in eigen land geproduceerde duurzame elektriciteits- en warmteaanbod. Vanwege de weerafhankelijkheid gaat de productie van hernieuwbare elektriciteit gepaard met pieken en dalen. De energievraag, die voor een veel groter deel dan nu elektrisch zal zijn, is echter (nog) niet synchroon met deze pieken en dalen. Vraagsturing, tijdelijke energieopslag, de omzetting van elektriciteit naar gas en vice versa maken integraal deel uit van het nieuwe, complexere, energiesysteem.

Sturen op complexe systemen vraagt om integrale sturing op systeemniveau. Ontwikkelingen in economie, maatschappij en de internationale context beïnvloeden de transitie van het energiesysteem en kunnen daar niet los van gezien worden. Vanwege deze afhankelijkheid tussen de onderdelen in het systeem, is het bij het vormgeven van het beleid onverstandig te kiezen voor een exclusief sectorale of modulaire aanpak. Kies er juist voor de integraliteit voorop te stellen. De verschillende sectoren raken namelijk steeds meer geïntegreerd, en kunnen niet los worden bekeken of gestuurd. Dit zegt ook het IPCC in een [recente rapportage](#)⁵. Daarin noemt zij een zestal enabling conditions of randvoorwaarden die in onderlinge samenhang de transitie kunnen versnellen:

Governance

Dit betreft de regie en (be)sturing van transitieprocessen en de organisatie en coördinatie van het energiesysteem op de verschillende schaalniveaus. Sturing op integraliteit en het meewegen van de externe effecten van systeemkeuzes ligt in handen van de overheid, die de zeggenschap over invulling op lagere schaalniveaus ook op die niveaus kan beleggen. Daarbij is ook van belang rekening te houden met de bestaande en toekomstige Europese regelgeving en de verknoping van de Nederlandse economie met internationale waardeketens.

Innovatie

Stimulering van zowel technische als sociale innovatie helpt de transitie te versnellen. Dat geldt voor efficiënte en geïntegreerde energieproductie, voor waardegedreven businessmodellen en bijvoorbeeld ook voor de vereiste materialentransitie. Private partijen kunnen bijdragen aan deze innovatie.

Institutionele capaciteit

De benodigde menskracht om alle vernieuwingen te kunnen realiseren lijkt op dit moment een beperkende factor voor de energietransitie. Dit omvat ook institutionele verandercapaciteit, zodat instituties andere rollen op zich gaan nemen.

Gedragsverandering

In de overheidsregie van transitieprocessen is gedrag vaak een onderbelicht thema. Gedragsverandering is essentieel om veranderingen te kunnen realiseren. Om besparing op energiegebruik te realiseren, om nieuwe technologie te financieren en/of aan te schaffen, om andere producten met lagere ketenemissies te kopen en om andere besluiten te nemen ten gunste van het nieuwe energiesysteem.

Financiële systeemverandering

Zowel private als publieke financiers zijn nodig om de energietransitie financieren. Private partijen kunnen dat doen als zij beperkte risico's en rendabele langetermijnperspectieven zien in het opbouwen van het nieuwe energiesysteem. Publieke interventie kan daarbij nodig zijn om te grote financiële onzekerheden weg te nemen en/of te compenseren voor te lage rendementen. Publieke interventie is ook nodig om ervoor te zorgen dat private financiële instellingen voldoende bewust zijn van de kansen en risico's die samenhangen met klimaatverandering en energietransitie en in staat zijn hierop in te spelen.

Overheidsinstrumenten

Dit is het scala aan instrumenten van de overheid om markt-, systeem- en transitiefalen op te lossen. Voorbeelden zijn normering, beprijzing, voorlichting, convenanten, regelgeving, en de eigen bedrijfsvoering. Belangrijk is coherente en consistente inzet van deze instrumenten.

1.3. Lessen uit het verleden

Om te kunnen bepalen waar we met het energiesysteem heen willen en hoe we dat kunnen realiseren, is het goed om te begrijpen welke factoren bepalend waren voor het ontstaan van het huidige systeem waar we nu in zitten en wat de rol van de overheid was bij het realiseren van dat systeem. Zie hiervoor de achtergrondnotitie "Historische beslissingen in het energiedomein met [een grote impact](#)"⁶.

Uit dit historisch perspectief leren we dat de Nederlandse overheid met alle gemaakte keuzes, zeker tot 1990, een hele belangrijke invloed had op het ontstaan van het huidige systeem. Het huidige energiesysteem is het gevolg van vele interacties tussen het technische-fysiek systeem en het sociale systeem waarbij, (inter)nationale economische en maatschappelijke ontwikkelingen een grote invloed hebben gehad. In beginsel was energie vooral een nutsvoorziening met een sterk organiserend vermogen. Sinds de vondst van grote hoeveelheden aardgas in Groningen werd energie een verdienmodel voor de Nederlandse energie- en petrochemische industrie. Daarbij waren eerst de principes betaalbaarheid en betrouwbaarheid leidend en later ook schoon. Het is goed dit te beseffen, nu er een heel nieuw systeem gerealiseerd gaat worden waarbij het expertteam aanbeveelt de ontwerpprincipes rechtvaardig, robuust en duurzaam centraal te stellen

1.4. Het Nederlandse energiesysteem vanuit een internationaal perspectief

Zowel op systeemniveau als beleidsmatig is Nederland op diverse manieren verknoopt met Europa en de rest van de wereld. Bij het maken van keuzes moeten we ons daarvan bewust zijn. Energie is per definitie een mondiaal vraagstuk. De geografische ligging en de aanwezigheid van een grote industriële sector maken dat Nederland een sterke relatie heeft met het buitenland. Nederland is onderdeel van de Europese Unie (EU). Keuzes die in Brussel gemaakt worden, hebben invloed op Nederland. Daarnaast hebben keuzes die in de EU en in Nederland gemaakt worden, consequenties voor de hele wereld. Het Nederlandse energiesysteem kan daarom niet los gezien worden van de EU en van de rest van de wereld. Dit betekent bijvoorbeeld dat onze besparingsdoelen in lijn met de EU-ambitie in Fit for 55 moeten zijn. En voor de marktmacht die Europa heeft via de EU Taxonomy en via de Green Deal ook standaarden worden gezet voor import.

1.4.1. Zonder energievraagvermindering blijven we afhankelijk van import

De nulmissie scenario's van omringende landen komen vrijwel allemaal uit op een afnemende energievraag in 2040 of [2050](#)⁷. Ook de EU legt in Fit for 55 en recent in de aanpak van de energiecrisis een beperking op aan energiegebruik. In Nederland is het energiegebruik van sectoren en bedrijfstakken de afgelopen jaren nauwelijks veranderd. De industrie is verreweg de grootste energieverbruiker, gevolgd door huishoudens en de verkeer- en vervoerssector. Binnen de industrie zijn de chemische en farmaceutische industrie verreweg de grootste gebruikers, gevolgd door raffinage en de metaalindustrie. Deze industrieën opereren op de wereldmarkt. In 2019 was 70% van onze energiebehoefte gedekt door import van fossiele energiedragers. Als

onze energievraag niet daalt, zullen we deels van import afhankelijk blijven, omdat we zelf onvoldoende ruimte hebben voor alle energieproductie.

Het is dan ook niet vanzelfsprekend dat de Nederlandse economie vergroent als die niet structureel verandert. De wereldwijde duurzaamheidstransitie beïnvloedt de vraag naar producten uit Nederland, waardoor sectoren zouden kunnen krimpen of groeien. Ook kan het Europese industriebeleid tot meer strategische Europese productie en meer energieverbruik leiden. Duurzame alternatieven voor huidige activiteiten sluiten ook niet per definitie aan bij Nederlandse comparatieve voordelen, waardoor ook structurele veranderingen kunnen optreden.

1.4.2. Geopolitiek en afhankelijkheid van andere landen

De EU zet in op minder energieafhankelijkheid door een combinatie van zorgen omtrent voorzieningszekerheid, klimaat en [industriële kansen](#)⁸. Diversificatie van bronnen en leveranciers is cruciaal met betrekking tot leveringszekerheid. En alleen laagste kosten mag geen criterium meer zijn, robuustheid heeft ook een prijs. Daarnaast is het aanbod van kritische materialen een belangrijke factor voor toekomstige groei. Dat aanbod is niet vanzelfsprekend, vanwege herkomst in een zeer beperkt aantal landen (voornamelijk China) en zorgen om mensenrechten en milieuvervuiling in de mijnbouw. Dit kan ook leiden tot prijsvolatiliteit en mogelijk extra kosten voor de transitie. Een focus op circulariteit zou de vraag naar kritische metalen ook kunnen verminderen.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2, eindbeelden, heeft het expertteam op basis van techno-economische scenario's en internationale ontwikkelingen in beeld gebracht hoe de maatschappij en de economie zich kunnen ontwikkelen.

In de daaropvolgende hoofdstukken 3, 4 en 5 zijn drie ontwikkelpaden naar deze eindbeelden uitgewerkt, respectievelijk Hoofdstuk 3: Vraag en aanbod van elektriciteit en waterstof, Hoofdstuk 4: Mogelijkheden van lokale energiesystemen, Hoofdstuk 5: Nieuwe koolstofketens in de industrie. Hoofdstuk 6 bevat een reflectie van het expertteam op de adviezen van de inwonerraad en het proces rond deze burgerparticipatie. De outlook sluit af met een hoofdstuk over systeemoplossingen (hoofdstuk 7) en een hoofdstuk met de hoofdboodschappen (hoofdstuk 8).

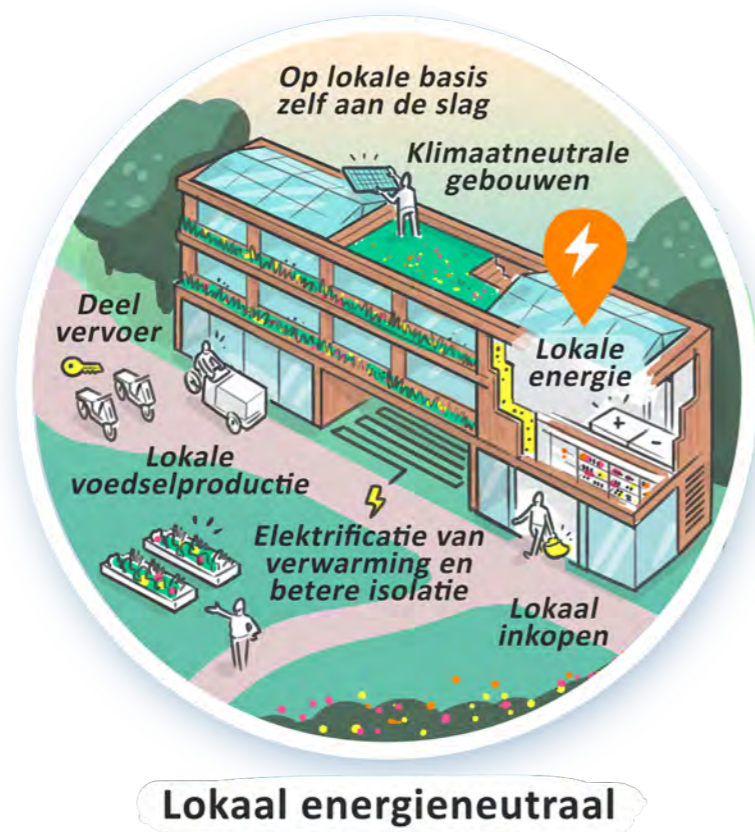
Eindbeeld: Een dag in 2050

Het is 7 uur, de wekker gaat. Ik voel de zon vanachter het gordijn op mijn gezicht. Zou het vandaag de eerste voorjaarsdag zijn? Ik stap onder de douche en hoor vanuit de badkamer dat de kinderen ook wakker worden. Zij gaan straks ook douchen. Onze douche is ingesteld op vijf minuten per keer. Ze weten niet beter. Naast het energiegebruik is vooral ook de zorgvuldige omgang met zoetwater van belang. De droogte van vorig jaar staat ons nog helder voor ogen. Mijn partner, Robin, werkt als verpleegkundige in het ziekenhuis. Robin heeft vandaag dagdienst en is dus al een paar uur weg. Daarom maak ik vandaag het ontbijt klaar.

Terwijl de koffie staat te pruttelen zorg ik dat de vaatwasser en wasmachine zijn gevuld. Vandaag

heb ik afgesproken naar het deelwerkantoor in de buurt te gaan. Dan is het toch wel handig om een smart systeem in huis te hebben dat de wasmachine aanzet wanneer de wind waait of de zon schijnt en de energie dus het goedkoopst is.

Robin is vandaag met de deelauto naar het ziekenhuis. De kinderen nemen de fiets naar school en ik wandel naar het buurtkantoor. Die flexibele werkplekken, middenin onze autoluwe en groene wijk, werken heel goed voor mij. Omdat er veel minder auto's zijn, heeft dat genoeg ruimte vrijgemaakt om een park met bomen en een speeltuin voor de kinderen aan te leggen. De buurt is een stuk prettiger geworden, vooral in de zomer is het nu merkbaar koeler door alle bomen. Een stel roodborstjes is aan het nestelen recht voor ons balkon. In de strook verderop zie ik nog wel eens een eekhoorn rennen. Dat we dit tegenwoordig in de stad weer kunnen zien, geeft voldoening. Ik ben blij dat ik mijn kinderen deze wereld kan laten zien.



Tijdens mijn wandeling kom ik mijn collega Khalid tegen. We hebben allebei een paar jaar geleden besloten ons om te scholen. We werkten bij een adviesbureau dat de plasticindustrie hielp om circulair en klimaatneutraal te worden. Dat is inmiddels zo goed gelukt dat er in Nederland weinig vraag naar onze kennis meer was. In plaats daarvan ontwikkelen we nu trainingsmethodes voor beleidsmakers en industriële partijen in het buitenland. Heel ander werk waar ik mijn kennis goed in kwijt kan. Vandaag is een rustige dag, ik heb 's morgens een paar online afspraken met klanten, en vanmiddag een brainstorm.

Vlak voor de lunch krijg ik een bericht. Of ik voor een conferentie naar Rome wil gaan. Daar ben ik nog nooit geweest en het is goed per trein bereikbaar. In vijf minuten heb ik mijn ticket geboekt. Met de vele concurrerende aanbieders op het hogesnelheidsnet zijn de prijzen een stuk aangenamer dan vroeger. De treinreis voelt toch een beetje als een mini-vakantie. Lekker werken in de trein, met geweldige uitzichten onderweg. En op de terugweg in Milaan een hapje eten en dan met de nachttrein, heerlijk comfortabel. Wat een verschil met de stress van het vliegtuig vroeger! Veel beenruimte, en geen risico op verloren koffers, veiligheidsgedoe, geannuleerde vluchten en lange rijen. Ik kijk nu al uit naar de treinreis.

Ik lunch met wat andere buurtgenoten die ik in het kantoor tegenkom. We gaan naar de Kas, ons leuke restaurant, gerund door bewoners uit de wijk. De buurtcoöperatie verbouwt zelf voedsel en haalt veel producten op bij lokale boeren, want daar blijft wel eens iets over. Aangevuld met seizoensproducten uit moestuinen op de daken van de hoogbouw, maken ze elke dag weer heerlijke lunchpakketjes. Een deel van de opbrengst wordt gebruikt voor het betalen van de lokale boeren, en de winst gaat naar ons coöperatie-energiefonds. Via dit fonds ondersteunen we mensen die het financieel moeilijk hebben. Zo staan we niet alleen als burens voor elkaar klaar en is er een vangnet voor degene die dat nodig

hebben. Hadden we dit vroeger maar gehad, toen mijn ouders het financieel lastig hadden. Het huurhuis waarin ik opgroeide was slecht geïsoleerd en mensen betaalden toen flink voor fossiele energie. Gelukkig zijn die huizen in de jaren '20 en '30 allemaal opgeknapt of afgebroken. Energie en wonen is nu een stuk goedkoper.

Ik ga op tijd van mijn werkplek weer naar huis. Bij de burens haal ik onderweg nog even de boormachine op, morgen hang ik een paar plankjes op. Fijn dat we dat we spullen kunnen delen en niet zelf alles hoeven kopen. Het scheelt veel geld en ruimte in huis en is ook een stuk beter voor de planeet. De spullen die we hebben worden nu veel vaker gebruikt. Als iets stuk gaat, is het erg makkelijk om het te laten repareren. Daar heeft de EU voor gezorgd met alle normen over reparatie en hergebruik.

Onze kinderen zijn na school vaak te vinden in het park. Wat heerlijk dat er zoveel parkjes bij gekomen zijn doordat het verkeer rustiger is geworden. Ik zie ze spelen in het houten paviljoen, met voorzieningen voor jong en oud en voor werk of vrije tijd. Kinderen kunnen er samen huiswerk maken, sporten, cursussen volgen of samen spelletjes doen. Wel zo fijn dat ze ruimte krijgen om te bewegen en zichzelf te ontwikkelen. Grappig om te zien hoe onze winkelstraat nu weer zo levendig is. Naast het buurtwerkantoor zijn er ook allerlei andere diensten ontstaan, waardoor de wijkbewoners elkaar daar ook veel meer treffen.

Robin komt ook net thuis. De deelauto staat weer aan de oplader aan het eind van de straat. Die is over een paar uur weer in staat om 500 kilometer te rijden. Handig voor het bezoekje aan mijn schoonouders. Zij wonen in een dorpje in het oosten van het land wonen, en daar heb je toch echt een auto nodig. De kinderen hebben nu al zin in het zien van opa en oma. Maar eerst even de was uithangen. Daarna ga ik op de bank zitten en de laatste hoofdstukken van mijn boek uitlezen.

2. Eindbeelden 2050 en ontwerpprincipes



**Stiller, schoner,
socialer en groener**

2.1. Inleiding

Het energiesysteem van 2050 staat niet op zichzelf. Daarom heeft het expertteam eerst een eindbeeld voor een klimaatneutraal Nederland ontwikkeld. Dit klimaatneutrale Nederland ziet er op allerlei gebieden anders uit dan nu. Dit eindbeeld geeft richting in het denken over onder meer de Nederlandse economie, industrie en gebouwde omgeving.

In dit hoofdstuk behandelen we dit eindbeeld: hoe denkt het expertteam dat Nederland eruit zou kunnen of moeten zien? Welke afwegingen liggen daaraan ten grondslag? Op welke basis maken we deze afwegingen? En wat betekent dit voor het energiesysteem? Hoe snel moeten we ons aanpassen? Hiervoor beginnen we met een beschrijving van Nederland in 2050, waar een rechtvaardig, robuust en duurzaam energiesysteem een belangrijk onderdeel van is. Daarna bespreken we de haalbaarheid van dit eindbeeld en de tijdlijn waarbinnen dit eindbeeld bereikt wordt. Daarna volgt een overzicht van een aantal wereldwijde ontwikkelingen die bijdragen aan de eindbeelden. Tenslotte presenteren we de ontwerpprincipes: een set leidende principes die volgens het expertteam centraal moeten staan bij het maken van keuzes voor eindbeelden en voor de ontwikkelpaden.

2.2. Nederland ziet er in 2050 anders en beter uit

Schoner, stiller, goedkoper, comfortabeler, gezonder leven

In de definitie van het expertteam staat 'klimaatneutraal' gelijk aan 'netto-nul emissies van alle broeikasgassen', zoals gedefinieerd in de Europese monitoring- en rapportageverplichting. Een klimaatneutrale samenleving is geen utopie, het is een werkelijkheid die in 2050 bereikt is. Het energiesysteem is dan in vrijwel alle opzichten beter dan nu: schoner, stiller, goedkoper, com-

fortabeler, gezonder. Deze transitie heeft ook bijgedragen aan een bredere maatschappelijke ontwikkeling naar bijvoorbeeld minder ongelijkheid en meer betekenisvol werk.

Onder meer de woningbouwopgave, energietransitie en de digitale transitie hebben er in 2050 voor gezorgd dat de gebouwde omgeving er anders, maar wel herkenbaar uitziet. De gebouwde omgeving is nu dichter bebouwd. Parkeerplaatsen en tankstations hebben plaatsgemaakt voor appartementen, groen, of water. Tussen 2023 en 2035 zijn honderdduizenden nieuwe woningen gecreëerd. Zowel door nieuwbouw als de verbouwing van leegstaande kantoorpanden en extra verdiepingen op bestaande gebouwen. De nieuwe woningen zijn veelal kleiner dan in 2023. En daar hebben we comfortabele, goed geïsoleerde woningen van duurzame materialen voor terug gekregen.

Definities van klimaatneutraliteit en scope

1, 2 en 3 emissies

- Klimaatneutraal: 'netto-nul emissies van alle broeikasgassen, zoals gedefinieerd in de Europese monitoring- en rapportageverplichting, over alle emissiescopes'.
- Scope 1, 2 en 3 emissies:
 - Scope 1: emissies door het directe gebruik van grondstoffen (zoals olie, gas en kolen)
 - Scope 2: Emissies door het indirecte gebruik van deze grondstoffen (zoals gebruik van elektriciteit opgewekt met gas of kolen)
 - Scope 3: Alle overige emissies

Werken en recreëren doen we dichtbij huis en de publieke ruimte is ingericht om gebruikt te worden. Het valt daardoor nauwelijks op dat woningbouw meer geconcentreerd is. Er is vanwege de integrale aanpak van onder andere de stikstof-, biodiversiteit- en watertransitie zowel binnen als buiten het stedelijk gebied veel ruimte

gecreëerd voor water en groen. Die ruimte was voorheen voor auto's en enkelvoudige vormen van landbouw. Doordat de publieke ruimte en het openbaar vervoer van goede kwaliteit zijn is individueel reizen vaak niet nodig. In de steden is aan privaat autobezit nauwelijks meer behoefte. Er zijn veel alternatieven. In het buitengebied is het nog wel normaal om behalve het openbaar vervoer en de fiets soms ook een elektrische auto te gebruiken vanwege de vaak grotere afstanden naar werk en voorzieningen. Laadinfrastructuur is breed beschikbaar en betaalbaar.

De stad is groener en stiller geworden. Wandelen en fietsen is aantrekkelijk en veilig. Openbaar vervoer en deelvervoer voor de langere afstanden of mensen met beperkingen zijn betrouwbaar, veilig en goedkoop. Ook lange afstandsvervoer naar het buitenland met de trein, in plaats van het vliegtuig of de auto, is gebruikelijk door het ingezette Europese beleid. Het landschap rond de steden is in balans gebracht met de ecologische draagkracht van de veenweidegebieden en daardoor veel gevarieerder. Daarnaast is er meer lokale productie en consumptie van voedsel. De eiwittransitie heeft effect gehad op ons eetgedrag. Inmiddels zijn we volledig gewend aan lokaal verkrijgbare seizoensproducten. Naast groenten en fruit van eigen bodem importeren we nog steeds producten vanuit het zuiden van Europa.

Er zijn lokale, verbonden gemeenschappen, met voorzieningen die op korte afstand beschikbaar zijn. Naast de lokale productie van voedsel wordt ook energie lokaal opgewekt, iets waarin burgers een zo actieve rol kunnen spelen als zij wensen. Dit kan variëren van volledig eigenaarschap over hun lokale energie- en voedselvoorziening, tot vormen van meefinancieren of juist volledige ontzorging.

Eerlijk en inclusief energiesysteem

Het energiesysteem in 2050 is inclusief. In het verleden profiteerden vooral de rijkste Nederlanders van klimaatbeleid. Tot 2017 bijvoorbeeld ontving en 50 procent van de meestverdienende huishoudens 80 procent van alle klimaatsubsidies en -regelingen. Slechts 20 procent kwam bij de minstverdienende 50 procent terecht⁹. Het expertteam vindt dat dit in 2050 anders moet zijn. Leveringszekerheid en betaalbare energie voor de basisbehoefte blijft belangrijk en is beschikbaar voor iedereen. Een eerlijke en transparante energievoorziening bevordert eigenaarschap bij burgers van Nederland. Lokaal opgewekte energie wordt zoveel mogelijk lokaal gebruikt. Dit betekent onder meer investeringen in het energiesysteem door lokale gemeenschappen zoals coöperaties, waardoor bewoners profiteren van (lokaal) opgewekte energie.

In 2050 verschilt het energieverbruik tussen de rijksten en armsten fors minder. Een rechtvaardig energiesysteem draagt bij aan het belonen van een levensstijl die past bij maximaal 1,5 graad opwarming. In de VS, Groot-Brittannië, Duitsland en Frankrijk is sinds 1990 een daling in de CO₂-uitstoot van de minstverdienende helft van de bevolking zichtbaar. Daarmee past het gedrag van deze groep burgers binnen een 1,5 graad [scenario](#)¹⁰. Het expertteam stelt dat gedragsverandering vooral moet plaatsvinden waar de meeste uitstoot bespaard kan worden. In 2050 past de levensstijl van alle Nederlanders binnen de planetaire grenzen en vindt er geen netto uitstoot van de broeikasgassen meer plaats.

Negatieve emissies

Met 'emissies' van broeikasgassen bedoelen we positieve emissies: de uitstoot van broeikasgassen. Bij negatieve emissies worden broeikasgassen uit de atmosfeer verwijderd. Negatieve emissies zijn voor de meeste broeikasgassen niet mogelijk, maar voor CO₂ wel. Daarom worden ze ook wel CO₂-verwijdering genoemd. Negatieve emissies zijn nodig om onvermijdbare emissies van CO₂, methaan, lachgas, en andere broeikasgassen, bijvoorbeeld uit de landbouw of luchtvaart, te compenseren, wat nodig is voor zowel CO₂- als klimaatneutraliteit. Ook kunnen negatieve emissies bijdragen aan een snellere reductie van de netto uitstoot tijdens de transitie. Ook na de transitie naar netto-nul uitstoot zijn negatieve emissies nodig.

De meest volwassen vorm van CO₂-verwijdering is herbebossing, maar dat kost veel land en de verwijdering van CO₂ is niet gegarandeerd permanent, want bijvoorbeeld een onverwachte bosbrand brengt de koolstof als CO₂ weer in de lucht. Verder is CO₂ verwijdering mogelijk door het gebruik van bio-energie in combinatie met CO₂ afvang en opslag in de diepe ondergrond. Verdere opties zijn ander natuurbeheer, zoals veenweideherstel, of directe afvang uit de lucht en opslag in de diepe ondergrond (Direct Air Capture and Storage), wat gepaard gaat met een hoog energiegebruik en hoge kosten. Algemeen geldt dat de technologische CO₂-verwijderingsopties nog verdere ontwikkeling en kostenreductie nodig hebben, maar de CO₂ wel permanent opslaan, terwijl de opties die gebruikmaken van natuurlijke processen al toegepast kunnen worden, maar ook minder zekerheid geven over permanente CO₂-verwijdering. Ook algemeen geldt dat CO₂-verwijderingsopties meestal land-intensief zijn, of energie-intensief, of allebei.

Vraagreductie, hernieuwbare energie en negatieve emissies

Emissies zijn in 2050 netto nul. Nederland zal in 2050 onvermijdelijke broeikasgasemissies kennen. Nederland heeft als een van de weinige landen in Europa netto emissies van broeikasgassen door landbouw en landgebruik. De mogelijkheid van koolstofopname bij landgebruik om eventueel resterende binnenlandse uitstoot te compenseren en op die manier klimaatneutraliteit te bereiken is in Nederland beperkt. Het expertteam vindt het niet op voorhand logisch dat Nederland op grote schaal mogelijkheden voor negatieve emissies in andere Europese landen gebruikt (los van de vraag of men dat wil). Naast vraagreductie en inzet van hernieuwbare energie zijn daarom ook blijvend negatieve emissies nodig. Als hier biomassa in combinatie met afvang en opslag van CO₂ voor wordt ingezet komt dit uit duurzame en ethisch getoetste bronnen.

Elektriciteits- en gassystemen zijn onderweg naar 2050 radicaal veranderd. Wind op zee en zonne-energie zijn de grootste energiebronnen voor de Nederlandse primaire vraag. Hiermee wekken we klimaatneutrale elektriciteit en warmte op en zijn we minder afhankelijk van de import van brandstoffen. Kernenergie heeft geen of een kwantitatief beperkte rol in het energiesysteem. Door een combinatie van direct gebruik van elektriciteit voor bijvoorbeeld transport en warmte en in mindere mate door indirecte elektrificatie, zoals groene waterstof, is de vraag naar elektriciteit en toegenomen. Dit vertaalt zich ook in meer infrastructuur.

Het expertteam constateert dat alleen verduurzaming van het energieaanbod onvoldoende is om in 2050 tot een klimaatneutraal Nederland te komen. Het is wenselijk dat in de komende jaren gestuurd wordt op het reduceren van de finale

energievraag. Om een aantal redenen. Ten eerste liggen de consumptie- en productiepatronen in Nederland nu ver buiten de planetaire [grenzen](#)¹¹. Specifiek ons CO₂-budget, dat wil zeggen de totale hoeveelheid CO₂ die wij nog mogen uitstoten om binnen het budget van de Parijs doelstellingen te blijven, is volgens alle definities al voor 2040 uitgeput. Ten tweede zijn de kosten van gedragsveranderingen die leiden tot significante emissiereductie over het algemeen lager dan andere emissieregulerende [maatregelen](#)¹² en is een kleiner energiesysteem gemakkelijker en sneller te verduurzamen. Reductie van de vraag leidt bovendien tot veel lagere kosten voor klimaatadaptatie na 2050. Vraagreductie is ook essentieel vanwege:

- Energie-efficiëntie (zoals zuinigere apparaten) is economisch aantrekkelijk; eenzelfde maatschappelijke functie wordt immers vervuld met minder energiegebruik en kosten. Het ruimtebeslag van duurzame energiebronnen is groot, zowel direct gebruik voor het opwekken van energie als ruimte voor transport en opslag. De druk op de ruimte is al groot, en beperking van de vraag verlaagt die druk.
- Niet alles kan snel verduurzaamd worden. De haalbaarheid van bijvoorbeeld luchtvaart op elektriciteit of duurzame brandstoffen in 2050 is nog niet duidelijk. Vraagreductie is hier essentieel en vergt een forse maatschappelijke transitie.
- CO₂ afvang en opslag is een optie om noodzakelijke producten die moeilijk te verduurzamen zijn toch te kunnen blijven maken in een klimaatneutraal energiesysteem. Vooral in de transitieperiode naar klimaatneutraal zal dit belangrijk zijn. Dit kan een dure optie zijn. Het beperkt bovendien de mogelijkheden voor opslag van biogene CO₂, die zowel voor als na 2050 nodig zal zijn om klimaatneutraliteit te bereiken en te behouden omdat het dezelfde opslagruimte gebruikt. Om te voorkomen dat opslagmogelijkheden tegenvallen, beveelt het expertteam aan om opslagmogelijkheden als een schaars goed te benaderen.

Het verminderen van de vraag naar energie en goederen is daarom een essentieel element in de transitie naar een klimaatneutrale samenleving. Dit vraagt ook om gedragsverandering door bedrijven en burgers. Financiële prikkels, normering en een passende technische-, financiële- en kennisinfrastructuur sturen de gedragsverandering in deze noodzakelijke richting.

In het toekomstig energiesysteem is er een belangrijke, maar beperkte rol voor (groene) waterstof, vooral in het afstemmen van vraag en aanbod, het overbruggen van seizoenen en als grondstof in specifieke industriële processen. Ook biograndstoffen spelen een belangrijke rol in het energiesysteem, als grondstof in de chemische industrie, of als bio-brandstof voor zwaar transport. Het expertteam ziet ook een belangrijke rol in het gebruik van biograndstoffen in het bereiken van negatieve emissies.

Circulaire Europese economie

Het Nederlandse energiesysteem is sterk verbonden met het buitenland. Internationale en Europese samenwerking is noodzakelijk voor een klimaatneutraal Nederland in 2050. Het is onwaarschijnlijk dat Nederland zelfvoorzienend zal worden. Import van bijvoorbeeld, biomassa en materialen zal in 2050 nodig blijven. Ook voor een circulaire economie is een verbonden economie een voorwaarde.

Ook de economie is in 2050 anders dan nu. Dit komt door een combinatie van:

- Wereldwijde veranderingen in de vraag naar (Nederlandse) producten.
- Veranderende comparatieve voordelen (o.a. veel potentieel voor wind op zee en ondergrondse opslag van waterstof en CO₂, maar geen goedkoop aardgas uit eigen bodem meer).
- Technologische ontwikkelingen op het gebied van chipontwikkeling en digitalisering.

2.3. Een klimaatneutraal Nederland is haalbaar, het vereist urgentie en snelheid

CO₂ neutraal energiesysteem eerder nodig dan 2050

Klimaatneutraliteit in 2050 is het doel. Daartoe hebben we ons verplicht. Dit ambitieuze doel vereist snelle acties; op de meeste gebieden een stuk sneller dan ons tempo van de afgelopen jaren. Het betekent dat we zo vroeg mogelijk in de periode 2040-2045, een CO₂-neutraal energiesysteem hebben. Dit is nodig omdat er ook na 2050 onvermijdbare emissies van broeikasgassen zijn in sectoren die voor Nederland belangrijk zijn, die gecompenseerd moeten worden. Hieronder vallen, onder andere, emissies van methaan en lachgas in de landbouw, de industrie en het internationale transport. Negatieve emissies van broeikasgassen zijn nodig om in 2050 klimaatneutraal te kunnen zijn. De methodes die daar op dit moment technisch geschikt voor zijn, realiseren uitsluitend negatieve emissies van CO₂, niet van methaan, lachgas en andere broeikasgassen. De realisatie van deze methodes kennen een lange doorlooptijd en gaan nog gepaard met hoge kosten. De inschatting van het expertteam is dat hiervoor vijf tot tien jaar nodig is. Daarom is het nodig om al ruim voor 2050 een CO₂-neutraal energiesysteem te hebben, zodat er daarna nog genoeg tijd is om de negatieve CO₂-emissies te realiseren.

Nederland kan binnen Europa wellicht gebruik maken van negatieve emissies in andere landen, ondanks dat dit niet direct voor de hand ligt. Het is onzeker in hoeverre, en tegen welke kosten, Nederland toegang zal hebben tot negatieve emissies in het buitenland en of andere landen Nederland de aantrekkelijkste partner vinden. Bovendien heeft Nederland, in tegenstelling tot

Van de koolstofintensieve industrie is een deel verduurzaamd en circulair geworden. Een ander deel is verplaatst naar landen waar biogene koolstof, goedkope duurzame energie en grondstoffen meer voor handen zijn, mits daarmee niet de vervuiling wordt verplaatst. De raffinagesector bestaat in Nederland nog steeds, maar de vraag naar bunkerbrandstoffen voor de scheep- en luchtvaart is afgenomen. Ook andere vormen van basisproductie die tot 2030 voor veel economische bedrijvigheid zorgden, hebben een sterke transformatie doorgegaan. De chemie- en staalsectoren hebben zich grotendeels toegelegd op circulaire producten, al is er in 2050 ook nog wat bedrijvigheid die gebruik maakt van virgin materialen die rechtstreeks uit de aarde of natuur worden gehaald. Verder is Nederland uitgegroeid tot land waar biobased producten uit hernieuwbare grondstoffen of biologische materialen worden gebruikt en voor een deel geproduceerd. Voor onder andere de bouw en bieden we veel diensten aan het digitale domein. Doordat Nederland tussen 2023 en 2030 proactief heeft gestuurd op de verduurzaming van de bestaande industrie én het aantrekken van nieuwe industriële partijen, blijft Nederland op internationaal niveau een relevante speler. De goede geografische ligging, hoogopgeleide bevolking en het innovatieklimaat blijven eraan bijdragen dat Nederland een aantrekkelijke plaats is om te investeren.

Natuurlijk gaat de transitie niet vanzelf, en gaat ook niet alles direct goed. Er zullen soms moeilijke keuzes gemaakt moeten worden. Later in dit hoofdstuk presenteert het expertteam leidende principes voor die keuzes en de volgende hoofdstukken beschrijven de ontwikkelingspaden voor waterstof en elektriciteit, lokale energiesystemen en de koolstofketen.

veel andere Europese landen, een groot potentieel voor CO₂-opslag. Het ligt voor de hand daar gebruik van te maken. Hierdoor is het onlogisch dat op Europees niveau juist in Nederland de emissies van broeikasgassen in 2050 nog positief kunnen zijn.

Naast het halen van klimaatdoelen geeft internationale en intergenerationele rechtvaardigheid meer redenen om zo snel mogelijk klimaatneutraal te worden. Zoals hierboven al genoemd is ons CO₂-budget volgens alle definities al voor 2040 uitgeput. We gaan dus in ieder geval over onze 'fair share' heen, zelfs als onze mogelijke bijdrage aan CO₂-reductie in het buitenland wordt meegeteld. Een snellere transitie vermindert deze internationale onrechtvaardigheid. Hiernaast zorgt een snellere transitie ook voor een grotere kans dat opwarming van de aarde beperkt blijft. Zelfs als alle huidige doelstellingen worden gehaald is er, door de inherente onzekerheid in klimaatmodellering, nog een aanzienlijke kans dat de Parijs-doelen niet worden gehaald. Vanuit het oogpunt van de intergenerationele rechtvaardigheid is het minimaleren van toekomstige klimaatrisico's belangrijk. Dit onderstreept de waarde van een snellere transitie.

Bunkerbrandstoffen voor de internationale scheep- en luchtvaart vallen niet onder de huidige doelstellingen. Nederland is een belangrijke plek voor bunkeren door de internationale scheepvaart. Ondanks dat het niet meetelt voor de doelstellingen, vormt het wel een significant deel van de Nederlandse energievraag. Ook is het een inkomstenbron voor de Nederlandse industrie. Het expertteam vindt dat Nederland een verantwoordelijkheid heeft voor de emissies die horen bij het gebruik van bunkerbrandstoffen die in Nederland geproduceerd zijn. Het Europese beleid stuurt daar ook op. In 2050 zouden ook deze emissies zeer sterk moeten zijn afgenomen.

Al rond 2035 CO₂ neutraal elektriciteitssysteem

Het elektriciteitssysteem loopt voorop en kan al rond 2035 CO₂-neutraal zijn. CO₂-neutrale elektriciteit is een voorwaarde voor CO₂-neutraliteit in andere sectoren. Beginnen met elektriciteit is daardoor zinvol, ook omdat alle benodigde technologieën al relatief volwassen en kostenefficiënt zijn. Het Emission Trading System (ETS) is het handelssysteem in Europa voor de CO₂-uitstoot van de industrie en elektriciteit. Volgens de huidige Europese plannen worden rond 2040 geen ETS-certificaten meer uitgegeven. Alle ETS-bedrijven, waar aan ook het nationale transport en de gebouwde omgeving aan zijn toegevoegd, moeten dan CO₂-neutraal zijn of dure negatieve emissies realiseren. CO₂-neutrale elektriciteit bereiken vóór 2040 houdt de transitie ook betaalbaar.

Knelpunten in de transitie

Het expertteam concludeert dat een versnelling van het huidige tempo van energietransitie nodig is om in 2050 klimaatneutraal te kunnen zijn. Op korte termijn vereist dat aanpak van een aantal knelpunten:

- Schaarste aan materialen, arbeidskrachten, financiering, ruimte en technologie (bijvoorbeeld installatie- en kabellegschepen voor wind op zee). De schaarste is in sommige sectoren al groot en de aanscherping van klimaatdoelen in veel andere landen zal dit knelpunt vergroten. Het is daarom belangrijk om nu te beginnen met plannen, idealiter op Europees niveau. Vele investeringen in de verduurzaming hebben een levensduur tot na 2050, richting 2100. Het is belangrijk daar in de ruimtelijke ontwikkeling rekening mee te houden. Het hoofdstuk *stysteemoplossingen* gaat hier verder op in.
- Lange doorlooptijden bij onder andere de aanleg van energie-infrastructuur en het veranderen van bouwstandaarden. Huidige initiatieven om dit voor elkaar te krijgen, zoals

de versnellingsateliers van het Programma Infrastructuur Duurzame Industrie en het Programma Aanlanding Wind Op Zee, schieten op dit moment nog tekort. Er is een nieuw evenwicht nodig tussen snelheid en gerechtvaardigde inspraak van burgers en andere lokale belangen.

- Aanschaf van investeringen in producten en kapitaalgoederen die niet compatibel zijn met klimaatdoelstellingen. Investeringen die niet passen in een klimaatneutrale toekomst, of die niet kunnen worden aangepast, moeten zo snel mogelijk stoppen. Industriële kapitaalgoederen hebben een lange levensduur. Investeringen moeten dus nu al in de klimaatneutrale toekomst passen. Anders vormen ze een rem op de transitie.
 - Consumentengoederen die nu worden aangeschaft kunnen ook spanning opleveren, al hebben die meestal een kortere levensduur. Op dit moment wordt bijvoorbeeld nog veel geïnvesteerd in voertuigen met verbrandingsmotoren. Personenauto's gaan in Nederland gemiddeld bijna 20 jaar mee en zijn voor ook deze investeringen kunnen de transitie dus afremmen.
 - Investeringen in technologieën die op de korte termijn wel tot CO₂-reductie leiden, maar emissies niet volledig elimineren dragen ook niet bij aan dit doel. Dit geldt bijvoorbeeld voor investeringen in import-terminals voor LNG en hybride warmtepompen. Als niet nu al wordt nagedacht over manieren om deze CO₂-neutraal te maken, kunnen ook deze investeringen de transitie later afremmen.

De Nederlandse doelen zijn haalbaar, mits de juiste instrumenten worden ingezet. De doelen komen overeen met die van onze buurlanden. Sommige daarvan gaan verder, zo willen bijvoorbeeld Duitsland, Zweden en Finland al in 2045 klimaatneutraal zijn. De doelstellingen in andere landen zijn

veelal goed onderbouwd met kwantitatieve studies, zoals bijvoorbeeld de Future Energy Scenarios van National Grid, de Britse [elektriciteitsnetbeheerder](#)¹³, en de scenario's van het [Committee on Climate Change](#)¹⁴. De haalbaarheid van een CO₂-vrij elektriciteitssysteem in Nederland is al eerder bevestigd door het Uitvoeringsoverleg Elektriciteit van het [Klimaatakkoord](#)¹⁵. Een recente Ecorys studie voor [Nederland](#)¹⁶ geeft aan dat een economiebrede CO₂-reductie tot 97% al in 2037 haalbaar is, mits een grote beleidsomslag plaatsvindt. Een CO₂-neutraal elektriciteitssysteem in 2035 en een CO₂-neutraal energiesysteem in 2040 zijn dus niet alleen nodig om in 2050 het klimaatneutrale einddoel te halen, ze zijn ook voorstelbaar. Hiervoor is de komende jaren een snellere transitie nodig dan de afgelopen jaren het geval is geweest. Een trendbreuk is noodzakelijk.

2.4. Ontwikkelingen in Nederland en de wereld: De positie van Nederland verandert, en blijft sterk

Bevolkingssamenstelling en inrichting van Nederland verandert

Het expertteam baseert het eindbeeld in eerste instantie op de wereldwijde en Nederlandse veranderingen die we zien [aankomen](#)^{17,18,19}. De wereld verandert continu, en ook in Nederland staan belangrijke veranderingen in bijvoorbeeld de bevolkingsspiramide voor de deur. Er zullen in 2050 veel meer ouderen in Nederland wonen, en er is meer woonruimte nodig is voor een groeiende bevolking. De arbeidsmarkt blijft naar verwachting krap, met veel vraag naar arbeid in onder meer onderwijs, zorg en de energietransitie. Ook klimaatverandering heeft een aanzienlijke impact en zal om maatregelen vragen, mondiaal en ook nationaal. In Nederland vertaalt

zich dat onder andere in meer extreem weer, zeespiegelstijging en veranderende patronen in waterstanden van de rivieren. Nu al ondervindt de binnenvaart in de zomer al hinder door lage waterstanden. Klimaatadaptatie kan leiden tot minder beschikbare ruimte in Nederland, omdat bijvoorbeeld meer ruimte voor water nodig is.

Economische structuurveranderingen, ook door klimaat- en circulair beleid

Op economisch gebied komen er uitdagingen op ons af. De [Kamerbrief](#)²⁰ over strategisch en groen industriebeleid bevestigt dat structurele veranderingen waarschijnlijk zijn: “Ook zullen markten verdwijnen of aanzienlijk kleiner worden (...) zoals raffinage voor fossiele brandstoffen en fossiele plastics. Dergelijke omslagen scheppen kansen voor nieuwe duurzame bedrijvigheid, terwijl een deel van de industriële ondernemingen oude activiteiten geheel of gedeeltelijk zal beëindigen”. In het hoofdstuk over de koolstofketen worden paden beschreven voor de sectoren staal, kunstmest, raffinage en chemie. Vier sectoren die in de huidige Nederlandse economie nog een belangrijke rol spelen, en ieder op een eigen manier en door andere drivers grote veranderingen zullen ondergaan, die grote onzekerheden en gevolgen voor de totale Nederlandse energievraag zullen hebben.

Kansen voor nieuwe economische sectoren

Bestaande sectoren gaan veranderen, en in sommige gevallen waarschijnlijk ook krimpen. Er liggen echter veel mogelijkheden voor nieuwe activiteiten en groei van producten en diensten waar wereldwijd zeer waarschijnlijk ook in de toekomst vraag naar zal zijn, zoals bijvoorbeeld:

- Data en diensten: Nederland is een digitaal knooppunt met veilige en goede infrastructuur. De digitale transitie biedt kansen om dit verder te benutten.
- Wind op zee: Nederland heeft, in vergelijking met de meeste buurlanden, veel potentieel

voor wind op zee. Dit biedt mogelijkheden voor het ontwikkelen en exporteren van de elektriciteit, kennis en diensten. Vooral voor sectoren die een flexibele energievraag hebben geeft dit kansen goedkoper te kunnen produceren.

- Maakindustrie: Nederland heeft potentieel voor een hoogwaardige maakindustrie die kennis en elektriciteit in plaats van aardgas gebruikt. Nederland heeft een zowel praktisch als theoretisch goed opgeleide bevolking. Dit menselijk kapitaal moet voortdurend ontwikkeld worden.
- Opslag: Nederland heeft een goed potentieel om energiedragers op te slaan en negatieve emissies te realiseren, en kennis en menskracht uit de gassector om de mogelijkheden hiervoor te ontwikkelen.
- Circulair en biobased: De goed opgeleide Nederlandse beroepsbevolking, de bestaande samenwerkingscultuur binnen de huidige industriële clusters en de positie in het internationale transportnetwerk bieden kansen om koploper te zijn op het gebied van de circulaire economie en groene chemie. Mogelijkheden zijn er als inzamelaar en verwerker van plastics, producent van pyrolyse-olie, producent van bio-gebaseerde materialen.
- Doorvoer van groene grondstoffen en producten: De geografische positie van Nederland blijft gunstig. Naar verwachting blijven Nederlandse havens zeer geschikt voor het doorvoeren van goederen richting het achterland. Nederland is daardoor en door de digitale infrastructuur uitstekend aangesloten op Europese en wereldwijde markten.

2.5. Om keuzes te maken zijn ontwerpprincipes nodig

Nederland is een klein land in een veranderende wereld. Niet alle ontwikkelingen zijn te sturen. Niet alle keuzes die belangrijk zijn voor de toekomst van ons energiesysteem worden in Nederland gemaakt. Toch bepalen we onze toekomst voor een groot deel zelf. Hierbij moeten keuzes gemaakt worden. Het is belangrijk om daarbij transparante en consistente uitgangspunten te gebruiken. Deze zijn door het expertteam vastgelegd in drie ontwerpprincipes: rechtvaardig, robuust en duurzaam. Bijlage II (beschikbaar via www.etes2050.nl) beschrijft de achtergrond van deze ontwerpprincipes en de relatie met huidige afwegingskaders. De ontwerpprincipes zijn gebruikt voor de hierboven geschetste eindbeelden en voor de ontwikkelpaden in de volgende hoofdstukken.

Rechtvaardig

Rechtvaardigheid is een kritieke succesfactor in de energietransitie. Het heeft betrekking op een eerlijke verdeling van lasten en lasten, op de betrokkenheid van de maatschappij bij het vormgeven van de transitie en op het erkennen en herstellen van eerder, bestaand en toekomstig onrecht. Dat vereist dat de overheid interventies steeds toetst, evalueert en afstemt op de implicaties voor verschillende vormen van rechtvaardigheid.

Subcategorieën	Beschrijving
Procedurele rechtvaardigheid	Zijn de besluitvormingsprocessen eerlijk en transparant? Wordt rekening gehouden met alle belangen? Voelen mensen dat ook zo? Wordt met ongehoorde stemmen rekening gehouden?
Erkennen van eerder onrecht	Wordt onrecht uit het verleden erkend en gecompenseerd? Dit kan internationaal zijn (kolonialisme) en nationaal (zoals aardbevingen in Groningen).
Intergenerationele rechtvaardigheid	Wentelt het ontwikkelpad gevolgen af op komende generaties (bijv. kernenergie, uitgaan van veel CO ₂ -verwijdering door nu veel emissies toe te laten, veel geld uitgeven waardoor de staatsschuld toeneemt die toekomstige generaties moeten terugbetalen)?
Distributieve rechtvaardigheid	Worden kosten en baten eerlijk verdeeld? Dit gaat o.a. over betaalbaarheid, banen en regionaal identiteitsverlies door transitie.
Internationale rechtvaardigheid	Leidt het ontwikkelpad tot nadelige gevolgen buiten Nederland en de EU? (bijv. import groene waterstof die kan leiden tot onttrekking van natuurlijke hulpbronnen zonder veel economische voordelen uit kwetsbare gebieden)

Tabel 2.1 Definitie ontwerpprincipe rechtvaardig

Robuust

De maatschappij verandert continu en ook technologie blijft vernieuwen. Inbouwen van aanpassingsvermogen in het energiesysteem en de besturing daarvan creëert een robuust systeem. Dat maakt het energiesysteem ook minder kwetsbaar voor onverwachte of abrupte (geopolitieke) veranderingen en voor klimaatverandering.

Subcategorieën	Beschrijving
Importdiversificatie	Is er sprake van voldoende spreiding van de import? En is het belang daarvan voor de exporterende landen vergelijkbaar met het belang van de import voor Nederland?
Klimaatadaptatie	Is het energiesysteem robuust genoeg om om te gaan met de gevolgen van klimaatverandering (zoals windsnelheden, toenemende zeespiegel, ruimte voor wateropslag)?
Veiligheid	Zowel fysiek als digitaal veilig voor gebruikers, omwonenden, personeel?
Adaptiviteit	Is de mogelijkheid tot aanpassen aan onverwachte ontwikkelingen ingebouwd?

Tabel 2.2 Definitie ontwerpprincipe Robuust

Duurzaam

Duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie, zonder de behoeften van toekomstige generaties, zowel hier als in andere delen van de wereld, in gevaar te brengen. Naast de verandering van het klimaat zijn er ook andere bedreigingen voor het voortbestaan van de aarde en de mens. We moeten dus naast CO₂ ook rekening houden andere aspecten van de leefomgeving, zuinig gebruik van grondstoffen en materialen en andere emissies. Dit impliceert veel meer dan CO₂- of broeikasgasneutraal. Het gaat niet alleen om Nederland in het nu, ook om elders en in de toekomst.

Subcategorieën	Beschrijving
Opwarming van de aarde	Broeikasgassen in de atmosfeer
Verlies biodiversiteit	Aantal soorten dat uitsterft, ecosystemen die instorten
Overige emissies	Ongewenste emissies die worden uitgestoten of opgenomen in het systeem
Land en watergebruik	Percentage land in gebruik voor bebouwing, verkeer, of agrarisch gebruik. Consumptie van zoetwater per persoon, ook indirect gebruik bij productie van goederen en diensten
Circulariteit	Is de oplossing circulair, of draagt het bij aan een toekomstige circulaire economie?

