

Energiesysteem op weg naar 2050

Stevige kaders en garanties moeten een tijdige realisatie van kritische elementen in de voornaamste ketens gaan borgen



Voorjaar 2023



Colofon

Deze rapportage is tot stand gekomen op basis van het werk van de volgende personen die op persoonlijke titel hebben bijgedragen aan deze rapportage:

Maarten Afman (*Alliander*)

Martijn Douwes (*Gasunie*)

Michiel de Haan (*Gasunie*)

Sebastiaan Hers (*TNO*)

Balthasar Klimbie (*Tennet*)

Marc Londo (*NVDE*)

Julia Peerenboom (*Tennet*)

Martin Scheepers (*TNO*)

Barthold Schroot (*EBN*)

Bart Strengers (*PBL*)

Wilco van der Lans (*HBR*)

Hans Warmenhoven (*EBN*)

2023

Meer informatie

www.ebn.nl/feiten-en-cijfers/kennisbank

Vormgeving

adesign

Inhoudsopgave

Colofon	2
Samenvatting	4
Achtergrond	7
Verantwoording	7
Belangrijkste conclusies	9
Elektriciteitsketen	12
Waterstofketen	15
Warmteketen	18
Koolstofketen	20

Samenvatting

1. Rondom 2030 moeten de broeikasgasemissies meer dan gehalveerd zijn om daarna in 15-20 jaar af te bouwen naar nul of waarschijnlijk zelfs negatief. Het fossiele energiesysteem verdwijnt vrijwel geheel. Daarvoor in de plaats zal een energiesysteem komen gedomineerd door hernieuwbare of CO₂ vrije bronnen waarin de vraag naar energie rekening houdt met de beschikbaarheid van deze hernieuwbare of CO₂ vrije bronnen en de beschikbaarheid van energie-infrastructuur.
2. In dit energiesysteem is inzet op besparen en op efficiënte technologie belangrijk. Ook zullen we onnodige energieverliezen moeten voorkomen. Dit om ongebreidelde groei van de energievraag te beteugelen, maar ook omdat we de (primaire) energievraag mogelijk niet volledig kunnen dekken met nieuwe bronnen, en we dus heel efficiënt met deze nieuwe bronnen om moeten gaan. Daarnaast dragen diversificatie van het aanbod, verschillende vormen van energieconversie en energieopslag, flexibele en hybride vraag en energie-uitwisseling met omliggende landen bij aan leveringszekerheid en betaalbaarheid. Deze bijdrage aan leveringszekerheid en betaalbaarheid is wederkerig. Goede samenwerking met omliggende landen, maar ook met nieuwe toeleverende landen, is daarom een kritisch succesfactor.
3. Voorstelbare ontwikkelpaden naar een klimaatneutraal energiesysteem hebben we in grote lijnen in beeld¹. Deze ontwikkelpaden lopen uiteen naar 2050. Bovendien zullen de voorstelbare paden in het komende decennium ongetwijfeld veranderen. Tegelijk laten ze ook zien wat rondom 2030 al nodig is, los van het eindbeeld. De paden laten zien welke voorzieningen in de energie-infrastructuur nodig zijn voor leveringszekerheid in een hernieuwbaar energiesysteem zónder daarbij terug te hoeven vallen op het fossiele energiesysteem. Daarvoor moeten we snel naar een omslagpunt waarbij de duurzame ketens de voordehand liggende optie worden om in te investeren en fossiel de back-up wordt in plaats van een aantrekkelijk alternatief.
4. We onderscheiden in de transitie vier ketens die - ten opzichte van de huidige situatie - grondig aangepast moeten worden: de elektriciteitsketen, de waterstofketen, de warmteketen en de koolstofketen. In die energieketens identificeren we verschillende elementen die in 2030 op schaal beschikbaar moeten zijn om de sprong naar klimaatneutraliteit in 2045 of 2050 te kunnen maken, ongeacht hoe het systeem er dan precies uit ziet². Daarbij stellen we vast dat de planmatige en gebiedsgerichte ontwikkeling en realisatie van de volgende elementen in de vier ketens nu nog onvoldoende is geborgd:

¹ NbNL klimaatneutrale energiescenario's; TNO Adapt & Transform; PBL Traject verkenning klimaat neutraal (TVKN).

² Uiteraard zullen deze ketens ook op nieuwe manieren onderling verbonden raken: systeemintegratie.

- Elektriciteitsketen
 - Sterke groei van het aanbod van wind en zon
 - Aanbod van CO₂-vrij regelbaar vermogen
 - Sterke groei van de vraag naar elektriciteit (door elektrificatie en via conversie)
 - Flexibiliseren van de vraag

- Waterstofketen
 - Productie van waterstof (blauw en groen) en import³
 - Opschalen van elektrolyzers
 - Opslag van waterstof en waterstofdragers (ondergronds en bovengronds) (ook t.b.v. systeemintegratie met elektriciteitsketen)

- Warmteketen
 - Aanbod geothermie, hernieuwbare warmtebronnen en restwarmte
 - Opschalen van warmtepompen en e-boilers
 - Opschalen van collectieve warmtesystemen in de gebouwde omgeving
 - Warmteopslag (ook t.b.v. systeemintegratie met elektriciteitsketen)

- Koolstofketen
 - Sterke groei van de vraag naar circulaire en duurzame koolstof⁴
 - Opschalen van productieketens

Deze opsomming is niet volledig en ook is het duidelijk dat er samenhang zit tussen de stappen in de verschillende ketens. Daar moet in de verdere ontwikkeling rekening mee gehouden worden.