Tabel 2.3 Definitie ontwerpprincipes duurzaam

2.5.4. Toepassing ontwerpprincipes

Het toepassen van de ontwerpprincipes is een iteratief proces. Door de ontwerpprincipes te gebruiken als toets op het ontwikkelpad worden noodzakelijke keuzes duidelijk. Als voorbeeld geeft de onderstaande tabel een overzicht van de toepassing van de ontwerpprincipes op een reductie van de energievraag. Waarbij hier ter illustratie steeds één van de subcategorieën voor elk ontwerpprincipes is weergegeven. In de volgende hoofdstukken zijn toepassingen op de ontwikkelpaden te zien.

Dit voorbeeld laat zien dat keuzes niet vanzelf goed scoren op alle ontwerpprincipes. Naast maatregelen om vraagreductie te bewerkstelligen, blijft er hier bijvoorbeeld aandacht nodig voor de herkomst van materialen, en voor het bevorderen van circulariteit. Ontwerpprincipes kunnen ook met elkaar in conflict zijn. Zo zorgt meer robuustheid vaak voor hogere kosten en langere doorlooptijden, wat de rechtvaardigheid en duurzaamheid onder druk kan zetten. Politieke afwegingen blijven daarom altijd nodig. Het waarderen van keuzes vanuit een wenselijk eindbeeld is altijd subjectief. Het expertteam pleit daarom vooral voor transparantie over deze keuzes en de onderliggende principes.

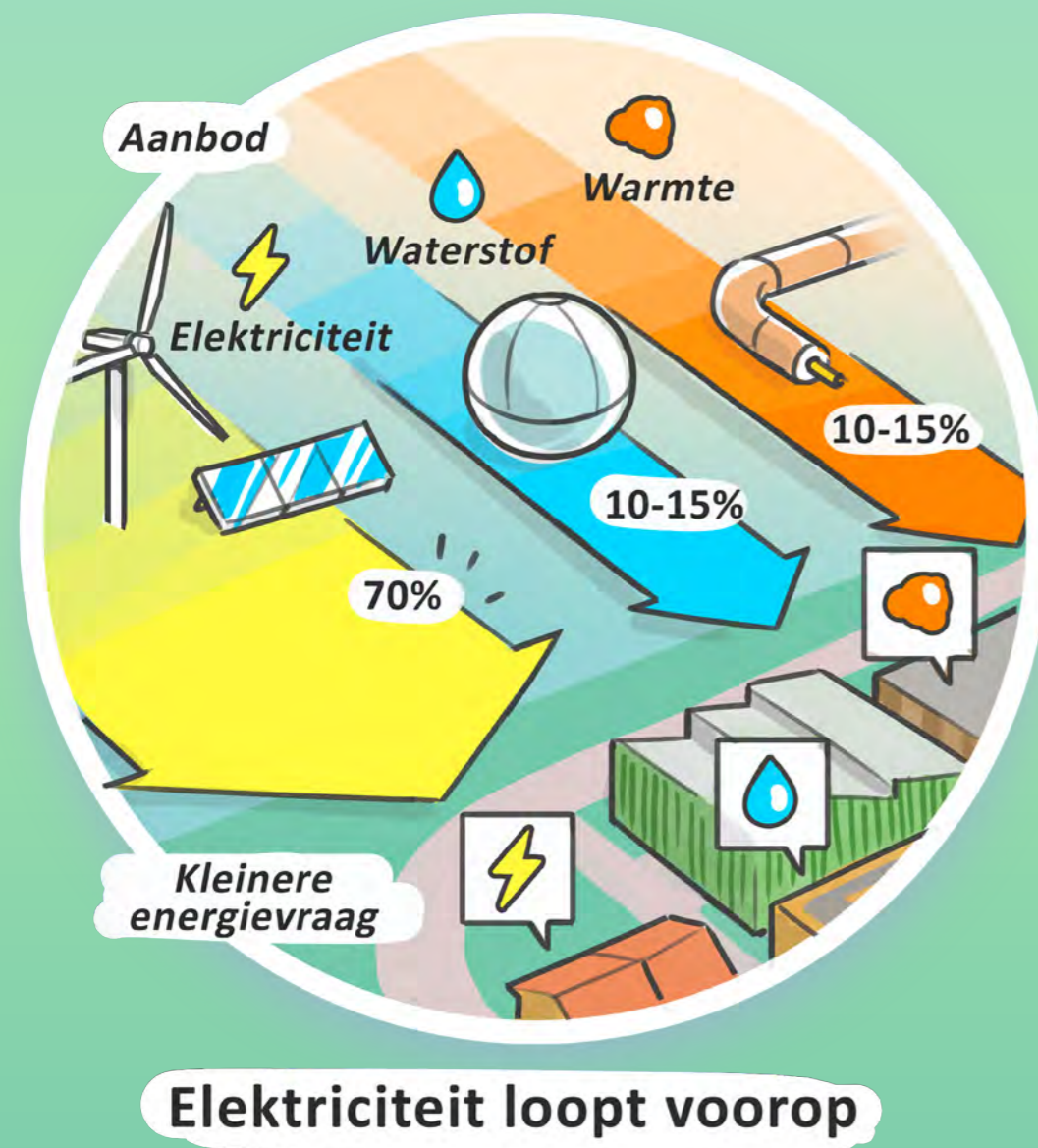
2.6. Conclusie: het kan!

Nederland verandert. Door wereldwijde en Europese ontwikkelingen en door keuzes die we zelf maken. Voor het Nederland van 2050 is een energiesysteem nodig dat aansluit bij de toekomst. Dat energiesysteem is in 2050 in zijn geheel klimaatneutraal, en al eerder CO₂-neutraal. Het elektriciteitssysteem loopt daarbij voorop. Tijd om af te wachten is er niet meer. Een grote versnelling in de energietransitie is noodzakelijk. Het belang van goede keuzes, waaronder ook zeker keuzes over eigenaarschap, redistributie van baten en lasten, en ongewenste negatieve neveneffecten, is daarbij duidelijk; de ontwerpprincipes rechtvaardigheid, robuustheid en duurzaamheid helpen daarbij. In de volgende hoofdstukken zal dit voor elektriciteit en waterstof, lokale energiesystemen, en de koolstofketen verder worden uitgewerkt.

Dat soms moeilijke keuzes nodig zijn, doet niets af aan het feit dat een klimaatneutraal energiesysteem mogelijk is. Iedere inwoner van Nederland heeft een reden om hieraan mee te bouwen. Niet alleen omdat klimaatneutraliteit nodig is om verregaande klimaatverandering te vermijden en daarmee de toekomst voor toekomstige generaties veilig te stellen. Ook omdat een klimaatneutraal energiesysteem in een beter, schoner, groener en stiller Nederland resulteert.

Ontwerpprincipes	Subcategorie (voorbeeld)	Keuzes die volgen uit toepassing	Positief/negatief
Rechtvaardig	Intergenerationele rechtvaardigheid	Door de vraag te reduceren blijven meer kritische materialen die nodig zijn voor het energiesysteem beschikbaar voor toekomstige generaties.	++
Robuust	Importdiversificatie	Minder vraag leidt tot kleinere afhankelijkheid van kritische energie transitie materialen. Deze kunnen nog wel uit landen komen waar we niet afhankelijk van willen zijn.	+
Duurzaam	Circulariteit	Minder energievraag leidt weliswaar tot minder gebruik van materialen, maar niet vanzelf tot circulariteit of duurzame en schone mijnbouw.	+/-

3. Vraag en aanbod van elektriciteit en waterstof



3.1. Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een eindbeeld van het elektriciteits- en waterstofsysteem in 2040-2050 op basis van scenariostudies die in de afgelopen jaren zijn opgesteld en overwegingen volgend uit andere hoofdstukken²¹. Het begint met de te verwachten verhoudingen van directe elektrificatie, waterstof en andere energiedragers. Hieruit volgt dat de elektriciteitsvoorziening het motorblok van de energietransitie vormt. Minimaal een verdubbeling van de huidige elektriciteitsvraag is een robuust beeld voor 2050. De groei van het elektriciteitsstelsel is al op gang gekomen. Daarbij treden knelpunten op en zijn ook knelpunten te voorzien in het verdere ontwikkelpad voor 2030 en 2040-2050. Deze knelpunten krijgen onvoldoende aandacht in het beleid. De aandachtspunten voor het ontwikkelpad zijn goed in beeld te brengen aan de hand van de noodzaak van een evenwichtige ontwikkeling van aanbod, infrastructuur en vraag naar elektriciteit. Omwille van de politieke aandacht voor het thema kernenergie, is ook kort ingegaan op de mogelijke rol van kernenergie. De conclusies geven inzicht in de te zetten stappen in de ontwikkelpaden en wanneer deze gezet moeten worden, op basis van de ontwerpcriteria rechtvaardig, robuust en duurzaam. Daarna zijn de voorwaarden om tot een klimaatneutraal elektriciteits- en waterstofsysteem te kunnen komen behandeld. Hieruit volgen aandachtspunten voor het klimaat- en energiebeleid. Het hoofdstuk eindigt met een aantal aanbevelingen

3.2. Het eindbeeld in 2050

3.2.1. Elektrificatie wordt de hoofdcomponent van het energiegebruik

Verschillende scenario's binnen de twee Nederlandse energiesysteemstudies II3050 en NL2050 presenteren verschillende verhoudingen tussen de energiedragers elektriciteit, water-

stof, biomassa en warmte. Het motorblok van het energiesysteem zal bestaan uit elektriciteit, vooral opgewekt met wind op zee, waarvan een deel zal worden omgezet in waterstof. De verschillende scenario's laten een bandbreedte zien aan mogelijke verhoudingen tussen elektriciteit en waterstof. Het expertteam gaat uit van een dominante rol voor elektriciteit in de periode tot 2040-2050. Het volumeaandeel waterstof – veelal met conversieverlies uit elektriciteit gemaakt – komt dan aan de lage kant van de scenario's uit²². Een dominante rol van directe elektrificatie komt ook in toonaangevende mondiale nulemissie scenario's naar voren als een kosteneffectieve route²³.

Sleutelrol voor waterstof

Er zijn drie redenen waarom waterstof desondanks een sleutelrol zal spelen in een kosteneffectieve energietransitie en noodzakelijk gaat zijn.

Ten eerste is vanaf 2030 een oplossing nodig voor het elektriciteitsaanbod wanneer het (minder dan ~5% van het jaarvolume) langdurig niet waait of de zon niet schijnt. Dit regelbare vermogen is noodzakelijk. Het gaat om een groot vermogen, de omvang van het verbruik zal gering zijn.

Ten tweede zijn er toepassingen waarin directe elektrificatie technisch of vanuit kostenperspectief relatief lastig is. In Nederland zal dit bij het binnenlandse zware transport wellicht meevalen: gezien de relatief geringe afstanden sluit het expertteam niet uit dat ook veel vrachtauto's voor binnenlands transport zullen elektrificeren²⁴. Voor internationale scheep- en luchtvaart lijkt waterstof vooralsnog een belangrijke energiedrager te gaan worden. Evenals bij sommige industriële hoge temperatuurtoepassingen.

Ten slotte zal klimaatneutrale staal- en kunstmestproductie, chemie en de productie van

bunkerbrandstoffen, naast hernieuwbare koolwaterstoffen (biomassa en gerecyclede koolstof), ook waterstof als energiedrager en de moleculen ervan als grondstof vergen. Dit is afhankelijk van de industriële ontwikkeling. Bij decarbonisatie van de volledige huidige industriële productie zou de waterstofvraag veruit het grootst zijn.

De waterstofvraag hangt namelijk af van de energie- en vooral de grondstofvraag in de verschillende industriële sectoren – al dan niet gekoppeld met circulaire of biogene koolstof, of CO₂ uit de lucht. Er zijn echter grote onzekerheden over de toekomstperspectieven voor de ontwikkeling van de Nederlandse energie-intensieve industrie in de energietransitie. Het hoofdstuk koolstofroutes gaat daar nader op in.

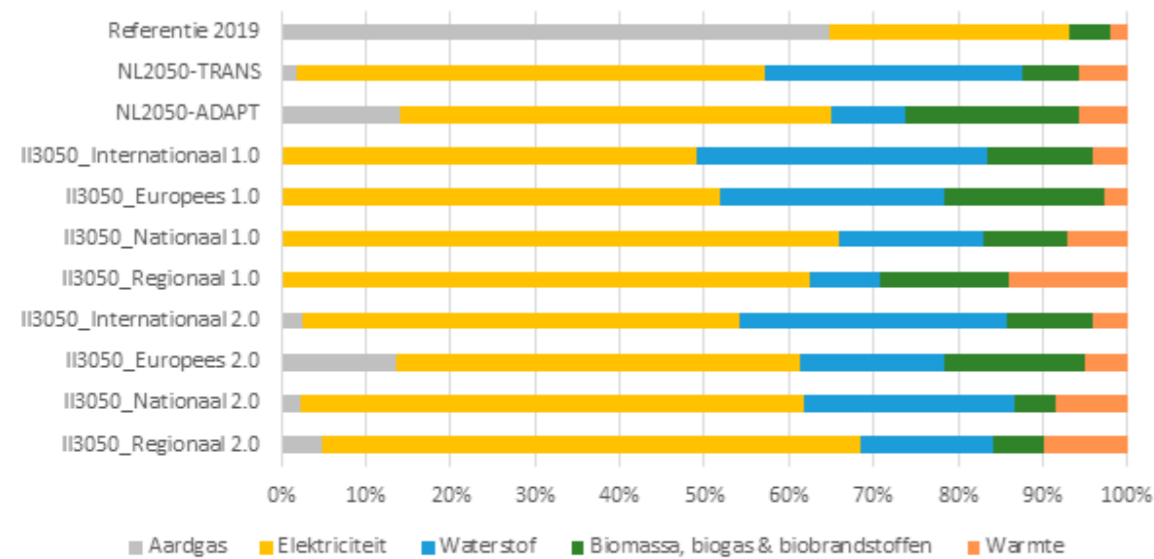
Voor de orde van grootte van verdeling tussen elektriciteit en waterstof gaat het expertteam uit van een aandeel van 70% elektriciteit in de finale energievraag in 2040-2050 (exclusief de grondstofvraag voor bunkerbrandstoffen) en een aandeel van waterstof van tenminste 10-15%. Dit aandeel waterstof is de minimale vereiste voor flexibiliteit. Daarbij is de grondstoffenbehoefte voor industrie en

bunkerbrandstoffen buiten beschouwing gelaten. De resterende 10-15% bestaat uit biomassa (zie het hoofdstuk koolstof) en warmte (zie het hoofdstuk lokale initiatieven). In dit hoofdstuk wordt eerst uitgebreid elektriciteit behandeld, gevolgd door een kortere beschouwing op waterstof.

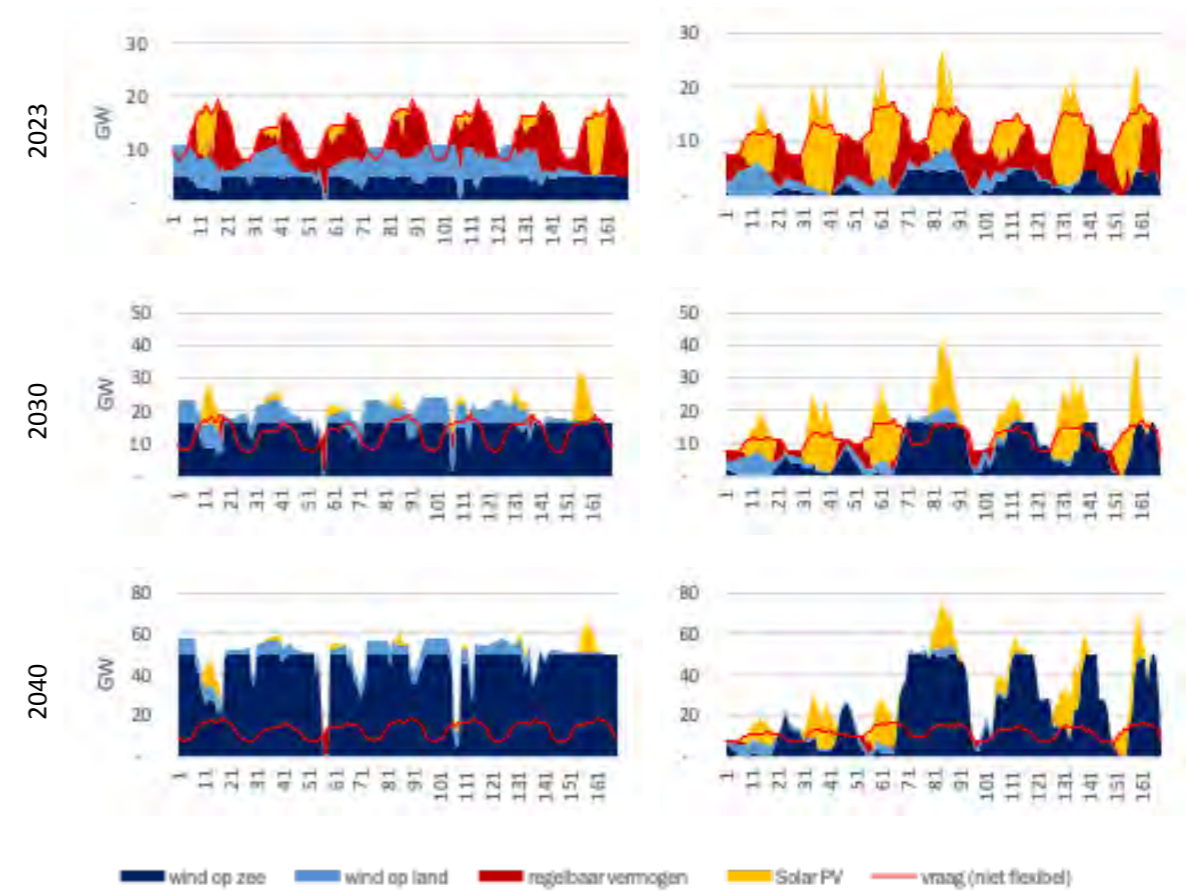
3.2.2. Ontwikkeling van vraag en aanbod van hernieuwbare elektriciteit in drie fases

In deze paragraaf wordt een beeld geschetst van de ontwikkeling van het aanbod van hernieuwbare elektriciteit in relatie tot de huidige vraag. Hieruit zal blijken dat in de ontwikkeling verschillende fasen kunnen worden onderscheiden, elk met eigen aandachtspunten. We lichten dit toe aan de hand van figuur 3.2. waarin voor een drietal jaren (2023, 2030, 2040) een weekprofiel voor het hernieuwbare aanbod uit wind en zon, de bestaande niet-flexibele vraag en het aanvullende elektriciteitsaanbod is geschetst. Aan de linkerzijde is een (winter)week in januari weergegeven, aan de rechterzijde een (zomer)week in juli. Uit de figuur blijkt dat zon-PV in de zomer momentaan de nationale vraag kan gaan overstijgen.

Finale nationale vraag per (energie)drager [%]



Figuur 3.1 Finale nationale vraag exclusief bunkers (%)²⁵



Figuur 3.2. Illustratie van ontwikkeling van elektriciteitsproductie uit wind op zee, wind op land en zon-PV in vergelijking tot de vraag (niet flexibel) en regelbaar vermogen als invulling van residuele vraag, op basis van vooruitzichten voor 2023, en 2030 en de richtdoelen wind op zee voor 2040²⁶

Eerste fase met groei van aandeel hernieuwbare elektriciteit

In de eerste fase – de afgelopen decennia – groeide het aandeel hernieuwbare elektriciteit. Daarmee werd langzaam maar zeker een deel van het fossiele aanbod vervangen en in de nog beperkte vraag naar hernieuwbare elektriciteit voorzien. De volgorde van de productie-eenheden die worden ingeschakeld of ontkoppeld om aan de elektriciteitsvraag te voldoen wordt bepaald door hun marginale kosten. Hernieuwbare elektriciteit uit wind en zon heeft vrijwel geen marginale kosten en wordt daardoor als eerste ingezet. De grootste uitdaging in deze eerste fase waren de investeringskosten voor wind en zon. Tot voor kort vormde stimu-

lering van hernieuwbare elektriciteitsproductie dan ook de kern van klimaatbeleid voor elektriciteit. Het belang van inzet op grootschalige ontwikkeling van wind op zee wordt dan ook breed ondersteund en vormt één van de pijlers van het Klimaatakkoord. De laatste jaren laten ook een sterke groei van het aanbod van elektriciteit uit zon, zodat in de zomermaanden de behoefte aan piekaanbod van overige productie-eenheden terug begint te lopen (veelal gasgestookte centrales).

Tweede fase met overschot aan hernieuwbare elektriciteit of tekort aan flexibiliteit

Daarmee staan we aan de vooravond van een nieuwe fase richting 2030 (zie ook figuur 3.2, bovenaan), waarin de keten van aanbod/vraag en infrastructuur van elektriciteit veel meer centraal zal komen te staan. Richting 2030 zien we een verschuiving van de verhouding tussen het aanbod van elektriciteit uit zon en wind en de totale elektriciteitsvraag.

Er volgt een kentering in het beeld van het sporadisch optreden van een groter aanbod van wind- en zonne-energie dan de nationale vraag. In deze tweede fase begint dit structurele vormen aan te nemen, met name in de windrijke wintermaanden. In 2030 gaat het dan om 16,5 GW wind op zee (met 4 GW aanvullend in 2031), dat al ruim boven de nachtelijke Nederlandse vraag van 8 à 10 GW uitkomt. In de huidige raming neemt de vraag tot 2030 beperkt toe (PBL, RIVM, CBS, RVO, TNO, WUR, 2022). Deze vraagprojecties blijven achter bij het aanbod van hernieuwbare elektriciteit en bij de benodigde elektrificatie om de Europese klimaatopgaven uit te voeren (Werkgroep Extra Opgave, 2022).

- Wind op Zee: Bij uitblijven van voldoende flexibele vraag komt de verdere opschaling van wind op zee in gevaar. Het wind-op-zee-beleid zit zo in elkaar dat alle voorbereidingen getroffen worden voor verdere groei (ruimtelijke ordening en infra). Als de vraag niet verder toeneemt komt er een halt aan de bouw van de windparken. Aanbieders moeten weten waar ze aan toe zijn, een aanbieder wil bijvoorbeeld niet van een zeer lage prijsverwachting sprake zijn waardoor investeringen onaantrekkelijk worden.
- Regelbare opwek: Bij lage productie uit wind en zon daarentegen zullen in deze fase vooral beschikbare gascentrales worden ingezet om aan de nationale vraag te voldoen. Met de voorgenomen sluiting van de kolencentrales

neemt het beschikbare piekvermogen aan regelbare opwek fors af en kan leveringszekerheid onder druk komen te staan. Investerings- en aanvullende regelbare opwek zijn namelijk niet vanzelfsprekend, vanwege de grote vraagonzekerheden en de afnemende bedrijfstijd van deze productie-eenheden. Dat geldt ook voor investeringen in emissiereductie van bestaand vermogen dat uiterlijk 2035 CO₂-neutraal moeten zijn. Investerings- en aanvullende regelbare opwek door nieuwbouw of ombouw (bijvoorbeeld door ETS-prijzen) zullen daarmee niet vanzelfsprekend zijn. Tegen deze achtergrond zou ombouw van één of enkele bestaande kolencentrales naar biomassa mogelijk een deel van de oplossing bieden, die bovendien bij kan dragen aan negatieve emissies via CCS. In Nederland blijven immers onvermijdbare broeikasgasemissies van methaan en lachgas bestaan in de landbouw, de industrie en het internationaal transport. Daarvoor zal compensatie door negatieve emissies nodig zijn²⁷. Inzet van voor inzet van biomassa omgebouwde kolencentrales is geen oplossing voor alle Europese kolenfaciliteiten, maar juist wel voor de nieuwe Nederlandse centrales nabij de CCS- infrastructuur die in ontwikkeling is. Het expertteam is zich ervan bewust dat deze toepassing van biomassa niet spoort met het beleid om deze zo hoogwaardig mogelijk in te zetten. Toch geeft het deze inzet ernstig in overweging. Omdat in het decennium na 2030 deze centrale steeds minder zal draaien zal het beslag op biomassa uiteindelijk gering zijn. Wat de verdere positie van de elektriciteitssector in BECCS kan zijn kan vervolgens nader worden geanalyseerd²⁸.

- Flexibele vraag: In deze fase is het van groot belang dat flexibele vraagopties op schaal met de windenergie agenda worden uitgerold, zoals de naar schatting 7GW aan potentieel voor industriële elektrische boilers en de geamibeerde 8GW aan elektrolysecapaciteit.

Tot slot zal er steeds minder uren per jaar nog vraag overblijven die niet ingevuld wordt met wind en zon. Dat kan oplopen tot 5GW aan zgn. residuele vraag voor slechts enkele honderden uren per jaar. Die zal met regelbaar vermogen of met vraagsturing moeten worden ingevuld. Er zijn echter weinig opties die renderen als ze slechts enkele honderden uren per jaar worden ingezet; opties met lage investeringskosten hebben de voorkeur. Vraagsturing van bestaande industriële vraag biedt hier mogelijk uitkomst. Dit potentieel is echter heterogeen en ook is niet duidelijk welke kosten er mee gemoeid zijn voor de aanbieder. Het strekt tot de aanbeveling tot potentieel in kaart te gaan brengen ten behoeve van de leveringszekerheid tegen 2030.

Ook alternatieven voor de invulling van de hierdoor ontstane flexibiliteitsbehoefte voor beide richtingen zoals [interconnectie](#)²⁹, en opslag van elektriciteit kunnen hierin een grote rol spelen. Groei van interconnectie kent echter een lange investeringshorizon. De businesscase van opslag drijft voorlopig nog op inkomsten uit de onbalansmarkt en heeft daarmee vooralsnog een beperkter potentieel.

Derde fase met opschaling van flexibele vraag

Voor de derde fase richting 2040 wordt conform de voornemens van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat uitgegaan van een sterke groei van wind op zee naar 50 GW ([Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2022](#))³⁰. Verder lijkt stabilisatie van aanbod van wind op land aannemelijk (gegeven het beperkte draagvlak). Verdere groei van zon-PV door verdere kostenreductie is mogelijk, hoewel inpassing van zon-PV in het net nu al een grote uitdaging is. In deze derde fase begint verzadiging van de (niet-flexibele) elektriciteitsvraag op te treden, en vraagt elke GW wind om een

GW aanvullende flexibele vermogensvraag. Tegen die tijd moet in feite de keten in haar volledigheid gelijkmatig worden opgeschaald. Overige aanbodopties worden nog sporadisch ingezet, in de orde van enkele honderden uren per jaar. Het gaat daarbij wel om vermogens die gelijk zijn aan de (niet-flexibele) vraag van ongeveer 20 GW, en mogelijk beperkt flexibele aanvullende vraag die in dit overzicht niet is opgenomen (bijvoorbeeld vraag voor warmtepompen bij huishoudens, die beperkt flexibel wordt bedreven).

De geschetste fasering brengt met zich mee dat nieuwe flexibele vraagcategorieën mee zullen moeten gaan groeien die passen bij het karakter van de fase. Bij uitblijven daarvan zal de financiering van hernieuwbare elektriciteitsproductie al snel onder druk komen te staan; als er geen vraag is, is er geen businesscase. De subsidievrije tenders voor wind op zee zullen dan stilvallen, terwijl de groei van hernieuwbaar op land alleen doorzet bij extra subsidiëring (en de schone stroom naar het buitenland vloeit). Deze problematiek wordt in de pers al [aangekondigd](#)³¹ en kan zich al voor gaan doen vanaf [2023 – 2025](#)³².

Een laatste aandachtspunt hierbij is de timing. Veel beleid dat zich op de periode na 2030 richt heeft het jaar 2050 in het vizier. In deze notitie is elders beargumenteerd dat een klimaatneutraal Nederland een emissievrije elektriciteitsvoorziening in 2035 met zich meebrengt.

De denkbare rol van kernenergie in een nul-emissie energiesysteem

Er is veel beleidsmatige aandacht voor kernenergie. Het expertteam heeft geen eigen onderzoek naar kernenergie gedaan en baseert zich op enkele recente studies en adviezen. De overwegingen in dit hoofdstuk leiden daarbij wel tot enkele vragen.

Wind- en zonne-energie zullen de elektriciteitsvoorziening domineren. Meer elektriciteitsproductie is nodig om een toenemend aandeel van het totale energieverbruik te elektrificeren en vervolgens waterstof door elektrolyse op te wekken. In 2030 kan zo'n 85% van de elektriciteitsproductie uit zonne- en windenergie bestaan. Kernvraag is dan hoe snel de vraag naar elektriciteit verder stijgt, in welke mate deze hernieuwbare opwek dat bij kan houden en hoe de wisselwerking met de omliggende landen eruitziet. De ter beschikking staande oppervlakte zee en land voor wind- en zonne-energie is niet onbegrensd. Alleen als de elektriciteitsvraag tot meer dan twee- tot driemaal de huidige zal toenemen, en de omliggende landen elektriciteit uit Nederland gaan importeren is het verstandig naar additionele vormen van broeikasvrije elektriciteit – zoals kernenergie – te zoeken. Het is echter onwaarschijnlijk dat een nieuwe kerncentrale in Nederland voor 2040 operationeel zal zijn³³.

Een belangrijk argument voor kernenergie is dat de diversiteit in energiebronnen en daarmee de robuustheid van het energiesysteem wordt vergroot. De ervaring leert dat het beter is het aanbod van energiebronnen te spreiden. Een systeem met kernenergie naast wind en zon is robuuster dan alleen wind en zon. Kernenergie is dan een verzekeringspremie voor afhankelijkheid van een klein aantal bronnen en/of knelpunten voor wind en zon zoals de hiervoor benodigde ruimte en grondstoffenbehoefte³⁴. Waarschijnlijk is het wel een dure premie. Studies wijzen uit dat de kosten van een systeem met en zonder kernenergie elkaar niet veel ontlopen^{35,36,37} en veronderstellen daarbij dat kerncentrales veel uren zullen draaien voor waterstofproductie of voor export naar omliggende landen.

Zo wordt in het hoofdstuk van de laatstgenoemde studie verondersteld dat er geen kerncentrales worden gerealiseerd in België en Duitsland, en wordt voor overige landen een optimalisatie toegepast. De slepende discussie over kernenergie in België en de aangekondigde plannen voor Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk laten zien dat die veronderstelling beperkingen met zich meebrengt. Dat is voor de economie van nieuwe kerncentrale(s) in Nederland van belang. Want kerncentrales kennen hoge investeringskosten en lage variabele kosten. De vraag is dus of deze veronderstelling van export naar omliggende landen juist is, waarbij een sunk cost fallacy op de loer ligt als de realiteit anders uitpakt. In dat geval zullen nieuwe kerncentrales voor decennia van politieke discussies over herfinanciering zorgen. Getalsmatig kunnen de draaiuren van kerncentrales verhoogd worden door te veronderstellen dat ze waterstof gaan maken, maar dan ligt het voor de hand eerst te bezien of dat met hernieuwbare elektriciteit uit zon en wind mogelijk is.

Een derde aandachtspunt is de positie van de Nederlandse overheid. In omliggende landen waar nieuwe kerncentrales worden gebouwd gebeurt dat met een zeer grote betrokkenheid van de overheid. Om de financieringskosten te verlagen lijkt het zelfs noodzakelijk dat de overheid direct

of indirect (via een staatsbedrijf) in de centrale deelneemt. Zo'n deelname werpt – zeker als het om een groter aantal centrales zou gaan – echter vragen op over het gelijke speelveld van de elektriciteitsvoorziening. Zijn de investeerders in de veel omvangrijkere windparken op zee en alternatieve regelbare opwek overtuigd van het gelijke speelveld wanneer de overheid een eigen belang heeft in opwekking die met de windparken op zee concurreert? Leidt onzekerheid daarover tot een risicopremie op tenders wind op zee? Of tot minder aanbieders in Nederland omdat de investeerders immers ook kunnen deelnemen aan tenders in andere landen waar dit risico niet bestaat?

Een vierde aandachtspunt is de positie van Nederland inzake aansluiting van en kennis over kerncentrales. Zeker als de Nederlandse kerncentrales vooral voor export naar omliggende landen zullen produceren ligt het niet voor de hand deze in het westen van ons land te plaatsen, waar ook de meeste elektriciteit van wind op zee aan land komt. Verder blijkt dat ook in landen met meer kennis over kernenergie dan Nederland het duurder dan verwacht is om een nieuwe centrale te bouwen. Dat zal voor Nederland gelden.

Hoogstwaarschijnlijk zal kernenergie een relatief klein onderdeel van het schone elektriciteitsstelsel vormen. Bij een overvloedig aanbod van wind- en zonne-energie zullen kerncentrales niet zonder meer volcontinu kunnen draaien, waarmee ze dure elektriciteit zullen produceren. De robuustheid van het systeem wordt, met meer aanbodopties, groter en er zal ook minder infrastructuur nodig zijn, maar het is verstandig nog eens te bezien of financiële deelname in kerncentrales past bij een neutrale rol van de overheid in de elektriciteitsmarkt en of het een goede besteding van overheidsgeld is. Aanbevolen wordt tot die tijd geen onomkeerbare stappen te zetten.

3.2.3. Ontwikkelpaden elektriciteit (om vraag en aanbod weer in balans te krijgen)

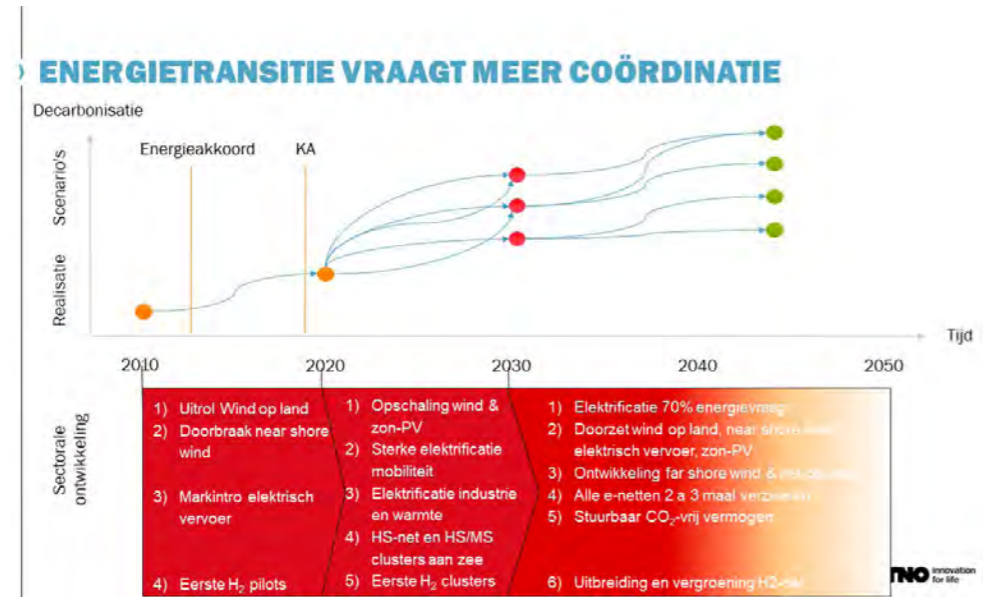
Samenhang tussen enerzijds het groeiende aanbod van hernieuwbare elektriciteit en anderzijds de groeiende vraag naar elektriciteit gaat dus een cruciale rol spelen in de energietransitie.

De samenhang van ontwikkeling van aanbod van, vraag naar elektriciteit en de infrastructuur leidt tot enkele ontwikkelingspaden (zie figuur 2). Deze paden pretenderen niet dat we nu de toekomst kunnen voorspellen. Ze geven wel aan welke tussentapen wanneer bereikt moeten zijn om het doel te kunnen bereiken. Omdat bijvoorbeeld externe ontwikkelingen onverwachte wendingen kunnen maken is het belangrijk de ontwikkelingspaden adaptief te interpreteren: periodiek moet bezien worden of de tussen-

stappen nog in beeld zijn en wat tot een mogelijke afwijking daarvan heeft geleid. Zo'n periodieke analyse kan dan tot bijsturing leiden. In dit hoofdstuk zullen ze kort worden benoemd en toegelicht. Daarna wordt ingegaan op de ontwerpprincipes die het expertteam heeft geformuleerd: de criteria waaraan te maken keuzes zouden moeten voldoen.

3.2.4 Ontwerpprincipes

Voldoet een grote mate van elektrificatie, waarbij de elektriciteit primair is opgewekt door wind en zon, met een aanvullend energieverbruik van waterstof, warmte en biomassa aan de door het expertteam voorgestelde ontwerpprincipes? In deze outlook geven we enkele elementen die hierin een rol kunnen spelen. Deze kunnen de basis vormen voor een gesprek en politieke afweging die hierbij nodig is.



Figuur 3.3. Ontwikkelpaden elektriciteit en waterstof

Rechtvaardigheid			
1	Procedurale rechtvaardigheid	+	Wordt gewaarborgd als er ruimte is voor mensen en groepen om 'het heft in eigen hand te nemen'. Kleinschalige oplossingen zoals een per wijk energieneutraal gebouwde omgeving kunnen dan hoger scoren dan oplossingen die alleen grootschalig van aard zijn zoals wind op zee of kernenergie. Aandachtspunten zijn dan verder de mate waarin mensen en groepen die met de lasten worden geconfronteerd ook van de lusten kunnen genieten en mee kunnen denken over de daarin te maken keuzes.
2	Erkennen van eerder onrecht	+/-	Het betrekkelijk geringe aandeel biomassa in het eindbeeld veronderstelt dat Nederland hier niet meer dan zijn 'fair share' heeft. De mate waarin Nederland anderen aangedaan onrecht compenseert – het Nederlandse aandeel in het verbruikte koolstofbudget per hoofd van de bevolking is immers veel hoger dan het wereldgemiddelde – kan door een schoner energiesysteem worden beïnvloed en door de mate waarin Nederland hierin anderen financieel compenseert.
3	Intergenerationele rechtvaardigheid	+/-	Bij intergenerationele rechtvaardigheid speelt niet alleen het tempo van de emissiereductie van broeikasgassen, maar bij een keuze voor kernenergie ook de wijze waarop de eindberging van het hoogradioactief afval wordt georganiseerd.

Figuur 3.4.

4	Distributieve rechtvaardigheid	+/-	Vraag of het lukt om de lasten van de transitie eerlijk te verdelen. In de mate dat bijvoorbeeld de energiebelasting lager is voor grootverbruikers dan kleinverbruikers en de netwerktarieven niet met verbruik rekening houden is dat laatste niet het geval. De energie-intensieve industrie kan echter beargumenteren dat men inzake nieuwe investeringen concurreert met mogelijkheden elders in de wereld en daarbij vormen van ondersteuning nodig heeft. Deze ondersteuning kan door burgers voor wie deze argumenten niet gelden als onrechtvaardig worden ervaren. Dan zal 'de politiek' een keuze moeten maken. Als mensen verplicht aan warmtenetten zouden zijn aangesloten zonder dat zij de keuze hebben eigen, wellicht even duurzame en goedkopere keuzes te maken, is dat ook niet het geval.
5	Internationale rechtvaardigheid	+/-	Bij de internationale solidariteit speelt bijvoorbeeld de fabricage en winning van materialen en grondstoffen een belangrijke rol. De Europese Unie is hier in grote mate van China en achterliggend van mijnbouwlanden afhankelijk. Omdat de vraag naar deze materialen en grondstoffen veel groter is dan het aanbod zal het onvermijdelijk een evenwichtskunst zijn om enerzijds maximaal te sturen op bijvoorbeeld rechtvaardigheid in mijnbouw en anderzijds zich daarbij niet 'uit de markt' te prijzen.
6	Betaalbaarheid	+/-	Vraag of de transitie uiteindelijk leidt tot lagere kosten. De uiteindelijke betaalbaarheid van een schoon energiesysteem kan hoger zijn – de kosten lager –, in de transitie daarheen hoeft dat niet het geval te zijn, omdat een schoon energiesysteem kapitaalintensiever is dan het huidige en er dus veel geïnvesteerd moet worden. De wijze waarop de kosten van deze investeringen verdeeld worden zal bepalend zijn voor de gevoelde rechtvaardigheid.
Robuust			
7	Diversificatie bronnen	+/-	De importafhankelijkheid neemt af doordat de elektriciteit vrijwel volledig nationaal wordt opgewekt (+). In het geval van grootschalige waterstofinzet is er waarschijnlijk meer import nodig. Kernenergie zorgt voor meer diversiteit.
8	Klimaatadaptatie	+/-	Als het energieverbruik in grote mate in de kuststreek wordt gepositioneerd, zal het aspect klimaatadaptatie slecht scoren (-). Bij de aanleg van nieuwe energie-infrastructuur is het verstandig om nu al rekening te houden met benodigde ruimte voor klimaatadaptatiemaatregelen na 2050.

9	Veiligheid	+	Bij toepassing en handhaving van regelgeving is veiligheid gegarandeerd.
10	Adaptiviteit	+/-	Geborgd als periodiek wordt bijgestuurd: dat kan zowel betrekking hebben op de eindbeelden van de energiedragers als op de wijze van opwekking van elektriciteit
11	Leveringszekerheid	+/-	Naarmate het eindverbruik steeds meer op elektriciteit berust wordt de leveringszekerheid kwetsbaarder. Hier is dus voortdurende aandacht voor interconnectie en samenwerking met omliggende landen van belang, alsmede de voorgestelde coördinatie van aanbod, verbruik, netwerken en opslag. De mate van gerealiseerde flexibiliteit in het verbruik zal daar waarschijnlijk bepalend zijn. Een verdere ontwikkeling van energieverbruik buiten de grote energie-intensieve clusters, door bijvoorbeeld lokale energie-initiatieven, kan de druk op de elektriciteitsnetten verlichten.
Duurzaam			
12	Opwarming van de aarde	+	Het doel voor een nulmissie energiesysteem is primair ingegeven door het klimaataspect van duurzaamheid.
13	Verlies biodiversiteit	+	Wind op zee kan kansen bieden voor de natuur op zee.
14	Overige (ongewenste) emissies	+	De stikstofkringloop van hernieuwbaar opgewekte elektriciteit is geringer dan die van fossiele brandstoffen.
15	Land- en watergebruik	+/-	Het landgebruik van hernieuwbaar opgewekte energie is groter dan fossiele energiebronnen. Beleid kan trachten voorzichtig om te gaan met deze ruimte. Alleen wind op land waar echt nodig, dichtbij bebouwing. Elektriciteitsnetten ondergrond, ook als dit duurder is.
16	Natuurlijke hulpbronnen	+/-	Een op elektriciteit gebaseerd systeem heeft veel materialen nodig, die in grote mate in enkele landen – vooral China – worden gemaakt en waarvan de grondstoffen ook veelal uit een beperkt aantal landen afkomstig zijn. Bij het materiaalgebruik van hernieuwbare energie is nog veel te winnen. Innovatie kan leiden tot producten die beter passen binnen de circulaire economie doordat ze hergebruikt kunnen worden of eenvoudiger te repareren worden.

Samenvattend: het vergt het een politiek oordeel om een weging te maken van de plussen en minnen. Bij voldoende aandacht in de uitvoering van de hier gepresenteerde paden is er een gereede kans dat een positief eindoordeel te vellen valt.

3.3. Knelpunten en enabling conditions

Het expertteam hanteert in navolging van het IPCC de notie van enabling conditions, belangrijke voorwaarden waaraan voldaan moet zijn om het ontwikkelpad te realiseren. Het expertteam beperkt zich hier tot de enabling conditions die specifiek voor de ontwikkeling van het elektriciteitssysteem van belang zijn.

3.3.1 Multilevel governance (doelen en afspraken)

De energietransitie ontwikkelt zich op verschillende schaalniveaus. Zo vraagt de energietransitie om verdere ontwikkeling van infrastructuur op gemeentelijk, provinciaal en landelijk niveau. En zijn er afspraken op landelijk niveau en met de regio's gemaakt om invulling te geven aan landelijke doelstellingen. Voor de productie van hernieuwbare elektriciteit zijn er regionale energiestrategieën (RES) gemaakt die samen met het Programma Noordzee bij moeten dragen aan de landelijke doelen. Daarnaast zijn er plannen gemaakt voor een nationale laadinfrastructuur, de vijf grootste industrieclusters in Nederland, regionale gebiedsvisies voor de glastuinbouw en aanpak van de laadinfrastructuur, maar ook gemeentelijke visies op laadinfrastructuur en warmte. Daarmee kent het sturingsvraagstuk voor de energietransitie ook een sterke interbestuurlijke dimensie.

Internationale samenwerking intensiveren

Het elektriciteitssysteem is geen Nederlandse aangelegenheid: het is onlosmakelijk met dat van de omliggende landen verbonden. Veelal gaat het hierbij om samenwerking van de netbeheerders op technisch niveau. Deze houden ook bij of er in aanpalende landen vermogenstekorten dreigen. In het Pentilateraal Energieforum - bestaande uit Nederland, België, Frankrijk, Duitsland en Luxemburg - wordt dit sinds 2005 ook op politiek niveau besproken (waarbij zich later Oostenrijk en

Zwitserland hebben aangesloten). Nederland is momenteel voorzitter van dit samenwerkingsverband en wil deze samenwerking intensiveren. Het expertteam adviseert om hier met kracht verder in te gaan en naar nieuwe samenwerkingsthema's zoals de geprefereerde brandstofmix te zoeken. Hetzelfde gebeurt in de landen rond de Noordzee voor wind op zee, daar vindt samenwerking plaats in de North Seas Energy Cooperation.

De brandstofmix van elektriciteitsopwekking is meer robuust als deze uit een groter aantal onderdelen bestaat. Buurlanden bij elkaar hebben dan meer mogelijkheden dan een land alleen – zo beschikt Nederland over een groter potentieel aan wind op zee dan Luxemburg en beschikt Frankrijk over meer waterkrachtcapaciteit dan Nederland. Binnen de Europese Unie is de brandstofmix nadrukkelijk een nationale verantwoordelijkheid. Onvermijdelijk heeft het ene land hier te maken met de gevolgen van besluiten in het andere land, zoals sluiting van bepaalde typen centrales of het niet toestaan van de bouw van andere. Een vraagstuk of kernenergie onderdeel moet zijn van de energiemix, of dat een land in de nationale scenario's voorziet elektriciteitsimporteur te zijn is weliswaar een nationale verantwoordelijkheid, maar het gaat feitelijk ook aangrenzende landen aan: waarom zou het ene land een elektriciteitsproductie subsidiëren of anderszins financieel ondersteunen als deze vooral in de energievraag van een ander land voorziet, en wie gaat de elektriciteit exporteren die elders als import wordt verondersteld? De weg naar netto-nul vraagt zo'n tempo en intensiteit dat alle kennis en mogelijkheden die voorhanden zijn op de best mogelijke manier gebruikt moeten worden. Het is daarom zinvol als het Forum ook hierover het gesprek aangaat. Ook deelvragen kunnen daarbij aan de orde komen, zoals de vraag of elektriciteitskabels voor wind op zee naar windparken die door het ene land ondersteund worden kunnen aanlanden bij een

ander wanneer dat dichterbij is. Wellicht kan ook de samenhang van kernenergie met de opslag van hoog-radioactief afval worden besproken, waarvoor de bodemgesteldheid in het ene land meer mogelijkheden biedt dan in het andere. Kennisinstellingen kunnen hierbij nog meer worden betrokken. Voor hen is het makkelijker voor- en nadelen van bepaalde opties in kaart te brengen dan voor de ministers of beleidsambtenaren. Verder kunnen deze nagaan hoe robuust de in de deelnemende landen gemaakte scenario's zijn: veronderstellen deze niet dat er op import van elektriciteit gerekend kan worden als het naburige land dat ook doet? Denkbaar is dat het Forum kennisinstellingen uit de deelnemende landen vraagt de bestaande nulemissie scenario's inzake elektriciteit en waterstof te vergelijken en te bezien hoe deze al of niet aansluiten. Omdat het Benelux-secretariaat het gezamenlijke secretariaat van dit Forum voert is een vorm van gezamenlijkheid hier al voorhanden.

Nationale en regionale afstemming van vraag en aanbod van elektriciteit

Samenhang tussen enerzijds het snelgroeiende weersafhankelijke aanbod van hernieuwbare elektriciteit en anderzijds de (nog langzaam) groeiende vraag naar elektriciteit vormt de kern van het ontwikkelpad elektriciteit en waterstof. Er is dus een omslag nodig van een vraaggestuurd systeem naar een aanbodgestuurd systeem waarbij congestie niet iets tijdelijks is. Het zal ook in 2040 een belangrijk issue zal zijn, zodat niet altijd en overal aan de vraag voldaan kan worden. Dit vraagt om aanpassingen van afnemers, zoals energiebesparing, opslagmogelijkheden, verschuiving van de vraag naar gunstigere momenten en verplaatsing of beëindiging van energie-intensieve [activiteiten](#)³⁸.

Door een gecoördineerd aanbod van het elektriciteitsnet op zee en tenders voor nieuwe windparken zal de capaciteit van wind op zee in snel tempo

toenemen. De routekaart hiervoor is beproefd en goed doordacht en zal naar verwachting 91 TWh per jaar opleveren in 2031. Ook op land gaat de uitrol van zon en wind veel sneller dan de eerdere ambities uit het [Klimaatakkoord](#)^{39,40}. De groei van de vraag naar elektriciteit blijft hierbij sterk achter. Al jaren hangt de vraag rond de 120 TWh per jaar. Het PBL raamt een langzaam toenemende vraag naar 125 TWh in 2025 en vervolgens naar circa 130 TWh in [2030](#)⁴¹. De eindrapportage (Werkgroep Extra Opgave, 2022) en achterliggende notitie (TNO, 2022) geeft weliswaar een overzicht van de sectorale verwachtingen voor benodigde elektrificatie van 68 TWh - 86 TWh om tot de beoogde sectorale emissiereducties in 2030 te komen, maar een uitgewerkt beleidskader om dit te bereiken ontbreekt. Het is vooral onhelderheid over de samenhang die voortgang vertraagt; het expertteam meent dat de onzekerheid over de vraag het knelpunt is en niet zozeer het voorziene aanbod.

De vraagverplichting voor groene waterstof die in het Europese Fit for 55 (FF55) is voorgesteld zal de ontwikkeling van elektrolyse wereldwijd versterken. Bestaande waterstofproductie als bijproduct valt echter buiten dit FF55 voorstel. Hierdoor verwacht het expertteam in Nederland eerder een sterke toename van de import van ammoniak dan een toename in de lokale groene productie van waterstof. Het overige, bestaande grijze waterstofgebruik zal moeten vergroenen conform de uiteindelijke doelstelling. De huidige kabinetsambitie van 4 GW elektrolyse voor 2030 sluit hierbij aan. Wel lijkt dit voornemen vanuit de huidige investeringsplannen ambitieus en vraagt daarom vermoedelijk om aanvullende afspraken met toeleveranciers van elektrolyzers. Het grootste potentieel (naar schatting ruim 5 GW) voor flexibele vraag naar elektriciteit wordt gevormd door toepassing van industriële e-boilers in de stoomcircuits in de industrie nabij de aanlandingspunten, mogelijk aan te vullen met enkele

GW e-boilers in de glastuinbouw warmte-kracht-koppeling (WKK). In dit geval hebben de huidige beleidskaders zoals de SDE++ nog geen impuls weten te geven aan deze toepassing.

Coördinatie op infrastructuurontwikkeling

Infrastructuur staat al sinds het Klimaatakkoord hoog op de agenda van de energietransitie. Gegeven de ambities voor de productie en het gebruik van hernieuwbare elektriciteit stond de noodzaak tot forse opschaling van de infrastructuur voor elektriciteitstransport en distributie buiten kijf. Conform de afspraak dat de netbedrijven zich zouden richten op een gezamenlijke strategie voor verkenning van de infrastructuurbehoefte is een Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050) opgeleverd. Daarnaast zijn prioriteiten voor infrastructuurbehoefte van de industrie geagendeerd via het Nationale Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie & Klimaat (nMIEK), met achterliggende Cluster Energie Strategieën (CES). In de regionale context werd ingezet op de Regionale Energie Strategie (RES) gericht op de planning van de opgaven voor hernieuwbaar op land en de warmtetransitie via de Transitievisie Warmte (TVW), terwijl dit jaar ook de eerste provinciale MIEK (pMIEK) zal worden opgeleverd. Daarnaast zijn er nog de nodige sectorale trajecten, zoals de regionale en nationale agenda laadinfrastructuur (RAL en de NAL). Zo is een uitgebreide overleg- en coördinatiestructuur in ontwikkeling om alle plannen in samenhang met infrastructuur te ontwikkelen.