5. Diverse knelpunten houden de realisatie van deze elementen in de ketens en de daarvoor benodigde infrastructuur tegen: in de ontwikkeling en opschaling van technologie en toeleveringsketens, in regulering (marktordening, subsidies, normering, beprijzing), en op o.a. financiering, arbeidsmarkt, ruimtelijke inpassing en beschikbare materialen. Ook zijn een samenhangende en planmatige ontwikkeling van energieketens en infrastructuur en een voorspelbare prijsontwikkeling van commodities randvoorwaardelijk.

6. De onzekerheden zijn zo groot en fundamenteel dat ze bijna niet gedragen kunnen worden door publieke en private partijen zonder stevige kaders en garanties. We gaan in hele korte tijd het energiesysteem grondig verbouwen met een hoofdrol voor veel technologieën die nu nog in de kinderschoenen staan. Als gevolg hiervan is voor de verschillende spelers in de keten een rendabele businesscase binnen de huidige marktordening en het gegeven dat fossiel nog altijd goedkoper en gemakkelijk is, veelal moeilijk te vinden. Het ontbreken van

³ Waterstof import in meerdere vormen; via pijpleidingen in de vorm van waterstofgas en overzees in de vorm van ammoniak, vloeibare waterstof, methanol of verpakt in specifieke dragers.

⁴ Het volledig circulair maken van de industriële (en agrarische) productieketens gaat nog wel verder dan wat we hier bedoelen. Hier wordt bedoeld het vervangen van de fossiele bronnen voor koolstof door duurzame bronnen van koolstof, zoals biomassa, CCU, afval (van organische oorsprong of plastics).

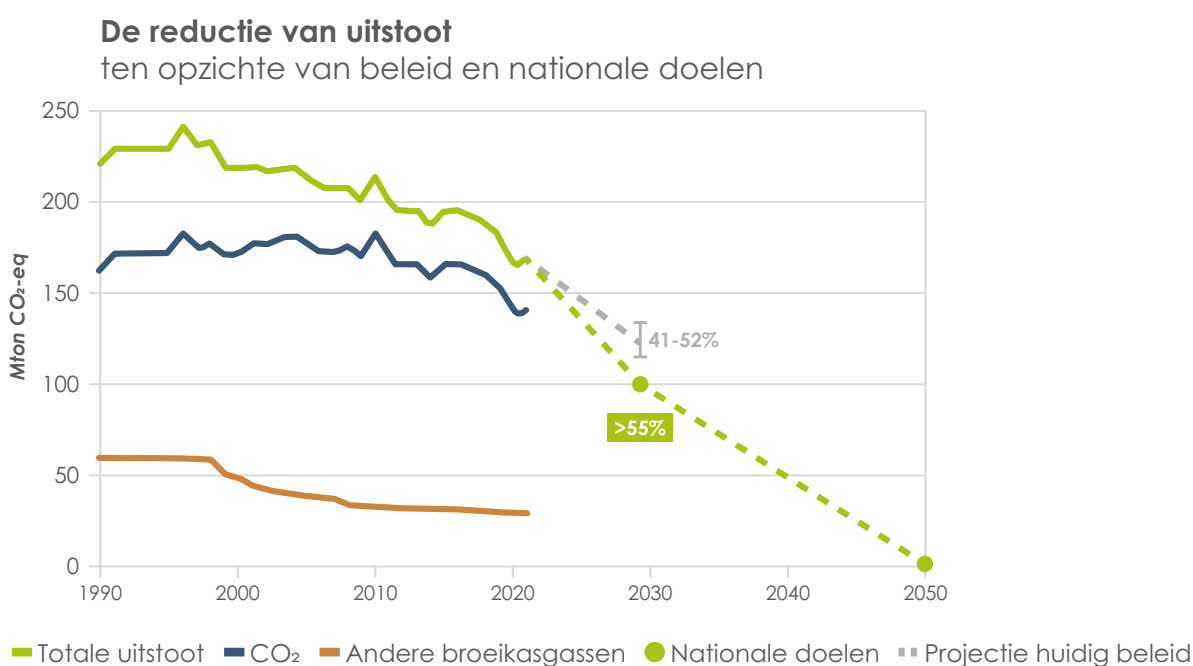
kaders hiervoor vergroot de publieke en private investeringsrisico's en leidt dus op heel veel terreinen tot terughoudendheid.

7. Om het energiesysteem van de toekomst te ontwikkelen zijn keuzes nodig m.b.t. wélke energie-oplossingen wáár als eerste komen en waar later, rekening houdend met infrastructuur-ontwikkeling en netschaarste. Daarbij is er niet één oplossing voor de elektriciteitsnetten: de knelpunten en maakbaarheid van elektriciteitsnetten verschillen tussen landelijk, regionaal en lokaal. Daarmee zal rekening moeten worden gehouden.
8. Hoewel de problematiek in de vier ketens verschilt is het generieke beeld dat de benodigde schaa sprong tussen nu en 2030-2035 alleen gerealiseerd kan worden als vanuit een planmatige aanpak gewerkt wordt. In de transitie is met name de aanpak van de uitrol van wind op zee een goed voorbeeld van hoe dat kan. Daar zijn alle knelpunten in kaart gebracht waarvoor oplossingen zijn gecreëerd en hebben de betrokken partijen, publiek en privaat zich ook gecommitteerd aan het geschetste ontwikkelpad. De ketens waar we het hier over hebben zijn nog wel ingewikkelder en daarom is het des te belangrijker om te komen tot zo'n integrale benadering en een georkestreerde ontwikkeling en daarmee tot investeringszekerheid voor alle betrokken partijen.
9. Voor drie van de vier ketens is de transitie van de industrie van groot belang omdat de verwachte industriële vraag bepalend is voor de dimensionering van het elektriciteits-, het waterstof- en het koolstofsysteem. De industriële vraag kan juist in de beginfase zorgen voor de benodigde opstart en opschaling van de ketens, gevolgd door of parallel aan een fijnmazige uitrol naar andere sectoren. Verder is de transitie van de industrie bovendien bepalend voor een deel van het aanbod aan warmte voor collectieve warmtesystemen. Daarnaast zijn ook de ontwikkeling en de verduurzaming van de vraag naar transportbrandstoffen voor de internationale scheep- en luchtvaart en de ontwikkelingen in de doorvoer van energiedragers naar het buitenland belangrijke aspecten. Het is dus van belang dat op dit gebied heldere keuzes worden gemaakt.
10. Door nu wel op alle elementen in te grijpen in de ontwikkeling van deze ketens leggen we de basis voor een hernieuwbaar energiesysteem dat na 2030 verder kan worden uitgebouwd. Zonder het borgen van de realisatie van de hierboven genoemde cruciale elementen in de vier ketens zijn de voorstelbare ontwikkelpaden naar een klimaatneutraal energiesysteem in 2050 niet te realiseren. We blijven dan afhankelijk van fossiele energie.