Aanbevelingen voor governance

Het expertteam komt hierbij tot de volgende aanbevelingen:

- Besteed in het Programma Energiehoofdstructuur (PEH) en de tender-systematiek voor windparken aandacht aan directe koppeling van flexibele industriële vraag nabij de aanlandingspunten voor wind op zee in de kustgebieden. Dat maakt het

energiesysteem robuuster. Daarnaast zou prioritaire integrale masterplanning voor netcapaciteitsontwikkeling in de industriële clusters aan de kust, inclusief de koppelingen tussen hoogspanningsnetten voor aanlanding van wind op zee en industriële elektrificatie op middenspanningsnetten (zoals beoogd in de Cluster Energie Strategieën) een basis voor een planmatige aanpak kunnen vormen. Ook voor de regionale netontwikkeling zou gericht kunnen worden gewerkt aan een planmatige aanpak op basis van de pMIEK die voor dit jaar wordt verwacht en elementen zoals de oorspronkelijk beoogde planmatige wijkaanpak voor de warmtetransitie (met een agendering voor welke wijk wanneer naar welke techniek overstapt) en aanwijsgebieden voor hernieuwbaar op land.

- Publieke financiële ondersteuning van netwerkbedrijven zal nodig zijn om het noodzakelijke hoge tempo voor netverzwaring te kunnen bereiken. Programmeer deze publieke infrastructuurinvesteringen vanuit de bestaande bestuurlijke indeling op regionaal (pMIEK) door Provinciale Staten en nationaal niveau (nMIEK) door het kabinet op basis van een brede welvaartsafweging, op flexibiliteit en tempo en op aanwezigheid van vraag en aanbod. Betrek daarbij niet alleen provincies, gemeenten en netwerkbedrijven, (private) partijen zoals industrie en tuinders maar ook ontwikkelaars van infrastructuur voor bijvoorbeeld warmte en flex/conversie. En natuurlijk de burgers. In een transitie kan ondercapaciteit in infrastructuur het tempo van de gehele transitie lamleggen en is overdimensioneren van de infrastructuur die je verwacht nodig te hebben verstandiger. Dit maakt het verdedigbaar in de transitie van de komende 15 jaar waarin het elektriciteitsstelsel volledig koolstofneutraal zal zijn een massieve publieke financiële overheidsimpuls te doen, waarmee indirect degenen met de breedste financiële schouders meer bijdragen. Het gaat dan

om infrastructuur voor conversie en opslag om ook de benodigde flexibiliteit te kunnen realiseren. Een eerlijke kostenverdeling over alle gebruikers en tariefsregulering met prijsdifferentiatie tussen tijdstippen en plaats is vanwege rechtvaardigheid noodzakelijk. Dit kan ook de markt verleiden tot het aanbieden van flexibiliteit, wat nu nog niet het geval is.

- Beoordeel overheidsinvesteringen zowel in de beleidsvoorbereiding van het NPE als bij de integrale afweging en uitvoering op nationaal, regionaal en gemeenteniveau vanuit de door het expertteam opgestelde ontwerpprincipes duurzaamheid, robuustheid en rechtvaardigheid op hun maatschappelijke meerwaarde.

3.3.2 Financieringssysteem

Voorspelbare ontwikkeling van aanbod en vraag naar elektriciteit

Een kern van het ontwikkelpad elektriciteit en waterstof is meer samenhang of coördinatie tussen enerzijds het snelgroeiende en weersafhankelijke aanbod van hernieuwbare elektriciteit en anderzijds de (nog langzaam) groeiende vraag naar hernieuwbare elektriciteit. Wereldwijd wordt meer dan 50-60% in productie en distributie/opslag van energie geïnvesteerd. Ook in Nederland gaat 70% van de begrote middelen voor het klimaatbeleid naar de [elektriciteitssector](#)⁴² en is binnen het Klimaatfonds 70% gereserveerd voor (subsiëring van) de productie en distributie van hernieuwbare energie. Klimaatinvesteringen in verduurzaming van de energievraag komen echter nauwelijks op [gang](#)⁴³. Doordat er veel onzekerheid bestaat over toekomstig klimaatbeleid zijn de financiële risico's nog te hoog, en dus wachten partijen op elkaar. Publiek/private financiering hiervan neemt de laatste jaren weliswaar [toe](#)⁴⁴, maar blijft vooralsnog achter bij financiering van de productie en distributie/opslag van [energie](#)⁴⁵. Subsidies alleen zijn ook onvoldoende. Voor een blijvend investeringsperspectief voor de gebouwde omgeving,

het transport en de landbouw is een meerjarig beeld van normen en beprijzing zoals dat aansluit bij de doelen, en nu al bestaat voor de industrie en elektriciteitssector [essentieel](#)⁴⁶. De vraagverplichting voor waterstof die in Fit for 55 wordt voorgesteld zou hierin kunnen voorzien. Dat zal in Nederland naar verwachting vooral tot een sterke toename van import van ammoniak en daarmee minder toenemende vraag naar waterstof en elektriciteit leiden.

Infrastructuurinvesteringen op basis van langere termijn prognoses

De methodiek voor de investeringsplannen (IP's) van de netbeheerders is verschoven van een investeringsagenda op basis van aanmeldingen en extrapolatie naar een investeringsagenda op basis van scenario's (mede op aanbeveling van de ACM), die worden ontleend aan de KEV en II3050 en prioriteiten die aangegeven worden vanuit de MIEK op verzoek van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. De IP's schetsen een beeld van uiteenlopende scenario's met verschillen in vraag- en aanbodontwikkeling. Alhoewel de methodiek een verruiming van de klassieke regulatoire kaders voor netinvesteringen met zich meebrengt, blijven netbeheerders sturen op basis van vaststelling van nut en noodzaak. Zo geeft de landelijke netbeheerder in zijn recente IP aan de MIEK-projecten te hebben opgenomen conform voornoemd verzoek in de voorbereidende stappen, maar er tevens van uit te gaan dat nut en noodzaak alsnog zal moeten worden aangetoond voor verdere vervolgstappen. Alhoewel er door verschillende netbeheerders fors wordt geïnvesteerd in planmatige versnelling ademt de methodiek vaak nog het klassieke karakter van een incrementele projectmatige aanpak, waar een meer planmatige aanpak verdere versnelling zou kunnen bieden.

Gegeven de vooruitzichten voor een verdubbeling tot verdrievoudiging van de elektriciteitsvraag is planmatige aanpak nodig voor een significante

versnelling om de daarvoor benodigde capaciteit te ontwikkelen. Uitgangspunt daarbij kan zijn het beeld van een nulemissie energiesysteem in 2040-2045 (in de woorden van de landelijk netbeheerder de target grid gedachte). Momenteel worden de netten maximaal uitgebreid waar dat kan ('gas op de plank'), zolang er een marktvaart is. Gaandeweg ontstaan daarin meer keuzemogelijkheden. Een keuze vanuit het eindbeeld geeft ruimte om dit meer planmatig in te vullen. Dat voorkomt ook dat het net meerdere malen in de komende decennia stapsgewijs hoeft uitgebreid te worden. Qua orde grootte kan daarbij een netuitbreiding die past bij minimaal een verdubbeling van de elektriciteitsvraag worden aangehouden; door verder vooruit te kijken en voor de langere termijn te investeren kan versnelling in planmatige netverzwaring worden gerealiseerd. Het risico op overdimensionering van het netwerk kan dan niet uitgesloten worden. Daartegenover staat dat een gebrek aan netcapaciteit hoge maatschappelijke kosten met zich meebrengt. Verder kan de beschikbaarheid van netcapaciteit ook een factor voor het vestigingsklimaat zijn. Waar infrastructuur aanwezig is trekt dat bedrijvigheid aan. Een planmatige aanpak zal verder tot de vorming van energieclusters aan de vraagzijde kunnen leiden en ook tot lagere kosten – zowel voor de netbeheerders zelf als voor de hele keten van toeleveranciers.

De huidige aanpak leidt tot capaciteitstekorten en brengt hoge maatschappelijke kosten met zich mee: de mogelijk lagere kosten voor netbeheerders leiden dan tot hogere opportunity costs. Naast vertraging van de energietransitie belemmert het de ontwikkeling van bedrijvigheid en maatschappelijke behoeften aan elektriciteit. Of er ontstaat de noodzaak van kostbare (tijdelijke) oplossingen.

De kosten voor infrastructuur liggen zowel historisch als volgens II3050 in de toekomst in de orde grootte van 10% tot 15% van de integrale

energiesysteemkosten. Dat plaatst het risico van overdimensionering in context van de energietransitie ook in perspectief. Daarom zou ingezet kunnen worden op een planmatige capaciteitsuitbreiding van het landelijke net in de orde van ten minste een tweemaal hogere transportcapaciteit.

Aanbevelingen

Benader de uitbreiding van elektriciteitsnetten vanuit de gewenste situatie in 2040-2045. Geef daarbij de ruimte om planmatig te werken, waarbij de verwachte vraag in het eindmodel uitgangspunt is. Dit kan plaatselijk tot overdimensionering leiden, beschouw dit als vestigingsplaatsfactor en vanuit kans op vorming van energieclusters. Pas daarmee de verplichting voor netwerkbedrijven aan om alleen te investeren als er marktvaart is. Voortbouwend op de huidige 'uitbreiden waar mogelijk'-houding kan daarbij overgegaan worden naar een planmatige aanpak die uitgaat van een minimale verdubbeling van het elektriciteitsverbruik. Zo'n verdubbeling is aan de onderkant van de verwachte toename van het elektriciteitsgebruik, maar dat is niet in alle regio's hetzelfde. Waar regionaal meer nodig is dan een verdubbeling kan voortgegaan worden met de huidige projectmatige aanpak, waar bij huidige bedrijvigheid en lokale vraag minder nodig zou zijn is het een vestigingsplaatsfactor. Zo'n verdubbeling vraagt omvangrijke financiering. Omdat het hier om een transitieopgave gaat, biedt het veel voordelen als deze direct van de Rijksoverheid komt en niet via de gebruikers hoeft te lopen: de tarieftoename blijft beperkt en er wordt meer met financiële draagkracht rekening gehouden, wat vanuit optiek van rechtvaardigheid een vooruitgang is. Desgewenst zou dit uit de extra inkomsten vanwege minder degressie in de energiebelasting – zie hierna – bekostigd kunnen worden. Nadat deze impuls is gerealiseerd en duidelijk is of de toename van het elektriciteitsverbruik weer in rustiger vaarwater is gekomen kan bezien worden of de huidige financiering via tarieven weer volstaat.

Door een dergelijke planmatige aanpak is het ook makkelijker voor de netbedrijven om de binding met het onderwijs nog meer te versterken. Uiteraard moeten de toezichtregels van de ACM hierop worden aangepast. Eventueel zou rechtvaardiging van een planmatige aanpak binnen de bestaande kaders gepast kunnen worden door in de huidige scenario-gebaseerde investeringsplannen uit te gaan van een langere tijdshorizon dan de huidige tien jaar. Ook voor de gasnetten is een dergelijke verschuiving van financieringsstromen het overwegen waard: niet vanwege de toename van het gebruik, juist vanwege de afname. Als het aantal gasverbruikers daalt en de netkosten dat in mindere mate doen, dan moeten de overige gebruikers meer gaan betalen. Soms zijn zij niet in de positie hierin handelend op te treden, bijvoorbeeld wanneer woningcorporaties hebben besloten dat een groep woningen nog niet toe is aan volledige overschakeling naar een andere energiebron, terwijl woningen in eigen eigendom in dezelfde buurt dat wel doen. In de huidige systematiek is een hoger nettatarief voor deze huurders dan onvermijdelijk, vanuit rechtvaardigheidsoptiek problematisch vanwege het beperkte handelingsperspectief. In dit soort situaties is het beter als de rijksoverheid de financiering overneemt. In afstemming met de te vormen Transitievisies Warmte per gemeente kan dit nader worden uitgewerkt.

3.3.3. Institutionele capaciteit en ruimte

Er is structureel te weinig menskracht zowel aan de overheidskant als bij de netwerkbedrijven en aannemers die het werk moeten doen. Daarnaast ontbreekt het veelal aan de juiste kaders en instrumenten om de voor de transitie noodzakelijke gedragsverandering bij burgers en innovatie bij bedrijven af te dwingen. Er is de laatste jaren bezuinigd op handhaving van milieu- en andere wetgeving, waaronder de energiebesparingsplicht. Verplichtingen en normen vereisen echter handhaving.

Er zijn meer mensen en meer middelen nodig. Die moeten beschikbaar worden gemaakt. Dat gaat om het werven en opleiden van gekwalificeerd personeel. Zowel technisch personeel voor de uitvoering als juridisch-beleidsmatig personeel voor de procesbegeleiding is nodig. Ook zijn voldoende middelen nodig voor bijvoorbeeld kapitaal voor vergroting van de netcapaciteit. De meer planmatige aanpak van de netbedrijven maakt het ook mogelijk om afspraken te maken met toeleveranciers en onderwijsinstellingen die daarop zijn gebaseerd. Waar het mogelijk is om energieclusters van bedrijven te vormen, is samenwerking met de ruimtelijke ordening gewenst. Door speelruimte te creëren voor nieuwe spelers, nieuwe initiatieven en nieuwe samenwerkingsvormen tussen markt, overheid en samenleving kunnen zij beter inspelen op de lokale context. Dat zien we bij lokale 'energy-hubs' waarin bedrijven en lokale overheden samenwerken aan concrete oplossingen voor netcongestie. En ook bij lokale energiecoöperaties waarin burgers zich organiseren. Hierin is een ruimtereservering nodig voor uitrol van CO₂-vrije elektriciteit met het oog op 2050. Ontbrekende kaders voor ruimtelijke inpassing moeten ontwikkeld worden, evenals de organisatie van goede informatie-uitwisseling tussen de verschillende bestuurslagen en andere spelers in het energiesysteem. Bij de overheid moet op verschillende schaalniveaus duidelijk zijn hoe ruimtelijke afwegingen worden gemaakt. Dit betekent ook dat er een debat nodig is over welke functies welke maatschappelijke meerwaarde hebben, en hoeveel fysieke ruimte je daaraan wilt geven. Energiefuncties concurreren immers met andere functies (zoals natuur, recreatie, wonen). Conform het ontwerpprincipe (procedurele) rechtvaardigheid is transparantie in en uitwisseling van data en informatie tussen bestuurlijke niveaus en ook tussen actoren essentieel om tot integrale en vooral ook gedragen risicobeoordelingen te kunnen komen.

3.3.4. Beleidsinstrumenten

De Nederlandse instrumentenmix bestaat uit subsidiëren (zoals subsidies voor isolatie in woningen, de opwek van duurzame energie en de aanschaf van een elektrische auto), normeren (verplichting om energiebesparende maatregelen te nemen als deze binnen vijf jaar kunnen worden terugverdiend) en beprijzen (zoals de aanscherping van de CO₂-heffing voor de industrie en de verhoging van de vliegbelasting).

Het expertteam ziet met name voor elektrificatie van de industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit veel kleine en op (deel)sectoren en doelgroepen gerichte aanschafsubsidies. Het gaat veelal om subsidies voor de aanschaf van bestaande hernieuwbare productie en procesttechnologie zoals CCS en zonnecellen. Hiermee wordt vooral bijgedragen aan de maatschappelijke kosteneffectiviteit voor 2030, maar onvoldoende aan de noodzakelijke systeemverandering richting 2050⁴⁷. Door de beperkte omvang zijn de meeste regelingen snel uitgeput waardoor de impact hiervan op de markt beperkt is. Daarnaast komt het merendeel van de subsidies terecht bij de meest verdienenden. In de initiële fase is dit verdedigbaar, omdat zo relatief veel privaat kapitaal wordt gemobiliseerd, maar in de komende opschalingsfase is dit onrechtvaardig.

Om de markt voor elektrificatie structureel op gang te brengen stelt het expertteam voor om meer in te zetten op normering. Denk daarbij aan een verbod op de verkoop van emissievrije voer- en vaartuigen vanaf 2030, een norm voor het aantal energiepositieve wijken in een bepaald jaar en/of aangescherpte normering voor verhuurders en woningcorporaties, in de vorm van minimale energielabels. Een stap verder is een verbod op de verhuur en verkoop van gebouwen die niet aan deze eisen voldoen en normen stellen ten aanzien van de uitfasering van fossiele brandstoffen en/of technieken die op basis van de

levensduur vanaf een bepaald jaar toch niet meer rendabel kunnen worden [ingezet](#)⁴⁸. De handhavingcapaciteit voor de energiebesparingsplicht is al uitgebreid, maar in de praktijk nog onvoldoende. Daardoor voldoen veel bedrijven er nog niet [aan](#)⁴⁹.

Ten aanzien van beprijzing is het vanuit rechtvaardigheidsoptiek en duurzaamheid essentieel om het verschil tussen hoge en lage tarieven in de energiebelasting te verkleinen (zie ook het hoofdstuk 6: Reflectie op de Inwonerraad Energie). Degressieve tarieven in de energiebelasting zorgen ervoor dat nu in sommige sectoren dure maatregelen gestimuleerd worden (huishoudens en mkb met gebruik in lage schijven), terwijl in andere sectoren het potentieel voor goedkopere maatregelen onbenut blijft (industrie). Daardoor vinden veranderingen niet plaats op de plaats waar ze het meeste effect hebben. Om de energiebelasting meer toe te spitsen op de industrie is een aanpassing van de nodig. Zodat deze niet langer degressief is en in beginsel een vlak tarief kent voor het gehele verbruik. Dat stelt vragen over het level playing field, zolang eenzelfde benadering niet in omliggende landen gekozen wordt. Daarmee is in eerste instantie Europese inzet van belang.

Dit is de 'stok' om de omschakeling op gang te brengen. Het kabinet bereidt betaling naar gebruik in mobiliteit al voor. Omdat er in van de eenentwintigste eeuw nog lange tijd ook benzine- en dieselauto's zullen rijden is het vanuit milieu-optiek belangrijk dat deze ook zien op de koolstofintensiteit van de afgelegde kilometers.

In de voorziene brandstofmix spelen warmtenetten een bescheiden, maar op lokaal niveau wel belangrijke rol. Cruciaal daarbij is dat deze de bewoners een zekere mate van eigenaarschap kunnen bieden. Huidige nationale regelgeving werkt dat tegen, hoewel voorgenomen EU-beleid

dit juist probeert te bevorderen. Schrap daarom de regels die het energiecoöperaties lastig maakt om lokaal warmtenetten op te zetten. Er zijn geen mogelijkheden voor een lokale energiemarkt ten behoeve van flexibiliteit, en mogelijk kostenreductie in het transport. De wettelijke instrumenten om te komen tot een integraal energiesysteem, waaronder de koppeling met conversie en ruimtelijke ordening zijn hier onvoldoende. Stel daarnaast voor de voor de Nederlandse toekomst relevante industrie-sectoren (SDE++) subsidie beschikbaar om flexibele elektrificatie financieel haalbaar te maken. Dit is de 'wortel' die verduurzamingsopties binnen bereik van de industrie moeten brengen. Eventuele subsidie kan (naast de publieke financiering van netten) gefinancierd worden door de hierboven voorgestelde verhoging van lage tarieven van de energiebelasting. Hoewel het moeilijk is hierover algemene uitspraken te doen is zonneklaar dat in geval van schaarse netwerkcapaciteit niet elke aansluiting of uitbreiding hetzelfde maatschappelijk gewicht heeft. Onderzoek daarom de mogelijkheden om de huidige aansluitplicht en de transportplicht van netwerkbedrijven meer in lijn te brengen met de door het kabinet geformuleerde maatschappelijke waarden en/of door het expertteam geformuleerde ontwerpprincipes.

Ten slotte missen er spelregels voor een maatschappelijk afgestemde planning en prioritering van de energie-infrastructuur. Er zijn geen mogelijkheden voor een lokale energiemarkt ten behoeve van flexibiliteit, en mogelijk kostenreductie in het transport. De wettelijke instrumenten om te komen tot een integraal energiesysteem, waaronder de koppeling met conversie en ruimtelijke ordening, zijn onvoldoende. Kortom, in het streven naar een geïntegreerd energiesysteem moeten niet alleen de afzonderlijke markten meer rekening

met elkaar houden en is er ook een herziening van de marktordening nodig die een efficiënte transportbalans van elektriciteit bevordert. Het verkorten van vergunningsprocedures zonder verlies van het inspraakrecht (procedurele rechtvaardigheid) kan het realisatietempo verhogen.

3.3.5 Innovatie en gedrag

Publieke innovatiemiddelen (TSE, MOOI, HER+, DEI+) kunnen gericht worden ingezet op totaaloplossingen voor flexibilisering van het elektriciteitssysteem en elektrificatie van industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit. Daarbij hoort ook het experimenteren met nieuwe businesscases, technologieën en (tijdelijke) institutionele kaders voor met name flexibele vraagsturing en opslag. Dat kan bijdrage aan meer flexibiliteit in de industrie, mobiliteit en gebouwde omgeving. Mogelijk kunnen zogenaamde energy hubs kansen bieden om investeringen in verzwaring van de infrastructuur te beperken. Energy hubs zorgen voor slimme afstemming van vraag en aanbod in combinatie met opslag en conversiefaciliteiten en vergroten zo de flexibiliteit in de [energievoorziening](#)⁵⁰. De ontwikkeling van een programmatische aanpak van innovaties en kennisverspreiding van elektrificatie van de industrie, kan bijdragen aan de opschaling van technische concepten voor hoge temperatuurprocessen. De technische concepten zijn bekend maar nog niet op voldoende grote schaal [toepasbaar](#)⁵¹.

Het terugbrengen van de energievraag bij woningen gaat gepaard met een sterke toename van het materiaalgebruik. Dit extra materiaalgebruik vergt ook grote hoeveelheden energie in de productieketen. Om toch een positief effect op de CO₂-balans te hebben, moet de gebruiksduur van dit toegevoegde materiaal lang zijn en het liefst energiearm.

Waterstof

In dit hoofdstuk wordt het ontwikkelingspad van waterstof minder diepgaand geanalyseerd dan dat van elektriciteit. Dat is niet alleen omdat de omvang van waterstof als energiedrager in het eindbeeld geringer is. Het is ook omdat de onzekerheden rond waterstof veel groter zijn, er ten opzichte van het eindbeeld al veel activiteiten plaatsvinden en doelen zijn gesteld en veel van het huidige gebruik van waterstof plaatsvindt als grondstof voor de chemische industrie en in de raffinagesector die in dit hoofdstuk buiten beschouwing wordt gelaten. De industrie heeft het voorname om een deel van deze 'grijze' waterstof te combineren met de afvang en opslag van koolstof (CCS), waarmee het zou 'verblauwen'. De Tweede Kamer is in december 2022 akkoord gegaan met een streefdoel van 8 GW elektrolyzers, waarover in 2023 wordt besloten en het belangrijkste aandachtspunt is of er voldoende elektriciteitsaanbod van wind op zee beschikbaar is. Op deze wijze komt 'groene' waterstof beschikbaar. Vooralsnog is er ruime ondersteuning voor zowel blauwe als groene waterstof beschikbaar. De energiesector werkt aan een infrastructurele 'ruggengraat' van waterstofleidingen tussen industriële clusters, die onderdeel moeten worden van een Europees netwerk. De Europese Unie is zeer actief op dit terrein. In het programma REPowerEU zijn de Europese doelen van Fit for 55 verder aangescherpt. Het IEA heeft in kaart gebracht dat er wereldwijd, en ook in Europa, zeer veel plannen zijn voor schone waterstof. Het is nu wachten op finale investeringsbeslissingen. De Nederlandse havens zijn zo actief dat ze in dit soort overzichten met name worden [genoemd](#)⁵². Toch zijn er veel onzekerheden: (1) welke finale investeringsbeslissingen worden genomen?; (2) welke aanpak zullen bedrijven kiezen? Vooralsnog zijn mondiaal vooral de grote verticaal geïntegreerde ondernemingen actief die in staat zijn deel te nemen in productie, transport en verbruik – vergelijkbaar met de eerste fase van de LNG markt voor gas. Het is onzeker of en zo ja hoe op korte termijn een 'spotmarkt' voor schone waterstof zou ontstaan; (3) maar het marktmodel voor waterstof dat de Europese Commissie voor ogen heeft baseert zich wel op dat van de gasmarkt; (4) er zijn veel optimistische studies over de kostprijsontwikkeling van vooral groene waterstof, maar die komen alleen uit als de investeringskosten sterk dalen, de elektriciteitsprijs laag is en de CO₂-prijs in de Europese emissiehandel stijgt. Dat is zeker niet ondenkbaar, maar onzeker. Alles afwegend en bij alle passende onzekerheden acht het expertteam het 'lage groeipad' van een nog ongepubliceerde studie van het PBL niet ondenkbaar, die uitkomt op een omvang van het finale verbruik van waterstof van ongeveer 10% van de finale energievraag die in deze studie voor 2040-2050 is [geraamd](#)⁵³. In dit groeipad zou in 2030 het merendeel van de schone waterstof 'blauw' zijn, waarbij de 'groene' geleidelijk veel omvangrijker zou worden. Dit lage groeipad past dan bij de ambitie die het expertteam formuleert om maximaal in te zetten op directe elektrificatie gezien het lagere totale energieverbruik die dat met zich meebrengt.

Tegelijkertijd dient een voorwaardenscheppend industrie-, energie-, klimaat- en milieubeleid te worden ingezet, in afstemming met Europese kaders en industriebeleid in omliggende lidstaten. De beslissing tot investering in het Waterstofnetwerk Nederland vormt hiervan een voorbeeld: de verwachte investeringskosten van 1,5 mld. euro liggen in de orde van slechts één procent van de ingeschatte nationale kosten voor een klimaatneutraal Nederland in 2050, terwijl het een alternatief biedt voor hernieuwbare elektriciteit of (naar verwachting beperkt beschikbare) biomassa en bovendien de noodzakelijke waterstofketenontwikkeling voor de flexibiliteitsvoorziening in elektriciteit [ontsluit](#)⁵⁴.

3.4. Aanbevelingen

Dit alles leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Toets beleidsontwerp en uitvoering op integrale aspecten van het energiesysteem vanuit een visie op eindbeelden. Aandelen van 70% directe elektriciteit, minstens 10-15% waterstof en 10-15% warmte en biomassa kunnen nu richtinggevend zijn. Bezie deze periodiek en stuur bij waar de internationale en nationale ontwikkeling daartoe aanleiding geeft. Dit vereist stimulering van de vraag naar directe elektriciteit, waarbij waterstof als een noodzakelijke energiedrager beschouwd kan worden die alleen ingezet wordt waar directe elektriciteit onmogelijk is.
- Zie de energie-infrastructuur als een vestigingsplaatsfactor. Benader de uitbreiding van elektriciteitsnetten vanuit de gewenste situatie in 2040-2045 in een nul-emissiesysteem. Geef daarbij de ruimte aan netbeheerders om planmatig te werken vanuit de verwachte vraag op langere termijn in het eindbeeld. Daarmee kan infrastructuurontwikkeling in de loop van de energietransitie worden versneld, en wordt het risico op vertragende netcongestie beperkt. Dit kan plaatselijk tot overdimensionering leiden. Beschouw de kosten daarvan in het licht van grotere opportunity costs vanwege tekortschietende infrastructuur.
- Erken de noodzaak van een omslag van een vraag- naar een aanbodgestuurd elektriciteitsstelsel en ontwikkel daarop gericht beleid. Stimuleer de flexibele elektriciteitsvraag. Start daarbij onderzoek naar potentieel groot-schalige vraagrespons vanuit de industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit. Bezie of de mijlpalen inzake flexibele vraag, regelbaar opwekvermogen, import/export en opslag in samenhang kunnen worden bereikt en stuur daarin periodiek bij.
- Maak een breder integraal afwegingskader voor keuzes in opwektechnieken en aansturing-mechanismen in elektriciteitsproductie. Onderzoek daarbij de tijdelijke inzet van biomassa in kolencentrales met opslag van koolstof, opdat negatieve emissies kosteneffectief de resterende emissies compenseren.
- Bezie of financiële deelname in kerncentrales een goede besteding van overheidsgeld is. Hoogstwaarschijnlijk zal kernenergie een relatief klein onderdeel van het schone elektriciteitsstelsel vormen. Bij een overvloedig aanbod van wind- en zonne-energie zullen kerncentrales niet zonder meer volcontinu kunnen draaien, waarmee ze duur zullen zijn. De robuustheid van het stelsel wordt, met meer aanbodopties, groter en er zal ook minder infrastructuur nodig zijn, maar het is verstandig nog eens te bezien of financiële deelname in kerncentrales past bij een neutrale rol van de overheid in de elektriciteitsmarkt en of het een goede besteding van overheidsgeld is. Aanbevolen wordt tot die tijd geen onomkeerbare stappen te zetten.
- Versterk het Pentilateraal Energieforum met overleg over de brandstofmix elektriciteit in de deelnemende landen. Nodig meer kennispartijen uit deze door scenario-analyses voor te bereiden.
- Zet naast beprijzing en subsidiëring sterker in op normering en handhaving van energiebesparing. Let daarbij ook op procedurele rechtvaardigheid. Herzie bij voorkeur in Europees verband de degressieve tarieven in de energiebelasting.

4. De mogelijkheden van lokale energiesystemen



4.1. “Wat je niet nodig hebt, hoef je ook niet op te wekken”

De burger ondervindt de energietransitie aan den lijve. Voor hen wordt het tastbaar in huis, op het werk, in de wijk en bij het vervoer.

De gebouwde omgeving kan in 2050 klimaatneutraal zijn, waarbij er netto geen uitstoot van broeikasgassen meer plaatsvindt. Veel wijken zijn dan energiepositief, waarbij ze (netto) méér energie produceren dan dat ze gebruiken. In andere wijken lukt dat niet: deze gebruiken (netto) wat meer energie dan ze opwekken. De wijken zijn niet autarkisch: ze zijn onderdeel van het nationale energiesysteem, bij elektriciteit kunnen ze bijvoorbeeld ook flexibiliteit leveren. Ook warmtenetten in elkaars nabijheid zullen hier en daar met elkaar verbonden zijn. Om deze klimaatneutrale gebouwde omgeving te bereiken zullen we fundamenteel anders omgaan met onze leefomgeving en de bijbehorende energievoorziening.

Energie staat daarbij niet op zichzelf, ingrepen worden zoveel mogelijk gekoppeld aan andere, sociale, opgaven. Zoals een andere organisatie van mobiliteit; de inzet van ruimtelijke ordening om samenhangende activiteiten dicht bij elkaar te brengen; het verbeteren van de energetische kwaliteit van de bebouwing en het bevorderen van een gezonde leefstijl. Dit zijn de zogenaamde [beleidsmultipliers](#)⁵⁵. In het navolgende staat de energievoorziening centraal, steeds tegen die achtergrond van de wenselijkheid te sturen op ‘beleidsmultipliers’: elkaar versterkende ingrepen die een leefbare en energieneutrale leefomgeving mogelijk maken.

Leidend motto voor de weg naar 2050 is ‘Wat je aan energie niet nodig hebt, hoef je ook niet op te wekken’. De energie, die nog nodig is, wordt, zeker wat betreft warmte, zoveel mogelijk lokaal

opgewekt. Ook wordt veel energie hergebruikt. Dit is noodzakelijk omdat er in de nabije toekomst tekorten kunnen zijn aan duurzame energie.

In dit hoofdstuk geeft het expertteam een schets van hoe de gebouwde omgeving en de bijpassende lokale energiesystemen er in 2050 naar verwachting uit zullen zien, dan wel kunnen zien en wat er nodig is om daar te komen. Daarnaast geeft het expertteam aan hoe deze lokale energiesystemen zich gaan verhouden tot de rest van het Nederlandse energiesysteem.

Na een schets van het algemene eindbeeld 2050 voor stad en platteland in paragraaf 4.2, volgt in paragraaf 4.3 een verdere verdieping rond de lokale energiesystemen in 2050. Paragraaf 4.4 gaat in op de toetsing van het eindbeeld aan de, door het expertteam gehanteerde, ontwerpprincipes. Daarna volgt in paragraaf 4.5 een beschrijving hoe het eindbeeld kan worden bereikt, paragraaf 4.6 stelt de knelpunten en enabling conditions aan de orde en als afsluiting volgen in paragraaf 4.7 de aanbevelingen van het expertteam.

4.2. Stad en platteland: het eindbeeld voor 2050

Een prettig verblijf: Groener en schoner, voorzieningen in de buurt

Als het expertteam alle kennis over de duurzame stad van 2050 combineert, ontstaat een beeld van een overwegend aangename urbane leefomgeving, waarbij veel meer ruimte is voor bomen en ander groen en waar automobilititeit een minder dominante rol speelt. Het is prettig verblijven in de stad. Ze is veel stiller en schoner, kent meer ruimte voor groen en water, en een hogere biodiversiteit. Er zijn méér mensen, die minder ruimte gebruiken. Dat wordt gecompenseerd door (extra) aanwezigheid hoogwaardige openbare voorzieningen zoals cafés, restaurants, flexibele werklocaties, winkels, bibliotheken, openbaar groen, en bijvoorbeeld ook wasruimtes. Door het delen van deze voorzieningen, is er meer ruimte voor groen, speelplaatsen en ontspanning. Hoogwaardige, publieke voorzieningen zijn binnen 10 minuten te bereiken. Meervoudig ruimtegebruik is het uitgangspunt.

Er is een grotere variëteit aan typen woningen, waardoor de doorstroming in de woningmarkt goed is. Alleenstaande ouderen die in de jaren '20 of '30 een gezinswoning kochten, zijn inmiddels doorgestroomd naar kleinere appartementen.



Afbeelding 4.2.1 Voorbeelden - links: de Waalhoven/Nijmegen - KCAP with Barcode Architects and Lodewijk Baljon Landschapsarchitecten, 2020 en rechts: Stadslandbouw op een groen dak in Rotterdam

ten. Nieuwe collectieve woonvormen hebben voet aan de grond gekregen, niet in de laatste plaats door de investeringen van 'vitale ouderen', ook door specifieke, aantrekkelijke woonvoorzieningen voor minder kapitaalkrachtige jongeren.

Een deel van de (plantaardige) voedselverbouwing vindt plaats in gebouwen, op daken en aan de randen van de stad. Al het groen helpt om de opwarming van de stad in de zomer te dempen en om water beter te bufferen bij hevige regenbuien (zie ook afbeelding 4.2.1). De aanwezige woningen hebben zowel in zomer als winter een comfortabele temperatuur. Vervoeren is gemakkelijk. Wie ergens anders naar toe wil, kan kiezen uit een breed beschikbaar en betaalbaar palet van mogelijkheden, waaronder (elektrisch) openbaar vervoer of (elektrisch) deelvervoer (fiets/auto). De lucht in de stad is schoon en gezond, want er zijn veel minder schadelijke uitlaatgassen, van bijvoorbeeld auto's.

Ook in het landelijk gebied wonen mensen in 2050 prettig. De veeteelt is minder intensief geworden. De boer verbouwt vaker plantaardige voedselproducten en ook andere gewassen als grondstof voor biobased materialen. Het landschap is hierdoor gevarieerder. Op diverse plekken heeft bescherming van bestaande



natuur de voorkeur gekregen. Bossen, bodems, en natte natuur leggen CO₂ maximaal vast⁵⁶. Ook in de dorpen is er focus, net als in de stad, op meervoudig ruimtegebruik. Dorpen hebben vaker een of meer coöperatieve windmolens, mede om het voorzieningenniveau in de kleine kernen te kunnen verbeteren. Lokale experimenten met biogas vinden juist meer in het buitengebied plaats. Openbaar vervoer blijft belangrijk. In het buitengebied zullen elektrische auto's ook een rol hebben.

Nieuwe en bestaande gebouwen hebben laag energieverbruik

Nieuwbouwwoningen en -wijken zijn zo ontworpen dat ze zo weinig mogelijk energie vragen of zelfs energie opleveren. Dit betekent rekening houden met oriëntatie (wind en zon), compactheid en variatie in woningtypen. Nieuwbouw is geconcentreerd in binnenstedelijk gebied en in waterveilige landelijke gebieden (zie afbeelding 4.2.2). In gebieden met (mogelijke) wateroverlast is alleen waterbestendig gebouwd (drijvende woningen, amfibische woningen of woningen met verhoogde woonetages). De infrastructuur buiten en binnen de woning is waterbestendig gemaakt.

De bestaande gebouwen verbruiken veel minder energie. In principe is elk gebouw energiearm, goed geïsoleerd, kierdicht, energiezuinig geventileerd met warmteterugwinning en regelmatig is er een lage temperatuur (LT) warmtevoorziening, die ook voor koeling zorgt. Op (bijna) elk dak liggen zonnepanelen.

De benodigde extra infrastructuur vergt wel ruimte, maar in de wijken ziet men weinig van alle aanpassingen, de meeste extra infrastructuur is netjes geïntegreerd, zoals de buurtbatterijen en laadpleinen voor de elektrische auto's, liggen ondergronds of zijn geïntegreerd in het asfalt (contactloos laden via inductie).



Afbeelding 4.2.2 Nieuwbouw in het landelijk gebied (Blauwestad - Groningen)

4.3. Lokale energiesystemen in 2050

Geïntegreerde systemen met elektriciteit en warmte

In 2050 hebben gebouwen nog maar weinig energie nodig voor warmte, koeling en elektriciteit. Door energiebesparende maatregelen is het verbruik met 50 tot 70% afgenomen⁵⁷. De resterende energie die onze gebouwen en ons lokaal elektrisch vervoer nog verbruiken komt als elektriciteit voornamelijk uit zon op dak en als warmte uit de bodem, oppervlaktewater en restwarmte stromen.

In wijken met een lagere bebouwingsdichtheid domineren de individuele en kleinschalige gemeenschappelijke oplossingen de warmtevoorziening. Deze systemen genereren de benodigde warmte met behulp van elektriciteit (warmtepomp, waar mogelijk in combinatie met zon-PV) en zonthermie (of zon-PVT). Daar waar het kan, wordt een restwarmtebron gebruikt of in enkele gevallen biogas of biomassa.

In gebieden met een dichte bebouwing kan er, naast individuele bronnen, aanvulling zijn van een lokaal LT warmtenet of door een lokaal bronnet, dat is geïntegreerd met het elektriciteitsysteem⁵⁸. Deze systemen kunnen ook koelen. Het ontwerp van warmtenetten kent enige

⁵⁸ Een bronnet is een warmtenet met een zeer lage temperatuur (15-25°C), waarbij een warmteopwekker in ieder gebouw staat, die de warmte uit het bronnet als basis gebruikt. De warmteopwekker is het eindpunt van het net.

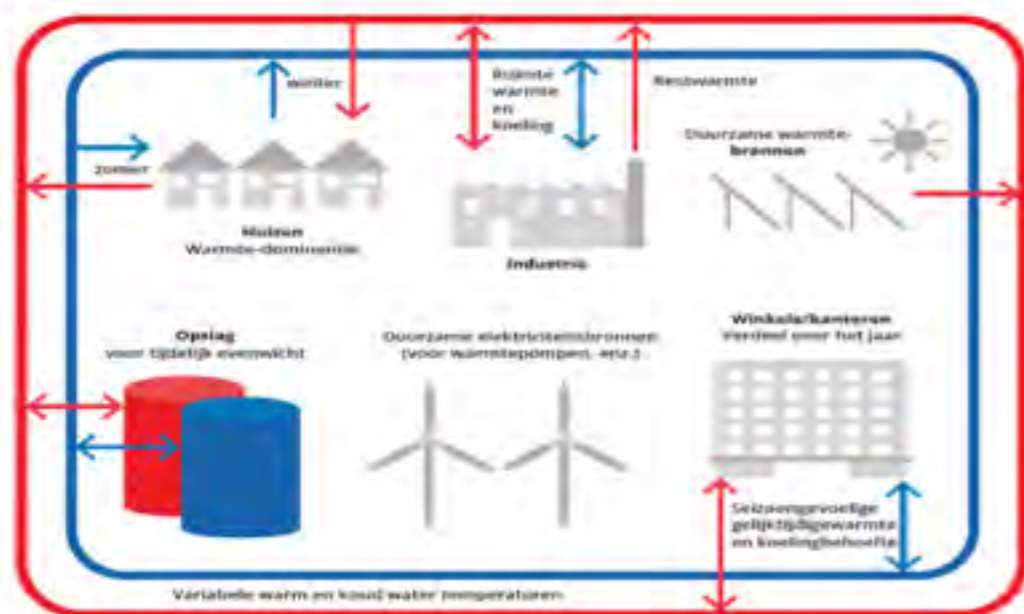
'redundancy', met het oog op robuustheid en de lange levensduur van de energie-infrastructuur en dus niet 'lean & mean'. Er is opslag van zowel elektriciteit als warmte voor de korte en de langetermijn. Overtollige elektriciteit kan worden opgeslagen als warmte en later weer gebruikt. In deze systemen worden vraag en aanbod van energie zorgvuldig op elkaar afgestemd. Wat betreft elektriciteit zijn ze onderdeel van het nationale systeem. Overtollige elektriciteit op nationaal niveau kan bijvoorbeeld lokaal opgeslagen (seizoensopslag zomer/winter) worden, zie ook figuur 4.3.1. De beschikbare accupaciteit van elektrische auto's in de wijk, wordt ingezet voor het balanceren van het elektriciteitsnet. De laadinfrastructuur en de auto's zijn zo uitgerust dat ze bi-directioneel elektriciteit kunnen uitwisselen.

Het voordeel van LT-warmtenetten is dat er veel meer lokale bronnen beschikbaar zijn, zoals aquathermie en restwarmte van supermarkten, ziekenhuizen, kantoren, de metro, de riolering en dergelijke. Een additioneel voordeel van LT-netten is dat ze modulair aangelegd kunnen worden. Het is mogelijk om klein te beginnen en

langzaam maar zeker uit te breiden. Dat verlaagt de risico's, zoals het vollooprisico. Gebruikers hebben de mogelijkheid om actief te zijn: ze kunnen elektriciteit en/of warmte produceren, verhandelen, (samen) opslaan en ze kunnen overtollige elektriciteit omzetten in warmte. Veel daarvan gebeurt automatisch en wordt gedreven door flexibele prijzen. Coöperaties van bewoners spelen daarbij een rol.

Warmtenetten worden aangelegd als ze aantrekkelijker zijn dan all-electric oplossingen. Ze bieden voordelen voor consumenten, onder meer omdat ze elektriciteit kunnen opslaan als warmte. Consumenten zouden daarom onder alle omstandigheden moeten kunnen kiezen tussen een aansluiting op een all electric oplossing.

Hoe de historische binnensteden van energie worden voorzien, is nog niet duidelijk. Mogelijk kan het huidige gasnet worden ingezet voor verwarming met groen gas. Innovaties op het gebied van de productie van groen gas ontwikkelen zich op dit moment al in hoog tempo. Zoveel mogelijk isoleren blijft belangrijk.



Figuur 4.3.1 5GDHC (5e generatie warmte- en koudnet)⁵⁹

Daarnaast blijven daar naar verwachting hogere temperaturen voor verwarming noodzakelijk, met warmtepompen of een warmtenet. Het is op voorhand niet duidelijk hoeveel wijken dan wel huizenblokken all-electric zijn en hoeveel een warmtenet zullen hebben. De voorspellingen lopen uiteen. In Denemarken heeft bijna 70% van de woningen een aansluiting op een warmtenet, in andere landen is dat veel minder. Het zal ook afhangen van de technologische ontwikkelingen op het gebied van de warmtepompen en de warmtenetten.

Voor direct gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving wordt geen rol van betekenis voorzien. De eigenschappen en de prijs van waterstof maken het gebruik alleen verdedigbaar als er geen alternatief is, zoals bij enkele industriële processen waarbij hoge temperaturen noodzakelijk zijn. In de gebouwde omgeving zijn er prima alternatieven: isolatie, warmteterugwinning en warmtepompen.

LT verwarming is vanuit de toekomst geredeneerd goed voorgesorteerd

Er zijn verschillende ontwikkelingen die zorgen dat (zeer) lage temperatuur warmte (LT, oftewel $< 50\text{ °C}$ en ZLT $< 35\text{ °C}$) de beste oplossing vormen voor het toekomstige [energiesysteem](#)⁶⁰.

1. De Europese Unie stuurt met de [EPBD IV](#)⁶¹ op lokale opwekking met lokale duurzame bronnen. Met LT-verwarming kunnen veel meer lokale bronnen worden ontsloten.
2. Aan de aanbodkant leiden CO₂ emissiedoelstellingen of financiële [overwegingen](#)⁶² tot het uitfasen van kolen- en gascentrales in de komende decennia. Deze leveren dan geen HT-restwarmte meer. Deze conventionele bronnen van HT-warmte zullen in de toekomst verdwijnen. Dit geldt ook voor de beschikbaarheid van warmte uit het verbranden van afval in AVI's. Efficiëntere afvalverwerking en recycling leidt tot een reductie in afvalstromen. Ook de industrie levert naar verwachting minder restwarmte. Geothermische bronnen met voldoende hoge temperatuur zijn niet voor geheel Nederland beschikbaar.
3. Aan de gebruikerskant neemt de warmtevraag per woning sterk af door energiebesparingsmaatregelen zoals isolatie en warmteterugwinning. Ook het tapwaterverbruik kent een besparingstendens, bijvoorbeeld door warmteterugwinning. Bij een lagere warmtevraag past een minder hoge temperatuur ($< 50\text{ °C}$) warmtenet dat ook efficiënt kan koelen. Om legionellagroei te voorkomen bij warm tapwater wordt nu nog gebruik gemaakt van periodieke hogere temperatuur verwarmingspieken. Bij LT-netten kan daarvoor een extra voorziening nodig zijn. In de woning is hier ruimte voor nodig. Alternatieve vormen van legionella bestrijding (waterstofperoxide, UV) vormen een mogelijk alternatief.
4. Geïsoleerde woningen hebben een anderwarmte- en koudebehoefteprofiel. Met name de koudebehoefte kan sterk toenemen, doordat huizen in de zomer minder afkoelen. Dit kan voorkomen worden met zonwering en warmtewerend glas, en/of met een geïntegreerd net en een lokale bron (bodem, aquathermie). Zo kan eenvoudig aan koelbehoefte worden voldaan. Dit vergroot de potentie van vijfde generatie warmte-/koude netten (zie figuur 4.3.1).
5. Het vermindert de afhankelijkheid van fossiele brandstof import. Het effect daarvan is een stabielere energieprijis.
6. Duurzaam gas (groengas) uit lokale bronnen is beperkt aanwezig en bovendien beter geschikt voor andere hoge temperatuurfuncties. Slechts een beperkt aantal woningen ($< 10\%$) zal groengas nodig hebben als [warmtebron](#)⁶³.

7. Daarnaast is de total cost of ownership (TCO)⁶⁴ van LT-systemen lager. Er zijn ook minder warmteverliezen.
8. De beschikbaarheid op termijn van collectieve energieopslag voor lagere temperatuur warmte en compacte lokale warmteopslag op basis van thermo-chemische materialen (TCM's) met geen tot weinig verliezen. Deze systemen zijn nu weliswaar nog in ontwikkeling, het expertteam verwacht dat deze technologieën in 2050 zeker beschikbaar zijn.

Inzet van hoge (HT)/midden (MT) temperatuur warmte vindt alleen plaats daar waar dit langdurig en goedkoop voorhanden is en de inzet van LT op te grote nadelen stuit (bijvoorbeeld door te grote aantasting van de monumentale waarde van de betrokken woningen vanwege de benodigde isolatie).

Soms wordt aan een HT-net de voorkeur gegeven om te voorkomen dat er warmte wordt weggegooid. Op de korte termijn kan dat energie besparen. Het vergt echter een hoge investering, waarvan het de vraag is of die toekomstbestendig is. Als de bron wegvalt, kan het netwerk niet meer gebruikt worden, of moet het verlegd worden. Bij isolatie naar nieuwe normen, heeft het netwerk overcapaciteit en dat is inefficiënt. Bij de aanleg van een dergelijk warmtenet dienen deze aspecten in de beschouwing betrokken te worden.

4.4. Toetsing op basis van de ontwerpprincipes

Het ontwikkelpad voor Lokale Energiesystemen is afgezet tegen de drie ontwerpprincipes die het expertteam centraal stelt, te weten rechtvaardig, robuust en duurzaam. Per ontwerpprincipe is op deelaspecten gekeken of er sprake is van een potentieel positieve dan wel negatieve bijdrage, dat heeft geleid tot tabel 4.1.

Rechtvaardig				
11	Procedurele rechtvaardigheid		-/+	Bewoners hebben een stem in de oplossing. Consumer/citizen empowerment nodig. Nodig om te stimuleren/ruimte te geven.
12	Erkennen van eerder onrecht		+	Door snelle uitfasering van de benodigde fossiele energie voor verwarming wordt de kleine kans op toch nog inzetten van Gronings gas bij 'extreme kou'-situaties verder en sneller gereduceerd.
13	Intergenerationele rechtvaardigheid		+	Lokaal beginnen goed mogelijk, lasten niet doorschuiven naar de toekomst.
14	Distributieve rechtvaardigheid	Europese en NL solidariteit	+	Lokaal doen wat je kunt, geeft ruimte voor energie richting andere EU gebieden. Voor voldoende biobased materialen (bouw/isolatie) wel afhankelijk van rest Europa.
15	Betaalbaarheid		+	Mits eerlijke verdeling kosten/baten tussen consumenten en bedrijven regelen. Minder draagkrachtigen moeten worden geholpen.
16	Internationale rechtvaardigheid	Internationale solidariteit en herstellen onrecht	-/+	Positief: geen fossiele energie-import meer, negatief import van materialen (t.b.v. energieproductiemiddelen, bouw en isolatie), goed reguleren anders blijft het negatief.
Robuust				
6	Diversificatie bronnen		+	Positief wat betreft verminderde afhankelijkheid van import van energie, inzet lokale bronnen. Levert risicospreiding en verdere optimalisatie van kosten/baten.
7	Klimaatadaptatie		+	Ontwerp en ruimtelijke indeling houden rekening met waterberging.
8	Veiligheid		-/+	Positief minder afhankelijk buitenland, negatief grotere afhankelijkheid ICT, plus grotere afhankelijkheid elektriciteit.

9	Adaptiviteit	+	LT systemen makkelijk uitbreidbaar. Er kunnen verschillende LT-bronnen gebruikt worden, afhankelijk van de locatie.
10	Leveringszekerheid	+	LT systemen makkelijk uitbreidbaar. Er kunnen verschillende LT-bronnen gebruikt worden, afhankelijk van de locatie. Connectie met centrale infrastructuur voor uitwisseling op de juiste momenten (zowel back-up als kosten/baten optimalisatie). Lokale energiesystemen in gebieden met overstromingsgevaar hebben extra beveiligingsmaatregelen nodig.
Duurzaam			
1	Opwarming van de aarde	+	Positief: de energiebehoefte vermindert en CO ₂ -vrije bronnen worden ingezet. Aan de andere kant ook negatieve invloed van productie van in te zetten installaties/materialen meewegen!
2	Verlies biodiversiteit	+	Verder combineren van functies levert ruimte, meer afwisseling, ruimte voor dieren, insecten. Let op: de nieuwe energievoorziening zelf kost meer ruimte, niet ten koste van groen anders negatieve invloed.
3	Overige (ongewenste) emissies	+	Positief: de energiebehoefte vermindert en CO ₂ -vrije bronnen worden ingezet. Aan de andere kant ook negatieve invloed van productie van in te zetten installaties/ materialen meewegen.
4	Land- en watergebruik	+/-	Extra land- en watergebruik door nieuwbouw. Goed kijken waar het (veilig) kan. Beperken drink-watergebruik, meer opvang en berging van regenwater.
5	Natuurlijke hulpbronnen	+	Niet automatisch positief, nodig op te sturen via bijvoorbeeld regelgeving of normering.

Tabel 4.1. Toepassing Ontwerpprincipes

4.5. Hoe komen we bij het eindbeeld?

De energietransitie in de wijken is een grote opgave, zeker gezien de korte tijd om dit te realiseren. Er is, terecht, veel ongeduld: het gaat te langzaam, het tempo moet hoger. Tegelijkertijd moet er nog veel kennis en ervaring worden opgedaan en dat vertraagt. Een strak beleid is noodzakelijk om te zorgen dat de doelen toch tijdig worden gehaald.

Op weg naar 2050: integrale aanpak

Zoals hierboven al is opgemerkt is een integrale aanpak in de wijken noodzakelijk, waarbij een energieneutrale dan wel energie-arme gebouwde omgeving in 2050 voorop staat en waarbij -indien mogelijk en noodzakelijk- andere sociale opgaven worden meegekoppeld. Dit is ook veel prettiger voor burgers, ze hoeven dan niet keer op keer lastig gevallen te worden.

De overheid versnelt door voor iedere wijk precies aan te geven hoe de energieneutrale dan wel energie-arme eindsituatie in 2050 is, en door mijlpalen te formuleren om daar te komen en door instrumenten te ontwikkelen die ervoor zorgen dat het ook daadwerkelijk kan. Voor nieuwbouw dient uiteraard meteen te worden ingestoken op bouwnormen die passen bij de 2050 doelen. Dit is relevant, zeker gezien ook de omvang van de nieuwbouwplannen binnen de Nationaal Woon- en Bouwagenda van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en [Koninkrijksrelaties](#)⁶⁵.

Een integrale aanpak betekent ook dat burgers een stem (kunnen) hebben in de veranderingen. Cooperaties betrekken de burgers. In andere gevallen, als deze er niet zijn, zal de gemeente het initiatief nemen.

Ontwikkeling van standaardaanpakken

Bij gebouwen gaat het veelal om de woningen van burgers. De energietransitie komt achter hun deur. Uiteindelijk hebben ze er profijt van: het comfort in de woningen neemt toe, vanwege betere isolatie, ventilatie en koeling. Ze kunnen ook zelf produceren en handelen en zijn minder afhankelijk van energie van ver. Het is echter een grote inspanning om er te komen.

Iedere woning en iedere wijk is anders. Er zijn heel veel betrokkenen, met ieder andere belangen, zoals huurders, verhuurders, woningcorporaties, bewoners-eigenaren, burgers in armoede, burgers met een smalle of een ruime portemonnee, mondige burgers en burgers die zich niet willen verdiepen. Daarnaast zijn er bedrijven en andere gebouwen in de wijken, die al dan niet een sleutelrol willen vervullen bij de transitie. Voor iedere wijk is er een variëteit aan oplossingen denkbaar, waartussen gekozen kan worden. Bovendien gaat de techniek vooruit: wat vandaag de beste oplossing is, is morgen mogelijk ingehaald. Vanwege al deze factoren is maatwerk nodig. Wat dat betreft lijkt de energietransitie enigszins op stadsvernieuwing: iedere wijk dient apart bekeken te worden. Er is geen snelle oplossing voor grote gebieden tegelijk. Het is handwerk, woning voor woning, wijk voor wijk.

Er kan wel opgeschaald worden. Dit gebeurt voornamelijk door ervaring, herhaling en standaardisatie. Ieder succesvol project is een voorbeeld voor het volgende en maakt dat ook gemakkelijker. Er zijn vele huizen en wijken die erg op elkaar lijken. Er zullen standaardaanpakken komen, die bij bepaalde soorten huizen of wijken toegepast kunnen worden. De overheid kan de ontwikkeling van standaardaanpakken aanjagen. Dit kan ze onder meer doen door de transparantie te vergroten en door processen en toepassingen zoveel mogelijk te formatteren en te standaardiseren. Dat houdt onder meer in dat businesscases voor de energievoorziening in wijken op pre-

cies dezelfde wijze genoteerd worden, zodat ze onderling vergelijkbaar zijn. Ook kan de overheid ondersteunen met het ter beschikking stellen van modellen en kostencatalogi. Hier is al een begin mee gemaakt.

Een goede leeromgeving is eveneens belangrijk. Van ieder succes en van iedere mislukking kan geleerd worden. Het is belangrijk om dat ook te doen. Dit betekent dat projecten en de lessen, die daaruit getrokken kunnen worden, beschreven worden. Ook daarbij kunnen standaardaanpakken helpen.

Vraagreductie via isolatieprogramma, heldere normering en standaardisatie

Om het 2050 doel effectief te realiseren is allereerst een ingrijpend verplicht isolatieprogramma vereist. In Nederland hebben we al de adviserende 'Standaard en Streefwaarden' voor woningen en de 'Renovatiestandaard' voor utiliteitsgebouwen en de EU schreeft de eisen verder omhoog in de EPBD IV (reducen van de energievraag via normering en verplichting). Het beoogde EU-eindbeeld voor 2050 ([Zero Emission Buildings](#))⁶⁶ past erg goed bij een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050. Dit houdt in dat de energievraag sterk is gereduceerd door isolatie, warmterugwinning en efficiënte opwekking, en er is op locatie geen CO₂-emissie van fossiele brandstoffen voor de gebouwgebonden functies.

Er is daarom een concreet plan nodig voor isolatie van alle woningen tot de eindsituatie van 2050, met duidelijkheid over de normen en mijlpalen. Dan weet iedereen waar hij rekening mee moet houden. Bij deze aanpak van de vraagreductie is ook aandacht nodig voor een toenemende koelvraag in de zomerperiode. Door de klimaatontwikkelingen zal de gemiddelde temperatuur overall toenemen, dus ook in de zomer.

Bestaande woningen isoleren op de 'wijze van vandaag' is lastig, het kost relatief veel tijd en er zijn schaarse specialisten nodig. Het tempo kan omhoog door meer prefab te produceren en een contingentenaanpak in te voeren. Het vergemakkelijkt de isolatieopgave, het gaat sneller, met minder fouten en goedkoper. De overheid kan hier een rol spelen door te zorgen dat de vraag zich snel ontwikkelt, zodat aanbieders zich daarop kunnen richten. Dat kan bijvoorbeeld ook via programma's met woningcorporaties en door zelf launching customer te zijn. Ook hier is standaardisatie het toverwoord.

Ondersteuning is nodig voor alle doelgroepen met passende instrumenten. De inzet bij isolatiemaatregelen is, in ieder geval bij collectief bezit, het zoveel mogelijk in één keer voldoen aan de norm (de benodigde energetische kwaliteit) voor 2050 voor het hele gebouw. Voor individueel bezit zou dit minimaal moeten gelden voor alle bouwdelen die per keer worden aangepakt. Eventueel kan een (extra) bonus daarbij helpen. Uiteraard dient alle nieuwbouw te voldoen aan de 2050 normen.

Stimuleren lokale productie en opslag

Lokale productie van elektriciteit en warmte nemen, ook volgens de EU, een belangrijke plaats in bij de verduurzaming van wijken. Naast de beschikbare lokale bronnen, zoals oppervlaktewater en bodemenergie, kan ook zoveel mogelijk lokale restwarmte worden ingezet, al dan niet in combinatie met warmtepompen. Het gaat dan om lokale restwarmte van winkels, ziekenhuizen, de riolering of de metro en de terugwinning van warmte uit de woningen en kantoren zelf. De inzet van zonne-energie in gebouwde [omgeving](#)⁶⁷, zowel elektrisch als thermisch (netgekoppeld) blijft belangrijk om op lokaal niveau voldoende energieproductie te hebben.

(Collectieve) opslag is een aanjager van lokale productie, want het wordt extra profijtelijk. Bovendien kan opslag van elektriciteit en warmte congestie op het elektriciteitsnet verminderen. Het is dan ook belangrijk om zo snel mogelijk een programma te maken voor de ontwikkeling van opslag en om wettelijke belemmeringen daarvoor weg te nemen.

Wijkbewoners en coöperaties die zelf produceren dienen ook alle mogelijkheden te verkrijgen om deze energie te verhandelen, alleen of samen op te slaan, te delen, of om flexibiliteit te leveren aan elkaar of aan het lokale en landelijke systeem. Wijkvoorzieningen kunnen zo ook een buffer vormen voor overtollige elektriciteit van bijvoorbeeld windenergie. Op dit moment zijn er nog veel wettelijke belemmeringen en kunnen burgers en hun coöperaties nog geen volwaardige rol vervullen in het energiesysteem. Deze dienen zo snel mogelijk weggenomen te worden. Dat geldt ook voor het afschaffen van het salderen. Het is begrijpelijk dat daar een einde aan komt. Consumenten dienen dan wel andere mogelijkheden te hebben om zelf-geproduceerde energie te verhandelen of samen op te slaan. Anders zal het onvermijdelijk leiden tot een vermindering van de lokale productie.

Sociaal ondernemen in de wijk kan van de grond komen als in de wetgeving en fysiek de mogelijkheden hiervoor zijn geschapen. Hiermee heeft deze transitie ook een positieve invloed op de lokale economie en sociale cohesie in de wijk. De energiebedrijven kunnen daarbij een meer dienstverlenende rol vervullen (te regelen via wetgeving).

Mobiliteit en de benodigde infrastructuur kunnen in de gebouwde omgeving worden geïntegreerd. En daarnaast kunnen op die manier de mogelijkheden worden benut, die de accutechnologie biedt voor opslag en balanceren van het elektriciteitsnet.

Ook het actief uitfasen en verbieden van gedateerde technieken en vervuilende verbrandingstechnieken als geisers, gaskachels, CR (Conventioneel rendement)-en VR(Verbeterd rendement)-ketels en twee-takt motoren (brommers etc.) draagt bij. En duidelijkheid over het uiteindelijk beëindigen van de aardgasvoorziening in wijken, maakt dat iedereen, inclusief de kopers van hybride warmtepompen, zich daarop kan instellen.

Prioriteer, vooral op isolatie van huurwoningen met slechte labels

De prioriteit ligt bij het 'laaghangend fruit'. Wat betreft het expertteam liggen die in ieder geval bij onmiddellijke isolatie van de huurwoningen (G en F label gebouwen), zowel particulier als sociaal. Deze zouden voorrang moeten krijgen. Dit zorgt voor verduurzaming en ondersteuning van de huishoudens met de lage(re) inkomens. Zij dragen anders de komende jaren een relatief zware last met een groot energieverbruik door slechte isolatie, hogere energieprijzen en bovendien beperkt comfort in hun woningen. Hiernaast behoren wijken gebouwd vanaf 2002-heden ook tot het "laaghangend fruit", als de isolatiegraad al voldoende is om over te stappen naar een LT- oplossing (voor zover niet al toegepast). Dit zorgt voor kennisopbouw over LT-oplossingen. En neem hiervoor de tijd. De energietransitie in de gebouwde omgeving is complex en de uiteindelijke invullingen zullen vaak via maatwerkoplossingen verlopen. Begin met goede voorbeelden!

- Een speciale doelgroep vormen de eigenaren van monumenten. Maak duidelijk wat zij moeten/kunnen doen. Dat zal vaak maatwerk zijn en overweeg, daar waar nodig en mogelijk, de inzet van groengas voor deze doelgroep.
- Een einddatum voor het gebruik van aardgas voor verwarming en koken, bijvoorbeeld in 2040, schept voor iedereen duidelijkheid en prikkelt tot actie.

- Daarnaast zijn transparantie, standaardisatie, leren en delen van kennis essentieel om opschaling en de ontwikkeling van standaardpakketten aan te jagen.
- Eenvoud bij subsidiëring hoort daar ook bij. Subsidies dienen toe te werken naar het eindresultaat in 2050, dat vraagt een heroverweging. Stroomlijning is noodzakelijk.

Betere afstemming bij de ruimtelijke ordening

De ruimtelijke inrichting in de werk- en leefomgeving dient afgestemd te worden op het klimaatdoel, zowel wat betreft gebouwen, mobiliteit, recreatie, dieet, verbeteren biodiversiteit, natuurinclusiviteit en consumptie. Door daarbij aan de slag te gaan met een gebiedsgerichte aanpak, wordt sub-optimalisatie per deeldoel voorkomen.

Daarbij is aandacht nodig voor het (tijdig) inpassen van opslag en conversie tussen/onder bebouwing bij zowel nieuwbouw als in de bestaande bouw, al dan niet met inzet van meervoudig ruimtegebruik. Denk aan grotere elektriciteitshuisjes, eventuele collectieve warmtepompen, collectieve warmteopslag etc.. De verschillende benodigde functies in een werk- en leefomgeving worden dichterbij elkaar gebracht, om bijvoorbeeld restwarmte beter te kunnen benutten.

De infrastructuur wordt zo ingestoken dat die groene mobiliteit stimuleert. Een dergelijke infrastructuur is van start- tot eindpunt voor consumenten aantrekkelijk en veilig. Bij bijvoorbeeld de planning van (nieuwe) wijken wordt veel rekening (ruimte) gehouden met veilige fietspaden en goede (overdekte) fietsstallingen met faciliteiten. Nieuwe infrastructuur past netjes in het straatbeeld en in de niet-stedelijke gebieden verstoort het niet de beleving van het landschap.

Voor gebieden die een veiligheidsrisico hebben voor (toekomstige) wateroverlast zal een plan

worden gemaakt over de potentiële gevolgen daarvan voor de energie-infrastructuur en hoe deze infrastructuur daar waterbestendig kan worden gemaakt.

4.6. Knelpunten en enabling conditions

Om daadwerkelijk te komen tot de lokale energiesystemen is er ook voldoende aandacht nodig voor de relevante knelpunten en de bijbehorende oplossingsrichtingen. De belangrijkste knelpunten op weg naar de beoogde lokale energiesystemen zijn:

1. Er is nog steeds vooral sprake van een top-down aanpak die erg vrijblijvend is. Deze aanpak zet bewoners/gebouweigenaren niet in hun kracht.
2. Niet alle huishoudens zullen op eigen kracht mee kunnen komen in deze transitie.
3. Het bijbehorende beleid is versnipperd en de aansturing verdeeld over diverse ministeries.
4. De energievoorziening in de wijken wordt niet integraal bekeken, maar in partjes, waarbij aardgasvrij of warmtenetten doelen op zichzelf zijn geworden, die niet in het bredere verband staan. Het is vooral een afweging tussen de mate van isolatie en de toepassing van HT-warmte. Er zijn veel verschillende subsidie-regelingen, met elk andere voorwaarden en andere toepassingsmogelijkheden.
5. Er is een duidelijk landelijk 2050 doel gedefinieerd, maar bij de te formuleren tussenstappen (ook op lokaal niveau) voor bijvoorbeeld 2030 en 2040 wordt daar niet altijd van uitgegaan. Er is nog geen datum bepaald waarop het gebruik van aardgas voor verwarming en koken definitief is uitgefaseerd.
6. De toekomstige situatie met lokale energiesystemen vraagt om een grote mate van slimme aansturing en daarmee van voldoende onderlinge datadeling. Om effectief te zijn zullen voldoende mensen mee moeten willen doen.

7. De weg naar de lokale energiesystemen is arbeidsintensief. Zonder verdere bijsturing zijn er onvoldoende arbeidskrachten om de klus op tijd te klaren.
8. Er is geen snelle uniforme transitieroute, er is bijna altijd sprake van maatwerk. Dit wordt nog onvoldoende onderkend.
9. Er zijn nog veel wettelijke belemmeringen voor burgers en coöperaties om een volwaardige rol te kunnen spelen op de energiemarkt.
10. Bij het verlagen van de energievraag van gebouwen moet ook rekening gehouden worden met energetische milieu-impact van de inzet aan (extra) materialen.

Het expertteam hanteert het perspectief van de zes enabling conditions, te weten Governance, Innovatie, Gedragsverandering, Financiële systeemverandering, Beleidsinstrumenten en Institutionele capaciteit. In paragraaf 4.5 zijn mogelijke oplossingen voor het merendeel van de bovenstaande knelpunten al aan de orde gekomen. Een aantal specifieke zaken wordt hieronder nog nader toegelicht.

'Iedereen aan boord'

Naast stimulering van de gewenste transitie, zal de overheid er ook voor moeten zorgen dat iedereen daarin mee kan komen. Zo zullen bijvoorbeeld alle huishoudens in staat moeten zijn om hun woning tot minimaal de noodzakelijke isolatienorm voor 2050 aan te passen. Bij een aantal huishoudens en woningcorporaties vormt het financiële aspect daarbij een belangrijk aandachtspunt, maar dat mag geen belemmering zijn om iets te doen. Zie de Energietransitie als de nieuwe "Deltawerken" met de financiering en instrumenten daarvoor.

Vanuit het perspectief van een rechtvaardige energietransitie stelt het expertteam verder voor, onderzoek te doen naar de doelmatigheid van een progressieve belasting op energie boven

een vraag die past bij een 'normaal' huishouden rekening houdend met de aanwezige energiedrager voor verwarming (gas, warmtenet, hybride, all-electric). Dit geeft meteen ook een stimulans voor de verdere reductie van de niet-gebouwgebonden energievraag.

'Comfort bij transitie'

Een deel van de huishoudens gaat zelf aan de slag met de noodzakelijke transitiestappen voor hun woning. Dat is echter geen vanzelfsprekendheid voor alle huishoudens. Inzetten op 'comfort bij transitie' is nodig om de transitie succesvol te realiseren. Het ontzorgen van deze huishoudens bij energie besparen/het verduurzamen van hun woning is daarbij belangrijk. De focus voor ontzorgen dient daarbij zowel op het financiële aspect als ook op het beperken van de 'gedoefactor' te liggen. Het is wenselijk dat onderzocht wordt welke ruimte in wet- en regelgeving hiervoor nog nodig is. Verder zal er aandacht dienen te zijn voor de sociale cohesie om gentrificatie tegen te gaan. Daarnaast kan het voor bewoners stimulerend zijn, als in elke buurt de transitie en de invulling ervan zichtbaar wordt gemaakt, met bijvoorbeeld voorbeeldwoningen op wijkniveau. Een verdere les komt uit de stadsvernieuwing. Voor een succesvol verloop, moeten mensen binnen hun eigen buurt naar een verbeterde woning kunnen. Bijvoorbeeld via een roulerend systeem. Tot slot voorkomt stroomlijning van subsidies dat iedere keer een ander potje met andere voorwaarden aangesproken dient te worden.

Slimme integrale energiesystemen als standaard

Om lokale energiesystemen optimaal te laten werken wordt een slim integraal digitaal energiesysteem verder doorontwikkeld. Dat betekent meer 'slimheid' in het lokale energiesysteem en datadeling door alle betrokkenen. Dit datadelen zal zorgvuldig moeten gebeuren in verband met privacyaspecten rond het datadelen en het

(potentiële) gebruik van deze data door derden. Deze zaken moeten goed en zorgvuldig worden geborgd via o.a. wetgeving en sturing. Ook de ICT-omgeving zal veilig genoeg moeten zijn om een veilige ononderbroken werking te garanderen.

Beschikbare praktisch geschoolde arbeidskrachten

Om de beoogde transitie mogelijk te maken zijn veel arbeidskrachten nodig, bij zowel de gemeenten, adviesbureaus, netbeheerders, bouwers en installateurs. Die zijn er nu onvoldoende beschikbaar. Via werving en opleiding zal hier hard aan getrokken moeten worden. Misschien moeten zelfs bepaalde sectoren, wat betreft personeel, als cruciaal worden benoemd vanwege het belang van de achterliggende maatschappelijke opgaven.

Daarnaast moet zwaar worden ingezet op het uitgebreid delen van ervaringen, het gezamenlijk op doen van kennis en het verder doorvoeren van innovaties om op die manier de benodigde hoeveelheid arbeidskrachten zoveel mogelijk te minimaliseren.

CO₂ impact van materiaalgebruik meenemen

Het terugbrengen van de energievraag bij gebouwen en woningen gaat gepaard met een sterke toename van het materiaalgebruik (in de vorm van isolatie, HR-glas, warmtepomp, etc.). Dit extra materiaalgebruik vergt ook grote hoeveelheden energie in de productieketen. Om de CO₂-uitstoot netto te verlagen moet de CO₂-uitstoot in de keten (productie, transport en bouw) ook omlaag. Biobased materialen en circulaire inzet van materialen helpen daarbij

4.7. Aanbevelingen

Dit alles leidt tot de volgende aanbevelingen vanuit het expertteam:

- Alle plannen en investeringsbeslissingen in wijken worden getoetst aan een – zo mogelijk – energieneutrale toekomst in 2050. Dit betekent dat de gehele energievoorziening (koude, warmte incl. isolatie, elektriciteit en mobiliteit) daarbij centraal staat, en niet de aspecten, zoals isolatie, aardgasvrij of een warmtenet als doel op zichzelf. Het gaat om een geheel, waarbij netto zo min mogelijk energie wordt gebruikt. Ingrepen op het gebied van energie worden daarbij steeds direct gekoppeld met de ruimtelijke en sociale aspecten. Neem daarbij de klimaatneutrale situatie in 2050 als uitgangspunt en werk daarnaartoe. Voorkom een fossiele lock-in. Bepaal een datum, bijvoorbeeld 2040, waarop aardgas niet langer ingezet mag worden voor de energievoorziening in de gebouwde omgeving.
- Verlaag de energievraag via normering en verplichting. Ook het beoogde EU eindbeeld 2050 schrijft voor dat gebouwen in 2050 nog maar weinig energie verbruiken. Laat het einddoel en het tijdpad tot 2050 zien, inclusief de steeds strengere normen. Stimuleer belanghebbenden om zo veel mogelijk in één stap naar de maximale energetische kwaliteit te gaan voor het hele gebouw (bij collectief bezit) of het aan te pakken gebouw of delen daarvan (bij individueel bezit). Maak het aantrekkelijk (regelgeving/instrumenten) voor bewoners, bedrijven en corporaties, om daar direct naar toe te werken. Dit levert een technisch haalbare reductie van 70% voor ruimteverwarming en warm tapwater. Volgens de 'Paris proof energierantsoen'-methode is er in Nederland 360 PJ beschikbaar⁶⁸ aan energie voor de gebouwde omgeving. Ten opzichte van het huidige energieverbruik betekent dit een besparing van 60-70% aan energieverbruik.

- Isoleer slecht geïsoleerde woningen in collectief bezit in hoog tempo, veel hoger dan tot nu toe het geval is. Daarmee worden meteen stappen gezet t.a.v. energiearmoedebestrijding en innovatie. Als veel woningen tegelijk worden verbeterd, kunnen ondernemingen het aanbod industrialiseren, waarbij kant en klare pakketten op de bouwplaats worden gemaakt. Hierdoor dalen de kosten en zijn ook minder arbeidskrachten noodzakelijk.
- Stimuleer, zoals Europa ook eist, lokale productie van energie. Stimuleer ook dat er voldoende opslagcapaciteit is voor de korte termijn alsook seizoensopslag van elektriciteit en warmte.
- Focus op verwarmingssystemen die met LT werken. Deze systemen zijn toekomstbestendiger dan hoge temperatuursystemen. LT-systemen beschikken over meer bronnen en maken een efficiëntere toepassing van een warmtepomp mogelijk.
- Zorg dat burgers zo snel mogelijk een waardige partij ('handelende prosumenten') kunnen zijn op de energiemarkten, waarbij zij flexibiliteit kunnen leveren, kunnen handelen in energie, bijvoorbeeld met de burens, en ook samen kunnen opslaan. Flexibele prijzen per uur kunnen hierbij helpen. Maak de weg vrij voor coöperaties. Schep mogelijkheden in de wetgeving en fysiek voor sociaal ondernemen in de wijk. Dit heeft ook een positieve impact op de lokale economie, de acceptatie van de energietransitie en het vergroot de sociale cohesie. Hierdoor verandert ook de rol van energiebedrijven, van verkopers van energie naar dienstverleners voor (groepen) burgers.
- Maak de voordelen van energietransitie zichtbaar. Dat kan met voorbeeldwoningen op wijkniveau die inzichtelijk maken hoe comfortabel een woning na renovatie is. Deel ter inspiratie beelden en ervaringen over goede projecten, zoals de wijk Lombok in Utrecht en de Weense wijk Sonnwendviertel.
- Zorg dat iedereen mee kan komen met de energietransitie en zorg dat bewoners een stem hebben in de keuzes op lokaal niveau.
- Stuur met de vormgeving en inrichting van nog aan te leggen infrastructuur, het gedrag van mensen richting gewenste invulling aan mobiliteit.
- Het terugbrengen van de energievraag bij gebouwen gaat gepaard met een sterke toename van materiaalgebruik. Stimuleer daarom biobased en circulaire toepassingen op dit gebied en treedt op als launching-customer voor innovaties.

ENERGIESYSTEEM 2050

Rechtvaardig, duurzaam en robuust

2050

Koolstof

Elektriciteit & waterstof

Lokale energie-systemen



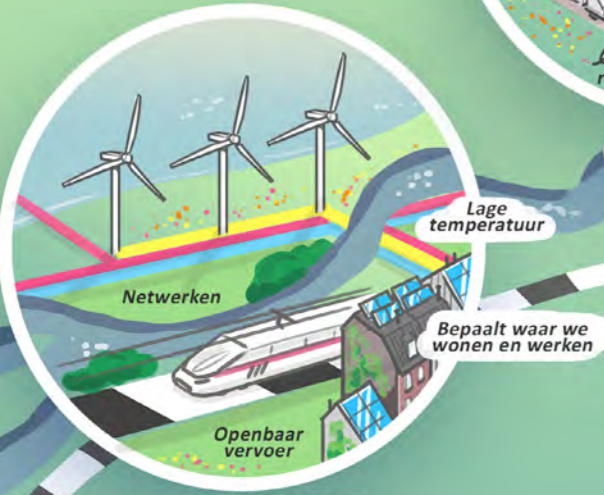
2050 is het uitgangspunt



Stiller, schoner, socialer en groener



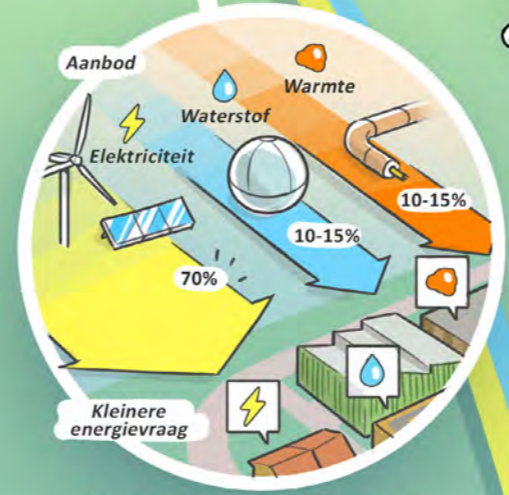
Een andere industrie



Infrastructuur is sturend



Lokaal energieneutraal

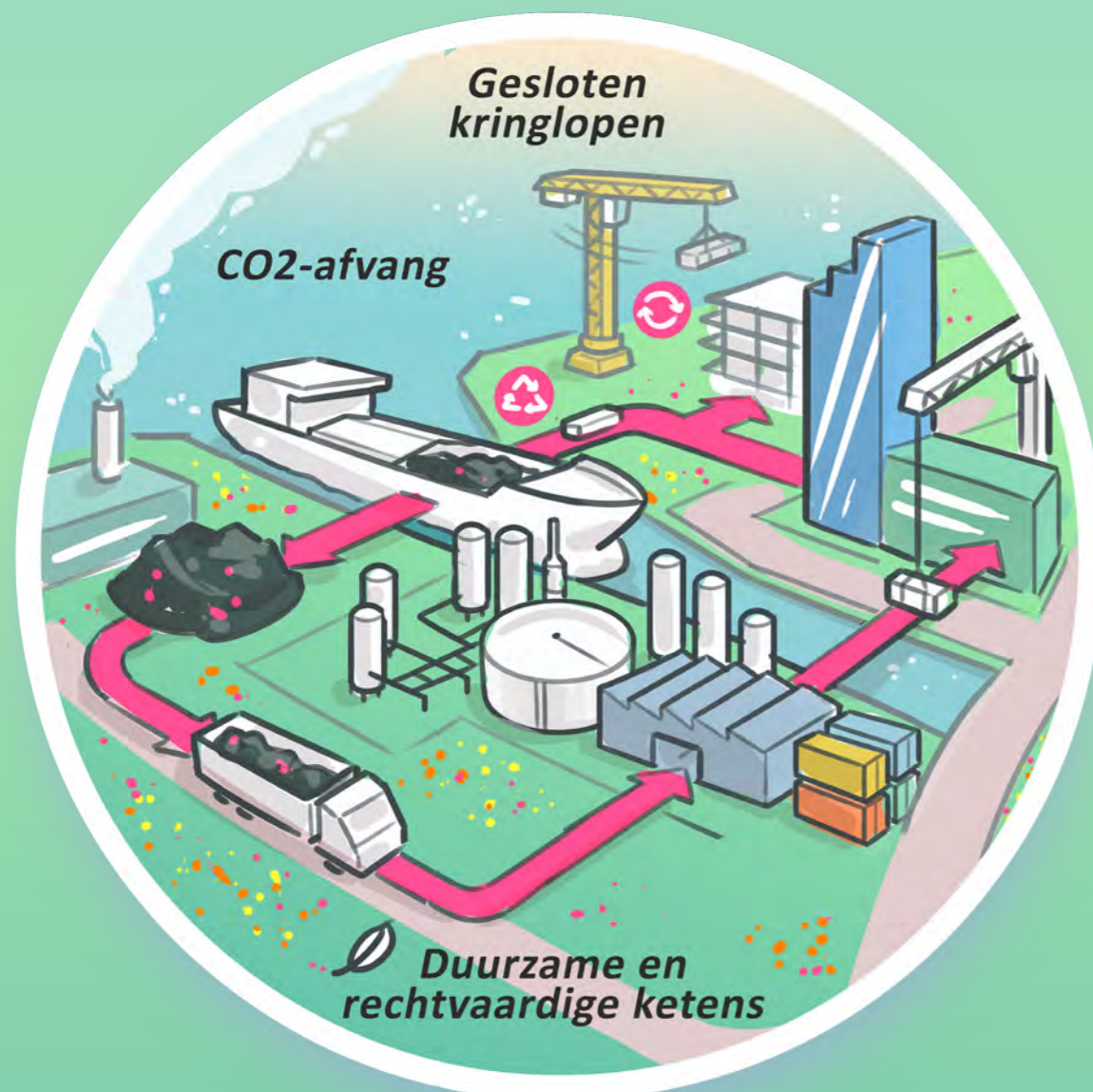


Elektriciteit loopt voorop



Samenleving centraal

5. Nieuwe koolstofketens in de industrie



Een andere industrie

5.1. Inleiding

In 2050 zal de Nederlandse industrie er, hoe dan ook, anders uitzien dan nu. Het is waarschijnlijk dat het gebruik van fossiele brandstoffen beperkt of zelfs geheel uitgefaseerd is, door autonome mondiale ontwikkelingen maar ook door klimaat- en circulariteitsbeleid. De competitieve voordelen veranderen nu al sterk zonder Gronings [gas](#)⁶⁹, en er zullen in de komende decennia nieuwe veranderingen komen. Het is onvermijdelijk dat de toegevoegde waarde in Nederland tenminste deels via andere producten zal worden [gerealiseerd](#)⁷⁰.

Tegelijkertijd zal de vraag naar koolstof voor een breed scala aan producten niet verdwenen zijn. Omdat fossiele bronnen grotendeels of zelfs helemaal wegvallen, is het noodzakelijk dat de koolstof ergens anders vandaan komt. Dat kan hergebruikt materiaal (gerecycled plastic), biomassa, of afvang uit de lucht zijn. Deze verschuiving van koolstofbronnen heeft invloed op de energievraag en de import, en duurzaamheid van grondstoffen. Vanuit duurzaamheidsoogpunt is het belangrijk dat een vermindering van energie-intensieve industriële activiteit in Nederland niet leidt tot hogere emissies elders. Hiernaast is de internationale context van Nederlandse productie belangrijk. Als Nederland groene waterstof moet invoeren om de huidige Nederlandse productie in stand te houden, is het ook mogelijk dat het land waar de waterstof vandaan komt zelf die halfproducten of producten gaat maken. Het is zowel energetisch als economisch onvoordelig om waterstof per schip over grote afstanden te vervoeren, en het is mogelijk dat het waterstof-exporterende land meer voordeel heeft bij het ontwikkelen van een lokale industrie dan bij export van ruwe [grondstoffen](#)⁷¹. In dit hoofdstuk worden de dilemma's verkend op basis van bestaande eindbeelden en ontwikkelpaden voor vier energie-intensieve industrie-sectoren die momenteel grotendeels op fossiele brandstoffen draaien en alle een grote uitstoot

hebben: ijzer en staal, raffinage, (petro)chemie en kunstmest. Samen vertegenwoordigen deze sectoren ongeveer 80 procent van de huidige finale industriële [energie- en grondstoffenvraag](#)⁷². Voor iedere industriële sector wordt de huidige stand van zaken, marktvooruitzichten en transitiebeelden besproken. Elke schets wordt gevolgd door 1) een ontwikkelpad zoals dat zich lijkt af te tekenen in de huidige plannen en ontwikkelingen, en 2) een ontwikkelpad dat tot een significant lager energie- en grondstoffengebruik zal leiden, maar waarbij (eind)productie voor Nederland behouden wordt. Voor dit ontwikkelpad is mede gebruik gemaakt van beleidsinterventies en beleidskaders die nog volop in ontwikkeling zijn. De varianten zijn gekozen om de dilemma's zichtbaar te maken, en vertegenwoordigen niet een bandbreedte of meest waarschijnlijke ontwikkeling. Na de ontwikkelpaden volgt een reflectie vanuit de ontwerp-principes en de enabling conditions. Hiermee wordt duidelijk wat de voor- en nadelen van de ontwikkelingspaden zijn en wat nodig is om deze te kunnen bereiken. Het hoofdstuk sluit af met aanbevelingen.

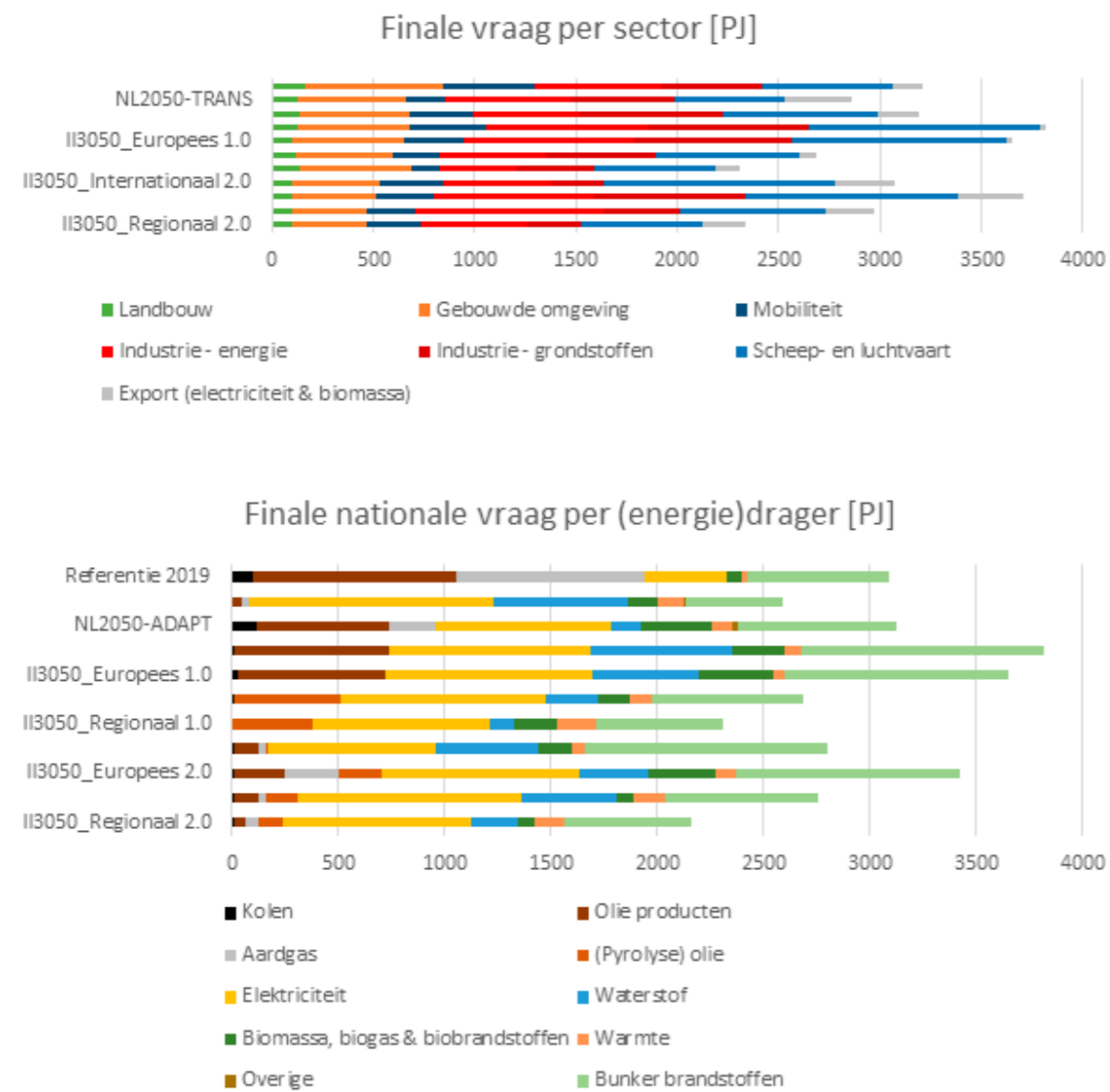
Een robuuste conclusie is dat er een energie- en koolstofvraag blijft, en dat het grote voordelen zou opleveren als circulariteit een veel grotere rol gaat spelen als bron van koolstof. Vergelijkbare voordelen kunnen behaald worden door een gedragsverandering bij zowel de producenten als de consumenten in Nederland, gericht op een lager gebruik van energie en materialen. Op dit moment schiet het Nederlands beleid op circulariteit en gedragsverandering nog [tekort](#)⁷³. Om een duurzaam, robuust en rechtvaardig Nederlands energiesysteem te realiseren zijn sturende keuzes voor de circulaire economie onvermijdelijk. Om tot een klimaatneutrale industrie in 2050 te komen is van de overheid maatwerk nodig, niet op basis van de industrie van nu, maar op basis van een industrievisie voor de periode 2040-2045 en verder.

5.2. Eindbeelden

Dit hoofdstuk verkent uitdagingen en dilemma's naar een klimaatneutrale industrie en bijbehorende koolstofvraagstukken. Hiertoe wordt eerst kort een overzicht van bestaande systeemstudies voor Nederland 2050 besproken, gevolgd door een nadere verkenning van vier sectoren in de industrie. Gezamenlijk omvatten deze sectoren 80 procent van de energie- en grondstoffenvraag voor hun rekening.

5.2.1. Overzicht systeemstudies

Dit hoofdstuk start met de eindbeelden in de notitie in de tussenrapportage van [ETES2050](#)⁷⁴. Het expertteam heeft daarin twee scenario's verkend die een belangrijke rol vervullen in nationale energiesysteemanalyse: de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (hierna I13050 1.0) en de TNO-studie 'Naar een duurzaam energiesysteem voor Nederland in 2050' uit 2022



Figuur 5.1: overzicht van sectorale finale vraag naar energie en grondstoffen in PJ (boven) en het aanbod van primaire energie in PJ (onder) in 2019, ADAPT & TRANSFORM en de I13050 scenario's. De oorspronkelijk aangeleverde data voor I13050 2.0 bevatten geen gegevens voor bunkering, dus die zijn aangevuld op basis van I13050 1.0.

(hierna NL2050). De beelden hieruit zijn vervolgens aangevuld met de tussentijdse resultaten uit de binnenkort te verschijnen herziene versie van de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (hierna I13050 2.0).

Figuur 5.1 beschrijft per sector de finale vraag naar energie en grondstoffen en naar drager en naar sector energie in deze energiesysteemscenario's. Figuur 5.1 (boven) laat zien dat de energie- en grondstoffenvraag qua volume in de industrie in de verschillende systeemstudies sterk uiteenloopt. Ongeveer 35 tot 40 procent van de finale vraag komt voort uit de industrie, met een min of meer evenredige verdeling naar energie en grondstoffen. Daar voegt de vraag naar bunkerbrandstoffen nog 30 procent aan toe. Slechts 30 procent van energie- en grondstoffengebruik vindt plaats in alle andere sectoren. Vanwege het grote petrochemische cluster neemt Nederland hiermee binnen Europa een uitzonderingspositie in. Dit schetst het belang van de industrie in de Nederlandse energietransitie.

Verder verschillen de scenario's ook sterk in naar drager en naar sector van energie (Figuur 5.1, onder). De figuur beschrijft de dilemma's als gevolg van en aantal scenariokeuzes:

- In het TRANSFORM scenario wordt 95 procent van de bunker behoefte ingevuld met in Nederland geproduceerde hernieuwbare brandstoffen en 90 procent van de chemicaliën uit niet-fossiele koolstof. In de berekeningen is uitgegaan van beperkte import van biomassa (gelijk aan ongeveer een zesde van de huidige energie import via aardolie) en waterstof (geen import). Resultaat is dat de hernieuwbare brandstoffenproductie een grote hoeveelheid elektriciteit uit wind op zee vergt, zodat het Nederlandse technisch potentieel voor wind op zee in het scenario tekortschiet. Daarom zijn er aanvullend kerncentrales nodig. Ook wordt de import van biomassa gemaximeerd voor productie van biobrandstoffen en de

koolstofbehoefte voor synthetische brandstoffen. Dit schetst de uitdaging die vervanging van bestaande netto import van aardolie en olieproducten met zich meebrengt; deze vertegenwoordigen ongeveer de helft van het volledige finale energiegebruik in Nederland.

- In het ADAPT scenario wordt 50 procent van de bunkerbehoefte ingevuld met in Nederland geproduceerde hernieuwbare brandstoffen. Resultaat is dat de brandstoffenbehoefte dan ook voor de helft fossiel wordt ingevuld, met uiteraard bijbehorende CO₂-emissies als gevolg. Dit scenario past dan ook niet in een klimaatneutraal beeld voor 2050. Het schetst de urgentie van noodzakelijke beleidsontwikkeling voor emissiereductie in de internationale lucht- en scheepvaart.
- In het internationale en Europese scenario I13050 1.0 is gekozen voor voortzetting van aardolie als grondstof voor raffinage en dus voor de geproduceerde brandstoffen en nafta. In deze scenario's worden de fossiele brandstoffen geëxporteerd. Ook fossiele plastics uit nafta worden grotendeels geëxporteerd en genereren zo afvalstromen in binnen- en buitenland. In binnenland wordt CO₂-afvang en -opslag (Carbon Capture and Storage, kortweg CCS) verondersteld. In buitenland kan dit via afvalverbranding leiden tot significante CO₂-emissies.
- In het regionale en nationale scenario I13050 1.0 is gekozen voor inzet van pyrolyse olie als grondstof voor raffinage en de achterliggende productie van plastics. Pyrolyse olie wordt geproduceerd uit plastics door sterke verhitting, gewoonlijk door verbranding van andere (fossiele) bijproducten van het proces (met bijbehorende CO₂-emissies). Als alternatief kan de hitte uit bijvoorbeeld waterstof of biomassa worden gerealiseerd, wat dan weer een significante behoefte aan hernieuwbare energie met zich meebrengt. In de studie wordt op deze dilemma's niet nader ingegaan.

- In het Europese en nationale scenario IJ3050 2.0 wordt sterker ingezet op productie van synthetische brandstoffen. Deze productie vergt zeer veel (hernieuwbare) energie, hiervoor is grootschalige import van waterstof en biomassa noodzakelijk. Het alternatief is een groot beslag op het technisch potentieel voor binnenlandse hernieuwbare elektriciteitsproductie.

De volgende secties verkennen de industriële subsectoren die een grote energie- en grondstofvraag kennen: ijzer en staal, raffinage, chemie en kunstmest. Daarbij is gekeken naar de internationale context, de marktontwikkelingen, de energietransitieperspectieven en naar twee sectorale ontwikkelingspaden. Het eerste ontwikkelingspad zoals dat zich op basis van de huidige trends lijkt te gaan ontvouwen, en de het tweede ontwikkelingspad waarin meer sturing via beleidsinterventies wordt toegepast.

5.2.2. IJzer- en staalproductie

Tata Steel Nederland IJmuiden (hierna TSN) produceert jaarlijks ongeveer 7 megaton (hierna Mt) aan staal uit ongeveer 16 procent schroot en voor het overige ijzererts. Bij hogere recyclingpercentages komen kwaliteitseisen met betrekking tot het eindproduct in het gedrang. TSN produceert alleen plaatstaal, in uiteenlopende soorten van afwerking en kwaliteiten. TSN zette in 2018 ongeveer 32 procent af in de auto-industrie, 22 procent in bouwproducten, 13 procent voor verpakkingen en 32 procent in overige producten. Ongeveer 80 procent wordt in de EU28 afgezet. De 20 procent afzet buiten de EU28 betreft vooral [verpakking](#)^{75,76}.

Marktvooruitzichten

Wereldwijd vormen Azië (vooral China), de EU en Noord Amerika grote markten die goeddeels kunnen voorzien in hun eigen behoefte, al is er sprake van handelsstromen op specifieke produc-

ten. Export van ijzer en staal vanuit de EU27+VK was de afgelopen 20 jaar netto positief en meestal onder de 10 procent⁷⁷ van de Europese productie. Door de EU27+VK geïmporteerd staal is voornamelijk staal van laagwaardige kwaliteiten. De wereldwijde staalproductie wordt voor 30 procent gewonnen uit schroot en voor 70 procent uit erts. Naar verwachting van het IEA groeit de eindverbruikersvraag wereldwijd van een huidige 1,5 Gt met 40 procent tot 2,1 Gt in 2050, met name in opkomende [markten](#)⁷⁸.

Afgezien van 2020 was de productie in de EU27+VK het afgelopen decennium stabiel. Recente materiaalstroomanalyse van het Europese ijzer- en [staalgebruik](#)⁷⁹ suggereert dat hier sinds de kredietcrisis vanaf 2007 verzadiging van staal in de gebruiksfase is opgetreden; het totale staalgebruik in de EU27+VK ligt sindsdien op 5.600 Mt. In de decennia naar 2050 vraagt de energietransitie om staal, zoals voor infrastructuur en industriële machines. Voor 70 GW wind op zee in Nederland in 2050 zou jaarlijks ongeveer 0,7 Mt staal nodig zijn, ongeveer 15 procent van de huidige Nederlandse vraag. Bovendien streven enkele van de grotere turbineleveranciers naar toepassing van 10 procent groen staal in 2030.

Het Europese klimaatbeleid kan voor emissie-intensieve sectoren leiden tot weglekeffecten door toenemende productiekosten. Met weglek wordt bedoeld dat koolstofintensieve productie verplaatst kan gaan worden naar landen buiten de EU27 met een minder streng klimaatbeleid. Naarmate de aandacht voor klimaatbeleid elders minder is, neemt dit risico toe. Om dergelijke effecten te beperken heeft de Europese Commissie eind 2019 voorgesteld om een CO₂-grensmechanisme (Carbon Border Adjustment Mechanism, kortweg CBAM) in te voeren. Bij een Europese CBAM zal een tarief geheven worden op basis van de broeikasgasemissies die volgen

uit de productie voor bepaalde geïmporteerde producten die buiten de EU zijn gemaakt, zodat producenten van buiten de EU vergelijkbare emissiekosten worden toegerekend als de Europese. Dit mechanisme beschermt de afzetmarkt binnen de EU27 tegen klimaat-technisch laagwaardige producten, maar dat geldt niet voor afzet buiten de EU27. Ondanks de beperkte netto export van de Europese ijzer- en staalindustrie naar landen buiten de EU27 concludeert recente analyse dat de ijzer- & staalindustrie in Nederland relatief gevoelig is voor weglekeffecten vanwege export naar niet-EU-landen, onder verwijzing naar exporten naar het [Verenigd Koninkrijk](#)⁸⁰.

Transitiebeeld

Technisch gezien zijn er verschillende routes voor de ontwikkeling van klimaatneutrale [staalproductie](#)⁸¹. In de eerste plaats kan ijzerproductie geëlektrificeerd worden, waarbij ijzererts elektrochemisch wordt gereduceerd tot ijzer. Dit proces is nog in ontwikkeling en er liggen grote uitdagingen in de opschaling. Het geproduceerde ijzer wordt verder tot staal verwerkt in een elektrische vlamboogoven (Electric Arc Furnace - EAF). Een tweede alternatief is indirecte elektrificatie (elektrificatie via groene waterstof). Groene waterstof wordt dan toegepast bij de productie van direct reduced iron (DRI); ijzererts wordt hierbij gereduceerd tot ijzer door waterstof te gebruiken in plaats van koolstof. Het DRI-proces met aardgas wordt al langer toegepast, terwijl grootschalige productie van DRI met waterstof naar verwachting ruim voor 2030 mogelijk wordt. Bij gebruik van waterstof levert dit proces waterdamp op in plaats van CO₂-rijk hoogovengas. Ook in dit geval wordt het geproduceerde ijzer verder verwerkt in een EAF. Productie zou ook beperkt kunnen worden tot staalproductie, door import van "groene" ijzerbriketten die per schip naar Nederland worden vervoerd en in een EAF worden verwerkt. Tot slot kan ook CO₂-afvang en -opslag (Carbon Capture and Storage, kortweg CCS) worden

toegepast op de hoogovens (al dan niet in combinatie met processen met andere CO₂-emissie reductietechnieken, bijvoorbeeld in combinatie met [Hlsarna](#)⁸²) en op DRI op aardgas.

Vorig jaar besloot TSN tot een gefaseerde inzet van [DRI-EAF](#)⁸³. De haalbaarheidsstudie voorziet in de eerste fase, tot 2030, in een vervanging van een productielijn door een DRI-installatie en een EAF voor 2,5 Mt aan staalproductie. In deze eerste fase zou dan een derde van de huidige productiecapaciteit worden omgebouwd. In de genoemde studie wordt opgemerkt dat er bij aanvang mogelijk onvoldoende (kosteneffectieve) groene waterstof beschikbaar is, en de DRI in eerste instantie grotendeels zal werken op aardgas. Zodra (groene) waterstof beschikbaar is, kan de DRI werken op een mix van aardgas en waterstof. TSN voorziet ten minste 20 procent aardgas te blijven gebruiken in de eerste en tweede fase, in verband met behoefte aan koolstof als grondstof voor het 0,2 procent koolstofgehalte van staal. In een tweede fase tussen 2030 en 2040 zou de tweede productielijn dan vervangen kunnen worden door een nieuwe DRI-EAF met een capaciteit van 3,5 Mt per jaar. Zo nodig kan tussentijds CCS worden toegepast op de DRI, waarbij ongeveer 60 procent van de CO₂-uitstoot van de installatie op aardgas kan worden afgevangen zonder grote aparte [afvanginstallatie](#)⁸⁴. In de periode na 2040 zou het aardgas volledig vervangen worden door groene waterstof. Naast CO₂-emissiereductie verminderen ook lokale emissies die tot gezondheidsproblemen leiden. Deze route laat bovendien ook toe om hogere recyclingpercentages toe te passen, en zo gebruik te maken van gunstige prijsontwikkelingen op de internationale schrootmarkt.