Achtergrond

Het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) dat voor de zomer van 2023 door het Ministerie van EZK in concept wordt gepresenteerd is een kabinetsvisie op de gewenste ontwikkeling naar een klimaatneutraal energiesysteem richting 2050. Daarbij gaat het NPE naast versnellen voor 2030 met name in op de voorbereidingen en het scheppen van randvoorwaarden voor de periode na 2030 zodat we dit energiesysteem kunnen gaan opschalen.

In het NPE wordt uitgebreid aandacht besteed aan de noodzakelijke ontwikkelingen binnen de verschillende eindgebruikerssectoren. Daarnaast is het van belang om te kijken wat de noodzakelijke ontwikkelingen zijn binnen de verschillende energieketens die in de vraag voorzien rekening houdend met hun onderlinge samenhang.



Figuur 1: Beoogde emissiereductie van broeikasgassen van nu, via 2030 naar 2050; bron PBL KEV 2022.

De vraag daarbij is wat er binnen die energieketens wanneer moet gebeuren om te zorgen dat de gewenste ontwikkelingen binnen de verschillende eindgebruikerssectoren vanuit het toeleveringssysteem gefaciliteerd worden.

Verantwoording

Deze vraag is op diverse plekken al beantwoord en de resultaten daarvan zijn vastgelegd in diverse routekaarten, plannen en programma's. Ten behoeve van het NPE is de stand van zaken in de voornaamste ketens, te weten: elektriciteit, waterstof, warmte en koolstof in onderlinge samenhang onder de loep genomen. Daarbij is steeds uitgegaan van de meeste recente scenariostudies (van IJ3050 en van TNO) en de ontwikkelingen die volgens die scenario's binnen die ketens noodzakelijk zijn. Vervolgens is voor die ontwikkelingen waar de komende 10-15 jaar een forse schielsprong

noodzakelijk is, gekeken wat er nodig is om die schaa sprong te kunnen realiseren en in hoeverre de daarvoor noodzakelijke randvoorwaarden al aanwezig zijn. Op basis hiervan zijn de belangrijkste aandachtspunten voor het kunnen realiseren van die schaa sprongen benoemd.

In deze notitie zijn de resultaten van deze exercitie vastgelegd. Eerst geven we een meer generieke beschouwing van wat er noodzakelijk is binnen al deze ketens, vervolgens wordt voor iedere keten aangegeven wat de belangrijkste opgaven zijn en wat er nodig is om die opgaven te kunnen realiseren. In deze notitie worden zeker niet alle transitieopgaven binnen de ketens behandeld. Het gaat vooral om de voornaamste grote vraagstukken, de overall conclusies zijn echter grotendeels wel breder toepasbaar.

Deze notitie is opgesteld door en gebaseerd op het werk van een aantal experts. De in deze notitie gegeven adviezen worden door deze personen onderschreven. Het gaat dus om een expert opinion van individuen, niet om een advies vanuit de organisaties waarbinnen deze mensen werken.

Belangrijkste conclusies

Hoewel het niet centraal staat in dit stuk, is inzet op besparen en op efficiënte technologie, en het voorkomen van onnodige energieverliezen altijd belangrijk. Dit om ongebreidelde groei van de energievraag te beteugelen, maar ook omdat we de (primaire) energievraag mogelijk niet volledig kunnen dekken met nieuwe bronnen, en we dus heel efficiënt met deze nieuwe bronnen om moeten gaan. Daarnaast dragen diversificatie van het aanbod, verschillende vormen van energieconversie en energieopslag, flexibele en hybride vraag en energie-uitwisseling met omliggende landen in een samenhangend portfolio bij aan leveringszekerheid en betaalbaarheid. Deze meer generieke ontwerpprincipes zijn ook van toepassing op de voorstelbare ontwikkelpaden zoals we die hier schetsen.

Voor de vier ketens (elektriciteit, waterstof, warmte en koolstof) is op basis van recente scenariostudies in kaart gebracht wat de noodzakelijke ontwikkelingen zijn als het gaat om productie, import, conversie, transport en opslag. Wat dit betreft liggen in de verschillende scenario's de eindbeelden voor 2050 behoorlijk ver uit elkaar⁵. Dat kan ook niet anders, de toekomst is van veel factoren afhankelijk en waar het systeem precies uit gaat komen is dus ook niet te voorspellen. Alle scenario's geven echter wel aan dat er tussen nu en 2035 binnen alle ketens een forse schaa sprong gerealiseerd moet worden ongeacht wat het eindbeeld is voor 2050. Het is nu vooral van belang te kijken naar wat er noodzakelijk is om die schaa sprong binnen de ketens te realiseren als noodzakelijke randvoorwaarde voor de verdere verduurzaming daarna. Wat er dan precies na 2035 gebeurt is nu minder relevant.