De inzet op DRI-EAF past in de Europese trend van een groeiend aantal investeringsplannen voor nieuwe DRI-EAF capaciteit. Voor 2030 wordt ongeveer 20 Mt aan ombouw naar DRI-EAF productiecapaciteit [verwacht](#)⁸⁵, voldoende om

⁸² Hlsarna is een relatief emissie-efficiënte technologie die bij TSN IJmuiden werd ontwikkeld en de broeikasgassen met ca. 80 procent kan reduceren als het wordt gecombineerd met CO₂-afvang en -opslag. TSN was voornemens de technologie toe te passen maar is daar inmiddels van afgestapt; een dergelijke tussenstap werd niet langer gezien als passend bij de aangescherpte Europese doelstellingen. Tata Steel is voornemens de technologie toe te passen in India. Naar inhoudsopgave >

voor 15 procent aan de huidige Europese vraag naar staal te voldoen. De ligging van TSN aan de Noordzeekust en de vooruitzichten voor productie van hernieuwbare elektriciteit en waterstof op de Noordzee kunnen een relatief gunstig vestigingsklimaat bieden. Naast het initiatief van TSN loopt er bijvoorbeeld ook een EAF-initiatief in Groningen met een beoogde capaciteit van een zesde van de capaciteit van TSN.

Vooruitzicht energie- en grondstoffenvraag

Bij een naar verwachting stabiele Europese staalvraag vormt een stapsgewijze introductie van het DRI-EAF proces een realistisch beeld van de verdere ontwikkeling van de ijzer- en staalproductie, zonodig aangevuld met toepassing van CCS op het DRI-proces om emissies sneller te laten dalen. De plannen liggen in lijn met planontwikkeling op Europees niveau. TSN heeft met de huidige vooruitzichten voor het Nederlandse energiesysteem relatief goed toegang tot hernieuwbare elektriciteit, groene waterstof uit binnenlandse productie of import, en goede toegang tot overzeese aanvoer van grondstoffen. De plannen vergen volgens TSN al in 2030 ongeveer 2,7 TWh_e direct elektriciteitsgebruik (een half GW wind op zee) en aanvullend ongeveer 0,1 Mt aan groene waterstof. Voor de productie hiervan is 5,6 TWh_e (of 1,2 GW wind op zee) nodig of de import van [waterstof](#)⁸⁶. In 2050 zou het gaan om meer dan 5,6 TWh (of 1,2 GW wind op zee) aan direct elektriciteitsgebruik, en aanvullend zo'n 27,5 TWh_e aan groene waterstof. Dat komt neer op 6 GW wind op zee of een halve Mt aan waterstofimport. Dilemma in dit ontwikkelpad is dat er in 2030 al een stevige aanspraak wordt gemaakt op het hernieuwbare elektriciteitspotentieel op het Nederlandse continentale plat. Vooral de beschikbaarheid van voldoende groene waterstof rond 2030 (uit Nederlandse productie of import) vormt een knelpunt, mede omdat de Europese Commissie binnen het Fit for 55-pakket (FF55) heeft voorgesteld om 50 procent

groen waterstofgebruik in 2030 verplicht te stellen voor bestaand industrieel eindverbruik van grijze [waterstof](#)⁸⁷. Een dergelijke verplichting zou tot een groene waterstofvraag leiden die fors hogere groene waterstofproductie vergt dan gehaald kan worden met de huidige doelstelling van 4 GW groene waterstofproductiecapaciteit en de doelstellingen voor wind op [zee](#)⁸⁸.

Een ontwikkelpad met een fors lager energieverbruik voor binnenlandse staalproductie op huidige niveaus is ook mogelijk. Beleidsinterventie vanuit de Rijksoverheid die stuurt op hernieuwbare energieproductie en de toewijzing daarvan zou bijvoorbeeld beperkingen kunnen impliceren voor de beschikbaarheid van hernieuwbare energie voor deze toepassing. In dat geval zou de ijzerproductie elders plaats kunnen vinden en wordt er enkel ingezet op de EAF met gebruik van geïmporteerde groene briketten en/of schroot. Dat zou tot slechts 2,5 TWh (ongeveer 0,5 GW wind op zee) aan direct elektriciteitsgebruik leiden. Daarmee wordt de energieafhankelijkheid van het Nederlandse systeem fors lager, maar nemen andere afhankelijkheden toe. Zo zou de Nederlandse staalproductie afhankelijk worden van toelevering van ijzerbriketten van elders, met verminderende grip op CO₂-emissiereductie en/of kostprijsontwikkeling. Indien ijzerproductie elders bijvoorbeeld onderhevig is aan minder strenge broeikasgasemissie-eisen dan de Europese eisen, is er een risico op CO₂-weglekeffecten (ook wel carbon leakage genoemd). Daarnaast zal met import van energie-intensieve halffabricaat groene briketten ook de kostprijsontwikkeling voor Nederlands staal afhankelijker worden van het wereldwijde aanbod van en vraag naar (groene) briketten.

5.2.3. Raffinage

Met de vijf aardolieraffinaderijen in Rotterdam en één in Vlissingen staat ongeveer 8 procent van de wereldwijde aardolieraffinagecapaciteit opgesteld in [Nederland](#)⁸⁹. De Nederlandse capaciteit is ongeveer drie keer groter dan het Nederlandse gebruik en bedient vooral het Noordwest-Europese achterland (Duitsland en België). Ze voorzien in de vraag naar diesel, benzine en LPG voor wegverkeer, en vliegtuig- en scheepvaartbrandstoffen (in totaal ongeveer 85 massaprocent van de productie). Daarnaast is er vraag naar vooral nafta die in stoomkrakers wordt omgezet in aromaten en olefinen als grondstoffen voor de petrochemische industrie (ongeveer 15 massaprocent van de productie).

Ruwe aardolie is verreweg de belangrijkste grondstof, en deze wordt vrijwel volledig geïmporteerd voor raffinage in Nederland en doorvoer naar het achterland. Olieproducten worden ook op grote schaal geïmporteerd en geëxporteerd, en bij de raffinaderijen staan grote opslagfaciliteiten. De Nederlandse raffinage-industrie is ontsloten door zeehavens en heeft weg, water- en railverbindingen met het achterland. Binnen de EU wordt voornamelijk gehandeld in olie en olieproducten in de [Noordzeeregio](#)⁹⁰. Ook is deze industrie verbonden met een uitgebreid pijpleidingstelsel voor olie, olieproducten en hoogwaardige [chemicaliën](#)⁹¹ naar Chemelot en de Duitse en Belgische clusters. Ze vormen samen met raffinaderijen in Duitsland en België één van de drie grootste brandstofclusters in de wereld (de regio ARRA: Antwerpen-Rotterdam-Rijn-Ruhr). Naast productie op basis van ruwe olie worden er ook biobrandstoffen voor de luchtvaart en wegtransport en hernieuwbare grondstoffen voor de chemie geproduceerd. Het gaat nu nog om minder dan 5 procent van de totale raffinagecapaciteit in Rotterdam. Voor de komende vijf jaar zijn echter drie investeringsprojecten aangekondigd die de bestaande productiecapaciteit zullen [verdrivoudigen](#)⁹².

Marktvooruitzichten

De grootste markten (VS, Azië, EU) zijn op energiebasis goeddeels netto zelfvoorzienend in raffinagecapaciteit. In de EU28 staan ongeveer 85 olieraffinaderijen, verspreid over vrijwel alle lidstaten die in 2015 gezamenlijk ongeveer 14 procent van de wereldwijde olieraffinagecapaciteit leveren. Ook op EU-niveau is de totale productie van olieproducten in energietermen netto ruwweg in balans met de vraag. Dat geldt echter niet voor de individuele olieproducten door voortdurend veranderende verhoudingen tussen vraag en aanbod van verschillende [olieproducten](#)⁹³. Na bouw zijn de operationele vrijheidsgraden van raffinaderijen om de productmix aan te passen beperkt. Daardoor zijn import en export de enige mogelijkheden. Beleidsmatige aansturing (op de verhouding diesel/benzine via belastingen), regulering (van bijvoorbeeld het zwavelgehalte in scheepsbrandstof) en marktontwikkeling (zoals de relatief sterke groei van de luchtvaart) hebben geleid tot een relatief hoge Europese en Noordwest-Europese vraag naar middeldistillaat (kerosine, diesel/dieselolie). Verder heeft de groeiende markt voor petrochemische producten geleid tot een groeiende Europese vraag naar nafta. Sinds de eeuwwisseling is er dan ook sprake van groeiende en inmiddels aanzienlijke importstromen van diesel, kerosine en nafta om onder andere aan de vraag in Nederland en het achterland (Duitsland en België) te voldoen. Daar staan juist overschotten en de exportstromen aan benzine en zwaardere producten tegenover. Het aanbod van niet-Europese landen in de Europese markt voor olieproducten is sinds 1990 langzaam maar zeker gestegen van 14 procent tot 21 procent. Raffinage maakt deel uit van de EU-plannen voor CBAM, maar recente analyse concludeert dat raffinage relatief gevoelig is voor weglekeffecten vanwege export naar [niet-EU-landen](#)⁹⁴.

Productievolumes van de Nederlandse raffinagesector zijn de afgelopen 20 jaar vrijwel gelijk [geble-](#)

[ven](#)⁹⁵. De mobiliteitssector in Noordwest Europa is met ongeveer 75 à 80 procent van de Nederlandse raffinageproducten veruit de grootste afnemer van de Nederlandse raffinagesector. Daarin is de Nederlandse vraag naar brandstoffen in de afgelopen dertig jaar juist gestegen van ongeveer 22 Mt per jaar tot 27 Mt per [jaar](#)⁹⁶. De brandstofvraag vanuit de luchtvaart verdrievoudigde sinds begin jaren negentig. Kort voor het begin van de COVID-19-pandemie ging ongeveer 40 procent naar wegtransport, 45 procent naar de scheepvaart en 15 procent naar de luchtvaart. Er zijn afgelopen jaren maatregelen getroffen die de vraag naar vervoer ontmoedigen, zoals de in 2021 ingevoerde vliegbelasting. Hier lijkt beleidsmatige sturing op vraagvermindering zich af te tekenen. Bovendien kampen Nederlandse luchthavens met capaciteitsrestricties, waarbij ook aanscherping daarvan ter discussie staat. Tegen die achtergrond lijkt stabilisatie van het luchtverkeer van en naar Nederland waarschijnlijker dan verdere groei. Verder concludeert recente analyse op basis van verschillende IEA en IPCC scenario's dat ook het bestaande internationaal scheepstransport gaat dalen; ongeveer 35 procent van het wereldwijde handelsvolume per schip heeft betrekking op energieproducten, en dit handelsvolume zou met ongeveer 50 tot 60 procent gaan dalen voor [2050](#)⁹⁷.

Voor de periode tot 2050 zal het brandstofgebruik naar verwachting sterk veranderen. Personenverkeer over de weg schakelt over op elektriciteit en ook vrachtverkeer kan grotendeels elektrisch. Voor de binnenvaart en mobiele werktuigen is nog onduidelijk of elektriciteit, waterstof, en/of afgeleide brandstoffen de grootste dragers worden. Voor de internationale lucht- en scheepvaart wordt ook in de toekomst nog gebruik van vloeibare koolwaterstoffen verwacht. Het recentelijk voorgestelde Europese FF55 stuurt via een verplichting aan op ruim een halvering van fossiel brandstofgebruik in de luchtvaart tegen 2050 (sustainable aviation fuel, kortweg SAF). Een derde deel hiervan betreft hernieuwbare synthetische [luchtvaartbrandstof](#)

[fen](#)⁹⁸. De kosten van hernieuwbare brandstof liggen naar verwachting drie tot zes maal hoger liggen dan de huidige, wat bij kan gaan dragen aan beperking van de vraag. Voor de internationale scheepvaart wordt in het EU-pakket voorgesteld om de jaarlijkse broeikasgasintensiteit van het energiegebruik aan boord met 75 procent terug te brengen in [2050](#)⁹⁹. Eind maart 2023 werd bekend gemaakt dat er een akkoord was bereikt over het voorstel, waarin een reductie van 80 procent in 2050 is [overeengekomen](#)¹⁰⁰. Samenvattend mag voor mobiliteit dus een sterke afname van de vraag naar fossiele brandstoffen worden verwacht, en een (beperkt) oplopende behoefte aan hernieuwbare brandstoffen.

De Nederlandse vraag naar nafta en andere olieproducten als grondstoffen voor de chemische industrie is in de afgelopen dertig jaar bijna verdubbeld. De productie van kunststoffen vormt de grootste afzetmarkt voor deze industrie. Sinds begin jaren negentig is deze industrietak met ongeveer 50 procent gegroeid. Sinds de kredietcrisis in 2008 is de productie [gestabiliseerd](#)¹⁰¹. Projecties voor de achterliggende vraag naar plastics op Europees niveau tot 2050 variëren. Zo verwacht het IEA een krimp van 30 procent, uitgaande van toenemende aandacht voor de [klimaatimpact](#)¹⁰². Uitgaande van de groei van de afgelopen dertig jaar volgt een groei van 30 procent, zoals ook aangenomen in recente analyse in opdracht van Plastics [Europe](#)¹⁰³. De toekomstige ontwikkeling hangt onder meer af van beleidsmatige en maatschappelijke inspanningen gericht op het verminderen van de materiaalbehoefte voor plastics en op het gebruik van plastics.

Transitiebeeld

Deze paragraaf beschrijft achtereenvolgens de aardolieraffinaderijen, bioraffinage en de productie van synthetische brandstoffen.

Raffinaderijen in Rotterdam zetten voor 2030 in op het gebruik van blauwe waterstof die wordt geproduceerd uit raffinagegas dat als restgas

vrijkomt bij raffinage van [aardolie](#)^{104,105}, en ook de raffinaderij in Zeeland sorteert voor op CCS in deze [fase](#)¹⁰⁶. Op beperktere schaal lopen er ook initiatieven tot productie en gebruik van groene waterstof. Fossiele grondstoffen blijven dan voorlopig de basis. Ook richting 2050 wordt door de industrie voornamelijk uitgegaan van voortzetting van het gebruik van fossiele [grondstoffen](#)¹⁰⁷. Dat leidt tot CO2-emissies van fossiele oorsprong bij gebruik van fossiele brandstoffen, maar ook in reststromen van plastics die zonder verdere interventies deels in de afvalverbranding terecht zullen komen. Er valt wel afbouw van de raffinagecapaciteit te verwachten door vraaguitval van het wegtransport, maar analyse van de Europese raffinagesector concludeert dat raffinaderijen die in hoge mate geïntegreerd zijn met de chemie zich op lange termijn zullen kunnen [handhaven](#)¹⁰⁸. Pyrolyse en andere chemische recyclingtechnieken worden nu ontwikkeld, net als een breed scala aan bio-based technieken. Circulair beleid en afval/bio-based-chemie voor productie van plastics beperkt evenwel op termijn ook de beschikbaarheid van koolstofrijk afval voor brand- en grondstoffenproductie.

Tegelijkertijd ontplooiën verschillende bedrijven in Rotterdam initiatieven om de bestaande bioraffinage capaciteit drie keer zo groot te maken, i.e. tot 10 procent van de Nederlandse [raffinagecapaciteit](#)¹⁰⁹. De plannen bestaan deels uit nieuwbouw en worden deels opgezet vanuit bestaande bouw. De voorstellen voor verplichte bijmenging van de SAFs, zoals gelanceerd in FF55, bieden perspectief voor een groeiende afzetmarkt van deze duurzame brandstoffen vanaf 2030.

Voor synthetische brandstoffen uit waterstof en biogene/circulaire koolstof worden voornamelijk enkele kleine pilots voorzien. Energiebehoefte en biogene/circulaire koolstofbeschikbaarheid vormen uitdagingen bij opschaling tot de geprojecteerde behoefte aan brandstoffen in interna-

tionale scheep- en luchtvaart en nafta in de [chemie](#)¹¹⁰; volledige vervanging vormt een uitdaging. Biogene koolstofbeschikbaarheid in Nederland is relatief laag, terwijl import in de vorm van biomassa of afval zeer grote volumestromen [vergt](#)¹¹¹. De Nederlandse industrie heeft desondanks mogelijk wel locatievoordelen door relatief grootschalige verwerking van biomassa, en nabijheid van opslagmogelijkheden.

Daarmee wordt de brandstofvoorziening voor de bunkers (voor lucht- en scheepvaart) vanuit nationale brandstofproductie richting 2050 een uitdaging. Volgens recente Nederlandse (impact) [analyse](#)¹¹² van FuelEU Maritime, het FF55 pakket voor internationale scheepvaart, zal de vraag naar hernieuwbare en niet-fossiele brandstoffen toenemen, met name naar biodiesel (beter bekend als [bioFAME](#)¹¹³) voor schepen die nu op zware stookolie varen en biomethaan voor schepen die nu op LNG varen. Alternatieven als ammoniak uit groene waterstof en synthetische methanol worden nog niet of nauwelijks toegepast in de scheepvaart, en ingeschatte kosten voor de scheepvaart liggen hoger. Het technisch potentieel voor grootschalige productie daarvan ligt in andere delen van de wereld. Volgens de studie kan import van deze brandstoffen van elders daarom oplossing bieden. Transportkosten voor brandstoffen zijn laag in verhouding tot hun waarde en productiekosten, en de verwachting is dat er grote vraag zal zijn naar deze brandstoffen, ook buiten de scheepvaartsector. De Rotterdamse haven zal volgens deze verwachting in toenemende mate afhankelijk worden van import van hernieuwbare bunkerbrandstoffen.

Vooruitzicht energie- en grondstoffenvraag

Het ontwikkelpad voor conventionele olieraffinage lijkt voorlopig gericht op toepassing van CCS om raffinagegas om te zetten in blauwe waterstof, beperktere vergroening van de waterstofvraag en opbouw van bioraffinage. Vanaf 2030 zal elektrifi-

catie van het wegverkeer en emissiereductiedoelstellingen in scheepvaart en luchtvaart op basis van FF55 vermoedelijk leiden tot een afnemende vraag naar fossiele brandstoffen. De raffinaderijen die geïntegreerd zijn met de productie in de chemie (ongeveer 50 procent van de bestaande capaciteit) hebben dan een voordeel in de krimpende markt voor raffinageproducten. Halvering van de capaciteit voor fossiele raffinage wordt dan een realistisch perspectief. Aangezien de Europese vraag naar brandstoffen voor wegtransport tegen die tijd is weggevallen, zou de brandstofproductie voor wegtransport vrijwel alleen nog maar gaan om export naar buiten de EU, maar vanwege Europees klimaatbeleid mogelijk wel met productiekosten die hoger liggen dan die van concurrenten van buiten de EU. Verder ligt op basis van bestaande plannen van bedrijven een verdrievoudiging van bioraffinage voor 2030 in het verschiet, die eventueel verder opgeschaald kan worden bij voldoende beschikbaarheid van grondstoffen. Voor synthetische brandstofproductie vormt de voorgestelde doelstelling van ongeveer 30 procent inzet in de luchtvaart in 2050 een cruciaal marktsegment. Met assumptie van niet-fossiele synthetische brandstofproductie voor Nederland en het achterland tot 20 procent van de huidige raffinagecapaciteit, vergt dit een forse koolstofbron uit biomassa, gerecyclede plastics, of op termijn de lucht. Ook zou ongeveer 500 TWh_e aan groene waterstof als grondstof nodig zijn, ruwweg anderhalf maal het naar schatting 70 GW technisch potentieel voor wind op zee in [Nederland](#)¹¹⁴. Import van groene waterstof wordt dan noodzakelijk, maar directe import van bio-brandstoffen of synthetische brandstoffen vanuit regio's met lagere energiebehoefte in verhouding tot het technisch potentieel voor eigen productie zou een alternatief kunnen vormen. De uitdaging in dit ontwikkelpad ligt besloten in de hoge energie- en grondstoffenvraag, die voortvloeit uit het geschetste pad voor synthetische brandstoffen. Verder geldt dat voor de producten van fossiele

raffinage dan voor een belangrijk deel zou worden geproduceerd voor export naar buiten de EU, terwijl klimaatbeleid de Europese productiekosten heeft opgedreven. Bovendien worden er dan dus nog fossiele brandstoffen gebruikt.

Een ontwikkelpad dat uitgaat van meer beleidssturing op ontwikkeling van het brandstofcluster zou grenzen kunnen stellen aan de fossiele brandstofproductie voor de export en de ontwikkeling van synthetische brandstofproductie. De Rijksoverheid zou vanuit integrale klimaatdoelstellingen haar ondersteuningsbeleid op grond van toewijzing van hernieuwbare energieproductie in kunnen richten. In dat geval zou de volledige afbouw van de fossiele raffinagecapaciteit samen met de geagendeerde verdrievoudiging van bioraffinage, en een beperkte opbouw van synthetische brandstoffenproductie voor de Nederlandse luchtvaart kunnen volgen. In dat geval is een hernieuwbare elektriciteitsbehoefte in de orde van 50 TWh nodig. Dilemma voor dit ontwikkelpad is dat voortzetting van de rol van Rotterdam als bunker hub en Schiphol als hub voor internationale luchtvaart import van bio-brandstof en/of synthetische brandstoffen vergt.

5.2.4. Chemie

De Nederlandse raffinage en basischemie, of petrochemie, zijn wereldwijd toonaangevende grote producenten en exporteurs van op koolwaterstoffen gebaseerde brandstoffen en materialen. Het geïntegreerde systeem van raffinaderijen, stoomkrakers en downstream chemische productie kan daarom het beste als één geheel worden beschouwd. Veranderingen in de productie van de ene sector kan belangrijke gevolgen hebben voor andere sector. Dat geldt zowel binnen de drie chemische clusters als voor de clusters onderling, omdat chemieclusters met uitgebreide pijplijnverbindingen gekoppeld zijn aan de raffinaderijen. Zo wordt in eigen land geraffineerde nafta ingezet bij stoomkraken om hoogwaardige chemicaliën te

produceren, waarvan een belangrijk deel wordt gebruikt voor productie van kunststoffen.

Marktvooruitzichten

Voor petrochemische producten vormen Azië, de EU en Noord-Amerika de grootste markten die goeddeels kunnen voorzien in de eigen behoefte, maar specifieke producenten laten grotere handelsstromen zien. VS produceert ook uit aardgas, China ook uit kolen (methanol/olefins), de EU alleen uit aardolie. Ongeveer de helft van de Europese productie is geconcentreerd in het ARRRR petrochemiecluster, waarvan de helft in Nederland (Rotterdam/Zeeland/Geleen). De sector vormde geen onderdeel van de oorspronkelijke CBAM plannen. Onderzoek naar inclusie van de chemische sector in CBAM suggereert dat de sector minder gevoelig is voor weglekeffecten voor veel van de hoogwaardige chemicaliën, maar wel voor enkele producten die veel geëxporteerd worden naar niet-EU-landen zoals [aromaten](#)¹¹⁵.

Naar schatting bestaat de Europese vraag naar producten uit de chemie nu ongeveer voor 40 procent uit verpakking, 20 procent uit bouwproducten, 10 procent uit producten voor de auto-industrie, 5 procent uit elektrische apparaten en 25 procent uit overige toepassingen. Goedkope kunststoffen zijn een wegwerpproduct (single-use plastics), maar bijvoorbeeld relevant voor de houdbaarheid van voedsel. Geavanceerdere kunststoffen voor bijvoorbeeld lichtere (elektrische) voertuigen zijn belangrijk voor de energietransitie. De Europese productie van kunststoffen is sinds begin jaren negentig met ongeveer 50 procent gegroeid tot de kredietcrisis in 2008 en sindsdien gestabiliseerd. Projecties voor de vraag naar plastics op Europees niveau tot 2050 variëren van ruwweg 30 procent krimp tot 30 procent groei. Toekomstige ontwikkeling hangt daarmee onder meer af van beleidsmatige en maatschappelijke inspanningen gericht op het verminderen

van de materiaalbehoefte voor plastics en het gebruik van plastics. Vanuit de EU wordt dit sinds 2015 vormgegeven via het EU-actieplan voor de circulaire [economie](#)^{116,117}, met de in 2018 aangenomen kunststofstrategie als sectorspecifiek onderdeel daarvan. De strategie omvat maatregelen om recycling te stimuleren, door de recycleerbaarheid van kunststoffen te verbeteren, de vraag naar een gerecycleerde kunststofinhoud te vergroten, kunststofafval aan banden [leggen](#)¹¹⁸, en steun voor innovatie en internationale samenwerking. Ook lanceerde de EU in 2018 het initiatief tot de alliantie voor een circulaire kunststofeconomie, een samenwerkingsverband van Europese ketenbedrijven dat zich heeft geëngesteld aan streefwaarde van 10 Mt plastic recyclaten in 2025. Tot slot is er ook een strategie voor hernieuwbare koolstof geformuleerd, een (niet-bindende) EU-doelstelling voor inzet van niet-fossiele grondstoffen in de chemie. De beleidskaders zijn dus in ontwikkeling, maar vertonen veelal het karakter van zelfregulering via streefwaarden.

Transitiebeelden

Naftakrakers staan aan het begin van een keten van chemische tussen- en eindproducten. Toepassingen van alternatieven voor het fossiele naftakraken zijn in ontwikkeling. Daarmee zou met beperkte aanpassingen van de structuur van de chemische industrie een CO₂-vrij proces mogelijk zijn. Aanpassingen aan de naftakrakers betreffen combinaties van de aanpak van emissies van de onvermijdelijke restgassen en alternatieven voor de fossiele naftavoeding. De fossiele restgassen worden nu gebruikt als brandstof voor de krakers. Restgassen kunnen omgezet worden in waterstof en CO₂, waarbij de waterstof wordt gebruikt voor emissievrije brandstof en de CO₂ wordt opgeslagen. Hiervoor worden nu in twee complexen in Nederland plannen ontwikkeld. Restgassen kunnen ook verder bewerkt worden tot grondstof voor bijvoorbeeld methanol. Voor emis-

sievrij brandstof voor het kraakproces wordt elektrische verhitting als alternatief onderzocht door verschillende onderzoeksconsortia met enkele grote spelers in de Europese [chemiesector](#)^{119,120}. Andere Europese projecten onderzoeken waterstof als brandstof voor [stoomkraken](#)¹²¹.

In geval van kunststoffen is vermindering van gebruik van fossiele grondstoffen een belangrijke uitdaging. Kunststoffen komen nu veelal in vuilverbrandingsovens terecht en leiden zo tot CO₂-emissies. Alternatieve grondstoffen zijn onder meer biogene nafta (uit bioraffinage), synthetische nafta, of uit plastics geproduceerde pyrolyseolie (chemische recycling). Door pyrolyse van plasticafval ontstaat een olieproduct dat een deel van de benodigde nafta-grondstof kan vervangen. In Nederland loopt een pilot voor pyrolyse in Geleen en een initiatief om pyrolyseproductiecapaciteit te ontwikkelen in Rotterdam. Chemische recycling is relatief energie-intensief en leidt tot koolstofverliezen. Uit kunststoffen kunnen ook direct nieuwe plastics worden geproduceerd via mechanische recycling, maar dat kan ten koste gaan van de kwaliteit. Geavanceerdere recyclingprocessen die plastics oplossen (solvolyse) maken de productie van nieuwe hoogwaardige polymeren mogelijk, maar deze processen zijn nog in ontwikkeling. In alle gevallen van recycling geldt sowieso dat de logistiek rond inzameling een belangrijke uitdaging vormt. Naarmate recycling specifiekere product- en materiaalstromen betreft is de logistiek complexer en zijn er minder schaalvoordelen. Daartegenover staan emissievoordelen en minder verliezen.

De huidige Nederlandse vooruitzichten voorzien in mogelijke sluiting van één van de krakers in [Geleen](#)¹²². Voor de overige krakers wordt momenteel elektrificatie voorzien in de periode 2030-2040. Voor wijziging in gebruik van fossiele grondstoffen zijn nog geen concrete plannen, maar de industrie voorziet op termijn toenemende inzet op chemische recycling.

Vooruitzicht energie- en grondstoffenvraag

Het ontwikkelpad dat zich op basis van voorgaande aftekent, laat grote onzekerheid op de vraagontwikkeling zien. Projecties voor de vraagontwikkeling variëren van 30 procent groei tot 30 procent krimp, vooral afhankelijk van beleidssturing op de vraagontwikkeling. Vooralsnog zijn beleidskaders daarvoor nog in ontwikkeling en is het alleszins denkbaar dat de Noordwest-Europese vraag weer zal gaan groeien (door toenemende vraag in hoogwaardige toepassingen voor de energietransitie) of op het huidige niveau zal blijven. In het huidige beeld van de sector voor 2030 zal mogelijk één van de Nederlandse krakers wordt gesloten. Voor het overige wordt vooral ingezet op elektrificatie van de krakers, hoofdzakelijk in de periode 2030-2040 met afzet van restgassen voor opwerking. Uitgaande van vlakke vraagontwikkeling vergt elektrificatie van de krakers ongeveer 22 TWh aan hernieuwbare elektriciteit (5 GW wind op zee, 7 procent van het naar schatting ongeveer 70 GW aan technisch potentieel). Het gebruik van fossiele grondstoffen lijkt volgens de huidige vooruitzichten op lange termijn te worden voortgezet. Er wordt vanuit de industrie wel nadrukkelijk gekeken naar chemische recycling via pyrolyse, waarmee de fossiele grondstofbehoefte afneemt maar de energiebehoefte in de keten zal toenemen. Voortzetting van inzet van fossiele nafta zal in een dergelijk ontwikkelpad nog significante CO₂-emissies in Nederland en omliggende landen opleveren, via afvalverbranding, wat een majeur dilemma oplevert. Omschakeling naar chemische recycling impliceert dat uit de afvalstroom pyrolyse-olie moet worden geproduceerd en geraffineerd. In de bijbehorende energiebehoefte kan worden voorzien vanuit de bijproducten van dit proces, maar dat zou bij inzet van fossiele plastics ook leiden tot CO₂-emissies.

Een ontwikkelpad met beleidssturing op lager energie- en grondstoffengebruik kan volgens

het IEA mogelijk tot 30 procent vraagreductie [realiseren](#)¹²³. Stappen als invoering van restrictief beleid op single-use plastics vormen daarin instrumenten om laagwaardige toepassingen te beperken. Daarnaast zijn beleidskaders voor circulariteit noodzakelijk en die zijn nog volop in ontwikkeling. Normering van productsamenstelling om mogelijkheid tot kortcyclische recycling te verbeteren en normering met betrekking tot hergebruik van plastics als grondstof bieden dan belangrijke aangrijpingspunten. Ook aansturing van de afvalstromen is hierin van groot belang, waaronder het exportverbod dat recent is besproken in het Europees Parlement. Een uitgewerkt perspectief op een dergelijke grondstoffentransitie wordt geboden door recente analyse die is uitgevoerd in opdracht van Plastics Europe. In de studie wordt een pad geschetst voor de grondstoffentransitie in de Europese plastics industrie die ruwweg uitgaat van 10 procent bio-nafta, 25 procent mechanische recycling, 20 procent solvent-based recycling, en 25 procent chemische [recycling](#)¹²⁴. Aanvullend biedt import mogelijk kansen voor 15 procent aanvullende bijdragen van bio-nafta. In een dergelijk scenario zou recycling vanuit de afvalstroom voor een belangrijk deel via korte cycli verlopen (plastics-to-plastics) en de inzet van de krakers zou dan ruwweg halveren. Dit geschetste pad komt dan uit op ongeveer 10 TWh aan hernieuwbare elektriciteitsgebruik (2,5 GW wind op zee), maar ook 115 PJ of 2,5 Mt aan bio-nafta (drie tot zes maal de bio-nafta productie van de plannen voor bioraffinage in Rotterdam). De uitdaging ligt in dit geval in de haalbaarheid van deze route (complexe logistiek en verwerking van grensoverschrijdende afvalstromen), terwijl de bio-nafta behoefte een fors beslag zal leggen op schaarse biomassa die ten dele vanuit het buitenland zal moeten worden betrokken.

5.2.5. Kunstmestsector

De kunstmestsector produceert een scala aan specifieke producten voor de landbouw, daarnaast ook basisproducten voor de chemische industrie en kooldioxide voor diverse toepassingen. Het belangrijkste energie-intensieve basiscomponent is ammoniak. Dit wordt geproduceerd bij Yara met drie productie-eenheden in Zeeland, en OCI met twee productie-eenheden in Limburg. Belangrijke (export)producten zijn de ammoniakhoudende meststoffen ureum en ammoniumnitraat. In beperktere mate worden ook samenstellingen als zogeheten NPK [meststoffen](#)¹²⁵ en ook ureum als grondstof voor kunststoffen als melamine geëxporteerd. Ongeveer 70 procent van de ammoniak wordt als meststof verkocht aan de landbouw, 30 procent aan de overige [industrie](#)¹²⁶. Uitgaande van Eurostat gegevens gaat ongeveer 60 tot 80 procent van de kunstmest naar de (Noordwest) Europese landbouwsector, maar het grootste deel van de in Zeeland geproduceerde meststoffen (ureum) wordt geëxporteerd naar gebieden buiten [Europa](#)¹²⁷. Beide bedrijven beschikken over ammoniakimportfaciliteiten en overzeese productiefaciliteiten om ook gebruik te kunnen maken van ammoniak import bij gunstiger aardgasprijsontwikkelingen op andere markten. Zo werd in het verleden bijvoorbeeld ook uit Algerije ammoniak geïmporteerd.

Marktvooruitzichten

Wereldwijd vormen de VS, EU en Azië grote markten voor kunstmest, veelal met vraag en aanbod ruwweg in balans. Wel worden enkele producten zoals ureum op wereldwijde schaal verhandeld. Projecties voor de groei van de wereldwijde vraag lopen op tot 30 procent in 2050, met name in opkomende [economieën](#)¹²⁸. De kunstmestindustrie maakt deel uit van de EU plannen voor CBAM, maar recente analyse concludeert dat de industrie relatief gevoelig is voor wegleffecten vanwege export naar [niet-EU-landen](#)¹²⁹.

Het kunstmestgebruik in Noordwest Europa wordt verwacht af te nemen, mede op basis van toenemende aandacht voor de [klimaatimpact](#)¹³⁰. Ook stikstofbeleid speelt hier een rol; kunstmest voegt netto stikstof toe aan het systeem, in tegenstelling tot organische mest. Het tempo waarmee dat gebeurt hangt af van de mate waarin de landbouwsector erin slaagt te veranderen. Dat gaat om efficiëntere omgang met kunstmest, aanwenden van effectief beschikbare plantaardige en dierlijke mest, en opschalen van teelten met minder of geen kunstmestbehoefte. Dit is mede afhankelijk van de doelen en instrumentatie op langere termijn van het landbouw- en natuurbeleid betreffende circulariteit en stikstof. Vanuit de EU wordt onder andere aangestuurd op verschuiving van kunstmest naar dierlijke mest met streefwaarde 20 procent in 2030¹³¹ en in Nederland wordt aangestuurd op reductie van gebruik in de landbouw via het Actieprogramma [Nitraatrichtlijn](#)¹³². Verder bevat Ureum ook koolstof en wordt de uitstoot van CO₂ door het gebruik van ureum in de landbouw toegerekend aan de industrie. De beprijzing via het Europese emissiehandelssysteem (ETS) kan daarom leiden tot hogere productiekosten en dus afnemende verkoop buiten Europa.

De vraag naar ammoniak en salpeterzuur voor de productie van kunststoffen wordt bepaald door de marktontwikkeling van deze specifieke kunststoffen, maar die zal niet sterk bepalend zijn voor de toekomstige omvang van de ammoniakproductie.

Transitiebeeld

In deze industrie is duurzame productie van ammoniak de centrale uitdaging voor de energietransitie. Ammoniak wordt nu geproduceerd uit waterstof en stikstof, waarbij waterstof uit aardgas wordt geproduceerd via steam methane reforming. Bij dit proces komt CO₂ vrij. Een belangrijk deel van de CO₂-uitstoot bij ammoniakproductie is een relatief zuivere stroom uit de

omzetting van aardgas in waterstof. Afvang en opslag van deze CO₂ kan worden toegepast om CO₂-emissies te reduceren, maar de productie is dan nog wel op fossiel aardgas gebaseerd. Naast gebruik van aardgas kan echter ook vergassing van biomassa of afvalstromen worden ingezet. Ammoniak kan verder ook op basis van waterstof uit elektrolyse worden geproduceerd met hernieuwbare elektriciteit. In geval van ureum, wat een koolstofhoudende stof is, vergt productie dan wel een aanvullende bron van koolstof.

Ammoniak kan makkelijker vloeibaar worden gemaakt dan waterstof. Technologie voor grootschalig vervoer van ammoniak per schip is beschikbaar, en wordt op dit moment als een belangrijke importroute voor waterstof gezien (grootschalig transport van waterstof per schip is nog in ontwikkeling). Er lopen verschillende initiatieven voor de ontwikkeling van dergelijke importroutes en voor 2030 kan dat Volgens het Havenbedrijf Rotterdam oplopen tot 4 Mt waterstof per [jaar](#)¹³³. Hernieuwbare ammoniak kan op termijn dan ook aangevoerd gaan worden vanuit regio's waar het potentieel voor hernieuwbare elektriciteitsopwekking veel hoger is dan de lokale elektriciteitsbehoefte.

De beide producenten hebben voor de korte termijn plannen om de zuivere stroom CO₂ af te vangen en te transporteren naar een permanente opslag in de [zeebodem](#)^{134,135}. Daarnaast heeft OCI aangekondigd komende jaren de capaciteit van haar ammoniak import terminal in Rotterdam te verdrievoudigen. Met bestaande importcapaciteit van Yara in Zeeland van naar schatting ten minste ongeveer 25 PJ aan waterstof equivalenten per [jaar](#)¹³⁶ dekt de totale importcapaciteit dan zeker de helft van de landelijke capaciteit voor ammoniakproductie. Momenteel wordt op Europees niveau onderhandeld over een FF55 voorstel van de Europese commissie voor een verplichting tot 50 procent gebruik van hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong voor energie-

en grondstofgebruik in de industrie in 2030¹³⁷. Overschakelen van productie naar import van ammoniak biedt dan gelegenheid om een dergelijke verplichting te vermijden. Verder worden op de bestaande locaties op beperkte schaal projecten voor elektrolyse en vergassing van biomassa gerealiseerd met financiële stimulering. Op langere termijn wordt door beide producenten ook rekening gehouden met ammoniakproductie uit groene waterstof, ofwel op locatie ofwel via aanvoer via een landelijk waterstofnetwerk.

Vooruitzicht energie- en grondstoffenvraag

Uitgaande van de voorgaande omschrijving, lijkt zich een ontwikkelpad voor de sector af te tekenen met stabiele voortzetting van gebruik van kunstmest; er zijn enkel streefwaarden geformuleerd voor de periode tot 2030. Wel kan de export van het koolstofhoudende ureum naar landen buiten de EU onder druk komen te staan, vanwege de doorberekening van de CO₂-emissiekosten. Verder lijkt te worden ingezet op voortzetting van productie in Nederland met komende jaren realisatie van aanvullende importcapaciteit de in ongeveer de helft van de ammoniakbehoefte kan voorzien. De Europese gasmarkten zullen in toenemende mate gedreven worden door LNG-import. Aangezien ammoniakproductie ook in die landen plaatsvindt, zal competitie tussen ammoniakaanvoer en LNG-aanvoer ontstaan. Op langere termijn kan dat competitie tussen (groene of blauwe) ammoniak aanvoer met lokale groene ammoniakproductie worden. Dan zou ammoniak voor het overige worden geproduceerd uit Nederlandse groene waterstof. Uitgaande van een stabiele vraag van tenminste 50 procent import van ammoniak en de productie van groene waterstof gaat het om zo'n 0,5 TWh (ongeveer 100 MW wind op zee) en ongeveer 15 TWh groene waterstof uit eigen land. Dat komt in totaal neer op 3,5 GW wind op zee, ofwel 5 procent van het Nederlandse technisch potentieel voor wind op zee. Daarmee loopt de ammoniakimportafhankelijkheid van deze sector op, met als alternatief een hogere inzet op

groene ammoniakproductie tot een capaciteitsbehoefte van 7 GW wind op zee (i.e. 10 procent van het potentieel). Alternatief zou de ammoniakimportafhankelijkheid ingeruild kunnen worden door importafhankelijkheid van aardgas, LNG of groene waterstof, en bij handhaving van bestaande productiecapaciteit kan er ook geschakeld worden tussen deze grondstofalternatieven.

Een ontwikkelpad met beleidssturing op lager energie- en grondstoffengebruik in de Nederlandse en of Europese landbouwsector zou op minder gebruik van kunstmest in moeten zetten. Bijvoorbeeld door de bestaande streefwaarde van 20 procent reductie in 2030 om te zetten naar een concrete bindende doelstelling met bijbehorende aanvullende sturingskaders. In dat geval is er meer balans tussen import en nationale energiebehoefte enerzijds en de gerealiseerde vraagreductie anderzijds. Een reductie van 20 procent in kunstmestgebruik resulteert in een lagere behoefte aan hernieuwbare elektriciteit en waterstof, i.e. 0,4 TWh aan direct elektriciteitsgebruik en zo'n 13 TWh groene waterstof uit eigen land, wat neer komt op 2,8 GW wind op zee. Belangrijke keerzijde van een dergelijk ontwikkelpad is dat de landbouwproductiviteit kan afnemen tot 15 [procent](#)¹³⁸, en dat kunstmestexport naar landen die nu mede van de EU afhankelijk zijn afneemt. Beide ontwikkelingen kunnen de voedselprijzen [verhogen](#)¹³⁹.

5.2.6. Ontwikkelpaden voor 2050

In het voorgaande is mede gebruik gemaakt van beleidsinterventies en beleidskaders die nog volop in ontwikkeling zijn. Deze varianten zijn echter ook gekozen om de dilemma's zichtbaar te maken, en vertegenwoordigen niet een bandbreedte, en hebben vanwege de grote onzekerheid weinig zeggingskracht over hoe waarschijnlijk de ontwikkelingen zijn. In de praktijk zal niet alleen veel afhangen van het in Europa gevoerde beleid, maar ook van de beslissingen die in de (veelal buitenlandse) hoofdkantoren worden genomen.

- Voor ijzer en staal wordt in Nederland maar ook Europa ingezet op directe en indirecte elektrificatie via DRI-EAF. De beschikbaarheid van voldoende elektriciteit en vooral waterstof vormt hier een grote uitdaging, zelfs al wordt een pad gevolgd dat maat houdt met de ontwikkeling van hernieuwbare energie in Nederland. Zeker in de vroege fase rond 2030 zal groene waterstofproductie en achterliggende hernieuwbare elektriciteitsproductie in Nederland hiervoor tekort schieten. Een alternatief kan zijn dat het meest energie-intensieve deel van de productieketen elders wordt gerealiseerd (of schroot wordt betrokken), een route die zich aftekent in de overige Europese investeringsplannen voor stand-alone EAF. Daarmee zou de waterstofbehoefte in het Nederlandse deel van de keten wegvallen, en halveert de directe elektriciteitsbehoefte.
- In geval van de raffinagesector treedt naar verwachting voor 2030 al vraaguitval op door elektrificatie van het wegvervoer. Nadien zal dat versnellen en de vraag naar hernieuwbare bunkerbrandstoffen snel oplopen. Op sectorale schaal worden beperkt stappen voorzien tot 2030, met toepassing van CCS voor raffinagegas en (ten opzichte van totale brandstofbehoefte) beperkte groei van biobrandstoffen. Richting 2040-2045 lijkt afschaling van fossiele raffinagecapaciteit tot niveaus die de grondstoffenvoorziening voor de chemie in stand houden aannemelijk, al zal dat afhangen van de inzet op circulariteit en vraagsturing in met name de plasticsketen. Als fossiele import helemaal moet verdwijnen met behoud van de chemie, dan zijn er grote stappen op circulariteit en/of biomassa-import nodig. De huidige beelden voorzien nog niet in een oplossing voor de koolstofbehoefte die ontstaat bij transformatie naar grootschalige productie van synthetische brandstoffen, terwijl de bijbehorende waterstofbehoefte dan eveneens sterk oploopt en aanvullende

elektriciteitsproductie uit CO₂-vrije bronnen of waterstofimporten noodzakelijk zal maken.

- Voor de chemie en de plasticsketen lopen vraagscenario's sterk uiteen, met bandbreedten van 30 procent krimp tot 30 procent groei tot 2050. Er wordt vanuit beleid nog maar beperkt gestuurd op de vraag, al lopen er op Europees niveau verschillende trajecten voor beleidsvorming (zoals beperking van single-use plastics). Vanuit de huidige innovatietrajecten ligt, bij een goeddeels fossiele grondstoffenvoorziening vanuit raffinage, directe elektrificatie in de periode 2030-2040 in het verschiet. Voorlopig wordt nog maar beperkt ingezet op circulariteit en inzet van biomassa, met relatief beperkte inzet op chemische recycling via pilots en plannen voor een eerste commerciële productiefaciliteit. Op termijn kan dit gaan groeien (al vormt dit een energie-intensieve circulaire oplossing), maar het laat ook ruimte voor toepassing van alternatieve kort-cyclische recycling via solvolyse en mechanische recycling. Het beleidskader is nu hoofdzakelijk geënt op zelfregulering, waar sturing op recycling percentages en productnormering die recycling makkelijker maakt hoog op de agenda zouden moeten staan.
- In geval van de kunstmestindustrie, wordt tot 2030 ingezet op verdere ontwikkeling van importcapaciteit voor ammoniak als grondstof, als alternatief van import van LNG die in Nederland in ammoniak wordt omgezet. In die zin levert deze ontwikkeling dus robuuste stappen naar de toekomstige energie- en grondstoffenvoorziening. Op langere termijn wordt echter ook productie uit groene waterstof voorzien, als alternatief voor de bestaande productie van ammoniak uit aardgas.

Een optelsom van de hogere en lagere voorbeeldpaden laat zien dat keuzes in grote mate de energievraag in de industrie bepalen. De beide ontwikkelpaden die in dit hoofdstuk zijn geschetst dekken

ongeveer 80 procent van de huidige industriële energie- en grondstoffenvraag. In het hogere pad stijgt de energie- en grondstoffenvraag van ca. 1000 PJ nu naar ruwweg 1300 PJ en in het lagere daalt hij naar minder dan 600 PJ. De energie- en grondstoffenvraag in de systeemscenario's besproken in paragraaf 5.2.1 varieert van ongeveer enkele lagere scenario's rond de 600 PJ bij sterke krimp tot meerdere scenario's rond de 1000 a 1300 PJ, en enkele zeer hoge scenario's tot 2000 PJ bij sterke groei van synthetische brandstofproductie (tot ruim anderhalf keer de Nederlandse kerosinevraag in 2019). Het hogere pad ligt in lijn met de wat hogere scenario's in de systeemstudies en geeft een lichte stijging van industriële energievraag ten opzichte van die in 2019, terwijl het lagere een scherpere trendbreuk weerspiegelt. Opvallend is dat vooral de brandstoffenproductie en de chemie de energie- en grondstoffenvraag bepalen; staal en kunstmest zijn veel minder van belang voor de totale industriële energievraag in 2050.

Ook is duidelijk dat zelfs in 2050 fossiele brandstoffen in de twee illustratieve voorbeeldpaden (en andere scenario's) nog in de energiemix voorkomen, al is dat in sterk afgenomen mate. Dit betekent dat CCS nodig blijft om emissies te reduceren, dat emissies in de keten blijven bestaan, dat negatieve emissies noodzakelijk zijn, en dat er dilemma's optreden rondom internationale rechtvaardigheid en duurzaamheid (zie volgende paragraaf).

Aan de koolstofvraag zou alleen met biomassa, gerecyclede plastics en CO₂ uit de lucht kunnen worden voldaan in paden waarin de vraag naar, en daarmee de productie in Nederland van, brandstoffen en chemische producten zeer drastisch worden beperkt. Dergelijke paden zijn hier niet kwantitatief bekeken, maar zijn wel denkbaar, als bijvoorbeeld lucht- en scheepvaart verminderen door minder vraag naar hun diensten (in Nederland maar ook elders), en

als de chemie kleinschaliger en meer voor de lokale vraag gaat produceren.

5.2.7. Ontwerpprincipes

Wat zijn de gevolgen van de hierboven geschetste mogelijke vooruitzichten voor industriële transformatie voor de door het expertteam voorgestelde ontwerpprincipes? Deze paragraaf bespreekt de mogelijke ontwikkelpaden aan de hand van de ontwerpprincipes.

Het doel van een netto nul-emissie energiesysteem is primair ingegeven door het klimaataspect van duurzaamheid, wat een sterke relatie heeft met de intergenerationele rechtvaardigheid. Nederland, als Europese lidstaat, is onderdeel van een wereldwijde beweging. Als die doorzet is de kans op 'weglek' beperkt. Dan leidt het sluiten van de koolstofintensieve productie beperkt tot verplaatsen naar landen buiten de Europese Unie. Afhankelijk van het ontwikkelpad zal de impact van de geschetste industriële transformatie op de biodiversiteit zich richten op het biomassagebruik; de ontwikkelpaden schetsen een gecentraliseerd productiesysteem vergelijkbaar met die van het huidige productiesysteem. Overige emissies dalen tot vrijwel nul in alle gevallen. Het landgebruik zal vergelijkbaar zijn. Bij de robuustheid zijn er meer open vragen. Inzetten op circulariteit helpt daarbij in latere decennia, maar zal tot 2030 de vraag naar materialen weinig beïnvloeden. De importafhankelijkheid neemt af bij ijzer- en staalproductie naarmate de huidige kolenimport wordt vervangen door nationale elektriciteits- en waterstofproductie, maar neemt toe als het lagere ontwikkelpad voor ijzer en staal wordt gevolgd, omdat dan briketten moeten worden ingevoerd. In geval van raffinage zou importafhankelijkheid van aardolie ten minste halveren door dalende vraag naar olieproducten, of ingeruild worden voor een toenemende importafhankelijkheid van hernieuwbare brandstoffen. Voor kunstmest geldt dat de nieuwe importafhankelijkheid van aardgas ingeruild wordt voor importafhankelijkheid van ammoniak.

De productiesites in de kuststreek scoren slecht op het aspect klimaatadaptatie, dus alleen Chemelot in Geleen is dan gunstig gelegen, maar kan koelwateruitdagingen krijgen.

De procedurele rechtvaardigheid hangt af van de inrichting van het proces, van uitvoering van maatregelen, en de mate waarin rekening wordt gehouden met alle belangen. De intergenerationale rechtvaardigheid verbetert sterk vanuit het perspectief van emissiereductie, maar indien duurzaamheid en rechtvaardigheid in ketens niet wordt gewaarborgd, kan verminderde stabiliteit en nieuwe mijnbouw leiden tot intergenerationale én internationale spanning. Dat geldt ook voor de distributieve rechtvaardigheid, met name als het gaat om lokale emissies. De wijze waarop de kosten van deze investeringen verdeeld worden bepaalt mede de gevoelde rechtvaardigheid, alsmede waar brede werkgelegenheid landt. Bij betaalbaarheid speelt de vraag of de transitie uiteindelijk tot lagere kosten leidt. In geval van ijzer- en staalproductie verschillen de verwachtingen hierover in de literatuur, en hangen sterk af van de veronderstelde kosten voor groene waterstof. In geval van raffinage is het minder duidelijk, vanwege de beperkte beschikbaarheid van reststromen voor bioraffinage en de hoge koolstof- en energiebehoefte voor synfuelproductie.

In geval van de chemie kan de route voor kraken op basis van elektrificatie en voortzetting van fossiele grondstoffengebruik tot beperkte kostenstijging leiden, maar bij inzet op chemische recycling kan dat sterker oplopen. Kostenperspectieven voor de kunstmestindustrie zullen maat houden met kosten van elektrificatie en toenemende grondstofkosten (i.e. ammoniakimport en/of LNG import). Bij de internationale solidariteit spelen de internationale productie en winning van grondstoffen een belangrijke rol. In vrijwel alle geschetste beelden loopt de importafhankelijkheid echter terug en wordt ruimte gelaten om over te stappen op halffabricaten als groene briketten en ammoniak.

5.3. Dilemma's en enabling conditions

5.3.1. Dilemma's en knelpunten op basis van ontwikkelpaden en ontwerpcriteria

De denkbare klimaatneutrale ontwikkelpaden voor de vier industriesectoren hebben alle grote gevolgen voor de energie- en koolstofvraag. Elke sector heeft eigen knelpunten en dilemma's op basis van de ontwerpcriteria duurzaam, robuust en rechtvaardig. De relaties tussen sectoren leveren dilemma's op en

Rechtvaardig			
1	Procedurele rechtvaardigheid	+/-	Hangt af van de mate waarin rekening gehouden wordt met alle belangen. Door omwonenden vanuit omgevingsmanagement te betrekken bij besluitvorming, kan het lokale belang van meer banen en minder vervuiling van de omgeving worden ingebracht en voelen omwonenden zich gehoord.
2	Erkennen van eerder onrecht	+	Als 'vieze' fabrieken schoner worden, en er ruimte is voor erkenning aan de omgeving, en de omgeving ziet dat er wordt gewerkt aan het verbeteren van de leefomgeving, komt er ruimte voor nieuwe ontwikkelingen
3	Intergenerationale rechtvaardigheid	+	Schone en duurzame industrie die niet meer gebruikt dan haar 'fair share' voorkomt het doorschuiven naar volgende generaties. Hoe eerder klimaatneutraal hoe beter, dus niet alleen sturen op het einddoel, maar stimuleren op eerder emissiereductie reduceren.

4	Distributieve rechtvaardigheid	+/-	Afhankelijk van ontwikkelpad andere verdeling van werkgelegenheid, kosten en baten van industriële transitie. Een sneller ontwikkelpad zou leiden tot minder disruptieve veranderingen, maar vraagt waarschijnlijk ook om met publiek geld de transitie bij commerciële partijen te subsidiëren.
5	Internationale rechtvaardigheid	+/-	Afhankelijk van ontwikkelpad verminderde import en mondiale footprint, zeker als er op circulariteit en vermindering van materialenvraag gestuurd wordt. Bij langere voorzetting van fossiele brandstoffengebruik een afwenteling van de sociale en milieukosten op kwetsbare groepen. Bij stoppen met fossiel importen, vervanging door biomassa of import van groene waterstof, wat nieuwe internationale vraagstukken oproept.
6	Betaalbaarheid	-	Productkosten worden veelal hoger.
Robuust			
7	Diversificatie bronnen	+	Overwegend positief; importafhankelijkheid energie- en grondstoffen neemt veelal af, vooral bij lager ontwikkelpad, en staat diversificatie toe, of blijft vergelijkbaar.
8	Klimaatadaptatie	+/-	Ontwerp en ruimtelijke indeling houden rekening met waterberging, maar ombouw of scrap-and-build impliceert handhaving van kustlocaties. Risico's mogelijk lager bij lager ontwikkelpad, maar onzeker.
9	Veiligheid	+/-	Transitietechnologieën industrie worden in veel gevallen al toegepast en laten geen sterk oplopend veiligheidsrisico zijn
10	Adaptiviteit	+	Door de oogharen heen leveren de eerste stappen in veel ketens toenemende adaptiviteit en mogelijkheden tot aanpassing aan andere onverwachte omstandigheden.
11	Leveringszekerheid	+/-	Toenemende afhankelijkheid van elektriciteit, met andere leveringszekerheidssignatuur dan gas(sen), maar afhankelijkheid van olie- en gasimporten nemen af.

Duurzaam			
12	Opwarming van de aarde	+	Verminderen energiebehoefte en inzet CO ₂ vrije bronnen in de systemen. Indirect broeikas-effect waterstof bij waterstof slip/lekkage nog niet gekwantificeerd, maar wel een risico (University of Reading, 2022).
13	Verlies biodiversiteit	+	Indirect vermoedelijk grotere impactkansen in verminderd grondstoffengebruik. Ombouw of scrap-and-build beperkt de ruimtelijke footprint tot de huidige, maar aanvullende maatregelen (open structuur, minder verharding, meer groen) binnen veiligheidseisen en in aansluiting op klimaatadaptatie en -mitigatie helpen.
14	Overige (ongewenste) emissies	+	Afhankelijk van ontwikkelpad verminderen energiebehoefte en inzet duurzame bronnen. Stikstofemissies (NO _x) bij verbranding van met waterstof vergen normering, maar zijn technisch oplosbaar.
15	Land- en watergebruik	-	Landgebruik neemt indirect toe via footprint hernieuwbare energie (inclusief biomassa), energie-conversie (elektrolyse) en infrastructuur. Ombouw of scrap-and-build op bestaande industriële sites of kleinschaligere chemie beperkt de ruimtelijke footprint industriële installaties tot huidig niveau. Watergebruik industriële transitieperspectieven is in Nederland nog beperkt in beeld. IEA wees eerder al op risico's hoog watergebruik door biobrandstofproductie, hun inzet, en CCS (IEA, 2016).
16	Natuurlijke hulpbronnen	+	Positief, vooral in lager ontwikkelpad, maar vergt aanvullende vraagsturing in m.n. staal en plastics (circulariteit).

Tabel 5.1. Toepassing ontwerpprincipes

concurrentie voor schaarse hulpbronnen. Deze paragraaf richt zich op Nederland, terwijl duurzaamheid en strategische autonomie in Europees verband moeten worden gezien.

Met name bij een hoger pad voor raffinage worden biomassa en plasticafvalstromen schaars, en loopt de energievraag sterk op. Daardoor ontstaat concurrentie met andere en meer circulaire toepassingen van biomassa en plastic, die ook nog energie-efficiënter kunnen zijn, en worden de grenzen van de benodigde capaciteit van hernieuwbare elektriciteit (voor groene waterstofproductie) naar verwachting bereikt. Zou Nederland deze brandstoffen importeren, dan heeft dat consequenties voor duurzaamheid en rechtvaardigheid, ook als ze op vrijwel klimaatneutrale wijze elders worden geproduceerd. Een ontwikkelpad met een lagere vraag naar brandstoffen zou deze spanning verminderen.

De raffinage hangt ook samen met de chemie (met name plastics) al verandert hij substantieel vergeleken met de huidige situatie. In een ontwikkelpad waarin de vraag naar producten uit de chemische industrie groeit, terwijl de raffinagecapaciteit daalt, wordt de druk op de vraag naar koolstof groter. Bij een ontwikkelpad met lager energie- en grondstoffengebruik is circulariteit, deels energie-intensief, een noodzakelijke deeloplossing. Recycleert en biomassa, en op termijn mogelijk CO₂ uit de lucht als koolstofbron, zouden ook kunnen leiden tot een beweging naar kleinschalige productie door de chemische industrie, aangezien transportkosten hoger worden. Dit is nog te onzeker om er conclusies aan te verbinden. Het zou wel leiden tot een robuustere en duurzamere sector met beter gespreide werkgelegenheid.

Voor kunstmest en staal zijn er opties om half-fabricaten te importeren en derhalve de energie-intensieve productie te verplaatsen. Voor

kunstmest lijkt dat al aan de gang, en is het waarschijnlijk dat er ammoniak ingevoerd zal worden, waar kunstmestproducten voornamelijk voor de Europese markt van worden gemaakt. Voor ijzer en staal is het robuust dat er meer schroot zal worden verwerkt, al zijn er voor de vraag naar nieuw staal nog ontwikkelpaden mogelijk die meer invoer of productie vergen. Dit laatste ontwikkelpad heeft een duidelijk hogere waterstof- en daarmee elektriciteitsvraag, wat spanning kan opleveren met andere sectoren die gaan elektrificeren, zowel binnen als buiten de industrie. De duurzaamheid hangt af van de productiemethode in het exportland, en de robuustheid is groter in het geval van het handhaven van productie in Nederland en Europa.

Voor al deze sectoren geldt dat een combinatie van biomassa en CCS sterk lagere emissies kan opleveren op relatief korte termijn, wat de druk op koolstofbudgetten zou verminderen en de noodzaak tot negatieve emissies later kleiner kan maken. In het geval van ijzer en staal kan de biomassa/CCS combinatie (BECCS), afhankelijk van het gekozen pad, rond 2050 tot negatieve emissies leiden (zie box "Negatieve emissies").

5.3.2. Enabling conditions

De dilemma's, de autonome ontwikkelingen in het internationale speelveld, en de snelheid van de benodigde verandering, vergen een systeemtransformatie in de industrie. Systeemveranderingen impliceren dat meerdere attributen van een systeem tegelijk worden veranderd. Ze kunnen worden gefaciliteerd door het versterken van de "enabling conditions", die eraan bijdragen dat dilemma's worden aangekaart en knelpunten opgelost. Deze enabling conditions worden in tabel 5.2 specifiek voor de industrie- en koolstof-ontwikkelpaden en bijbehorende dilemma's en knelpunten besproken. Deze bespreking vormt een deel van de basis voor de aanbevelingen in de volgende paragraaf.

Enabling condition	Overwegingen industrie en koolstof
Multi-level governance	Voor handelsgevoelige sectoren is de afstemming tussen overheid en bedrijfsleven op internationaal, Europees en nationaal niveau cruciaal. Samenwerking tussen sectoren (integratie elektriciteit, infrastructuur en industrie) en over grenzen heen (met omliggende landen, maar ook met exporteurs van grondstoffen en importeurs van producten) ligt voor de hand zodat weglek- en negatieve keteneffecten kunnen worden geminimaliseerd.
Financiëringssysteem	In de vier besproken sectoren worden investeringsbeslissingen meestal door eigenaars buiten de EU genomen. Investeerders zouden in staat moeten worden gesteld om beslissingen te nemen op basis van een visie voor 2050, wat voor de industrie met lange doorlooptijden voor renovaties maar twee renovatie cycli weg is. Met institutionele investeerders (zoals pensioenfondsen) en publieke financiers (zoals InvestNL) zou kunnen worden geïnvesteerd in infrastructuur en in installaties in de industrie zelf.
Institutionele capaciteit	Voor het ontwikkelen van nieuwe technologie en vaardigheden, van beleid en financieringsconstructies, en voor het betrekken van de samenleving bij de industrie-systeemtransitie, is capaciteit nodig. Opleidingen, zowel op school als on the job, kunnen dit faciliteren. De overheid zelf moet capaciteit opbouwen om in deze transitie partij te zijn en zou een robuuste kennisbasis over de basisindustrie moeten hebben.
Beleidsinstrumenten	Het EU ETS-onderdeel van het Fit for 55 pakket leidt tot een situatie waarbij in of kort na 2040 geen uitstootrechten meer worden uitgegeven. De industrie moet dan dus op nul emissies zitten, maar lijkt daar niet op voorbereid. Mogelijk worden er provisies gemaakt voor het oppotten van rechten die in het verleden niet zijn gebruikt (een tijdelijke oplossing), of compensatie met negatieve emissies (waarvoor de regels nog moeten worden opgesteld). In Nederland zijn verder vele beleidsinstrumenten van kracht, waaronder een CO ₂ -heffing en innovatiesubsidies, maar er zijn te weinig instrumenten gericht op circulariteit en de industrie heeft geen prikkels om de emissies in de keten te verminderen.
Innovatie en gedrag	Vanuit procedurele en herstellende rechtvaardigheid heeft de industrie achterstallig onderhoud in het betrekken van omwonenden bij technologische transities, en het verwerven van maatschappelijk draagvlak voor projecten. Voor wat betreft innovatie zijn er kansen in Nederland, maar sluiten innovatiesubsidies soms niet goed op elkaar aan, of lopen innovatietrajecten vanwege competitieve tenders onnodige en schadelijke vertraging op. Innovatie zou gericht moeten zijn op technologie die in 2050 nog duurzaam genoeg is, en die op maatschappelijk draagvlak kan rekenen. Circulariteits- en klimaatinnovatie zou meer gekoppeld kunnen worden.

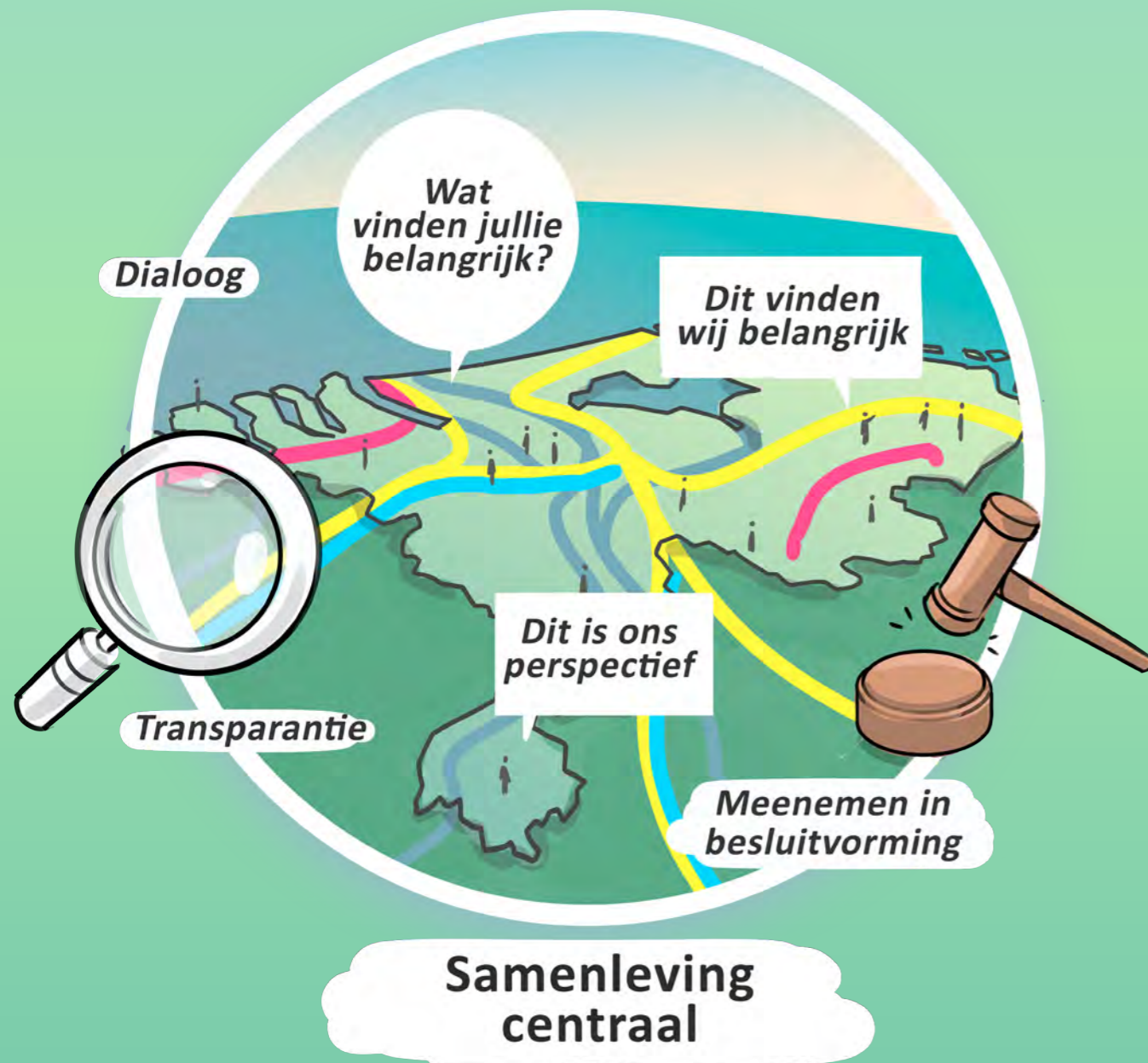
Tabel 5.2. - Overwegingen enabling conditions voor industrie- en koolstofpaden op basis van dilemma's en ontwerpcriteria.

5.4. Aanbevelingen

Een aantal concrete beleidsaanbevelingen uit hoofdstuk 3 (Elektriciteit en waterstof) zijn van toepassing op koolstof en industrie. De inzet op elektrificatie waar mogelijk en het voeren van beleid op infrastructuur als bepalend voor het vestigingsklimaat gelden ook voor de industrie. Daarnaast zijn er een aantal specifieke aanbevelingen:

- De vraag naar materialen verminderen lijkt haalbaar en maakt de dilemma's rondom de ontwerpprincipes minder prangend. Dit vergt gericht beleid op vraagreductie, een normering om circulariteit te stimuleren en productontwerp voor circulariteit te bevorderen. Een sterke regie op basis van een breed gedragen visie voor de Nederlandse industrie zou recht doen aan de ontwerpprincipes én de overwegingen van de inwonerraad.
- Zonder sterke en sturende inzet op circulariteit is de transitie naar een klimaatneutrale koolstof-intensieve industrie in Nederland moeilijk te realiseren. Koppel het beleid gericht op circulariteit aan klimaatbeleid zodat perverse prikkels, bijvoorbeeld voor emissies in de keten, worden voorkomen. Maak nu werk van circulariteitsbeleid!
- Handelsstromen gaan veranderen, waarmee ontwerpprincipes onder druk kunnen komen te staan. Borg duurzaamheid en rechtvaardigheid in ketens, alsmede in wat we importeren. Dergelijke kaders bestaan al voor biomassa, maar zullen ook voor waterstof, ammoniak, en andere grondstoffen en halffabricaten moeten gaan gelden. Normering voor meer gebruik van natuurlijke en circulaire materialen is onderdeel hiervan.
- Voer industriebeleid. Dit vraagt van de overheid niet om maatwerk op basis van de industrie van nu, maar om maatwerk op basis van een industrievisie voor de periode 2040-2045.
- Stem deze industrievisie, en de inzet van instrumenten in Nederland, af op het beleid van de Europese Unie en de ons omringende landen.
- Ook met maximale inzet op elektrificatie, groene waterstof en circulariteit blijft CCS noodzakelijk: op de korte termijn om de emissies naar beneden te krijgen, en op de lange termijn voor het beperken van restemissies en het realiseren van negatieve emissies in de industrie.

6. Reflectie op Inwonerraad Energie



6.1. Doel en samenstelling van de Inwonerraad Energie

Het expertteam ziet een belangrijke rol voor burgerparticipatie. Daarom heeft het expertteam besloten om een inwonerraad te organiseren met twee doelen:

- Inzicht krijgen in de randvoorwaarden die mensen van belang vinden bij het realiseren van de energietransitie.
- Inzicht krijgen in de kansen en beperkingen van burgerparticipatie als middel voor burgerbetrokkenheid in de energietransitie.

Het mandaat van de Inwonerraad Energie is om advies te geven aan het expertteam over de randvoorwaarden waaraan het energiesysteem van 2050 moet voldoen. Het expertteam reflecteert vervolgens op deze adviezen. Het ministerie van EZK kan deze uitkomsten gebruiken in de afweging of en hoe het kabinet burgerparticipatie gaat inzetten. De uitkomsten zijn ongetwijfeld ook op andere terreinen inzetbaar. Het mandaat van de inwonerraad maakt dat het geen burgerberaad is, omdat voor het opzetten van een burgerberaad een aantal vereisten geldt. Naast een representatieve en diverse groep deelnemers moet er een duidelijk politiek mandaat zijn. Aangezien de inwonerraad in opdracht van het onafhankelijke expertteam handelt en dat mandaat niet heeft is de inwonerraad strikt genomen geen burgerberaad.

In totaal zijn er 100.000 uitnodigingen verstuurd naar een willekeurige groep Nederlanders om uiteindelijk 75 mensen te selecteren die samen een representatieve groep deelnemers van de inwonerraad zouden vormen. Daarbij is onder andere gelet op de man-vrouw verhouding, leeftijdopbouw, progressief-conservatief verhouding

en de geografische spreiding. De inwonerraad is gevraagd adviezen te geven over de randvoorwaarden waaraan het energiesysteem van 2050 moet voldoen. De inwonerraad heeft onafhankelijk van het expertteam geopereerd en een eigen werkwijze gevolgd. Bij keuzes voor een energiesysteem hebben burgers een afweging gemaakt tussen gevolgen voor vier soorten waarden, namelijk groene waarden, zelfwaarden, genietwaarden en medemenselijke waarden. Door burgers te betrekken bij het nadenken over het toekomstige energiesysteem van Nederland, ontstaat meer inzicht in de voorwaarden waaronder oplossingen voor burgers acceptabel kunnen zijn en draagvlak ontstaat of vergroot. Bovendien kan de inwonerraad zo de kennis, ervaring, zorgen en behoeften uit de samenleving zichtbaar maken. Zie voor het gehele rapport en een uitgebreide beschrijving van het selectieproces, de opzet van de bijeenkomsten, een toelichting op de waarden en de adviezen het [Eindrapport Inwonerraad Energie](#)¹⁴⁰.

Dit hoofdstuk reflecteert eerst in algemene zin op de adviezen, en legt daarna de link tussen de inzichten van het expertteam en de aangenomen adviezen van de inwonerraad. Het hoofdstuk eindigt met een reflectie van het expertteam op de kansen en beperkingen van burgerparticipatie en een advies over toekomstige inzet.

6.2. Algemene reflectie op adviezen

6.2.1 Randvoorwaarden

Het expertteam heeft de deelnemers om randvoorwaarden gevraagd voor het energiesysteem van 2050. Bij het opstellen van de adviezen heeft de inwonerraad de implicaties voor belangrijke waarden meegenomen. Het waardenmodel helpt deelnemers om aan de hand van vier soorten waarden (zelfwaarden, groene waarden, geniet waarden en medemenselijke waarden) aan te geven wat ze belangrijk vinden voor het energiesysteem van de toekomst en waarom (zie het Eindrapport Inwonerraad Energie hoofdstuk 2.6 Het waardenmodel voor een toelichting op de waarden⁶⁹). Alle waarden komen terug in de adviezen, waarbij de meeste adviezen tegemoetkomen aan meerdere waarden.

Er zijn door de inwonerraad in totaal 25 adviezen opgesteld, waarvan de inwonerraad 19 adviezen heeft aangenomen. In de adviezen komen met name rechtvaardigheid, leveringszekerheid, betaalbaarheid en een groene leefomgeving naar voren als belangrijke randvoorwaarden voor het energiesysteem van 2050. Rechtvaardigheid en betaalbaarheid komt terug in overwegingen als 'niemand achterblijft', 'rechtvaardige verdeling', 'eerlijke prijs', 'toekomstige generatie', 'breder oriënteert..... dialoog tussen inwoners, experts en politiek', 'recht op informatie', 'gelijk speelveld', 'betaalbare energie', 'voor iedereen', 'individueel én bedrijfsleven'. Leveringszekerheid is in verschillende adviezen benoemd met termen als 'stabiel energiesysteem', 'langetermijnvisie voor energievoorziening', 'energiebehoefte nu en straks waarborgt', 'stroomuitval voorkomen', 'continu voldoende energie opwekken', 'niet afhankelijk van andere landen', 'stabiel en betrouwbaar energiesysteem'. Een groene

leefomgeving komt terug in: 'een zo groen mogelijk systeem', 'energiedoel in 2050', 'prettige leefomgeving', 'groene leefomgeving', 'aarde bewaren' en 'impact op milieu kennen'. Meerdere adviezen benoemen het belang van begrijpelijke en positieve communicatie om gedragsverandering van de consument te stimuleren. Duidelijke informatie over het energiesysteem draagt volgens de inwonerraad bij aan bewustwording van burgers over hun energievraag en het kan duurzaam gedrag en een lagere energievraag stimuleren. De inwonerraad wil daarnaast bepaalde dingen behouden. Zoals bestaande gasleidingen gaan gebruiken om waterstof te transporteren en het behouden van mooie uitzichten.

De inwonerraad suggereert dat veel bredere consultatie en betrokkenheid van burgers belangrijk is. Meerdere adviezen gaan in op het belang van onafhankelijke inbreng van experts en burgers bij politieke besluitvorming. De inwonerraad adviseert om experts de politiek te laten adviseren over de langetermijnvisie en hen ook te laten monitoren of de visie gerealiseerd wordt. Daarnaast wordt gebruik van burgerparticipatie geadviseerd om burgers mee te laten denken over belangrijke waarde-afwijkingen voor het energiesysteem.

6.2.2 Rol van de overheid

De partij die de meeste verantwoordelijkheid heeft voor het uitvoeren van deze adviezen is in de ogen van de inwonerraad de overheid. Men wil van de overheid een veel duidelijker regierol, waarbij duurzaamheid op onder andere ruimtelijk en natuurlijk vlak een grote waarde heeft in de besluitvorming. Een aantal adviezen is gericht op het aantrekkelijker maken van duurzame opties ten opzichte van niet-duurzame opties. Bijvoorbeeld duurzaam vervoer het goedkoopst maken, aanscherpen van regelgeving voor verduurzaming van bedrij-

ven en beschikbaar stellen van subsidies voor energiebesparing in woningen.

Het lijkt dat ideologisch geformuleerde adviezen niet worden aangenomen door de inwonerraad. Dat geldt bijvoorbeeld voor het advies om als overheid een actieve rol te pakken om de energiemarkt eerlijker te verdelen. Met neutraal geformuleerde adviezen, zoals een collectieve energie-inkoop op EU-niveau, wordt wel ingestemd. De inwonerraad vindt dat er eenduidige wet- en regelgeving moet komen om het doel van een duurzaam energiesysteem te behalen, waarbij rechtvaardigheid belangrijk gevonden wordt. Dit komt terug in de adviezen omtrent een gelijk speelveld en transparante besluitvorming.

Reflectie expertteam op Advies 1

Advies 1: Collectieve energie-inkoop door EU

Wat zien we?

Ieder land in de EU concurreert met elkaar op de energie- en gasmarkt, en dat drijft de prijzen op.

Wat willen we?

Een constante toegang tot betaalbare energie op Europees niveau. Een eerlijke prijs en rechtvaardige verdeling van energie.

Hoe bereiken we dat?

Eén EU-brede samenwerking op de energie- en gasmarkt, nu en in de toekomst.

Ook het expertteam benadrukt het belang van samenwerking op EU-niveau voor onder andere normering voor bunkerbrandstoffen, emissies in de gehele ketens van productie, distributie en consumptie (de zgn. scope 3 emissies) en de productie van elektriciteit. De in advies 1 genoemde collectieve inkoop noemt het expertteam niet. De eerlijke prijs en rechtvaardige verdeling van energie is in overeenstemming met het ontwerpprincipes rechtvaardig.

6.3. Relatie adviezen Inwonerraad Energie en Outlook

Hieronder volgt steeds een korte reflectie van het expertteam op de door de Inwonerraad Energie aangenomen adviezen. Iedere reflectie begint met een exacte copie van het advies.

De adviezen volgen de oorspronkelijke nummering zoals opgesteld tijdens de inwonerraad. Zes adviezen zijn door de inwonerraad niet aangenomen en zijn daarom niet behandeld in dit hoofdstuk. Deze adviezen zijn wel terug te vinden in het rapport van de [inwonerraad](#)¹⁴¹

Reflectie expertteam op Advies 2

Advies 2: Een solidaire energietransitie

Wat zien we?

Mogelijke uitsluiting van individuen en bevolkingsgroepen om mee te kunnen doen aan de energietransitie. Bijvoorbeeld omdat ze het geld niet hebben, de kennis en capaciteiten niet hebben of de taal niet spreken.

Wat willen we?

Dat in Nederland niemand achterblijft in de energietransitie, omdat we het met elkaar moeten doen en de kloof in de samenleving niet groter moet worden.

Hoe bereiken we dat?

De overheid dient z.s.m. op lokaal niveau meer middelen (geld en hulpverlening) beschikbaar te stellen voor minderbedeelden om tot dezelfde resultaten qua duurzaamheid en energieneutraliteit te komen als de beterbedeelden.

Waarden: medemenselijke waarden en zelfwaarden

Dit advies sluit goed aan bij het ontwerpprincipie rechtvaardigheid dat een centrale rol speelt in de Outlook.

Reflectie expertteam op Advies 3

Advies 3: Inzicht op Impact

Wat zien we?

Oude energiebronnen hebben negatieve onvoorziene consequenties voor het milieu en de voorraad van grondstoffen gehad.

Wat willen we?

Dat bij toepassing van nieuwe energiebronnen bewustwording wordt gecreëerd over de impact op het milieu en dat dat helder naar buiten wordt gecommuniceerd. Dit vinden wij belangrijk om de toekomstige generaties zo veel mogelijk te behoeden

Hoe bereiken we dat?

De ecologische impact zo veel mogelijk door experts in kaart laten brengen om de negatieve gevolgen voor toekomstige generaties te voorkomen.

Dit advies komt overeen met de ontwerpprincipes rechtvaardigheid en duurzaamheid. Het creëren van meer inzicht van keuzes op milieu- en grondstoffengebruik is nodig voor een goede afweging op basis van de ontwerpprincipes. Door de introductie van ontwerpprincipes als belangrijk afwegingskader is het expliciet duiden van milieu-impact en grondstoffengebruik nodig.

Reflectie expertteam op Advies 4

Advies 4: Dialoog

Wat zien we?

Een overheid die onvoldoende luistert en handelt naar wat inwoners vinden en willen.

Wat willen we?

De inwoners krijgen een adviserende rol bij maatschappelijke opgaven, zoals het energiesysteem. Het belang hierbij is dat de politiek zich breder oriënteert. Wij vinden het belangrijk om vaker dialoog te hebben tussen inwoners (over hun waarden), experts (over goede oplossingen) en politiek.

Hoe bereiken we dat?

De overheid organiseert inwoner- en burgerberaden.

Waarden: medemenselijke waarden

Het expertteam is het eens met de Inwonerraad Energie dat burgerparticipatie een meer centrale rol moet krijgen in maatschappelijke opgaven en onderschrijft dat in haar ontwerpprincipie rechtvaardigheid (en meer specifiek procedurele rechtvaardigheid). De inwonerraad is ingezet om te onderzoeken of een dergelijk participatietraject ook werkt bij een ingewikkeld en veelomvattend onderwerp als het ontwerp van het energiesysteem van de toekomst. Het expertteam onderschrijft verder het belang van een dialoog tussen politiek (inclusief beleid en uitvoering van beleid), inwoners, en experts in het hoofdstuk Systeemoplossingen.

Reflectie expertteam op Advies 5

Advies 5: Begrijpelijke informatie

Wat zien we?

De informatie over energie is niet voor iedereen toegankelijk en begrijpelijk.

Wat willen we?

Toegankelijke en begrijpelijke informatie, ook voor nieuwkomers en laaggeletterden. Dit vinden we belangrijk omdat iedere inwoner recht heeft op informatie zodat het speelveld voor iedereen gelijk is

Hoe bereiken we dat?

De overheid zorgt voor duidelijke informatie in tekst en beeld.

Waarden: medemenselijke waarden

Toegankelijke informatie gaat een bijdrage leveren aan rechtvaardigheid met eerlijke en transparante procedures. In het hoofdstuk Systeemoplossingen noemt het expertteam het belang van goede informatie en feedback die aansluit bij de doelgroep. De uitgesproken behoefte van de inwoners neemt het expertteam ter harte, bijvoorbeeld door een visuele vertaling te maken van de Outlook.

Reflectie expertteam op Advies 6

Advies 6: Energie betaalbaar voor iedereen

Wat zien we?

Niet iedereen heeft toegang tot betaalbare energie.

Wat willen we?

Betaalbare energie voor iedereen, waar je bewust mee omgaat. We vinden dit belangrijk omdat energie een basisbehoefte is.

Hoe bereiken we dat?

Experts laten onderzoeken hoe een eerlijk energiesysteem te realiseren.

Het expertteam onderstreept het belang van een eerlijke en rechtvaardige energietransitie. Het expertteam heeft rechtvaardigheid als een van de drie ontwerpprincipes centraal gezet in de Outlook, en rekent betaalbaarheid daar ook onder. Daarnaast is toegang tot betaalbare energie voor iedereen ook onderdeel van het ontwerpprincipe robuust.

Advies 7: Nederland met een optimaal groen energiesysteem

Wat zien we?

In Nederland hebben we een inefficiënt energievoorzieningssysteem dat fluctueert door het gebruik van zonne- en windenergie. Op sommige momenten is er overproductie, overcapaciteit (resulteert in negatieve energieprijzen, zonnepanelen schakelen uit). Op andere momenten ondercapaciteit van groene energiebronnen (wanneer er geen wind of zon is).

Wat willen we?

Een zo groen mogelijk energiesysteem dat stabiel is onder alle omstandigheden en voor iedereen betaalbaar.

Waarom stabiel: vanuit zelfwaarden en genietwaarden altijd beschikbaar.

Waarom zo groen mogelijk: vanuit de groene waarde om de natuur en het milieu te behouden en te verbeteren. Met name voor de toekomstige generaties.

Waarom voor iedereen betaalbaar: vanuit de zelfwaarden en medemenselijke waarden, energie is een basisbehoefte waar iedereen recht op heeft.

Hoe bereiken we dat?

Nieuwe innovaties stimuleren die energieopslag mogelijk maken (bijvoorbeeld waterstof). Stimuleer dat je overcapaciteit zo goed mogelijk benut zonder verspilling. Het stroomnetwerk uitbreiden en optimaliseren om bovenstaande doelen te bereiken.

Reflectie expertteam op Advies 7

Sluit aan bij de Outlook van het expertteam. De genoemde suggesties, zoals innovatie stimuleren, energieopslag mogelijk maken, benutten overcapaciteit en versnellen van de aanleg van energie-infrastructuur komen terug in het ontwikkelpad Elektriciteit en Waterstof van de Outlook. Het expertteam voorziet een belangrijke en waarschijnlijk relatief beperkte rol voor waterstof voor het inbrengen van flexibiliteit in het energiesysteem. Dit advies sluit goed aan bij de drie ontwerpprincipes die centraal staan in de Outlook: rechtvaardig, duurzaam en robuust.

Reflectie expertteam op Advies 9

Advies 9: Een fijne leefomgeving voor iedereen

Wat zien we?

De energietransitie 2050 heeft een grote impact op het ruimtegebruik in Nederland. Dit gaat ten koste van de leefomgeving.

Wat willen we?

We willen ruimte voor wonen, werken, recreatie, natuur en energie opwekken. We vinden dit belangrijk omdat een prettige leefomgeving voor iedereen beschikbaar moet zijn.

Hoe bereiken we dat?

Door multifunctioneel ruimtegebruik + door alle belanghebbenden nauw te betrekken + door natuur-inclusief te bouwen (wonen & werken in een groene omgeving) + door ruimte te behouden en vrij te maken voor natuur.

Het expertteam roept ook op om transitie integraal te bekijken. De genoemde suggesties uit advies 9 (multifunctioneel bouwen, ruimte voor natuur en een prettige leefomgeving voor iedereen) en de redenen waarom sluiten aan bij het ontwikkelpad Lokale energiesystemen en de ontwerpprincipes rechtvaardig en duurzaam.

Reflectie expertteam op Advies 12

Advies 12: Onafhankelijk energie-adviesorgaan

Wat zien we?

De politiek is vaak gericht op de korte termijn en laat zich leiden door de waan van de dag en partijpolitieke belangen waardoor er voor de toekomst van het energiesysteem geen langetermijnkeuzes worden gemaakt.

Wat willen we?

Een langetermijnvisie over de energievoorziening die partij- en verkiezingsbelangen overstijgt, omdat we koers willen houden naar het energiedoel voor 2050.

Hoe bereiken we dat?

Met een zichtbaar, onafhankelijk en divers adviesorgaan met verschillende expertises die gevraagd of ongevraagd advies geeft en monitort over de uitvoering van de langetermijnvisie.

Het expertteam onderstreept al sinds zijn eerste brief het belang van een langetermijnvisie. Dit onderbouwt het expertteam in het hoofdstuk Eindbeelden en past dit toe in de andere hoofdstukken van deze Outlook. Ook de systeemoplossingen zijn gericht op de doelen op de langere termijn. In het hoofdstuk Systeemoplossingen beschrijft het expertteam het belang van uitvoering en de inbreng van kennis om in de onzekere toekomst en de complexiteit van het systeem steeds te blijven leren. Het expertteam geeft dit advies ook graag door aan de recent opgerichte Wetenschappelijke Klimaatraad.

Reflectie expertteam op Advies 13

Advies 13: Waterstof als opslag van overcapaciteit (energie)

Wat zien we?

1. Met het afstappen van aardgas ligt er een netwerk van gasleidingen dat niet wordt benut.
2. We zien een overcapaciteit van wind en zon die nu niet wordt benut.

Wat willen we?

Efficiënt gebruikmaken van het unieke gasleidingsysteem in Nederland. Waterstof kan (relatief) makkelijk gebruikt worden om overcapaciteit langdurig op te slaan en te transporteren via dat systeem van bestaande gasleidingen. We willen dat, omdat we geen verlies willen van kapitaal, materiaal en energie.

Hoe bereiken we dat?

Overcapaciteit van zon en wind opslaan als waterstof en deze waterstof transporteren via de bestaande gasleidingen.

Het expertteam ziet ook een belangrijke rol weggelegd voor waterstof als flexibiliteitsoptie voor overschotten aan duurzame energie op momenten met weinig vraag. Waterstof zal echter ook nog lange tijd schaars blijven, en dus is het belangrijk dat groene waterstof gebruikt gaat worden voor die functies waar alternatieven beperkt beschikbaar zijn. Het expertteam ziet een rol voor waterstof voor zwaar transport en voor de industrie, niet voor de gebouwde omgeving. Het benutten van bestaande gasleidingen voor transport lijkt logisch, voor distributie in dorpen en steden is dit zeer onwaarschijnlijk.

Reflectie expertteam op Advies 15

Advies 15: Een toekomstbestendige infrastructuur

Wat zien we?

De huidige infrastructuur biedt onvoldoende capaciteit voor onze toekomstige energiebehoeften. Hierdoor komt de leveringszekerheid in het gedrang.

Wat willen we?

We willen een stabiele infrastructuur die onze energiebehoefte zowel nu als in de toekomst waarborgt. Dit vinden wij belangrijk omdat (stabiele) energie een basisbehoefte is (zelfwaarden), we stroomuitval willen voorkomen die de maatschappij kan ontwrichten (medemenselijke waarden) en om comfort voor gebruikers (genietwaarden).

Hoe bereiken we dat?

De overheid moet investeren en faciliteren in de uitbreiding van onze infrastructuur (zoals opslag en transport van energie), die voldoet aan onze (toekomstige) energiebehoefte.

Leveringszekerheid is door de experts opgenomen als onderdeel van het ontwerpprincipie robuust. In het hoofdstuk Elektriciteit & Waterstof geeft het expertteam aan dat investeren in de energie-infrastructuur nodig en noodzakelijk is. In het bijzonder voor elektriciteit stelt het expertteam minimaal een verdubbeling voor. Daarnaast roept het expertteam op tot een kleiner energiesysteem waarbij vraagreductie de sleutel is om de energietransitie mogelijk te maken.

Reflectie expertteam op Advies 16

Advies 16: Ecologische leefomgeving

Wat zien we?

Opwarming in de leefomgeving, stijgende kosten door slechte isolatie (in de winter en de zomer), slechte luchtkwaliteit, lokale wateroverlast.

Wat willen we?

Een groene leefomgeving met groene gevels, groene daken, groen in de tuin, in de straat en in de wijk. Want een groene leefomgeving zorgt voor verkoeling in de zomer, isolatie in de winter, wateropslag, betere luchtkwaliteit en meer biodiversiteit.

Hoe bereiken we dat?

- Kennis en kunde stimuleren en financieren (bijvoorbeeld een vak ecologie op de basisschool tot specialistisch onderzoek aan de universiteit);
- Betrekken van inwoners van de transitie;
- Subsidie op het vergroenen van je huis en leefomgeving.

Een groene leefomgeving, isolatie en groene gevels en daken zijn onderdeel van het ontwikkelpad Lokale energiesystemen. Het expertteam ziet meer heil in het normeren van het percentage verharding in tuin en openbare ruimte, dan subsidie voor meer groen. Het expertteam vindt het belangrijk dat burgers bij de transitie betrokken moeten worden. Het voorbeeld om het vak ecologie op de basisschool te geven zodat jong geleerd wordt over de voordelen van een groene leefomgeving is vernieuwend. Het expertteam brengt dit advies graag over aan het kabinet en het ministerie van OCW.

Reflectie expertteam op Advies 17

Advies 17: Behoud van mooie uitzichten

Wat zien we?

Door een eenzijdige focus op zonne- en windenergie zien we landschapsvervuiling, veel ruimtegebruik, bedreiging van biodiversiteit en onvoorspelbare hoeveelheid opwekking.

Wat willen we?

Continu voldoende energie opwekken op minder grond met zo min mogelijk schade aan de natuur. Dit vinden we belangrijk omdat er voor iedereen altijd voldoende, betaalbare energie moet zijn, en we vinden het belangrijk om de aarde te bewaren.

Hoe bereiken we dat?

Door innovaties te stimuleren en te blijven zoeken naar compacte energiebronnen (bv. veilige kernenergie etc.).

Het expertteam vindt duurzaamheid en rechtvaardigheid (waaronder betaalbare energie) belangrijk en heeft dit ook als twee van haar ontwerpprincipes geïdentificeerd. Het expertteam vindt dat uitzichten kunnen veranderen als gevolg van ontwikkelingen in een duurzaam energiesysteem. Wel vindt het expertteam het belangrijk dat er aandacht is voor het landschap, ruimte blijft voor natuur, biodiversiteit, en dat het gezond en veilig is om te wonen en werken. In het hoofdstuk Eindbeelden onderschrijft het expertteam dat Nederland op land een beperkte ruimte heeft voor opwekking van zonne- en windenergie en dat een energiesysteem met veel vraagreductie de transitie gemakkelijker, goedkoper en rechtvaardiger maakt. Compacte energie, met als voorbeeld kernenergie, is geen aanbeveling van het expertteam. Dit lijkt vooralsnog minder te passen in het energiesysteem met veel wind- en zonvermogen, en betekent financieel een forse last.

Advies 18: Meer mix, minder afhankelijkheid

Wat zien we?

Te veel afhankelijkheid van een beperkt aantal (vooral buitenlandse) energiebronnen.

Wat willen we?

Een groene energiemix die niet te afhankelijk is van andere landen. Dit zorgt voor een stabielere en een betrouwbaarder energiesysteem in de toekomst.

Hoe bereiken we dat?

Door een zo veel mogelijk lokale mix van groene energiebronnen samengesteld door experts.

Waarden: groene waarden, zelf waarde, genietwaarden

Reflectie expertteam op Advies 18

Het expertteam is het eens met de nadruk op lokale opwekking en lokaal gebruik voor lokale energiesystemen. Op het schaalniveau van heel Nederland ziet het expertteam vooral het belang van Europese samenwerking en afstemming voor productie van duurzame energie en voor inkoop van verschillende bronnen. Dit valt onder het ontwerpprincipie robuust waarin Europese autonomie terugkomt. Het expertteam doet geen uitspraak over de rol van experts bij het bepalen van de energiemix. Het benoemt in het hoofdstuk Systeemoplossingen wel dat samenwerking nodig is tussen beleid, uitvoering en kennisontwikkeling.

Advies 19: Bewustwording van energieverbruik door de burger

Wat zien we?

Slecht geïsoleerde woningen (huur), energieverlies, hoge stookkosten en onwetendheid.

Wat willen we?

Mensen zijn bewust van, en hebben inzicht in, hun energieverbruik.

Waarom: meer zelfwaardering, je levert een bijdrage aan verduurzaming naar 2050 (alle vier de waarden).

Hoe bereiken we dat?

Uitbreiden informatieverstrekking door bibliotheken, gemeenten en energiecoaches. Richtlijnen voor een energierekening die voor iedereen begrijpelijk is.

Reflectie expertteam op Advies 19

Bewustwording van de eigen consumptie is een belangrijke voorwaarde voor gedragsverandering. Het expertteam gaat in het hoofdstuk Systeemoplossingen hier op in. Het expertteam vindt het wel belangrijk om te benoemen dat informatieverstrekking alleen vaak niet voldoende is om gedragsverandering te realiseren. Naast bewustwording moeten er ook mogelijkheden zijn om te kunnen veranderen. Passende infrastructuur die gewenst gedrag mogelijk maakt, is een randvoorwaarde.

Advies 20: Gedeelde verantwoordelijkheid

Wat zien we?

We zien dat de overheid bij verduurzaming actief stuurt op gedragsverandering van het individu. Door hierop te focussen blijven bedrijven deels buiten schot. Momenteel is verduurzaming bij bedrijven daardoor te vrijblijvend. Hierdoor komt groene verandering traag op gang.

Wat willen we?

Wij vinden het belangrijk dat, om een eerlijke en rechtvaardige energietransitie te realiseren, verduurzaming een kwestie is van én én. Het individu én het bedrijfsleven hebben hierin een gedeelde verantwoordelijkheid. We willen dat bedrijven verantwoordelijkheid nemen voor het verduurzamen van hun bedrijf. Hierin heeft de overheid een sturende rol.

Hoe bereiken we dat?

Naast de aandacht voor het individu, maakt de overheid een groen en duurzaam beleid om bedrijven te stimuleren te verduurzamen (denk hierbij bijvoorbeeld aan het invoeren van een eco-keurmerk).

Reflectie expertteam bij Advies 20

Dit advies stemt overeen met de Outlook. Vanuit rechtvaardigheid en een eerlijke verdeling van lasten en lusten roept de Inwonerraad Energie om een veel meer gelijke bijdrage van inwoners en bedrijven. Het expertteam zet wel meer in op normering en beprijzing dan vooral op een (vrijwillig) keurmerk.

Advies 21: Positieve verduurzaming

Wat zien we?

We zien dat in overheidscampagnes rondom verduurzaming, energietransitie, klimaat etc., vaak de nadruk wordt gelegd op wat er misgaat/beter moet.

Wat willen we?

We willen dat de focus wordt verlegd op het benadrukken van wat er wél goed gaat, omdat dat mensen motiveert tot verduurzaming. Dit vinden we belangrijk omdat die positieve focus leidt tot positieve gedragsverandering en meer verduurzaming.

Hoe bereiken we dat?

Onder andere door gedragswetenschappers in te zetten, tijdens het vormgeven van campagnes.

Reflectie expertteam op Advies 21

Dit advies sluit aan bij de Outlook. Zowel de positieve elementen van het eindbeeld als gedragsverandering zijn belangrijke onderdelen van de Outlook. Hierbij is het inzetten van gedragsexperts zeker waardevol. De Outlook heeft een positieve toon, want het laat zien dat het mogelijk is om in 2050 een klimaatneutraal energiesysteem te hebben.

Advies 22: Duurzaamste mogelijkheid van vervoer is de goedkoopste en makkelijkste optie

Wat zien we?

Duurzaam vervoer is vaak het duurst en complex.

Wat willen we?

- Goede infrastructuur voor de duurzame opties
- Toegankelijkheid en betaalbaarheid voor iedereen
- De duurzaamste opties worden ook de goedkoopste opties
- Makkelijke en snelle verbindingen

Dit vinden wij belangrijk omdat het een positieve impact heeft op mens en milieu.

Hoe bereiken we dat?

- Het OV wordt goedkoper en aantrekkelijker gemaakt
- Overheden leidend in dekkende infrastructuur
- Meer investeren in de verduurzaming van de hele vervoersketen.

Reflectie expertteam op Advies 22

Dit advies sluit aan bij de bevindingen van het expertteam. In het ontwikkelpad Lokale energiesystemen wordt duurzame mobiliteit expliciet genoemd en toegelicht. Juist een goedwerkende duurzame infrastructuur stelt mensen in staat om ook duurzaam mobiliteitsgedrag te laten zien. Daarnaast benoemt het hoofdstuk Systeemoplossingen het belang van een goede infrastructuur als randvoorwaarde voor duurzaam gedrag van burgers en bedrijven. Het expertteam ziet voor de aanleg van die infrastructuur ook een belangrijke rol voor de overheid weggelegd.

Advies 23: Winst voor een duurzame samenlevingWat zien we?

Grootverbruikers en vervuilers (bv. chemische industrie) lijken geen haast te maken met verduurzamen. Ze leveren een grote bijdrage aan het opwarmen van de aarde.

Wat willen we?

Deze bedrijven versneld laten verduurzamen om de opwarming van de aarde tegen te gaan. Wij vinden het belangrijk dat bedrijven de waarden van omwonenden hierin meenemen om daardoor ook tot nieuwe inzichten te komen.

Hoe bereiken we dat?

- Het OV wordt goedkoper en aantrekkelijker gemaakt
- Overheden leidend in dekkende infrastructuur
- Meer investeren in de verduurzaming van de hele vervoersketen.

Reflectie expertteam op Advies 23

Het expertteam ziet ook dat bedrijven, zoals de grote chemische bedrijven, moeten gaan verduurzamen. Wet- en regelgeving is daarbij cruciaal, en het expertteam ziet daarom vooral een rol voor normering. Het advies van de inwonerraad om bedrijven in dialoog te laten gaan met omwonenden en op die manier de omgeving mee te laten denken met keuzes is innovatief. Het expertteam meent dat het interessant kan zijn om over deze vorm van bewonersbetrokkenheid verder na te denken en daarmee te experimenteren.

6.4. Reflectie op proces

6.4.1. Waardevolle ervaring die smaakt naar meer

Het expertteam constateert dat de inwonerraad een goede afspiegeling van de Nederlandse samenleving vormt. Dit verhoogt de kans dat de adviezen van de inwonerraad breed gedeeld zijn onder Nederlanders. De inwonerraad bestond uit een diverse en grote groep aan deelnemers, uit verschillende delen van het land, geslacht, leeftijden, opleidingsniveaus, migratieachtergrond, en politieke oriëntatie. Er was een lichte ondervertegenwoordiging van mannen en relatief veel vroegtijdige uitvallers met een MBO-opleidingsniveau. De spreiding over Nederland, verdeling van politieke oriëntatie en deelnemers met een migratieachtergrond is zoals beoogd. Het percentage van de deelnemers komt daarmee redelijk goed overeen met de Nederlandse bevolking (zie voor de specifieke uitwerking en reflectie op de representativiteit het rapport van de [inwonerraad](#)¹⁴²).

De inwonerraad heeft geleid tot concrete adviezen gericht op het energiesysteem van de toekomst. Deelnemers van de inwonerraad vinden dat ze het systeem als geheel moeten beschouwen. Dit laat

zien dat het meedenken op de langetermijn en het systeemniveau werkt. De meeste deelnemers vonden het belangrijk om een toekomstig energiesysteem te ontwikkelen met inbreng van een burgerberaad of inwonerraad. Een inwonerraad kan volgens hen leiden tot een democratischer proces, waarbij burgers beter vertegenwoordigd zijn, en tot betere beslissingen met meer maatschappelijk draagvlak. Deelnemers waren ermee eens dat een inwonerraad nieuwe kennis en expertise kan inbrengen en dat de inwonerraad de weg naar een toekomstig energiesysteem kan versnellen. Een goed en wenselijk proces dus. Deelnemers willen niet dat de indruk ontstaat dat burgers de energietransitie alleen moeten oplossen.

De inwonerraad heeft voldaan aan de verwachtingen van het expertteam door het geven van waardevolle inzichten in wat burgers belangrijk vinden voor het energiesysteem van de toekomst. De adviezen sluiten aan bij de bevindingen van het expertteam en het heeft ook geleid tot nieuwe inzichten.

De deelnemers van de inwonerraad is ook gevraagd om te reflecteren op het gehele proces. Dit is gedaan door de Rijksuniversiteit Groningen



Afbeelding 6.1. Word cloud met een reflectie van deelnemers in één woord van bijeenkomst vier van de Inwonerraad Energie.

(RUG). Zie voor een uitgebreidere reflectie op de ervaring van de deelnemers het inwonerraad-rapport en het onderzoek Uw mening over energie en de Inwonerraad Energie van de Rijksuniversiteit Groningen¹⁴³. Hieronder is een word cloud te zien van de vierde bijeenkomst van de inwonerraad. Tijdens de afsluiting is aan deelnemers gevraagd om het proces in één woord samen te vatten. Deze woorden zijn hieronder opgenomen. Als een woord groter is, betekent dit dat het woord vaker is genoemd door deelnemers.