Het gaat daarbij met name om: de noodzakelijke ontwikkelingen om de capaciteit van het elektriciteitsnet te verhogen en het systeem geschikt te maken voor de toenemende hoeveelheid niet regelbaar duurzaam vermogen; de vergaande opschaling van de hoeveelheid collectieve warmtesystemen; de realisatie van een waterstofsysteem en de realisatie van een duurzaam koolstofsysteem met name ten behoeve van de grondstofvraag. Daarbij staan deze ketens niet op zichzelf, maar zijn deze onderling gekoppeld (systeemintegratie).

Al deze ontwikkelingen zijn bekend en er is in allerlei gremia ook hard gewerkt aan beleidsplannen om deze ontwikkelingen tot stand te brengen. De publiek-private inzet op al deze ketens blijft echter vergaand onvoldoende om de benodigde schaa sprong binnen de ketens in zicht te krijgen. Het grote gevaar daarbij is dat de suggestie wordt gewekt dat het met de huidige inzet wel haalbaar is. Gezien de urgentie van het probleem en de beperkte tijd die beschikbaar is om daadwerkelijk de benodigde ontwikkelingen tot stand te brengen is het tijd om nu de werkelijke omvang van deze vraagstukken onder ogen te zien en in te zetten op een passende beleidsinzet die rekening houdt met alle succesfactoren voor het realiseren van de doelen.

Kijkend naar de transitieplannen van de afgelopen tien jaar is het Programma Wind op Zee het enige voorbeeld waarbij alle succesfactoren, in een publiek-private samenwerking, in kaart zijn gebracht en op al die factoren is ingegrepen om te zorgen dat de gewenste ontwikkeling tot stand ging komen. Dat is binnen de ketens elektriciteit, waterstof, warmte en koolstof des te belangrijker omdat het realiseren van een energietoekomst waarmee de klimaatdoelen worden gehaald onmogelijk is als de benodigde schaa sprong niet wordt gehaald. Als de collectieve warmtesystemen niet in de gewenste mate tot stand worden gebracht, als het elektriciteitssysteem de benodigde elektrificatie niet in voldoende mate

⁵ NbNL klimaatneutrale energiescenario's; TNO Adapt & Transform; PBL Traject verkenning klimaat neutraal (TVKN).

faciliteert, als het waterstofsysteem niet volledig kan voorzien in de niet te elektrificeren vraag en de benodigde grondstoffen en als er geen duurzaam en circulair koolstofsysteem ontstaat, zijn de doelen voor 2045-2050 niet haalbaar.

In de transitie zoeken publieke en private partijen naar voldoende zekerheid dat als zij een investering doen, in bijvoorbeeld een installatie of in infrastructuur, zij daar komende decennia voldoende economisch gebruik van kunnen maken en de investering zich op termijn terugverdient. Maar in deze snel veranderende complexe wereld is weinig zekerheid te vinden. Het risico bestaat dat partijen op elkaar wachten of dat een partij investeert en zich voor knelpunten ziet gesteld omdat een andere partij nog onvoldoende actie had ondernomen. Ontwikkelen in nauwe samenspraak met partijen die tot voor kort maar beperkt onderling contact hadden, en die elkaars 'taal' ook zullen moeten leren spreken, is een belangrijke sleutel voor een effectieve en efficiënte transitie. Dit speelt niet alleen op regionale of nationale schaal maar ook op Noordwest Europese en mondiale schaal. In het SEIN project is al eens een handreiking voor zo'n soort benadering geschreven⁶.

Als we nu niet ingrijpen om de benodigde schaa sprong te realiseren, zullen we moeten blijven steunen op het fossiele systeem met alle klimaat- maar ook voorzieningszekerheidsproblemen van dien. Als de politiek niet bereid is om echt al het benodigde te doen om deze ketens te realiseren is het belangrijk ook onder ogen te zien dat de verduurzamingsdoelstellingen niet worden gehaald behalve als de klimaatconsequenties van de aanhoudende afhankelijkheid van fossiel worden opgevangen door veel meer in te gaan zetten op CCS-achtige oplossingen.

De benodigde inzet in de verschillende ketens is steeds anders maar er is wel een aantal generieke aanbevelingen die in alle ketens terugkomen:

- Wees naar het grote publiek eerlijk over de grote ingrepen die plaats gaan vinden en wat daarvan de consequenties zijn voor iedereen. Zorg dat invulling wordt gegeven aan het begrip rechtvaardige transitie, daarin moet vertrouwen zijn om te voorkomen dat er veel weerstand komt.
- Zorg dat het voor alle spelers in de ketens helder is dat we er vol voor gaan, dat er geen twijfel meer is dat de overheid al het benodigde zal doen om de beoogde doelen te halen. Dat richt de energie van iedereen, zolang er in de markt geen vertrouwen is zullen marktpartijen in de eigen plannen slechts in geringe mate rekening houden met de benodigde veranderingen en daarmee de verandering ook vertragen.
- Zet op alle terreinen zo veel mogelijk in op besparing van het verbruik, dat blijft heel vaak een ondergewaardeerd element in de plannen.
- Zet op ketenniveau de benodigde publiek-private samenwerkingsverbanden op die de positie hebben om de benodigde ontwikkelingen in kaart te brengen, de benodigde inzet van alle partijen in onderlinge samenhang te bepalen en die de gezamenlijke verantwoordelijkheid nemen voor de uitvoering, monitoring en eventuele bijstelling van de inzet. Deelnemende partijen zullen op diverse terreinen verder moeten gaan dan ze gewend zijn in het bieden van zekerheden om daarmee te waarborgen dat er in de markt vertrouwen ontstaat dat de problemen werkelijk opgelost worden.