6.4.2 Leerpunten en tips voor toekomstige inzet

Het goed doorlopen van het opzetten van een inwonerraad kost tijd. De oorspronkelijke opzet was om vijf bijeenkomsten te organiseren in twee maanden. Dit werden vier bijeenkomsten binnen één maand. Dit bleek een (te) krappe periode te zijn. Het kost deelnemers namelijk tijd om informatie te verwerken en zich voor te bereiden op de volgende bijeenkomst. Daarnaast geeft het behoorlijk druk op de agenda's van de deelnemers en op het organiserende team. Bovendien zat er veel tijdsdruk op de uitnodigingen en het ontwerp van het proces, waardoor er weinig kans was om te corrigeren op eventuele afwijkingen in de loting. Bij de Inwonerraad Energie was een lotingscorrectie niet nodig. Voor toekomstige processen is het aan te raden om hier meer tijd voor te reserveren. Het is belangrijk dat inclusiviteit vooraf gewaarborgd wordt. Zowel op het gebied van toegankelijkheid van de bijeenkomsten, als diversiteit in aantal deelnemers. Zoals eerder beschreven, was er bijvoorbeeld een relatief grote vroegtijdige uitval van mensen met een MBO-opleidingsniveau. Voor toekomstige inzet is het daarom goed dit mee te nemen bij de opzet van het proces.

Tijdens de bijeenkomsten zijn moderatoren die ruimte, binnen kaders, geven aan deelnemers belangrijk. Bij het opstellen van de adviezen is gebleken dat semantiek het stemmen kan beïn-

vloeden. Er is een belangrijke rol weggelegd voor de gespreksbegeleiders om door te vragen en deelnemers te helpen een advies op te stellen waar rekening wordt gehouden met de woorden die zij gebruiken. Daarnaast is het aan te raden om keuzes aan deelnemers te laten om een te sturend proces te voorkomen en deelnemers eigenaarschap te geven. Tijdens het proces konden deelnemers bijvoorbeeld aangeven hoe besluiten genomen zouden worden en welke sprekers zij wilden uitnodigen voor extra informatie.

Deelnemers hebben adviezen geformuleerd over de randvoorwaarden die zij belangrijk vinden voor het toekomstige energiesysteem. Dit hebben zij gedaan op basis van implicaties voor vier waarden (zie het inwonerraad-rapport voor een toelichting op deze waarden). De aangenomen adviezen houden rekening met alle vier waarden. Voor een volgend proces zou het goed zijn om meer stil te laten staan bij conflicten die kunnen optreden tussen verschillende waarden, en een waarde-afweging laten maken, die een rol spelen bij het maken van bepaalde keuzes. Een voorbeeld van zo'n waarde-afweging is de mate van strategische autonomie tegenover de ruimte die de opwekking van duurzame energie in Nederland in mag nemen. Een advies dat oproept tot veel strategische autonomie kan dan conflicteren met een advies dat vraagt om zo min mogelijk inpassing van duurzame energie in het landschap. Het is dan aan de deelnemers om een afweging te maken tussen deze twee belangen.

Deelnemers nemen hun taak serieus en voelen zich daarmee verantwoordelijk voor de personen die niet deelnemen aan dit proces. Dit spreekt van een grote mate van verbondenheid. Het is echter wel belangrijk om te benadrukken dat deelnemers niet de mening van anderen hoeven in te brengen, omdat dat geborgd is door een representatieve groep mensen deel te laten nemen. Deelnemers moeten zich goed bewust zijn van het feit dat

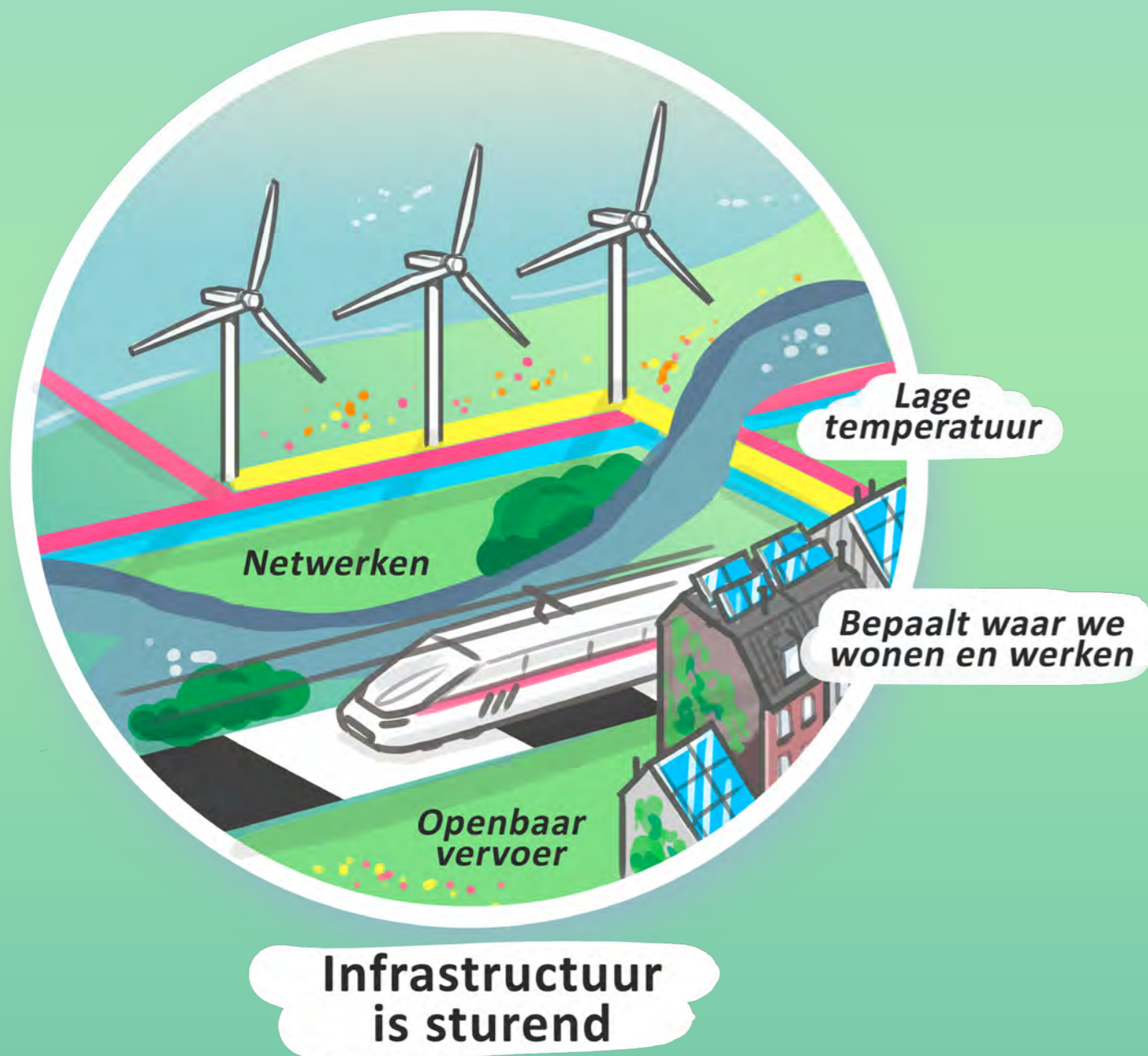
de groep aanwezigen representatief is voor de Nederlandse samenleving en dat daarmee iedere stem gehoord mag worden.

6.5 Conclusie en advies voor toekomstige inzet

De Inwonerraad Energie heeft aangetoond dat deze vorm van burgerparticipatie kan worden ingezet om burgers na te laten denken over het energiesysteem van de toekomst, met oog voor een langetermijnvisie en systeemperspectief. Het onderzoek van de Rijksuniversiteit Groningen onderstreept deze conclusie. Uit hetzelfde onderzoek blijkt dat de deelnemers met name willen dat de adviezen van de inwonerraad een adviseerende rol dienen. Bij deze adviseerende rol mogen beleidsmakers van het advies afwijken als zij daar een goede reden voor hebben.

Het expertteam is onder de indruk van de constructieve wijze waarop de inwonerraad heeft gefunctioneerd en beveelt daarom met enthousiasme aan om een burgerberaad of inwonerraad vaker in te zetten voor vraagstukken die een langetermijn- en systeemperspectief behoeven. Hierbij is belangrijk om van tevoren duidelijkheid te verstrekken over welk mandaat een inwonerraad of burgerberaad heeft, bijvoorbeeld burgers informeren, de overheid adviseren, of meebeslissen over beleid. Het is interessant om te onderzoeken in welke mate adviezen die tot stand zijn gekomen door een burgerparticipatietraject breedgedragen worden door de samenleving, en om na te gaan of draagvlak voor de transitie wordt versterkt door een burgerberaad of inwonerraad.

7. Systemoplossingen op weg naar 2050



7.1. Inleiding

Een gedeelde visie op de systeemtransitie, ondersteund door consistent en coherent beleid, creëert de noodzakelijke basis voor een klimaatneutraal energiesysteem met een rol voor alle partijen. Voor een klimaatneutraal energiesysteem zijn burgers, bedrijven en de overheid samen aan zet. In het huidige energiesysteem worden producenten en gebruikers van energie onvoldoende geconfronteerd met de negatieve klimaatgevolgen van hun fossiel energiegebruik. Sterker nog, in sommige gevallen wordt gebruik van fossiele energie direct of indirect gesubsidieerd en gestimuleerd. De noodzaak van overheidsinterventie gericht op de transitie staat daarom buiten kijf.

Een sectorale aanpak van energie kent vaak onbedoelde (negatieve) neveneffecten in een andere sector. Daarom is een sectoroverstijgend systeem perspectief nodig. In dit hoofdstuk staan de systeemoplossingen centraal die systeemknelpunten in het energiesysteem kunnen wegnemen.

Een systeemoplossing wil zeggen dat die oplossing:

- relevant is voor elk ontwikkelpad, of
- gerelateerd is aan de verbindingen en/of coördinatie tussen de ontwikkelpaden, of
- een beschouwing vereist van het gehele energiesysteem.

In dit hoofdstuk zijn vijf essentiële met elkaar samenhangende systeemoplossingen beschreven om de belangrijkste systeemknelpunten op te lossen. Dit zijn achtereenvolgens:

- Ontwikkel een breed gedeelde integrale visie op het energiesysteem van de toekomst (2050).
- Zorg voor een heldere rolverdeling die daarbij past door het creëren van de juiste waarden.
- Transformeer naar een financieel systeem waarin maatschappelijke waarde en ketensamenwerking centraal staan.

- Gebruik een instrumentenmix waarin oplopende normeringen, belastingen en ruimtelijke ordening worden ingezet voor structurele gedragsverandering van burgers en bedrijven en zekerheid over investeringen. Gebruik subsidies en verstrek informatie om de transitie voor burgers en bedrijven mogelijk en rechtvaardig te maken.
- Zorg dat gemaakte plannen ook daadwerkelijk uitvoerbaar en uitvoerbaar zijn.

Voor elke systeemoplossing worden eerst systeemknelpunten besproken, gevolgd door aanbevelingen.

7.2 Integrale visie: ontwikkel een breed gedeelde integrale visie op het energiesysteem van 2050

Systemknelpunten door het ontbreken van een integrale visie

Het expertteam onderstreept de noodzaak van een gedeelde visie op het langetermijn eindbeeld (2050) voor een klimaatneutraal Nederland en de weg ernaartoe. Het expertteam heeft op basis van techno-economische scenario's en internationale ontwikkelingen in beeld gebracht hoe de maatschappij en de economie zich kunnen ontwikkelen. Deze eindbeelden zijn beschreven in hoofdstuk 2 en zijn een eerste aanzet voor zo'n visie. Rechtvaardig, robuust en duurzaam zijn daarbij belangrijke ontwerpprincipes

Op dit moment ligt de focus van sectorale plannen en nationale programma's op 2030. Er wordt vooral gedacht vanuit bestaande economie en sectoren. Het gevaar is dat schaarse middelen worden besteed aan het overhouden van bestaande industrie en dat daarmee nieuwe bedrijvigheid en innovatie worden afgeremd. En dat er geïnvesteerd wordt in kapitaalgoederen met een lange levensduur die

niet compatibel zijn met het eindbeeld, zoals importterminals voor LNG en hybride warmtepompen, in plaats van in langetermijn oplossingen die dat wel doen.

In de huidige scenario's ontbreekt de koppeling van de energietransitie aan de transitie naar een circulaire economie. Deze twee transities hebben elkaar nodig en kunnen elkaar versterken. Succes in de transitie naar een circulaire economie zal de vraag naar primaire grondstoffen en de industriële verwerking hiervan verminderen. Verduurzaming van de industrie hangt daarom sterk samen met de circulariteit van onder andere plastics. Materialen voor de uitvoering van de energietransitie zijn schaars. Circulariteit kan hier een oplossing zijn. Gezien de schaarse middelen (zoals ruimte, arbeidskrachten en materialen) is een overkoepelende gemeenschappelijke visie dringend nodig voor het slagen van beide transities.

Er is nu opmerkelijk weinig aandacht voor de internationale dimensie, terwijl het energiesysteem internationaal verbonden is. [Koolstofketens](#)¹⁴⁴ en circulariteit kunnen feitelijk niet in nationaal verband worden beschouwd. Ook de koppeling tussen het nationale en het lokale energiesysteem kan beter. Nationale plannen en modellen houden weinig rekening met de lokale omstandigheden en lokale bronnen (lage temperatuur), terwijl deze voor het lokale energiesysteem erg relevant zijn.

Overheden en departementen hebben elk eigen doelen voor urgente maatschappelijke opgaven, en putten uit dezelfde schaarse middelen. Hierdoor bestaat het risico dat beleidsterreinen elkaar tegenwerken in plaats van versterken. Denk aan het dilemma tussen de stikstofdoelen en bouwen voor de energietransitie en woningen. Het beleid rondom het energiesysteem is sectoraal ingedeeld, waardoor een systeem-perspectief ontbreekt. Er zijn verschillende

programma's apart van elkaar ontwikkeld door en met verschillende partijen (o.a. de Cluster Energie Strategieën voor de industriële clusters en de Regionale Energie Strategieën voor de 30 regio's waar Nederland in ingedeeld is). Het uitvoeringstempo van deze programma's sluiten niet goed op elkaar aan. Bovendien ontbreekt er een overkoepelend verhaal. Dit is niet bevorderlijk voor het draagvlak onder lokale overheden, bedrijven en bewoners.

Het is belangrijk dat programmering van beleid meer wordt gebaseerd op basis van kennis en langetermijn scenario's dan nu het geval is. Besluitvorming over kernenergie is bijvoorbeeld niet gebaseerd op kennis van het (internationale) energiesysteem en hoe het aansluit bij de ontwikkeling van vraag en aanbod van energie. Voor dure investeringen met een lange ontwikkelingstermijn zou een integraal perspectief het leidende uitgangspunt moeten zijn. Dit geldt voor de juiste mix van energiedragers ('hernieuwbaar en regelbaar') en voor de inzet van (dure) waterstof.

Daarnaast is er in de energiediscussie meer aandacht nodig voor maatschappij en gedrag, aanvullend op de techno-economische aspecten die nu vaak centraal staan. Keuzes binnen het energiesysteem beïnvloeden hoe we wonen, werken, leven en of kosten en baten rechtvaardig zijn verdeeld. Bovendien kunnen veranderingen in consumptiegedrag de energietransitie versnellen en gemakkelijker maken. De energietransitie vereist een maatschappelijke transitie, met aandacht voor rechtvaardigheid, armoede en gedrag.

Systemoplossingen

Het expertteam adviseert daarom om een breed gedragen integrale visie te ontwikkelen voor een klimaatneutraal Nederland op de langetermijn en de transitie. Een eerste aanzet daarvoor zijn de eindbeelden die het expertteam voor 2050 heeft beschreven in hoofdstuk

2 en die hebben gefungeerd als uitgangspunt voor deze outlook.

Ontwikkel de visie in samenhang met de transitie naar een circulaire economie. Zet de langetermijn centraal, samen met belangrijke tussentijdse doelen: een klimaatneutraal elektriciteitssysteem in 2035 en een klimaatneutraal energiesysteem in 2040-2045. Zie 2030 als opstap daarnaartoe en denk vanuit het langetermijneindbeeld en baseer de keuzes van vandaag op de realisatie van die langetermijndoelen. Sommige besluiten zoals over de ruimtelijke ordening en klimaatadaptatie hebben ook ver na 2050 nog impact. Hou daar bij de besluitvorming rekening mee. Hoe onzeker de toekomst ook is, de transitieprocessen en de opbouw van de fysieke elementen van de nieuwe structuur hebben zulke lange doorlooptijden dat in veel gevallen uitstel van keuzes onverstandig is. Die keuzes zullen de onzekerheid overigens ook aanzienlijk reduceren. Soms zullen innovaties de ontwikkelpaden nog fors kunnen beïnvloeden, en moet daar ook de ruimte voor zijn.

Het expertteam doet de volgende aanbevelingen voor de ontwikkeling van de integrale visie:

- Integreer de volgende beleidsterreinen binnen de integrale visie:
 - Energievraag, energieaanbod, energieinfrastructuur en opslag.
 - Infrastructuur voor elektronen, waterstof en warmte.
 - Regionale, nationale, en internationale energiesystemen.
 - De inrichting van het energiesysteem, circulariteit van de economie, ruimtelijke ordening, digitalisering, natuur, biodiversiteit, woningbouw en mobiliteit.
- Ga uit van de kernelementen die het expertteam heeft beschreven voor het eindbeeld in 2050:

- Nederland wordt stiller, schoner, socialer en groener.
 - Hoe en waar mensen wonen, werken en leven gaat veranderen.
 - Het energiesysteem is kleiner met een gereduceerde energievraag
 - Infrastructuur heeft een sturende rol in het vestigingsklimaat.
 - Elektriciteit loopt voorop.
 - Lokale energiesystemen worden essentieel.
 - De industrie verandert en wordt duurzamer.
 - Internationale afhankelijkheid zal blijven en veranderen.
 - De weg naar 2050 is omvangrijk met een eindpunt aantrekkelijk.
 - Mensen worden meegenomen in de besluitvorming.
 - Uitgangspunt zijn de ontwerpprincipes rechtvaardig, robuust en duurzaam.
- Baseer de integrale op de ontwerpprincipes rechtvaardig, robuust en duurzaam. En op lange termijn scenario's, waarbij ook maatschappelijke aspecten meegenomen worden. Zorg er bijvoorbeeld voor dat de laagste inkomens er niet op achteruitgaan. En betrek mensen in het proces naar een duurzamer leven waarin minder consumeren en een prettig leven hand in hand kunnen gaan.
 - Zorg dat de integrale visie breed gedeeld is in Nederland onder overheden, het bedrijfsleven en de burgers. Bij dit laatste kan het plan voor het Nationaal Burgerforum Klimaat- en Energiebeleid een rol spelen. Door het met burgers te hebben over welke waarden zij belangrijk vinden en onder welke condities bepaalde veranderingen doorgevoerd kunnen worden, kan een visie worden geschetst over hoe Nederland er in 2050, en daarna, uit kan zien en hoe daar te komen.

- Programmeer de ontwikkeling van het energiesysteem vanuit de integrale visie op basis van inhoudelijke kennis van het energiesysteem. Baseer deze programmering op de drie ontwikkelpaden: lokale energiesystemen, elektriciteit en waterstof, en koolstof. Hier komen de vraag, aanbod en transport/distributie van energiedragers fysiek én bestuurlijk (lokaal, nationaal, internationaal) gezien bij elkaar. Organiseer de samenhang tussen de drie ontwikkelpaden met regionale overheden en de onze omringende landen. Gebruik het Pentalateraal EnergieForum voor de internationale afstemming. Organiseer bijvoorbeeld dat wet- en regelgeving in grensgebieden goed op elkaar afgestemd is, zodat internationaal samenwerken (voor o.a. circulaire ketens, gebruik van infrastructuur, import, export) makkelijker wordt. Verbeter daarnaast de koppeling tussen het nationale en lokale niveau. Hou rekening met lokale omstandigheden en lokale bronnen bij nationale plannen, modellen en scenario's.
- Gebruik de integrale visie bij het ontwikkelen, uitvoeren, monitoren en evalueren van beleid, ook bij andere maatschappelijke opgaven, zoals de woningbouwopgave en herontwikkeling van industrieterreinen. Toets acties horende bij verschillende opgaven hieraan, zodat er gezamenlijk wordt toegewerkt naar het eindbeeld.
- Ontwikkel op basis van de drie ontwikkelpaden een routekaart voor het energiesysteem met een uitvoeringsplan richting de toekomst. Maak infrastructuur en ruimtelijke kwaliteit hierbij leidend. Breng schaarstes tijdig in kaart en prioriteer de inzet van schaarse middelen naar wat bijdraagt aan de integrale visie. Zorg dat vraag, aanbod en infrastructuur hierin afgestemd worden. Creëer duidelijkheid naar relevante partijen (overheden, bewoners, markt) over de inhoud, rollen en kaders van de routekaart (Zie volgende paragraaf).

7.3 De organisatie van de aansturing: Zorg voor een heldere rolverdeling die past bij de transitie en de integrale visie door het creëren van de juiste voorwaarden

Systeemknelpunten

De rollen van de overheid, het bedrijfsleven en de burgers in de aansturing van het energiesysteem zijn nog niet voldoende gericht te zijn op de transitie en het energiesysteem van 2050. Een verandering van de huidige rolverdeling is nodig. Zo hebben bewoners al dan niet verenigd in coöperaties weinig mogelijkheden om zelf lokale energiesystemen op te zetten. En kunnen netbeheerders ondanks schaarste beperkt prioriteren bij de bouw van het energiesysteem van de toekomst. Het prioriteringskader dat het Ministerie van EZK in maart presenteerde kunnen netbeheerders investeringen met grote maatschappelijke impact prioriteit geven. Het is te beschouwen als een eerste stap, maar de impact van dit prioriteringskader is nog niet duidelijk. Hier liggen kansen om ervoor te zorgen dat partijen een bijdrage gaan leveren aan de energietransitie.

Er is meer duidelijkheid nodig over de onderdelen van de transitie waarvoor de overheid verantwoordelijk is en wat overgelaten wordt aan de markt en maatschappij. Duidelijke kaders waarbinnen marktpartijen kunnen opereren zijn belangrijk, anders worden investeringen in de energietransitie belemmerd. Bedrijven worden dan terughoudend met het investeren in nieuwe fabrieken en duurzame energiebronnen. Voorbeelden van onzekerheid zijn de al dan niet tijdige aanleg van nieuwe energieinfrastructuur, de beschikbaarheid van duurzame energie en naar de vraag ervan. Het is nog niet evident hoe kan worden gewaarborgd dat vraag en aanbod

met elkaar in de pas lopen, en het risico bestaat dat bijvoorbeeld investeerders in wind op zee zich terugtrekken door onvoldoende zekerheid over de vraag. Tegelijk is de ontwikkeling van wind op zee essentieel voor het toekomstig energiesysteem.

Een gelijke verdeling van voordelen, nadelen en risico's onder partijen is belangrijk. Sommige partijen worden op dit moment onevenredig hard getroffen, zoals mensen die in armoede leven en niet de mogelijkheid hebben om hun woning te isoleren, of gemeenten waar grote infrastructuurprojecten gepland zijn. Zij lopen het risico op een daling van de leefbaarheid en verlies van draagvlak onder bewoners, bestuurders en bedrijven. Dit brengt hen in een lastige positie om een rol te pakken binnen de transitie.

Systeemoplossingen

Pak als overheid de regierol en creëer een duidelijke rolverdeling tussen overheid, markt en maatschappij. Regie betekent:

- Het serieus betrekken van alle partijen bij de besluitvorming.
- Het stellen van kaders en voorwaarden voor partijen zodat zij de gewenste rol kunnen pakken.
- Het gedrag vertonen wat daarbij hoort. Ter illustratie:
 - Zorg voor wet- en regelgeving die het de bewoners makkelijk maakt om een lokaal energiesysteem te starten. Dit zal ertoe leiden dat meer bewoners het initiatief nemen voor een lokaal energiesysteem, en bijdragen aan de duurzame energietransitie.
 - Creëer mogelijkheden voor netbeheerders om te prioriteren naar rechtvaardig, robuust en duurzaam. Zo kunnen zij ervoor zorgen dat het energienet benut wordt op een manier die past bij de energietransitie.

- Neem als regiehouders alle partijen mee bij de ontwikkeling van het energiesysteem. Doe dit vanaf de start en hou rekening met de belangen van alle partijen (overheden, bedrijven, bewoners). Maak tijdig duidelijk over wat iedereen, qua voorwaarden, nodig heeft en krijgt binnen zijn rol. De burger speelt hierbij als consument, initiatiefnemer, kiezer, ondernemer en bewoner een cruciale rol. Alleen als de burger de veranderingen ondersteunt, slaagt de transitie; dat zal eerder het geval als de transitie rechtvaardig is, en als men vertrouwen heeft in de partijen die de veranderingen initiëren.
- Weeg als regiehouder alle zorgen en belangen mee. Zorg ervoor dat risico's en baten eerlijk zijn verdeeld onder partijen (overheden, bedrijven, bewoners). Neem hierbij naast financiële aspecten ook andere waarden mee, zoals natuur en medemenselijkheid. Compenseer partijen die onevenredig hard getroffen worden, zoals gemeenten waar grote infrastructuurprojecten gepland zijn en mensen die in armoede leven. Rechtvaardigheid is een voorwaarde voor partijen om hun rol te pakken en mee te werken aan de transitie. Een eerlijke verdeling van kosten, baten en risico's, en open en transparante besluitvorming die rekening houden met een ieders belangen is daarom essentieel.
- Creëer duidelijkheid over de rol van de markt en waar overheidsinterventies nodig zijn, zoals subsidiëren, normeren en beprijzen. Geef de markt zo spoedig als mogelijk is transparantie over binnen welke ruimte zij kunnen bewegen en wat ze kunnen verwachten, zoals het type interventie. Overheidsingrijpen is bijvoorbeeld nodig bij het bij elkaar brengen van vraag en aanbod bij wind op zee en het stimuleren van de markt rond flexibiliteit. Flexibiliteit is een nieuw en essentieel element in het energiesysteem

waarvoor nog geen duidelijke marktkaders zijn. Zorg er als overheid voor dat betaalbare energie voor de kleinverbruiker (bewoners, kleine bedrijven) gegarandeerd is, omdat zij dit niet altijd zelf kunnen organiseren. De grootgebruiker, zoals grote industrie, kan dit vaak wel. In tegenstelling tot in het verleden hoeft dit voor hen niet altijd geacommodeerd te worden.

7.4 Financiële systeemverandering: Zorg voor een klimaatbewust en -bekwaam financieel systeem

De COP27-conclusies omvatten de noodzaak van “een snelle en alomvattende transformatie van het financiële systeem”. Een systeemoplossing die zeker ook relevant is voor Nederland met zijn grote financiële sector en ligging in een laaggelegen delta die hard geraakt zal worden door een stijgende zeespiegel. Een overheid die zorgt voor de juiste prikkels in de economie en in de financiële sector maakt meer investeringen mogelijk in klimaatmitigatie in zowel Nederland als wereldwijd. Dit maakt ook nieuwe bedrijfs- en financiële modellen mogelijk. Daarin kunnen bijvoorbeeld lokale coöperaties en lokale markten voor warmte, koelte en elektriciteit eenvoudiger ontstaan. Het kan ook zorgen voor snellere en goedkopere financiering van grootschalige infrastructuur.

Systeemknelpunten

De energietransitie is ook een financieringsopgave. De benodigde publieke en private investeringen komen op dit moment onvoldoende van de grond. Dit geldt niet alleen voor Nederland. Het effectief tegengaan van klimaatverandering vereist wereldwijd klimaatinvesteringen. Deze blijven nog het meeste achter in de lage-inkomenslanden waar de bevolkings- en economische groei de komende

decennia het grootst zal zijn. De behoefte aan klimaatinvesteringen bedraagt daar momenteel 1.000 miljard euro [per jaar](#)¹⁴⁵.

Dat er nu onvoldoend wordt geïnvesteerd heeft verschillende oorzaken. Het achterblijven van investeringen is in de eerste plaats een afgeleide van tekortschietend, en onvoldoende duidelijk beleid van overheden. De maatschappelijke schade van de uitstoot van broeikasgassen wordt niet volledig geprijsd of middels regulering afgeremd.

Ook de financiële sector zelf is onderdeel van het probleem. Deze is vaak nog te zeer gericht op het kortetermijn financiële rendement. Hierdoor heeft deze onvoldoende oog voor de kansen en bedreigingen van klimaatverandering die daardoor nu onvoldoende worden doorvertaald in de prijs van het kapitaal. Het ontbreekt financiële instellingen en hun toezichhouders veelal aan voldoende kennis over de energie en materiaal transitie. Financiële kansen en risico's worden daardoor onvoldoende herkend. De sector gebruikt modellen die zijn gebaseerd op een verleden waarin van een transitie en klimaatverandering geen sprake was. Hierdoor krijgen vervuilende bedrijven te goedkoop kapitaal terwijl nieuwe spelers juist onvoldoende toegang hebben tot kapitaal.

Systeemoplossingen

Bevorder private investeringen in de energietransitie door de maatschappelijke schade van de uitstoot van broeikasgassen te reguleren en beprijzen. Verminder risico's door een duidelijke regierol in de energietransitie te nemen. Beiden zowel op nationaal als internationaal niveau. Het expertteam doet specifiek gericht op de financiële sector de volgende aanbevelingen:

- Investeer zelf langs die lijnen, door bijvoorbeeld langetermijninvesteringen in infrastructuur nu al vast te leggen;
- Maak private investeringen mogelijk via een publieke investeringsinstelling (blended

finance), juist ook in nieuwe technologieën en markten. Breng daartoe InvestNL en het Groeifonds samen tot een instelling zoals de Duitse groene ontwikkelingsbank KfW die een ruim mandaat heeft om via maatwerk aanvullend op private partijen de energie- en materialentransitie te versnellen.

De overheid kan de private financiële instellingen zelf ook aanzetten tot meer actie op de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem en een circulaire economie binnen en buiten Nederland. Het expertteam pleit ervoor om ervoor te zorgen dat:

- De DNB hogere eisen stelt aan kennis over klimaatverandering, circulaire economie en de energietransitie bij het toetsen van financiële toezichthouders en directeuren. Geef dit ook een plek in de opleidings- en geschiktheidseisen voor de sector.
- De banken, pensioenfondsen en verzekeraars verplicht worden tot het opstellen van klimaattransitieplannen en hiervoor duidelijke eisen te stellen, zoals absolute reductiedoelstellingen in lijn met een wetenschappelijk verantwoord 1,5 graad scenario voor de hele portefeuille en concrete bijpassende actieplannen voor de korte en lange termijn.
- In het toezicht limieten worden gesteld aan de omvang van fossiele financieringen en beleggingen en door tegenover klimaat gerelateerde risico's hogere kapitaalseisen te zetten. Begin als ECB door, zoals aangekondigd voor 2024, substantiële kapitaalopslagen te geven aan banken met een hoog klimaatrisicoprofiel (pijler 2). Integreer klimaatrisico's vervolgens ook in de modellen die banken gebruiken voor het beprijzen van leningen (pijler 1). Net zo moeten pensioenfondsen en verzekeraars klimaat- en circulaire risico's meenemen in hun risico- en beprijzingsmodellen.
- Ook naar de impact van financieringen en beleggingen te kijken: de bijdrage die deze leveren aan klimaatverandering (de zogenaamde

dubbele materialiteit). Hanteer daarbij een mondiaal perspectief.

- Vreemd en eigen vermogen gelijk worden belast en zo het juist in een transitie zo hard nodige aanbod van risicokapitaal te stimuleren.

7.5 De instrumentenmix: oplopende normeringen, subsidies zodat iedereen mee kan doen en informatie over urgentie

Systeemknelpunten

Veel klimaatbeleid wordt vanuit Europa ingezet. De Europese Unie heeft directe controle over het reductietempo en zekerheid dat het reductiedoel ook daadwerkelijk wordt gehaald en geborgd.

Met een beleidsarchitectuur bestaande uit:

- Europese uitstootnormen en een handelssysteem voor uitstootrechten voor elektriciteit en industriële sectoren, het Emission Trade System (ETS),
- Nationale uitstootnormen voor emissiebronnen in de gebouwde omgeving, mobiliteit, landbouw en de kleinere industrie, het Effort Sharing Regulation (ESR), en
- Regulering van emissies door landgebruik, de Land use and forestry regulation (LULUCF) [heeft](#)¹⁴⁶.

Daarnaast stelt de EU emissiestandaarden voor nieuw verkochte apparatuur, verlichting, personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's. Voor de productie van hernieuwbare energie (32%) en energiebesparing (32,5%) kent de Europese Unie die niet juridisch afdwingbaar zijn en niet per lidstaat gelden. Nederland volgt het Europese beleid, en kent daarnaast een in de klimaatwet vastgelegd CO₂-reductiedoel voor 2030 en 2050.

Het beleid en de instrumenten gaan vooralsnog grotendeels uit van het verduurzamen van de huidige economische structuur en levenswijze. Om aan (inter)nationale verplichtingen te kunnen voldoen kent Nederland daartoe een instrumentenmix die sterk gebaseerd is op subsidies en vrijwillige [aanpassen](#)¹⁴⁷. Ruim tweederde van de publieke middelen voor uitvoering van het klimaatbeleid, maar ook het klimaatfonds wordt ingezet voor de subsidiëring van productie en distributie van hernieuwbare energie. Publieke investeringen in verduurzaming van de energievraag blijven daar vooralsnog bij achter wat tot vertraging van de energietransitie en een minder robuust energiesysteem kan leiden. Daarnaast worden externe systeemkosten zoals kosten voor verzwaring van elektriciteitsnetten en de kosten voor de flexibele (back-up) capaciteit ondanks verbetering van de bredere effectiviteit en een bijdrage aan de robuustheid, in de rangschikking van de Subsidierегeling Duurzame Energie (SDE++) niet meegenomen omdat die tot een vermindering van de doelmatig- en doeltreffendheid van de regeling zullen leiden.

Voor een blijvend investeringsperspectief zijn subsidies onvoldoende. Daarvoor is een meerjarig beeld van oplopende normering en beprijzing dat aansluit bij de doelen [essentieel](#)¹⁴⁸. Beprijzing zoals de heffing van energiebelasting maakt energiebesparing door kleinverbruikers lonend en investeringen in woningisolatie aantrekkelijk. Degressieve tarieven voor grootverbruikers zorgen er ook voor dat het potentieel voor goedkopere maatregelen onbenut blijft ([industrie](#)¹⁴⁹), en veranderingen niet plaats vinden in sectoren waar ze het meeste effect [hebben](#)¹⁵⁰. Onzekerheid over toekomstig klimaatbeleid zorgt er daarnaast voor dat de financiële risico's van kansrijke opties nog te hoog zijn, en dat partijen op elkaar [wachten](#)¹⁵¹. Belangrijk is dan ook dat wetgeving spoort met de klimaatambities, zodat bijvoorbeeld lokale initiatieven tot stand kunnen komen, en niet onnodig belemmerd worden door complexe ruimtelijke procedures en bezwaarprocedures die

veel tijd kosten. Hierdoor komen de voor het eindbeeld noodzakelijke structurele gedragsverandering en klimaatinvesteringen door private partijen, zoals bedrijven en huishoudens, (nog) nauwelijks op gang.

Mensen weten niet altijd goed hoe ze kunnen bijdragen aan de duurzame transitie en waarom duurzame acties urgent zijn. Ook onderschat men vaak de mate waarin andere mensen een duurzame transitie ondersteunen. Dit kan hen ervan kan weerhouden om zelf bij te dragen aan deze transitie, omdat men wil voorkomen dat anderen hen raar aankijken, of omdat een eigen bijdrage minder zinvol lijkt.

Op dit moment wordt niet altijd consistent beleid gevoerd om een klimaatneutraal energiesysteem te realiseren, en handelt de overheid niet altijd in overeenstemming met haar eigen beleidsdoelen. Dit kan de indruk geven dat de urgentie niet zo groot is, wat de motivatie om duurzaam te handelen en het draagvlak voor klimaatbeleid kan ondermijnen. Daarnaast stimuleert het aanpak van niet-duurzame opties en gedrag het gebruik van deze opties en dit gedrag, wat de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem belemmert.

Momenteel zijn de lasten verdeeld op een wijze die op gespannen voet staat met het ontwerp-principe rechtvaardigheid. Vrijstellingen zoals voor de inzet van energie als grondstof en degressieve belastingen (lagere tarieven bij meer gebruik) worden als onrechtvaardig gezien, en ondermijnen het draagvlak. De grootste transitiesubsidies voor bedrijven: de SDE++-subsidie werd tot voor kort bekostigd vanuit een degressieve [Opslag Duurzame Energie](#)¹⁵² waardoor deze subsidies grotendeels werden opgebracht door kleinverbruikers, zoals huishoudens en kleine [bedrijven](#)¹⁵³. Hieraan is sinds dit jaar een einde gekomen. Hogere inkomens profiteren relatief meer van beschikbare subsidies dan lagere inkomens, terwijl zij ook zonder subsidies in staat zijn om investeringen te doen die hun

energiekosten en CO₂-uitstoot verlagen. Die mogelijkheden hebben huishoudens met lagere inkomens niet [altijd](#)^{154,155}. Dat schuurt des te meer omdat deze huishoudens door hun lagere bestedingen een veel geringer beslag leggen op de planetaire grenzen. Als er dus met generieke prijsprikkels gewerkt wordt is het essentieel dat lagere inkomens daarvoor gecompenseerd worden.

Stysteemoplossingen

- Richt de instrumentenmix op het uitgangspunt van netto-nul CO₂-emissies in het elektriciteitsstelsel in 2035, het gehele energiesysteem in 2040-2045 en een klimaatneutraal energiesysteem in 2050. Met het ETS-systeem (normen en prijzen) zijn nul emissies in het elektriciteits- en industriesysteem in 2040 geborgd. Omdat Nederland sneller naar nul CO₂-emissies in het elektriciteitsstelsel wil, is aanvullend instrumentarium nodig voor flexibiliteit c.q. productie en instandhouding van voldoende regelbaar vermogen. En om de businesscase van hernieuwbare elektriciteitsproductie ook op lange termijn te garanderen is vergaande elektrificatie van industrie, gebouwde omgeving en mobiliteit essentieel. Ondanks de aankondiging van een ETS2 dat hierin zou voorzien is er voor deze ESR-sectoren nog geen Europees instrument dat zekerheid biedt dat het reductiedoel in 2040-2045 ook daadwerkelijk wordt gehaald en geborgd.
- Verminder het binnenlands gebruik van fossiele energie door, in navolging van het Interdepartementaal Beleidsonderzoek naar aanvullend nationaal klimaatbeleid voor 2030 en 2050, meer in te zetten op normering en beprijzing. Dit kan in de vorm van een nationale emissiehandel voor de gebouwde omgeving, mobiliteit en kleine (niet-ETS) industrie. Zorg ervoor dat deze normering en beprijzing niet dubbelt met de aangekondigde ETS2 of tot 'carbon leakage' leidt. Zorg daarom samen

met de ons omringende landen voor minder degressie in de energiebelasting, een verschuiving van belasting op gebruik van elektriciteit naar gas en een Europese belasting op het gebruik van fossiele energie als materiaal voor de (petro)chemische industrie en het gebruik van bunkerbrandstoffen in scheep- en luchtvaart. Heldere normen zorgen ervoor dat burgers en bedrijven weten welke gedragsveranderingen van hen worden verwacht in 2050 en in de weg daarnaartoe. Beprijzen geeft transparantie over de 'eerlijke' prijs die burgers en bedrijven moeten betalen en zorgt voor een prikkel om vervuילend gedrag te [verminderen](#)¹⁵⁶. Voorwaarde is wel dat huishoudens met lage inkomens door het beprijzen van vervuילend gedrag niet een nog groter aandeel van hun inkomen kwijt zijn aan kosten voor het klimaatbeleid; in dit geval is (financiële) hulp voor het isoleren van woningen hetzelfde inkomen gerelateerde compensatie nodig. Flexibele elektriciteitsprijzen kunnen ook bijdragen aan flexibel elektriciteitsgebruik.

- Beschouw de versterking van de energie (hoofd)infrastructuur van Nederland als basis voor ruimtelijke, sociale en economische ontwikkeling in plaats van volgend zoals nu. Stem investeringen af met andere besluiten over de toekomstige inrichting van de ruimte. Infrastructuur heeft een sturende werking op gedrag van burger en bedrijven. Met de aanleg van nieuwe en verzwaring van bestaande energienetwerken worden nieuwe mogelijkheden gecreëerd voor burgers en bedrijven. Vanuit dit perspectief kunnen het Programma Energiehoofdstructuur (PEH) en Energie Infrastructuur (PEI) effectieve instrumenten zijn om te zorgen dat duurzame industrie zich op veilige locaties in onze kwetsbare delta vestigt zodat dit tot 2100 als een goede investering kan [gelden](#)¹⁵⁷. Bied netbeheerders de daarvoor noodzakelijke investeringsruimte en investeer als rijksoverheid hier ook extra

in. Creëer daarnaast de noodzakelijke wettelijke ruimte in tracé-ontwerp en vergunningen om netbeheerbedrijven hiermee te helpen om voortvarend aan de slag te gaan. Regel ook meer (wettelijke) ruimte voor burgers, corporaties en gemeenten om zelf met lokale duurzame energiesystemen aan de slag te gaan waardoor lokaal maatwerk mogelijk wordt. Denk daarbij aan juridische mogelijkheden voor lokale bestuurders en netbeheerders om op basis van de ontwerpprincipes en ruimtelijke ordeningsplannen aanvragen voor aansluiting op het elektriciteitsnet te mogen prioriteren, en ruimte voor burgers om lokaal energie te verhandelen en op te slaan.

- Zorg ervoor dat de energie- en materialentransitie samen met de andere eerdergenoemde, maatschappelijke opgaven vorm krijgt en wordt uitgevoerd via de verschillende nationale programma's. Vanwege de schaarste aan ruimte, mensen, middelen en materialen kan niet alles meer [overal](#)¹⁵⁸. Meer dan in de afgelopen jaren zal het kabinet zelf keuzes moeten maken indien nationale opgaven elkaar ruimtelijk in de weg zitten of wanneer de ruimtelijke kwaliteit hier om vraagt. In de programma's zullen dan ook ruimtelijk structurende keuzes worden gemaakt. Hanteer daarbij de ontwerpprincipes: rechtvaardigheid, robuustheid en duurzaamheid. Zorg in lijn met de kamerbrief over nationale regie in de ruimtelijke ordening ervoor dat de ruimtelijke puzzel op provinciaal niveau inzicht geeft in hoeverre uitvoering van de nationale programma's en een gebiedsgerichte ordening en prioritering ruimtelijk [mogelijk is](#)¹⁵⁹. Zet daarbij in op gebiedsgerichte samenwerking en uitvoeringskracht (programma NOVEX) door te inspireren, participatief te organiseren en te normeren op de ruimtelijke kwaliteit, rechtvaardigheid en identiteit van de gehele fysieke leefomgeving (Programma Mooi Nederland).

- Informeer burgers over de urgentie van de transitie, over welke bijdragen zij kunnen leveren en al leveren, en over de bijdragen die anderen leveren. Dit motiveert hen om actief bij te blijven dragen aan de transitie. Informatie en feedback stimuleren vooral duurzaam gedrag als het afkomstig is van een betrouwbare bron; lokale energie-initiatieven kunnen hierbij een belangrijke rol spelen. De informatie moet aansluiten bij de motieven, behoeften, achtergrond en omstandigheden van de doelgroep; de nadruk moet niet primair liggen op potentiële financiële besparingen. Juist ook op de mate waarin gedragsveranderingen bijdragen aan een beter milieu en welzijn voor allen, omdat mensen dit belangrijk vinden. Het is verder belangrijk om mensen te informeren over de bijdragen die anderen (willen) leveren, omdat men dit vaak onderschat, waardoor men minder gemotiveerd is bij te dragen aan een duurzame transitie. De overheid kan het goede voorbeeld geven door de eerdergenoemde integrale beleidsvisie te formuleren en consistent beleid te voeren om die eindvisie te realiseren. Dit versterkt de intrinsieke motivatie van mensen om ook bij te dragen aan de transitie. Daarnaast kan duurzaam gedrag vaker de standaard optie worden gemaakt. Nu is vaak de niet duurzame keuze, zoals een maaltijd met vlees, de standaard. Door de standaard te veranderen, zal men eerder kiezen voor de duurzame optie, en kan men de voordelen ervan ervaren. Dit is vooral belangrijk omdat men vaak weerstand heeft tegen veranderingen van de status quo. Ook voorbeeld- of demonstratieprojecten kunnen helpen om deze initiële weerstand tegen veranderingen te overwinnen, en mensen laten ervaren dat veranderingen positieve effecten hebben. Informeren en standaarden veranderen zal echter alleen leiden tot gedragsverandering als met ook over voldoende mogelijkheden en middelen beschikt om het gedrag aan te passen.

7.6 De uitvoering: Zorg dat beleid doenbaar en uitvoerbaar is

Systemknelpunten

De complexiteit van de wetgeving en de stapeling van nieuw beleid is een belangrijk knelpunt voor burgers, ondernemers en uitvoerende [organisaties](#)¹⁶⁰. Veel wetgeving sluit niet goed aan bij de leefwereld van burgers. Het subsidielandchap is complex en soms tegenstrijdig omdat het vanuit verschillende beleidsprioriteiten wordt vormgegeven. Er mag daarnaast meer geluisterd worden naar uitvoerende instanties bij het ontwikkelen en uitvoeren van [beleid](#)¹⁶¹.

Er is een gebrek aan materialen, mensen en ruimte om de uitvoering van alle plannen waar te maken. Er mag strategischer nagedacht worden over hoe de schaarse middelen in te zetten en hoe de capaciteit te verhogen. Daarnaast is het belangrijk dat uitvoerende organisaties en overheden voldoende toegang tot de juiste kennis hebben. Kennis is op dit moment verdeeld over verschillende partijen en wordt te weinig vastgelegd en gedeeld. Onvoldoende kennis leidt onder andere tot problemen bij het opstellen van warmteplannen op wijkniveau, bij het ontwikkelen van nieuwe energiebronnen, en bij vergunningsprocedures.

Er is meer ruimte nodig voor experimenteren, monitoren en leren binnen departementen, provincies, gemeenten en de uitvoeringsorganisaties. De complexiteit van het energiesysteem zorgt ervoor dat de transitie niet makkelijk te voorspellen is en dat keuzes en uitvoering onder grote onzekerheden plaatsvinden. Interventies kunnen uitkomsten hebben die niet waren voorspeld. Zo heeft de stimulering van hernieuwbare elektriciteitsproductie via de SDE+ niet alleen effect gehad op de verduurza-

ming van de energieproductie, maar ook op de bedrijfsvoering van netwerkbedrijven en energiegebruikers. En mede dankzij de salderingsregeling zijn kleinverbruikers naast consument ook producent van energie geworden. Het is belangrijk om van praktijkervaringen te leren.

Er is meer integrale samenwerking nodig binnen én tussen uitvoerende organisaties en andere partijen. Zo behandelen netbeheerders projecten vaak afzonderlijk, ook als ze plaatsvinden in dezelfde regio. Dit kan suboptimaal zijn, gezien de beperkte tijd, beschikbare middelen en het gebruik van dezelfde ruimte. Onvoldoende afstemming tussen partijen uit zich onder andere in meerdere omgevingsmanagers die regio's inlichten over individuele projecten. Dit kan leiden tot onduidelijkheid en weerstand bij lokale bestuurders, bedrijven en bewoners. Het tijdig formuleren van een gedeeld en integraal beeld is nodig. Door de toenemende complexiteit wordt het werk in de uitvoering steeds arbeidsintensiever, terwijl de krapte op de arbeidsmarkt toeneemt. Dat komt de wendbaarheid en daarmee de dienstverlening van uitvoerder aan burgers en ondernemers niet ten goede. Wat nodig is, is een systeem dat doenbaar is voor burgers en ondernemers en voor de overheid uitvoerbaar [blijft](#)¹⁶².

Systemoplossingen

- Het expertteam adviseert om de in dit hoofdstuk beschreven instrumentenmix vanuit een gedeelde visie op het energiesysteem in 2050 te beschouwen en te herijken op uitvoerbaarheid. En de instrumentenmix niet op het bestaand beleid te stapelen waardoor de uitvoering nog complexer wordt. Dit vereist een radicaal andere aanpak, die haaks staat op de huidige manier van werken aan kortetermijnoplossingen. Alle creativiteit van politiek, beleidsmakers, publieke dienstverleners en ondernemers moet hier-

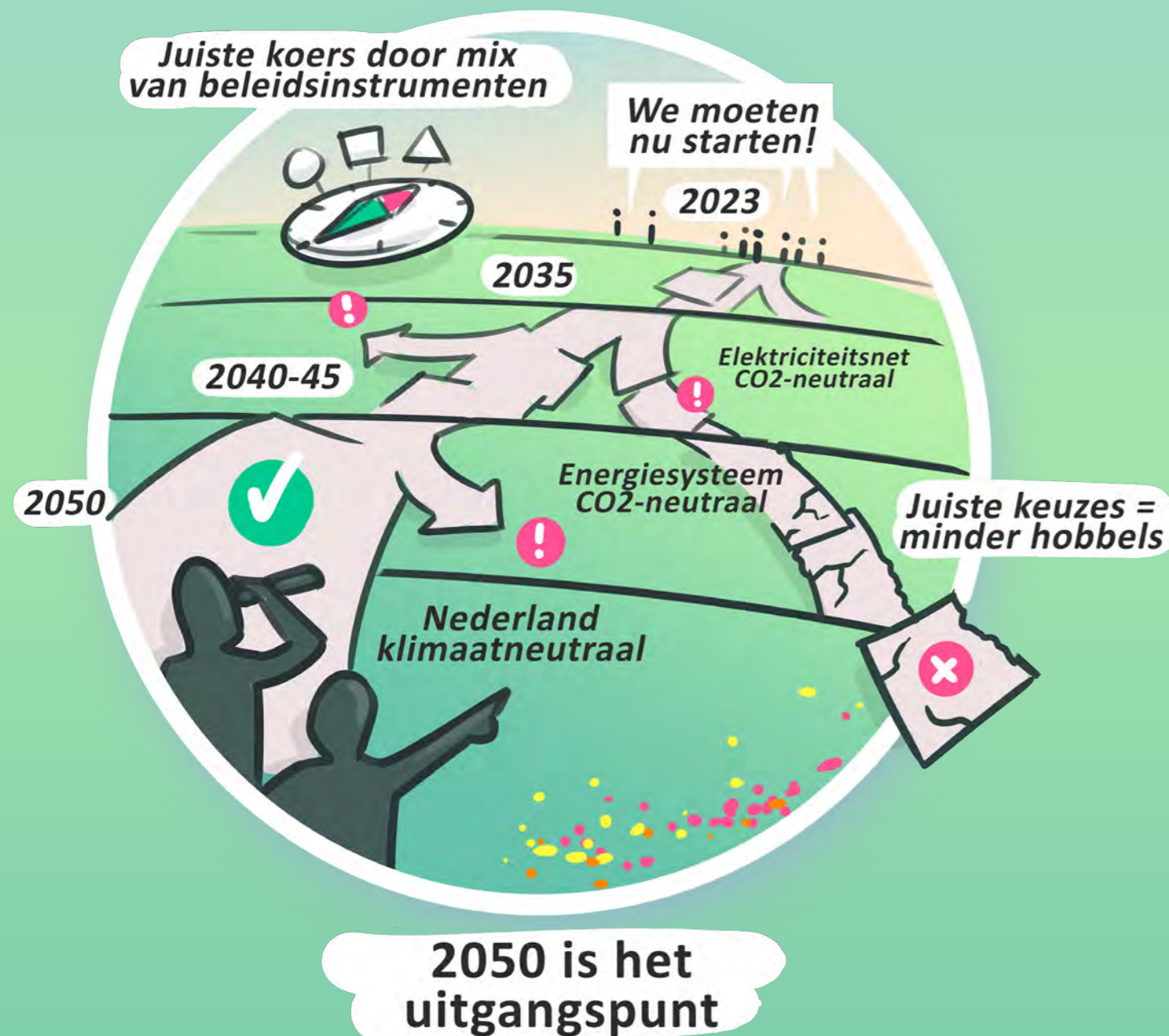
voor worden aangeboord. Het Nationaal Plan Energiesysteem en het aangekondigde uitvoeringsprogramma vormen hiervoor een goede basis.