⁶ HANDREIKING SEIN, 'Verkenning naar de orkestratie en organisatie van systeemintegratie in het energiesysteem in Nederland.' De Gemeyn 2020.

- Wees reëel over de haalbaarheid van de doelen, daar waar deze niet haalbaar blijken of daar waar de maatschappelijke consequenties van het realiseren van de doelen niet acceptabel zijn moet dat vroegtijdig onderkend worden en gezorgd dat de maatregelen voorbereid zijn om de klimaatconsequenties van het niet realiseren van de doelen opgevangen kunnen worden.

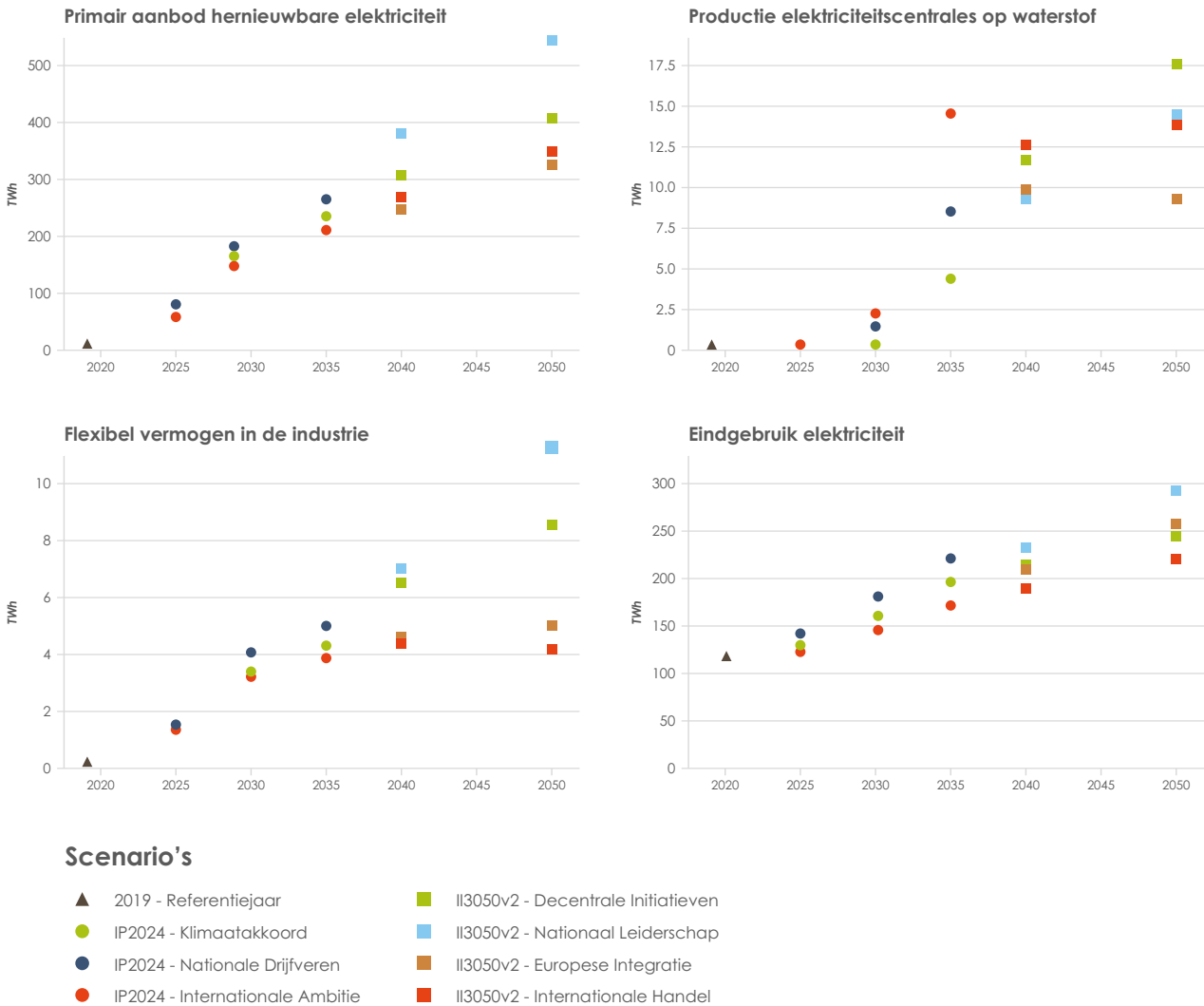
Wat betreft de benodigde samenwerkingsverbanden op ketenniveau zijn er al goede initiatieven maar dat zou op een grotere schaal moeten gebeuren en met meer expliciet commitment van alle betrokken partijen aan het overall plan en de eigen rol daarbinnen. Zo'n aanpak zal vragen om een grotere inzet van publiek-private samenwerking in onderdelen van de keten om daarmee een schaa sprong te realiseren die individueel niet haalbaar is. Gezien de tijdsdruk is dat onontkoombaar. De publieke inzet zal echter vaak van tijdelijke aard kunnen zijn; als het nieuwe systeem een heel eind tot ontwikkeling is gebracht kan die publieke inzet weer afgebouwd worden. Tegelijk kunnen er ook onderdelen in de keten zijn waarbij de publieke inzet gecontinueerd wordt.