- Betrek de uitvoeringsorganisatie en kennisorganisaties eerder in het beleidsproces, dus ook als er aanpassingen worden doorgevoerd als gevolg van bijvoorbeeld onderhandelingen (regerakkoorden), moties en amendementen. Zorg dat alle relevante kennis aan tafel is, zodat bestuurders en toezichthouders over de juiste kennis en informatie beschikken om besluiten te kunnen nemen.
- Verhoog het kennisniveau bij de overheid. Zorg dat kennis goed verdeeld en verspreid wordt onder de verschillende partijen en dat er tussentijds wordt geleerd van de uitvoering. Een gemeente kan niet alle kennis in huis hebben, bijvoorbeeld bij het ontwikkelen van warmtenetten. Help hen door de kennis die wél aanwezig is bij andere instanties, zoals energie- en warmtebedrijven, met hen te delen. Investeer daarom in een uitgebreid leerprogramma rond de energietransitie zodat actoren veel makkelijker kennis kunnen aftappen van experimenten elders.
- Vergroot de uitvoeringscapaciteit bij overheden en uitvoerende instanties, zoals netbeheerders. Zorg dat hier meer geld voor beschikbaar is. Investeer in opleidingen die relevant zijn voor de uitvoering van de energietransitie om toekomstige capaciteit te vergroten. Zet daarnaast in op extra capaciteit bij het handhaven van regels en het informeren en motiveren van overheden, bedrijven en burgers, om zodoende het beoogde effect en gewenste gedrag te bereiken.
- Monitor en evalueer effecten van beleid en uitvoering, zodat we al doende leren, en beleid kunnen aanpassen indien nodig. Durf besluiten te nemen onder grote onzekerhe-

den. Experimenteer en leer van gemaakte fouten en successen. Doe dit in samenhang met andere overheden, uitvoerende instanties, kennisinstellingen en het buitenland. Bouw een (onafhankelijke) kennisbasis op voor het maken van toekomstige [beleidskeuzes](#)¹⁶³. Rapporteer in de in de jaarlijkse klimaatnota, monitor klimaatbeleid en de klimaat en energieverkenning (KEV) over de mate waarin elektriciteit en waterstof, lokale energiesystemen en koolstof zich richting een rechtvaardig, robuust en duurzaam energiesysteem ontwikkelen. Richt ook op 2050 en besteed extra aandacht voor beide transitie op lokaal en internationaal niveau. Monitor de voortgang tussendoor, zodat het leren sneller gaat en er tijdig bijgestuurd kan worden. Zoek meer samenhang met de Integrale Circulaire Economie Rapportage (ICER).

- Stimuleer nieuwe vormen van samenwerken, intern én tussen organisaties. Geef hier de ruimte voor via pilots, zoals al gedaan wordt bij PIDI. Het is essentieel dat zowel de overheid als de andere partijen integraal gaan werken, zodat er gezamenlijke besluiten kunnen worden gemaakt over hoe om te gaan met de beperkte ruimte, materialen, mensen en tijd. Dit maakt het slim combineren van processen mogelijk, wat tijd scheelt en bevorderlijk is voor draagvlak. Combineer bijvoorbeeld participatieprocessen van meerdere projecten, zodat de omgeving meegenomen wordt in het geheel en niet benaderd wordt vanuit meerdere hoeken.

8. Hoofdboodschappen



De eindbeelden, de ontwikkelpaden en de systeemoplossingen geven een perspectief op een rechtvaardig, robuust en duurzaam energiesysteem en wat ervoor nodig is om die toekomst dichterbij te brengen. Dit hoofdstuk herhaalt de belangrijkste boodschappen uit deze Outlook.

We hebben perspectief op een aantrekkelijke toekomst. 2050 kan er écht anders en beter uitzien dan nu. Onze manier van leven, wonen, kopen, eten en reizen wijzigt. De economie verandert en vernieuwt.

Een gedeelde allesomvattende visie op een klimaatbestendig en aangenaam Nederland vormt de basis voor een rechtvaardig, robuust en duurzaam energiesysteem in 2050. Besluiten over investeringen, infrastructuur, ruimtegebruik, innovatie en beleid moeten we vanaf nu nemen met dit perspectief als leidraad, in samenhang met Europese ontwikkelingen en met een doorkijk naar 2100.

Het doel van een klimaatneutraal Nederland is ambitieus en haalbaar, veel studies laten dat ook zien. De transitie vraagt om duidelijke **tussendoelen**. Klimaatneutraliteit in 2050 betekent dat we zo vroeg mogelijk in de periode 2040-2045 een CO₂-neutraal energiesysteem hebben. Dat betekent **geen netto CO₂-uitstoot meer uit het elektriciteitssysteem per 2035**. Dit is mogelijk, als we een duidelijke visie hebben, nu snelheid maken en durven door te zetten. De transitie is omvangrijk, het eindpunt aantrekkelijk.

Elektriciteit wordt de hoofdcomponent van het energiegebruik. Moleculaire energiedragers blijven beperkt noodzakelijk. Het is nodig om te sturen op **maximale elektrificatie, aansluiting van totale energievraag op het aanbod** en op een klein maar noodzakelijk deel CO₂-neutrale moleculaire energiedragers. **Adequate elektriciteitsnetten zijn hoofdpoging in de vernieuwing**

van het energiesysteem. Energie-infrastructuur wordt een vestigingsplaatsfactor in een breder ruimtelijk perspectief. Daarbij moeten we rekening houden met schaarste in mensen, middelen, ruimte en materiaal. De transitie wordt gemakkelijker als de totale energievraag wordt beperkt.

In 2050 zijn bijna alle **wijken energieneutraal** of zelfs energiepositief, de andere wijken gebruiken (netto) nog maar weinig energie. Het uitgangspunt is de totale energiebehoefte van de wijk die zo laag mogelijk is (warmte, elektriciteit, koeling en lokale mobiliteit). Op die manier kunnen **integrale lokale energiesystemen** worden opgezet. Voor rechtvaardigheid is het belangrijk om **prioriteit te geven aan verbeteren van slecht geïsoleerde woningen** in collectief bezit. De transitie versnelt bij het combineren van energiebeleid met maatregelen voor sociale en maatschappelijke opgaven en groene, duurzame en mensgerichte ruimtelijke keuzes.

De **toekomst van de Nederlandse industrie** moet richting 2050 gezien worden vanuit **Europees perspectief**. De vestigingsplaatsfactoren veranderen door de overgang van fossiel naar hernieuwbaar. Het is van belang hier tijdig op voorbereid te zijn. **Toekomstige schaarste in koolstof** en andere materialen vraagt voor een energiesysteem volgens de ontwerpprincipes om een **sterkere inzet op circulariteit** (van zowel plastics als CO₂). Daarnaast is het nodig om **duurzame en rechtvaardige biomassaketens** en CO₂ afvang uit de lucht te ontwikkelen.

In een transitie die zich richt op 2050 zullen gevestigde belangen onder druk komen te staan en zal er, afhankelijk van het gevolgde proces, weerstand tegen verandering ontstaan. Dit maakt het des te belangrijker om **alle maatschappelijke partijen bij de transitie te betrekken**. Voor iedereen wordt het een ingrijpend proces. Het inzetten op burgerberaden voor vraagstukken met

een lange termijn- en systeemperspectief, geeft inzicht in belangrijke voorwaarden voor de transitie, en draagt bij aan transparantie en draagvlak. Het is van belang daarbij duidelijk te zijn over de rol en invloed van de adviezen, zodat burgers weten wat hun mandaat is. Een goed voorbereide en georganiseerde inwoner- of burgerraad stelt burgers in staat om waardevolle en relevante adviezen te geven.

Een **duidelijke rolverdeling** voor de overheid, burgers en bedrijven en tijdig helderheid over gewenst gedrag en investeringen is belangrijk. Een **mix van beleidsinstrumenten** is nodig om burgers en bedrijven de juiste prikkels te geven om bij te dragen aan de transitie. Normering met adequate handhaving leidt vaak tot snellere resultaten dan beprijzing, maar beprijzing blijft nodig. Ook ruimtelijk beleid, infrastructuur en

informatieverstrekking is onderdeel van die mix. Ook moet de overheid via prikkels zorgen dat de financiële sector transformeert. Voor de **uitvoering** moeten **voldoende middelen** (kennis, mensen, materialen, ruimte) beschikbaar zijn, waarbij **in geval van schaarste prioritering** plaatsvindt op basis van de eindvisie. Het energiesysteem is een complex systeem, en daarin heeft leren een centrale plek. Het is belangrijk om de voortgang te **monitoren en te evalueren**, en bij te sturen indien nodig. Investerings in **innovatie, kennisontwikkeling en kennisdeling** gericht op samenhangende systeemveranderingen zijn relevante randvoorwaarden.

Bijlage I: Verantwoording

Het expertteam heeft van de minister voor Klimaat en Energie de [opdracht](#)¹⁶⁴ gekregen om een Outlook Energiesysteem 2050 op te stellen. Deze opdracht omvat:

- Een integrale knelpuntenanalyse van de staat van het huidige Nederlandse energiesysteem op land en zee in een internationale context;
- Een globaal beeld van het energiesysteem in 2050 op basis van bestaande scenario's, waarbij rekening wordt gehouden met leveringszekerheid, betaalbaarheid, veiligheid en leefomgevingskwaliteit en maatschappelijke betrokkenheid; en
- Een beschrijving van mogelijke ontwikkelpaden om het klimaatneutrale energiesysteem te realiseren.

Er is haast nodig om de klimaatdoelen te behalen – en dus om deze vragen te beantwoorden. Het is de taak van het expertteam om de best mogelijke antwoorden te vinden. Daarvoor bekijkt het de vragen vanuit de samenhang tussen de technische, economische, maatschappelijke en sturingsperspectieven.

Expertteam

De brede samenstelling van het expertteam is geschikt om de vragen vanuit verschillende oogpunten te bekijken. Het team bestaat uit leden met diverse kennis en kunde: van energie-experts, economen en bedrijfskundigen tot gedrags- en maatschappijwetenschappers. De leden van het expertteam hebben geen directe belangen in organisaties die zich bezighouden met bijvoorbeeld energie-infrastructuur of het opwekken van (duurzame) energie. Die organisaties hebben dus geen directe invloed op hen; de leden zijn onafhankelijk.

Werkgroep

Het expertteam kreeg ondersteuning van een werkgroep. Deze bestond uit medewerkers van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK), de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en onderzoeksinstituut TNO.

Interne bijeenkomsten

De leden van het expertteam hebben zich gebogen over de vragen die de klimaatdoelen voor 2040-2045 en 2050 oproepen. Zij hebben deze besproken aan de hand van een aantal achtergrondnotities die te vinden zijn op de website www.etes2050.nl:

- Historische beslissingen in het energiedomein met een grote impact
Prof. dr. ir. Geert Verbong
- Verslag Group Model Building Workshop (dynamische systeemanalyse energiesysteem) Dr. ir. Vincent de Gooyert
- Verkennende analyse economische scenariostudies
Werkgroep
- Notitie energiesysteembeelden 2050
Werkgroep
- Scenario's voor netto-nul emissies: lessen uit omringende landen
Dr. Pieter Boot
- Notitie Maatschappijbeelden
Werkgroep
- Een klimaatneutrale Nederlandse industrie in 2050
Tekenkamer van de Industrie
- Eindrapport Inwonerraad Energie
- Perlaviciute, G., Gorter, W. A., Görsch, R. (2023). Uw mening over energie en de Inwonerraad Energie.

Externe bijeenkomsten

Het expertteam vroeg ook anderen om input voor de outlook, zoals maatschappelijke organisaties en bedrijven. Het verzamelde hun relevante kennis en kunde onder andere op de volgende manieren:

Rondetafelgesprekken

Elk rondetafelgesprek draaide om één belangrijk thema dat een rol speelt in de energietransitie. Dit zijn de thema's die aan bod zijn gekomen:

- Rol van de burger in de energietransitie (burgerparticipatie)
- Sturing ('governance')
- Nederlandse energie-infrastructuur (elektriciteit)
- Nederlandse energie-infrastructuur (warmtevoorziening)
- Internationale omgeving en ontwikkelingen
- Economie
- Flexibiliteit & Opslag
- Gebouwde omgeving
- Digitalisering

Van elk rondetafelgesprek staat er een verslag op www.etes2050.nl. De opgehaalde inzichten zijn verwerkt in deze rapportage.

Afstemming met het Planbureau voor de Leefomgeving en de werkgroep iNET

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) werkt aan een Trajectverkenning klimaatneutraal in 2050. En de werkgroep iNET van de netbeheerders was bezig met een nieuwe versie van de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (I13050). In deze rapportage zijn de resultaten van zowel I13050 als NL2050 van TNO meegenomen. De Trajectverkenning van het PBL is vanwege de oplevering na maart 2023 niet in de analyse van het expertteam meegenomen.

Zowel NL2050 als I13050 levert waardevolle kwantitatieve informatie voor een langetermijnvisie op het energiesysteem. Het expertteam heeft daarom zoveel mogelijk gebruikgemaakt van deze informa-

tie. Daarom heeft het geregeld overleg ('afstemming') gehad over de vorderingen van de studies.

Open forum

Het expertteam organiseerde op 27 september 2022 een 'open forum' in Utrecht: een bijeenkomst die voor iedereen toegankelijk was en volledig draaide om de toekomst van het energiesysteem van Nederland.

Bilaterale gesprekken

Na publicatie van het tussenproduct is gesproken met verschillende belangenorganisaties:

- Urgenda
- VNO-NCW
- Natuur & Milieu
- Energie-Alliantie
- Windalarm

Inwonerraad

De manier waarop we energie opwekken en gebruiken gaat veranderen. Dit heeft invloed op alle burgers van Nederland. Daarom is het goed om te weten wat zij hierbij belangrijk vinden. Dat helpt om oplossingen te vinden waar Nederlanders achter staan.

Daarom is een Inwonerraad Energie samengesteld met 50 inwoners. Deze 50 mensen gingen in gesprek over de toekomst van energie in Nederland. Samen dachten zij na over de vraag "Welke randvoorwaarden stellen jullie als inwonerraad aan het energiesysteem van 2050?".

De adviezen van de Inwonerraad Energie zijn separaat aangeboden aan de minister voor Energie en Klimaat met het Eindrapport Inwonerraad Energie. In deze outlook is een reflectie van het expertteam op deze adviezen opgenomen.

Bronvermelding en voetnoten

- 1 IBO (2023). Scherpe doelen, scherpe keuzes: IBO aanvullend normerend en beprijzend nationaal klimaatbeleid voor 2030 en 2050. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/03/13/bijlage-2-hoofdrapport-ibo-klimaat>
- 2 Met 'Loosely coupled' wordt de notie aangemerkt die het innovatief vermogen van een systeem koppelt aan de mogelijkheid onderdelen te vervangen of toe te voegen zonder dat het hele systeem instabiel wordt. Ook te operationaliseren in termen van regelgeving die burgers en bedrijven duidelijkheid geeft hoe ze zelf creatief kunnen zijn, minder dan dat de regelgeving het gebruiken van specifieke technologische toepassingen voorschrijft. Dus geen beleid gericht op stimulering van 'warmtepompen' maar liever sturen op optimalisatie van het achterliggende doel (radicale CO₂ reductie).
- 3 Expertteam Energiesysteem 2050 (2022). Notitie Uitgangspunten Outlook Energiesysteem 2050. <https://etes2050.nl/publicaties/eerste-brief-aan-ministerijetten/default.aspx>
- 4 Expertteam Energiesysteem 2050 (2022). 2050 is begonnen. Versnellen, sturen en meenemen voor een geslaagde energietransitie. <https://etes2050.nl/publicaties/tussenrapportage/default.aspx>
- 5 IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- 6 Verbong, G. (2022). Historische beslissingen in het energiedomein met een grote impact. <https://etes2050.nl/publicaties/tussen-rapportage/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2446996>
- 7 Boot, P. (2022). Scenario's voor netto-nul emissies: Lessen uit omringende landen. <https://etes2050.nl/publicaties/tussen-rapportage/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2446997>
- 8 IEA (2022). A 10-point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas. <https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-reduce-the-european-unions-reliance-on-russian-natural-gas>
- 9 CE Delft (2017). Wie profiteert van het klimaatbeleid? Verdeling van subsidies en belastingkortingen tussen arme en rijkere huishoudens. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_7L42_Wie_profiteert_van_het_klimaatbeleid_def.pdf
- 10 Chancel (2021). Climate Change & the Global Inequality of Carbon Emissions, 1990-2020. <https://wid.world/news-article/climate-change-the-global-inequality-of-carbon-emissions/>
- 11 Denkwerk (2022). Voorbij netto-nul naar planeet-positief. <https://denkwerk.online/media/1118/denkwerk-voorbij-netto-nul-naar-planeet-positief.pdf>
- 12 IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- 13 National Grid (2022). Future Energy Scenarios 2022. <https://www.nationalgrideso.com/future-energy/future-energy-scenarios>
- 14 Committee on Climate Change (2020). The Sixth Carbon Budget: The UK's Path to Net Zero. <https://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget/>
- 15 Uitvoeringsoverleg Elektriciteit (2022). Naar een CO₂-vrij elektriciteitssysteem in 2035. <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/rapporten/2022/05/06/rapport-naar-een-co2-vrij-elektricitetissysteem-in-2035>
- 16 Ecorys (2022). Beleidsomslagen voor het Nederlandse klimaatbeleid. <https://natuurenmilieu.nl/app/uploads/Rapport-Beleidsomslagen-Ecorys.pdf>
- 17 Expertteam Energiesysteem 2050 (2023). Notitie maatschappijbeelden. <https://etes2050.nl/publicaties/outlookenergiesysteem2050/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2448197>
- 18 Expertteam Energiesysteem 2050 (2022). Discussiepaper economie. <https://etes2050.nl/publicaties/tussen-rapportage/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2446994>
- 19 Boot, P.(2022). Scenario's voor netto-nul emissies: lessen uit omringende landen. <https://etes2050.nl/publicaties/tussen-rapportage/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2446997>
- 20 Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2022). Kamerbrief strategisch en groen industriebeleid. <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2022/07/08/het-verschil-maken-met-strategisch-en-groen-industriebeleid>
- 21 De scope 3 emissies van de in Nederland geproduceerde bunkerbrandstoffen en grondstoffen blijven in dit hoofdstuk buiten beschouwing, omdat het energievraagstuk hier niet alleen sterk samenhangt met de positie van Rotterdam als internationale bunkerhaven en chemische productielocatie, maar ook met de verantwoordelijkheid van Nederland voor de verduurzaming daarvan. In de NL2050 en II3050 scenario's ziet het expertteam een verdrie- tot verviervoudiging van de huidige elektriciteitsvraag als mogelijk gevolg van niet alleen de elektrificatie van de energie- maar ook van de grondstofvoorziening. Het uiteindelijke eindbeeld wordt echter niet alleen door de beschikbaarheid van energie, hernieuwbare koolstof en import van waterstof bepaald, maar ook door de verantwoordelijkheid die Nederland wil nemen voor de verduurzaming daarvan. In het hoofdstuk koolstof zal het expertteam
- vanuit dit bredere perspectief op verduurzaming van energie als energiedrager maar ook als grondstof voor de (petrochemische) industrie een poging doen om een eindbeeld te schetsen. De vraag in welke mate dan import van groene waterstof wordt verondersteld vergt ook geopolitieke overwegingen. Zolang de afhankelijkheid daarvan voor de exporteur niet kleiner is dan voor de importeur is hier een zinvolle afweging mogelijk.
- 22 PBL (2023), Essay waterstof, studie in het kader van de Toekomstverkenning Energieneutraal Nederland, nog te publiceren.
- 23 IEA (2022), World Energy Outlook 2022. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- 24 Mulder, H. et al. (2022). TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022. <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A4c10c666-6862-41a7-b8b5-d33862bda1e9>
- 25 TNO, nog te publiceren in 2023
- 26 Boot, P. (2022) Scenario's voor netto-nul emissies: lessen uit omringende landen. <https://etes2050.nl/publicaties/scenarios-voor-netto-nul-emissies/default.aspx>
- 27 In IEA-scenario's blijft de elektriciteitssector voor negatieve emissies zorgen, dus het is zinvol de uiteindelijke omvang van mogelijke negatieve emissies ook in Nederland goed te doordenken. <https://etes2050.nl/publicaties/tussen-rapportage/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2446997>
- 28 TNO (2020). Naar een duurzaam energiesysteem voor Nederland in 2050.
- 29 Verbindingen voor transport van elektriciteit tussen landen. Door: Commissie voor de Regulering van Elektriciteit en Gas (2022). Interconnectie. <https://www.creg.be/a-z-index/interconnectie>

- 30 CE Delft (2023), Nut en noodzaak extra wind op land in 2030 en 2050, Uiteenzetting mogelijke scenario's en afweging. <https://ce.nl/publicaties/nut-en-noodzaak-extra-wind-op-land-in-2030-en-2050/>
- 31 Kaat, A. (2022). Trilemma: Elektrificatie blijft achter bij groei aanbod wind en zon. <https://energeia.nl/trilemma/40105692/elektrificatie-blijft-achter-bij-groei-aanbod-wind-en-zon>
- 32 Vgl. bijvoorbeeld AFRY, The Business case and supporting interventions for Dutch offshore wind, 2020. Dat dit effect niet wordt voorzien in het referentiescenario in de KEV 2022 komt door de hoge gasprijsveronderstelling van 40 euro/MWh die daarbij is gehanteerd conform aanbeveling van de Europese Commissie kort na de Russische inval in de Oekraïne (European Commission, 2023). Het referentiescenario resulteert daarom in relatief hoge elektriciteitsprijzen op momenten dat gasgestookt vermogen de prijzen zet, en stut daarmee de businesscase voor hernieuwbare elektriciteitsproductie. De aanbevolen gasprijs veronderstelling ontbeert echter een degelijke onderbouwing en ligt significant hoger dan de historische LNG prijzen van ongeveer 30 euro/MWh. Naar schatting is er 420 bcm aan nieuwe LNG export terminal capaciteit in ontwikkeling (waarvan 75% in de VS) die voor 2028 operationeel zal worden. Dat is ruim tweemaal hoger dan het gat dat in de Europese gasbalans geslagen is door uitval van de Russische leveringen. Voor 2030 ligt het dus in de rede om rekening te houden met de historische prijs voor LNG als marker voor de Europese gasprijzen in 2030, vergelijkbaar met de Japanse situatie van afgelopen decennia. Dat beeld strookt met de inschatting van Europese gasprijzen voor 2030 in de meest recente World Energy Outlook (WEO, 2022). Bij dergelijke gasprijzen en resultante elektriciteitsprijzen wordt rendabele exploitatie van hernieuwbare elektriciteitsproductie uit zon en wind precair.
- 33 Dat geldt a fortiori voor kleinschalige kerncentrales (SMRs). Deze hebben het voordeel dat ze in modules gebouwd kunnen worden.
- Het nadeel is dat ze nog nergens commercieel bestaan en dat Nederland als dichtbevolkt land tot nu toe een voorkeur heeft getoond voor bewezen centrales met een zekere track record. Dat pleit niet voor technologische experimenten op dit terrein. Vgl. W. Turkenburg, Toepassing kernenergie in Nederland en de perspectieven van SMRs, 2022
- 34 Hier zouden SMRs in de buurt van hoge elektriciteitsvraag interessant kunnen zijn.
- 35 Fattahi A. et al, (2022). Analyzing the techno-economic role of nuclear power in the Dutch net-zero energy system transition, Advances in Applied Energy, vol 7, 100103, 2022
- 36 Witteveen+Bos, eRisk Group, HCSS, en Rethink Zero (2022). Scenariostudie kernenergie. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/09/07/scenariostudie-kernenergie>
- 37 Dijk, J.J. (2023). Weeg maatschappelijke kosten en baten kernenergie integraal af. ESB, 108(4818), 62-65. <https://esb.nu/weeg-maatschappelijke-kosten-en-baten-kernenergie-integraal-af/> Turkenburg (op cit.) pessimistischer over de kosten.
- 38 Ecorys (2022). Beleidsomslagen voor het Nederlandse klimaatbeleid. <https://natuurenmilieu.nl/app/uploads/Rapport-Beleidsomslagen-Ecorys.pdf>
- 39 RVO (2021). Monitor wind op land 2021. https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-05/Monitor-wind-op-land-2021_0.pdf
- 40 Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2022). Klimaatnota 2022. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/11/01/klimaatnota-2022>
- 41 TPBL (2022). Klimaat- en Energieverkenning 2022. <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022>
- 42 Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2022). Klimaatnota 2022. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/11/01/klimaatnota-2022>

- 43 DNB (2021), De financiering van transitie: kansen grijpen voor groen herstel. <https://www.dnb.nl/groene-economie/energietransitie/>
- 44 IEA (2022), World Energy Outlook 2022. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- 45 Climate Policy Initiative, 2022
- 46 PBL (2021), Reflectie op de leefomgevings-thema's in het Coalitieakkoord 2021-2025. <https://www.pbl.nl/publicaties/reflectie-op-de-leefomgevingsthema's-in-het-coalitieakkoord>
- 47 OECD (2021), Policies for a climate-neutral industry: Lessons from the Netherlands. <https://www.oecd.org/netherlands/policies-for-a-climate-neutral-industry-a3a1f953-en.htm>
- 48 Scheepers, M.J.J. en Chavarriaga, J.G. (2023). Uitfasering fossiele technieken. <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3Af49fb863-1c4e-4819-a389-2b49ae-b3c308>
- 49 Ecorys (2022). Beleidsomslagen voor het Nederlandse klimaatbeleid. <https://natuurenmilieu.nl/app/uploads/Rapport-Beleidsomslagen-Ecorys.pdf>
- 50 Van Bracht, M. (2022). Energy Hubs Vitale knooppunten in een energiesysteem. <https://energy.nl/publicaties/energy-hubs/#:~:text=Een%20Energy%20Hub%20is%20een,conversie%2C%20opslag%20en%20slimme%20apparatuur>
- 51 Hers, S. Et al. (2021). Elektrificatie is cruciaal voor een duurzame industrie: routekaart elektrificatie in de industrie. <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A52b5ab33-d373-43a9-b9a1-30ac3df35457>
- 52 IEA (2022), Northwest European Hydrogen Monitor. <https://www.iea.org/reports/northwest-european-hydrogen-monitor>
- 53 Zie referentie 22
- 54 Dat geldt overigens ook voor de beslissing om het grote en kosteneffectieve Nederlandse technische potentieel voor CO₂-opslag op zee te ontsluiten, zoals dat is afgesproken in het Klimaatakkoord en de navolgende beleidsbeslissingen in ondersteuningsbeleid.
- 55 Swilling et al (2018). The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization. Hoofdstukken 2 en 3. <https://www.resourcepanel.org/reports/weight-cities>
- 56 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019). Contouren Toekomstbeeld OV 2040. <https://www.dova.nu/document/contouren-toekomstbeeld-ov-2040>
- 57 Dutch Green Building Council. (2020). Meer groene energie, maar energie besparen blijft hoognodig. <https://www.dgbc.nl/nieuws/meer-groene-energie-maar-energie-besparen-blijft-hoognodig-5996#:~:text=De%20toekomst%20van%20de%20Nederlandse,uit%20onderzoek%20van%20Royal%20HaskoningDHV>
- 58 Een bronnet is een warmtenet met een zeer lage temperatuur (15-25°C), waarbij een warmteopwekker in ieder gebouw staat, die de warmte uit het bronnet als basis gebruikt. De warmteopwekker is het eindpunt van het net.
- 59 Boesten, S., et al. (2019). 5th generation district heating and cooling systems as a solution for renewable urban thermal energy supply, Adv. Geosci., 49, 129-136, <https://doi.org/10.5194/adgeo-49-129-2019>
- 60 Topsector energie (2020). Warmtenetten. <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers/warmtenetten>
- 61 EC (2018). Energy Performance of Buildings Directive. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en#proposal-for-a-revision-of-the-directive

- 62 Nijland, G. (2022). Amercentrale stopt met leveren stadswarmte aan Breda en Tilburg. <https://www.bndestem.nl/breda/amercentrale-stopt-met-leveren-stadswarmte-aan-breda-en-tilburg~a1fcfd69/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- 63 Bij de inzet van groen gas vergen de netkosten nog wel aandacht, zeker bij een sterk geografisch verspreide inzet. Bij de overgang naar een aardgasvrije gebouwde omgeving neemt het aantal afnemers van het aardgasnet steeds verder af, terwijl een aanzienlijk deel van het nationale en regionale net nog wel in gebruik gehouden moet worden. Het is de vraag hoe de hiermee samenhangende kosten worden afgedekt, zeker in de eindfase, gezien het beperkte aantal afnemers dat dan nog aanwezig zal zijn.
- 64 DWA (2018). Onderzoek naar kosten aardgasvrije warmteconcepten. <https://www.dwa.nl/actueel/onderzoek-naar-kosten-aardgasvrije-warmteconcepten/>
- 65 Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2022). Nationale Woon- en Bouwagenda. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/03/11/nationale-woon--en-bouwagenda>
- 66 EC (2020). Nearly zero-energy buildings. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en
- 67 Stroomversnelling (2022). Waarom we de salderingsregeling niet moeten afbouwen maar ombouwen. <https://stroomversnelling.nl/nieuws-bericht/waarom-we-de-salderingsregeling-niet-moeten-afbouwen-maar-ombouwen/>
- 68 Royal HaskoningDHV (2020). DGBC – Paris Proof: Duurzame energie potentie 2050 & methodiek. https://www.dgbc.nl/upload/files/Paris%20Proof/2020.06.12_RHDHV_DGBC_ParisProof_Methode_%26_rantsoen-bepaling.pdf
- 69 Verbong, G. (2022). Historische beslissingen In het energiedomein met een grote impact. <https://www.etes2050.nl/publicaties/historische-beslissingen/default.aspx>
- 70 Expertteam Energiesysteem 2050 (2022). Discussiepaper economie. <https://etes2050.nl/publicaties/tussen-rapportage/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2446994>
- 71 Harvard Kennedy School Belfer Center for Science and International Affairs (2022). The Future of Green Hydrogen Value Chains. https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/Paper_MappingHydrogen_Final.pdf
- 72 Raffinaderijen wordt geen finale energie- en grondstoffenvraag toegerekend; er worden grondstoffen omgezet voor finale vraag naar olieproductie in overige sectoren. Het aandeel energiegebruik voor deze van het energiegebruik in de energiesector als geheel ligt lager.
- 73 PBL (2023). Integrale Circulaire Economie Rapportage. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2023-icer-2023-4882.pdf>
- 74 Expertteam Energiesysteem 2050 (2022). Notitie energiesysteembeelden 2050. <https://www.etes2050.nl/publicaties/documenten/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=2342353>
- 75 CE Delft (2021). Groeiprojecties energie-intensieve industrie. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/CE_Delft_200301_Groeiprojecties_energie-intensieve_industrie_DEF_.pdf
- 76 Sinds de jaren negentig wordt hoogwaardig (high-purity) staal geproduceerd dat heel dun kan worden uitgevoerd, bijvoorbeeld voor toepassing in batterijen en (frisdrank)blik.
- 77 Eurostat (2023). EU trade since 1999 by SITC. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-018995_custom_5436261/default/table?lang=en
- 78 IEA (2020). Iron and Steel Technology Roadmap. https://iea.blob.core.windows.net/assets/eb0c8ec1-3665-4959-97d0-187ceca189a8/Iron_and_Steel_Technology_Roadmap.pdf
- 79 Fraunhofer ISI (2022). A dynamic material flow model for the European steel cycle. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2022/WP07_2022_A_dynamic_material_flow_model_for_the_European_steel_cycle.pdf
- 80 Trinomics (2021). Onderzoek naar de nationale effecten van een Europese CBAM. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-02cfbebd-60cc-47fb-ae21-2bfefbd99e7e/pdf>
- 81 PBL (2019). Decarbonisation options for the Dutch steel industry. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-decarbonisation-options-for-the-dutch-steel-industry_3723.pdf
- 82 Hlsarna is een relatief emissie-efficiënte technologie die bij TSN IJmuiden werd ontwikkeld en de broeikasgassen met ca. 80 procent kan reduceren als het wordt gecombineerd met CO₂-afvang en -opslag. TSN was voornemens de technologie toe te passen maar is daar inmiddels van afgestapt; een dergelijke tussenstap werd niet langer gezien als passend bij de aangescherpte Europese doelstellingen. Tata Steel is voornemens de technologie toe te passen in India.
- 83 Roland Berger, FNV, Tata Steel (2021). Haalbaarheidsstudie klimaatneutrale paden TSN IJmuiden. <https://www.fnv.nl/getmedia/91110cd9-b455-4025-96e6-5387dbb8f98d/Eindrapport-klimaatneutrale-paden-Tata-Steel-Nederland-211118.pdf>
- 84 Een deel van de CO₂ emissies van de DRI installatie komt vrij als vrij pure stroom waardoor CCS eenvoudiger kan worden toegepast.
- 85 OECD (2022). Latest developments in steel-making capacity. <https://www.oecd.org/industry/ind/latest-developments-in-steel-making-capacity-2021.pdf>
- 86 Ter vergelijking: het Havenbedrijf Rotterdam voorziet in 2030 tot 4 Mt import van waterstof (zie Cluster Energiestrategie Rotterdam-Moerdijk 2022), en de Europese Commissie heeft afgelopen jaar een zeer ambitieus
- doel van 10 Mt Europese productie en 10Mt import van hernieuwbare waterstof in 2030 voorgesteld ter versnelling van de waterstoftransitie in reactie op de Russische inval in de Ukraine (zie REpowerEU plan).
- 87 Europese Commissie (2021). Voorstel voor een richtlijn van het Europese Parlement en de Raad tot wijziging van Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad, Verordening (EU) 2018/1999 van het Europees Parlement en de Raad en Richtlijn 98/70/EG van het Europees Parlement en de Raad wat de bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen betreft, en tot intrekking van Richtlijn (EU) 2015/652 van de Raad. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:dbb7eb9c-e575-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
- 88 CE Delft en TNO (2022). 50% green hydrogen for Dutch industry. https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/03/CE_Delft_210426_50_percent_green_hydrogen_for_Dutch_industry_FINAL.pdf
- 89 PBL (2020). Decarbonisation options for the Dutch refinery sector. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-decarbonisation-options-for-the-dutch-refinery-sector-3659_0.pdf
- 90 CIEP (2017). The European Refining Sector: A Diversity of Markets? https://www.clingendaelenergy.com/inc/upload/files/CIEP_paper_2017-02_web.pdf
- 91 Ethyleen, propyleen, BTX-aromaten en butadiëen
- 92 Havenbedrijf Rotterdam (2022). Cluster Energie Strategie Industriecluster Rotterdam-Moerdijk 2022. <https://www.portofmoerdijk.nl/media/2375/cluster-energie-strategie-rotterdam-moerdijk-2022.pdf>
- 93 CIEP (2017). The European Refining Sector: A Diversity of Markets? https://www.clingendaelenergy.com/inc/upload/files/CIEP_paper_2017-02_web.pdf

- 94 Trinomics (2021). Onderzoek naar de nationale effecten van een Europese CBAM. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-02cfbebd-60cc-47fb-ae21-2bfefbd99e7e/pdf>
- 95 PBL (2020). Decarbonisation options for the Dutch refinery sector. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-decarbonisation-options-for-the-dutch-refinery-sector-3659_0.pdf
- 96 CBS (2023). Afzet motorbrandstoffen. <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83406NED/table>
- 97 Tyndall Centre for Climate Change Research, University of Manchester (2022). Shipping's role in the global energy transition. A report for the International Chamber of Shipping. <https://tyndall.ac.uk/news/new-shipping-emissions-report/>
- 98 Europese Commissie (2021). Voorstel voor een verordening van het Europees Parlement en de Raad inzake het waarborgen van een gelijk speelveld voor duurzaam luchtvervoer. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:00c59688-e577-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0013.02/DOC_1&format=PDF
- 99 Europese Commissie (2021). Voorstel voor een verordening van het Europees Parlement en de Raad betreffende het gebruik van hernieuwbare en koolstofarme brandstoffen in de zeevaart en tot wijziging van Richtlijn 2009/16/EG. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:078fb779-e577-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0015.02/DOC_1&format=PDF
- 100 Europese Commissie (2023). Europese Green Deal: Akkoord om de emissies van het zeevervoer terug te dringen door het gebruik van duurzame scheepsbrandstoffen te bevorderen. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/nl/ip_23_1813/IP_23_1813_NL.pdf
- 101 Plastics Europe (2015). Plastics - the Facts 2021. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-the-Facts-2021-web-final.pdf>
- 102 IEA (2018). The Future of Petrochemicals. https://iea.blob.core.windows.net/assets/bee4ef3a-8876-4566-98cf-7a130c013805/The_Future_of_Petrochemicals.pdf
- 103 SYSTEMIQ (2022). ReShaping Plastics: Pathways to a Circular, Climate Neutral Plastics System in Europe. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/04/SYSTEMIQ-ReShapingPlastics-April2022.pdf>
- 104 H-vision (). Blue hydrogen as accelerator and pioneer for energy transition in the industry. <https://www.deltalinqs.nl/stream/h-vision-eindrapport-blue-hydrogen-as-accelerator>
- 105 Havenbedrijf Rotterdam (2022). Cluster Energie Strategie Industriecluster Rotterdam-Moerdijk 2022. <https://www.portofmoerdijk.nl/media/2375/cluster-energie-strategie-rotterdam-moerdijk-2022.pdf>
- 106 Smart Delta Resources (2022). Cluster Energie Strategie Schelde-Deltaregio. <https://www.smartdeltaresources.com/sites/default/files/inline-files/SDR-CES%201.0.pdf>
- 107 Dit bleek bij uitgebreide consultatie van grootste industriebedrijven (de G14) ten behoeve van het tweede scenario ontwerp voor de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 in 2022.
- 108 CIEP (2017). The European Refining Sector: A Diversity of Markets? https://www.clingendaelenergy.com/inc/upload/files/CIEP_paper_2017-02_web.pdf
- 109 Havenbedrijf Rotterdam (2022). Cluster Energie Strategie Industriecluster Rotterdam-Moerdijk 2022. <https://www.portofmoerdijk.nl/media/2375/cluster-energie-strategie-rotterdam-moerdijk-2022.pdf>
- 110 Voor de kortere termijn biedt het groeiende aanbod van ethaan in de Verenigde Staten (ook voor export) mogelijk een alternatieve route voor petrochemie voor ethyleenproductie, zoals sinds enige tijd verkend wordt in België.
- 111 TNO (2017). Ruimtelijke effecten van de energietransitie: casus Haven Rotterdam. <https://publications.tno.nl/publication/34638892/YOcvRu/detz-2021-ruimtelijke.pdf>
- 112 CE Delft (2021). Impacts of FuelEU Maritime on the Dutch maritime sector. https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/05/CE_Delft_210121_Impacts_FuelEU_Maritime_Dutch_maritime_sector_FINAL_2.pdf
- 113 BioFAME wordt geproduceerd uit plantaardige oliën, dierlijke vetten en afval van bakolie, waarbij een mengsel van vetzuurmethyl esters (fatty acid methyl esters) wordt gevormd waar de naam aan wordt ontleend. Het kan direct worden toegepast in bestaande scheepsmotoren en wordt al veel gebruikt.
- 114 Ter vergelijking; het Nederlandse fossiele brandstofcluster gebruikt nu vier maal zoveel energie als grondstof in de vorm van aardolie.
- 115 Trinomics (2022). Onderzoek inclusie chemische sector in CBAM. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2e12007dc-2baf07c608e4902f19425ecd9834f6/pdf>
- 116 Europese Commissie (2015). Maak de cirkel rond - Een EU-actieplan voor de circulaire economie. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0010.02/DOC_1&format=PDF
- 117 Europese Commissie (2015). Een nieuw actieplan voor een circulaire economie voor een schonere en concurrerende Europa. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0023.02/DOC_1&format=PDF
- 118 Europese Commissie (2019). Richtlijn 2019/904 van het Europees Parlement en de Raad van 5 juni 2019 betreffende de vermindering van de effecten van bepaalde kunststofproducten op het milieu. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904&from=NL>
- 119 TNO (2023). The e-mission MOOI project. <https://www.tno.nl/en/sustainable/co2-neutral-industry/industrial-carbon-capture/emission-mooi-electric-cracking/>
- 120 Cefic (2023). Developing The Cracker Of The Future. <https://cefic.org/a-solution-provider-for-sustainability/chemistrycan/going-climate-neutral/developing-the-cracker-of-the-future/>
- 121 Packaging Europe (2023). Ethane cracker with 'lowest carbon footprint' in Europe. <https://packagingeurope.com/news/35-billion-of-funding-secured-for-ineos-ethane-cracker-with-lowest-carbon-footprint-in-europe/9384.article>
- 122 Chemelottafel (2022). Cluster Energie Strategie 2022. <https://www.chemelot.nl/IManager/MediaLink/915/77559/39923/2271493/>
- 123 Er zijn overigens scenario's met grotere vraagreductie denkbaar, waarin meer gedragsverandering wordt verondersteld. Zie ook Expertteam Energiesysteem 2050 (2022). Discussiepaper economie. <https://etes2050.nl/publicaties/tussen-rapportage/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2446994>
- 124 SYSTEMIQ (2022). ReShaping Plastics: Pathways to a Circular, Climate Neutral Plastics System in Europe. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/04/SYSTEMIQ-ReShapingPlastics-April2022.pdf>
- 125 De afkorting verwijst naar de chemische elementen stikstof, fosfor en kalium die deze meststoffen bevatten.
- 126 CE Delft (2021). Groeiprojecties energie-intensieve industrie. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/CE_Delft_200301_Groeiprojecties_energie-intensieve_industrie_DEF_.pdf
- 127 Strategy& (2022). Effecten aanscherping fiscaal klimaatbeleid industrie. <https://www.rijksfinancien.nl/sites/default/files/bestanden/belastingplan-2023/08-Speelveld-toets-2022.pdf>

- 128 IEA (2018). The Future of Petrochemicals. https://iea.blob.core.windows.net/assets/bee4ef3a-8876-4566-98cf-7a130c013805/The_Future_of_Petrochemicals.pdf
- 129 Trinomics (2021). Onderzoek naar de nationale effecten van een Europese CBAM. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-02cfbebd-60cc-47fb-ae21-2bfefbd99e7e/pdf>
- 130 IEA (2018). The Future of Petrochemicals. https://iea.blob.core.windows.net/assets/bee4ef3a-8876-4566-98cf-7a130c013805/The_Future_of_Petrochemicals.pdf
- 131 Europese Commissie (2020). The EU Farm-to-Fork Strategy, COM(2020)381. https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf
- 132 Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021). 7e Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn(2022 - 2025). <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-31b2d76b-e0a6-455f-9de0-10606eca5eb3/pdf>
- 133 Havenbedrijf Rotterdam (2022). Cluster Energie Strategie Industriecluster Rotterdam-Moerdijk 2022. <https://www.portofmoerdijk.nl/media/2375/cluster-energie-strategie-rotterdam-moerdijk-2022.pdf>
- 134 Smart Delta Resources (2022). Cluster Energie Strategie Schelde-Deltaregio. <https://www.smartdeltaresources.com/sites/default/files/inline-files/SDR-CES%201.0.pdf>
- 135 Chemelottafel (2022). Cluster Energie Strategie 2022. <https://www.chemelot.nl/IManager/MediaLink/915/77559/39923/2271493/>
- 136 CE Delft en Buck Consultants International (2022). Potential for Hydrogen hub Schelde-Deltaregio. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2022/05/20211197_management-summary-H2-hub-Schelde-delta_January-2022.pdf
- 137 Europese Commissie (2021). Voorstel voor een richtlijn van het Europese Parlement en de Raad tot wijziging van Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad, Verordening (EU) 2018/1999 van het Europees Parlement en de Raad en Richtlijn 98/70/EG van het Europees Parlement en de Raad wat de bevordering van energie uit hernieuwbare bronnen betreft, en tot intrekking van Richtlijn (EU) 2015/652 van de Raad. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:dbb7eb9c-e575-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
- 138 Wageningen University & Research (2021). Impact Assessment Study on EC 2030 Green Deal Targets for Sustainable Food Production. <https://edepot.wur.nl/555349>
- 139 United States Department of Agriculture (2020). Economic and Food Security Impacts of Agricultural Input Reduction Under the European Union Green Deal's Farm to Fork and Biodiversity Strategies. <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/99741/eb-30.pdf?v=7315.6>
- 140 Inwonerraad Energie (2023). Eindrapport Inwonerraad Energie. <https://etes2050.nl/publicaties/advies-inwonerraad-energie/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2448194>
- 141 Inwonerraad Energie (2023). Eindrapport Inwonerraad Energie. <https://etes2050.nl/publicaties/advies-inwonerraad-energie/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2448194>
- 142 Inwonerraad Energie (2023). Eindrapport Inwonerraad Energie. <https://etes2050.nl/publicaties/advies-inwonerraad-energie/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2448194>
- 143 Perlaviciute, G et al.(2023). Uw mening over energie en de Inwonerraad Energie. <https://etes2050.nl/publicaties/advies-inwonerraad-energie/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2448195>
- 144 PBL, Reflectie op de leefomgevingsthema's in het coalitieakkoord 2021-2025, 2021
- 145 Bhattacharya, A, Dooley M Kharas H. Taylor C., et al. (2022). Financing a big investment push in emerging markets and developing economies for sustainable, resilient and inclusive recovery and growth. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/financing-a-big-investment-push-in-emerging-markets-and-developing-economies/>
- 146 Ambtelijke Studiegroep Klimaatopgave Green Deal (studiegroep-Van Geest) (2021). Bestemming Parijs: Wegwijzer voor Klimaatkeuzes 2030, 2050. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/01/29/bestemming-parijs-wegwijzer-voor-klimaatkeuzes-2030-2050>
- 147 IBO (2023). Scherpe doelen, scherpe keuzes: IBO aanvullend normerend en beprijzend nationaal klimaatbeleid voor 2030 en 2050. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/03/13/bijlage-2-hoofdrapport-ibo-klimaat>
- 148 Zie ook hoofdstuk 3 elektriciteit en waterstof.
- 149 CE Delft (2021). Evaluatie van de energiebelasting. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/CE_Delft_200356_Evaluatie_van_de_energiebelasting_Def-final.pdf
- 150 OECD (2021). Policies for a climate-neutral industry: Lessons from the Netherlands. <https://www.oecd.org/netherlands/policies-for-a-climate-neutral-industry-a3a1f953-en.htm>
- 151 DNB (2021). De financiering van transitie: kansen grijpen voor groen herstel <https://www.pensioenfederatie.nl/actueel/nieuws/2021/openbaar/05-mei/dnb-publiceert-studie-de-financiering-van-transitie-kansen-grijpen-voor-groen-herstel>
- 152 ODE staat voor Opslag Duurzame Energie; Belasting die via de energierekening wordt betaald ter financiering van de energietransitie en gekenmerkt door een degressieve structuur.
- 153 WRR (2023). Rechtvaardigheid in klimaatbeleid. <https://www.wrr.nl/publicaties/rapporten/2023/02/16/rechtvaardigheid-in-klimaatbeleid>
- 154 CE Delft (2017). Rechtvaardigheid en inkomenseffecten van het klimaatbeleid. <https://ce.nl/publicaties/rechtvaardigheid-en-inkomenseffecten-van-het-klimaatbeleid/>
- 155 WRR (2023). Rechtvaardigheid in klimaatbeleid. <https://www.wrr.nl/publicaties/rapporten/2023/02/16/rechtvaardigheid-in-klimaatbeleid>
- 156 IBO (2023). Scherpe doelen, scherpe keuzes: IBO aanvullend normerend en beprijzend nationaal klimaatbeleid voor 2030 en 2050. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/03/13/bijlage-2-hoofdrapport-ibo-klimaat>
- 157 College van Rijksadviseurs (2022), De Energiehoofdstructuur: Hefboom voor een schone toekomst. <https://www.collegevanrijksadviseurs.nl/adviezen-publicaties/publicatie/2022/09/13/hefboom-voor-een-schone-toekomst---advies-energiehoofdstructuur>
- 158 BZK (2022). Kamerbrief over nationale regie in de ruimtelijke ordening. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/05/17/kamerbrief-over-nationale-regie-in-de-ruimtelijke-ordening>
- 159 BZK (2022). Kamerbrief over nationale regie in de ruimtelijke ordening. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/05/17/kamerbrief-over-nationale-regie-in-de-ruimtelijke-ordening>
- 160 Tijdelijke commissie Uitvoeringsorganisaties (2022). Klem tussen Balie en Beleid. <https://www.tweedekamer.nl/kamerleden-en-commissies/commissies/tijdelijke-commissie-uitvoeringsorganisaties/eindrapport>
- 161 De staat van de uitvoering (2022). <https://staatvandeuitvoering.nl/>
- 162 De staat van de uitvoering (2022). <https://staatvandeuitvoering.nl/>
- 163 PBL (2022), Klimaat- en energieverkenning (KEV). <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022>
- 164 Instellingsbesluit expertteam energiesysteem 2050, april 2022, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0046613/2022-10-15>

Colofon

Contact:

energiesysteem@rvo.nl
www.etes2050.nl

Publicatiedatum:

April 2023

Expertteam Energiesysteem 2050

Bernard ter Haar

Linda Steg

Heleen de Coninck

Aniek Moonen

Gulbahar Tezel

Annelies Huygen

Pieter Boot

Bert Stuij

Rens van Tilburg

Maarten Hajer

Werkgroep Energiesysteem 2050

RVO

Ruud de Bruijne

Roelant Knauff

Madelon van Adrichem

Joost Koch

Kim Bischot

Margreet Fros

Walter van den Wittenboer

Wouter Wienk

Michèle Olsthoorn

Jeannette van Vugt

Mirjam Gommers

Angela Marlet

TNO

Nienke Maas

Karlien Sambell

Harry van der Weijde

Sebastiaan Hers

EZK

Tycho Smit

Sjoerd Rooijackers

Speciale dank aan onder meer:

Maxine Tillij (EZK) en Hans Warmenhoven (EBN)

De secretaresses: Lily Korrel, Jeanet Gieskens, Sonia Parker, Hester van Koetsveld, Muriël Jap-Ngie, Manuela Geurts, Annelies Frehe, Chantal Chapmann, Manorama Manurat en Wilma Keus

Thomas van Dalen en Kay van 't Hof (Flatland Agency)

Margreet Nanning, Jan Stals, Marjet Heins, Marc den Hertog, Erwin Reijers en C-Jay Langendoen (BBK/Door Vriendschap Sterker)

Olivier Middendorp (fotograaf)

Ingrid Solleveld (SOLA)

Maarten Fluit, Jonneke Stans, Annemieke Bijker, Lea Klarenbeek, Tess Schijvenaars en Ilse Tanis (EMMA)

Eva Rovers (Bureau Burgerberaad)

Goda Perlaviciute en Wytse Gorter (RUG)

Gitte Mulder (TU/e), Kyra West, Ton van Dril (TNO), Moot Goossens (RVO)

Geert Verbong

Vincent de Gooyert en Floris Swennenhuis Msc (RU)

© Expertteam Energiesysteem 2050 | april 2023

Publicatienummer: RVO-070-2023/RP-DUZA