Voor drie van de vier ketens is het industriebeleid van groot belang, omdat de verwachte industriële vraag bepalend is voor de dimensionering van het elektriciteits-, het waterstof- en het koolstofsysteem. De industriële vraag kan juist in de beginfase zorgen voor de benodigde opstart en opschaling van de ketens, gevolgd door of parallel aan een fijnmazige uitrol naar andere sectoren. Verder is de toekomst van de industrie medebepalend voor het aanbod van restwarmte voor collectieve warmtesystemen. Het is van belang hier zo snel mogelijk heldere keuzes in te maken, rekening houdend met diverse belangen zoals de impact op de economie, het belang van bepaalde sectoren voor de strategische onafhankelijkheid van Nederland en Europa en de leefbaarheid in Nederland.

Het is belangrijk te beseffen dat de ambities op al deze ketens hoog zijn en dat er rekening mee moet worden gehouden dat ondanks alle inzet niet alle doelen gehaald worden. Op basis van het huidige systeem is fossiel dan de terugvaloptie. Daarbij moeten we snel naar een omslagpunt waarbij de duurzame ketens de voordehand liggende optie worden en fossiel de back-up in plaats van een aantrekkelijk alternatief (geen lock-in). Om in ieder geval de klimaatconsequenties van tegenvallende resultaten te kunnen mitigeren is het belangrijk om alternatieven achter de hand te houden die snel ingezet of opgeschaald kunnen worden, bijvoorbeeld door bij de voorbereiding van CCUS oplossingen hiermee rekening te houden.

Elektriciteitsketen

De onderstaande grafieken, waarin staat welke ontwikkelingen binnen de verschillende scenario's worden voorzien op een aantal cruciale ketenelementen, geven een beeld van de benodigde doorbraken binnen de elektriciteitsketen⁷.



Figuur 2: Noodzakelijke ontwikkelingen in de elektriciteitsketen: van het aanbod uit wind en zon (linksboven); van elektriciteitscentrales op waterstof (rechtsboven); van het flexibele elektrisch vermogen in de industrie (linksonder); en van het eindgebruik van elektriciteit (rechtsonder)⁸.

Bron: IP-scenario's 2024 en klimaatneutrale energiesysteemscenario's II3050, netbeheerders.

⁷ De scenario's schetsen mogelijke ontwikkelpaden naar een klimaatneutraal energiesysteem in 2050. Hierbij is het volledige energiesysteem in scope. Voor internationale lucht- en scheepvaart wordt aangenomen dat duurzame brandstoffen grotendeels buiten Nederland worden gemaakt en geïmporteerd en daarmee beperkte impact hebben op de 4 nationale energieketens. Voor elektriciteit, waterstof en CO₂ is import, export en transit met de buurlanden meegenomen in de scenario's en de impact hiervan op de infrastructuur, voor andere energiedragers en grondstoffen is dit niet het geval.

⁸ Het eindgebruik in 2050 voor scenario Nationaal en Europees is inclusief productie van synthetische transportbrandstoffen.

De grootste opgaven bij elektriciteit zijn enerzijds het inpassen van de grote hoeveelheden niet-regelbaar duurzaam vermogen (waardoor o.a. het net verzaamd moet worden) en anderzijds het beschikbaar hebben van voldoende CO₂-vrij regelbaar vermogen in combinatie met flexibilisering van de vraag. Belangrijk daarbij is dat de vraagontwikkeling gelijke tred houdt met die van het aanbod⁹ zonder daarbij de aandacht voor besparingsmogelijkheden uit het oog te verliezen.

Het is duidelijk dat bij de ontwikkeling van vraag en aanbod binnen een marktgebied (bidding-zone¹⁰) het 'koperen plaat' principe bij netuitbreidingen niet handhaafbaar is. Nu al zien we dat de sterk groeiende vraag naar elektriciteitsinfrastructuur in combinatie met o.a. tekort aan arbeidskrachten en materialen leidt tot steeds meer netschaarste. Daarbij verschillen de knelpunten en uitdagingen in de elektriciteitsnetten tussen landelijke, regionale en lokale netten. Om de schaarste op te lossen hebben alle netbeheerders een groot portfolio aan uitbreidingsprojecten. Bij de landelijke netbeheerder gaat het om vele honderden projecten, bij de regionale netbeheerders om duizenden projecten. Vanwege deze netschaarste hebben netbeheerders gevraagd om coördinatie en regie: ofwel programmering. Enerzijds omdat niet alles kan en niet alles tegelijkertijd kan. Anderzijds om te zorgen voor meer structuur bij het ontwerp van het energiesysteem. De uitdagingen die we vandaag de dag kennen met transportbeperkingen zijn mede een gevolg van ongecoördineerde bottom-up verduurzaming.

Om het energiesysteem van de toekomst te ontwikkelen zijn keuzes nodig m.b.t. welke energie-oplossingen wáár als eerste komen en waar later, rekening houdend met infrastructuurontwikkeling. En moeten deze keuzes samenhangen met keuzes in gebiedsontwikkeling. Daarbij zit ook een waardering: is het energiesysteem dat we daarmee bouwen logisch of dienen we ontwikkelingen in sectoren bij te sturen (energieplanologie)? Daarmee moet het integraal programmeren bijdragen aan de realisatie van elektriciteitsnetten door naast sneller infrastructuur te realiseren, deze tegelijk beter te benutten, en de behoefte aan infrastructuur te verminderen door keuzes in energieoplossingen¹¹. Dit speelt zowel op een periode van 10 jaar als voor de periode daarna.

Integraal programmeren is zowel op regionaal niveau als op nationaal niveau toegepast, waarbij het leren van elkaars processen helpt in het verbeteren van het proces en het resultaat van integraal programmeren – een meerjarenprogramma voor investeringen in energie-infrastructuur. Het is nu zaak om dit juridisch en organisatorisch in te richten bij overheden en netbeheerders.

Meer in detail moet bij dat integraal programmeren aandacht besteed worden aan de volgende punten:

- In de elektriciteitsnetten verschillen de knelpunten en uitdagingen tussen lokaal, regionaal en nationaal, hoe krijgen we de opgave in alle netvlakken maakbaar.
- Het regionale flexpotentieel in sectoren als gebouwde omgeving (flexibele inzet warmtepompen en hybride warmtepompen) en mobiliteit (slim laden) is groot, maar hoe krijgen we dat ontsloten.

⁹ Daarbij dient opgemerkt te worden dat het aanbod van wind en zon wel degelijk sneller kan ontwikkelen om ook in de vraag naar groene waterstof te kunnen voorzien, zie waterstofketen.

¹⁰ In de huidige situatie is Nederland een marktgebied. Meerdere biezones binnen Nederland wordt onderzocht.

¹¹ Het gaat daarbij dus ook om samenhangende keuzes over de vier ketens te maken.

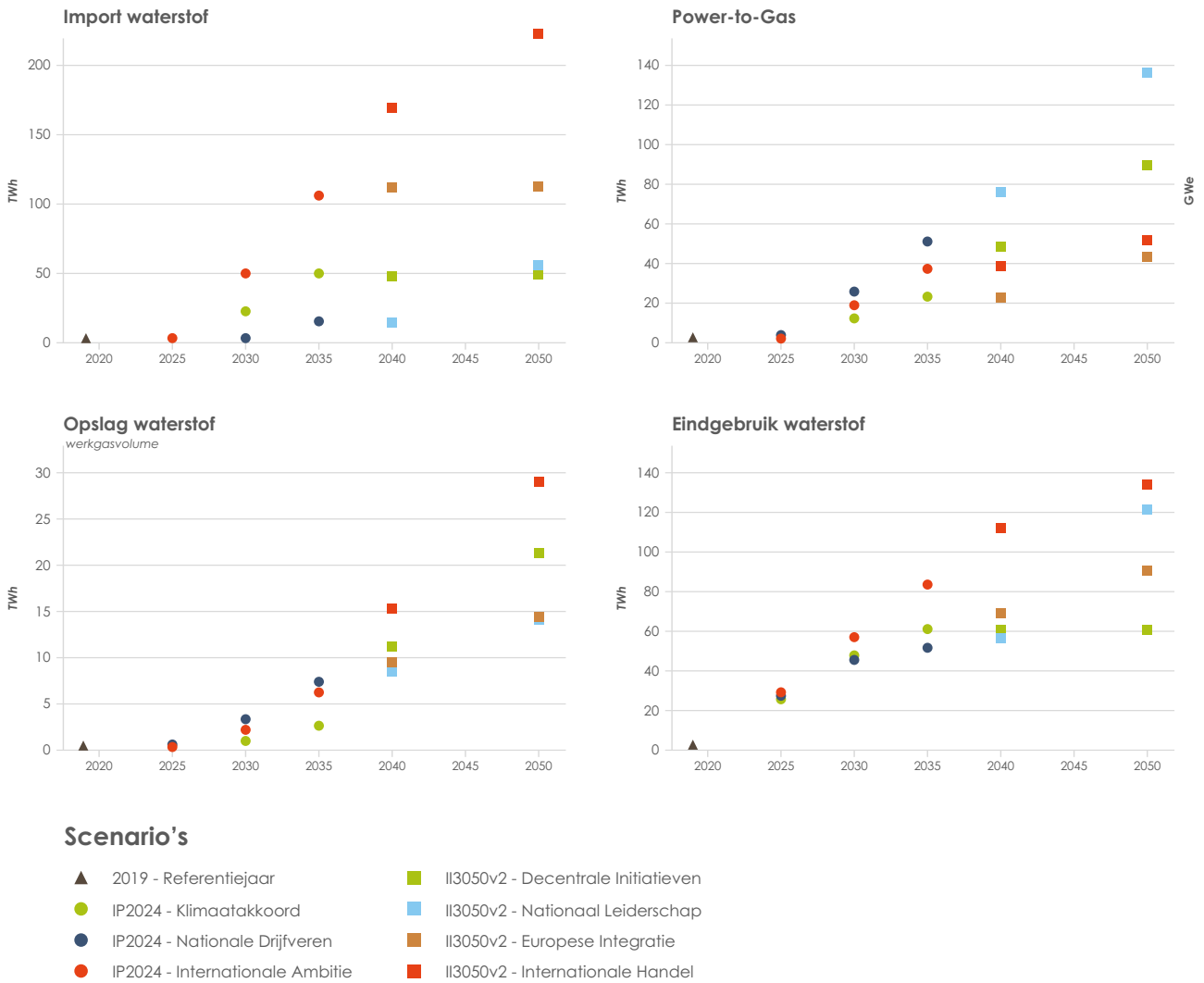
- Hoe kan er, rekening houdend met de infrastructuurontwikkeling op locatie en de inzet van flexibiliteitsmiddelen, gestuurd worden.
- Het flexpotentieel in de industrie moet ontsloten, zou dat bijvoorbeeld in het MIEK opgenomen kunnen worden.
- Hoe vangen we de capaciteitstekorten van circa 500 uur per jaar op, kan dat aan de markt worden overgelaten of moeten daarvoor publieke voorzieningen worden gerealiseerd.
- In hoeverre moet de productie ook in die laatste honderden uren volledig CO₂-vrij zijn, of is het niet bezwaarlijk wanneer de relatief beperkte bijbehorende emissies elders in het energiesysteem worden gecompenseerd.

Indien de benodigde flexibilisering in de vraag niet gerealiseerd kan worden, zal Nederland de voorzieningszekerheid nog meer moeten gaan ontlenen aan meer interconnectiviteit, meer opslag en meer inzet van waterstof. Zowel als outlet voor overschotten als voor de productie van elektriciteit, daar waar duurzame bronnen daarin niet kunnen voorzien¹².

¹² Het energiesysteem kent over de energieketens heen een flexbehoefte. Met een portfolio aan flexibiliteitsmiddelen kan dit voor de verschillende energiedragers en op verschillende tijdschalen worden ingevuld. Flexibiliteit is dan ook een belangrijke driver achter systeemintegratie.

Waterstofketen

De onderstaande grafieken, waarin staat welke ontwikkelingen binnen de verschillende scenario's worden voorzien op een aantal cruciale ketenelementen, geven een beeld van de benodigde doorbraken binnen de waterstofketen.



Figuur 3: Noodzakelijke ontwikkelingen in de waterstofketen: van import (linksboven); van elektrolyzers (rechtsboven); van waterstofopslag (linksonder); en van het eindgebruik van waterstof (rechtsonder)¹³.

Bron: IP-scenario's 2024 en klimaatneutrale energiesysteemscenario's II3050 2^{de} editie, netbeheerders.

Voor waterstof moet er een hele nieuwe keten gerealiseerd worden. Er zijn op hoofdlijnen twee grote vragen: 1) waar de waterstof(dragers) vandaan gaat komen en 2) waar de waterstof(dragers) vooral gebruikt zal gaan worden.

¹³ Import is inclusief transit naar Duitsland en België. Het eindgebruik in 2050 voor scenario Nationaal en Europees is inclusief productie van synthetische transportbrandstoffen.

Met de plannen voor een waterstofnetwerk in Nederland en meerdere importterminal initiatieven lijkt de transportinfrastructuur redelijk op gang te komen. Daarbij wordt ook naar hergebruik gekeken. Voor wat betreft de infrastructuur voor waterstofopslag is er echter nog veel meer te doen. Daarnaast speelt de vraag welke waterstofderivaten als import een rol kunnen spelen in de energie en grondstoffen-voorziening en de realisatie van de daarbij behorende (buisleiding)infrastructuur.

Waterstof (blauw en groen) vervangt de productie van grijze waterstof uit olie en aardgas. De vraag bovenop dit bestaande gebruik als grondstof is nog niet heel concreet, maar er is wel veel interesse van allerlei sectoren (zoals de staalsector, brandstoffensector en chemie) die waterstof of waterstofdragers in willen gaan zetten om daarmee te kunnen verduurzamen. Verder is voor de ontwikkeling van de vraag bepalend hoe het waterstofsysteem ingericht moet worden om ook voldoende voorzieningszekerheid te waarborgen, zowel binnen de waterstofketen zelf als over de vier ketens heen. Bepalende factoren daarin zijn de inzet van waterstof(derivaten) voor elektriciteitsproductie, als back-up voor warmte en op langere termijn de mate waarin waterstof in de seizoensvraag van de gebouwde omgeving zou moeten voorzien.

Voor wat betreft het aanbod zijn er voor 2030 grote ambities voor elektrolyzers. Echter, als de elektrificatie van de energievraag succesvol is, wordt het de vraag of elektrolyzers voor 2030 zo ingezet kunnen worden dat deze grotendeels duurzaam opgewekte elektriciteit benutten en dat de gelijktijdige inzet van elektrolyzers en elektriciteitscentrales veelal beperkt is. Dat laatste is inefficiënt¹⁴. Het is dan de vraag hoeveel uur per jaar deze elektrolyzers gaan draaien en hoeveel waterstof ze dus gaan produceren. Er zullen echter snel meer overschotten uit wind en zon ontstaan, de scenario's laten zien dat het opgewekte vermogen uit wind en zon naar 2050 toe een factor 3-5 hoger kan worden dan de directe vraag naar elektriciteit. Vanaf het moment rondom 2025 ongeveer 60% van de jaarlijkse elektriciteitsvraag met wind en zon wordt opgewekt zijn elektrolyzers nodig om deze overschotten te kunnen benutten, naast de inzet van andere flexibiliteitsmiddelen.

Daarnaast moet de import van waterstof of waterstofdragers tot stand komen. Daar wordt door verschillende partijen binnen Nederland al aan gewerkt maar er is ook in de rest van de wereld veel vraag en Nederland heeft nu nog geen benadering op basis waarvan die import zeker gesteld kan worden. Ook met betrekking tot de marktprijs van geïmporteerde waterstof zijn er nog grote onzekerheden.

Gezien de beperkingen en onzekerheden van import en elektrolyzers is het goed voorstelbaar dat dat een stuk minder snel gaat dan gehoopt. Om te voorkomen dat dit leidt tot het onvoldoende tot stand komen van een waterstofsysteem en bovendien het tempo van verdere reductie van emissies negatief beïnvloedt doordat inzet van fossiel voortduurt, is het van belang om - net als in de landen om ons heen - ook ruimte te geven aan blauwe waterstof. Koolstofarme waterstof uit restgassen aangevuld met een klein deel aardgas lijkt kansrijk. Eventueel kan dit ook uit aardgas (pre-combustion CCS). Dat moet de ontwikkeling van groene waterstofproductie niet in de weg staan maar wel waarborgen dat de CO₂ doelen gehaald worden.

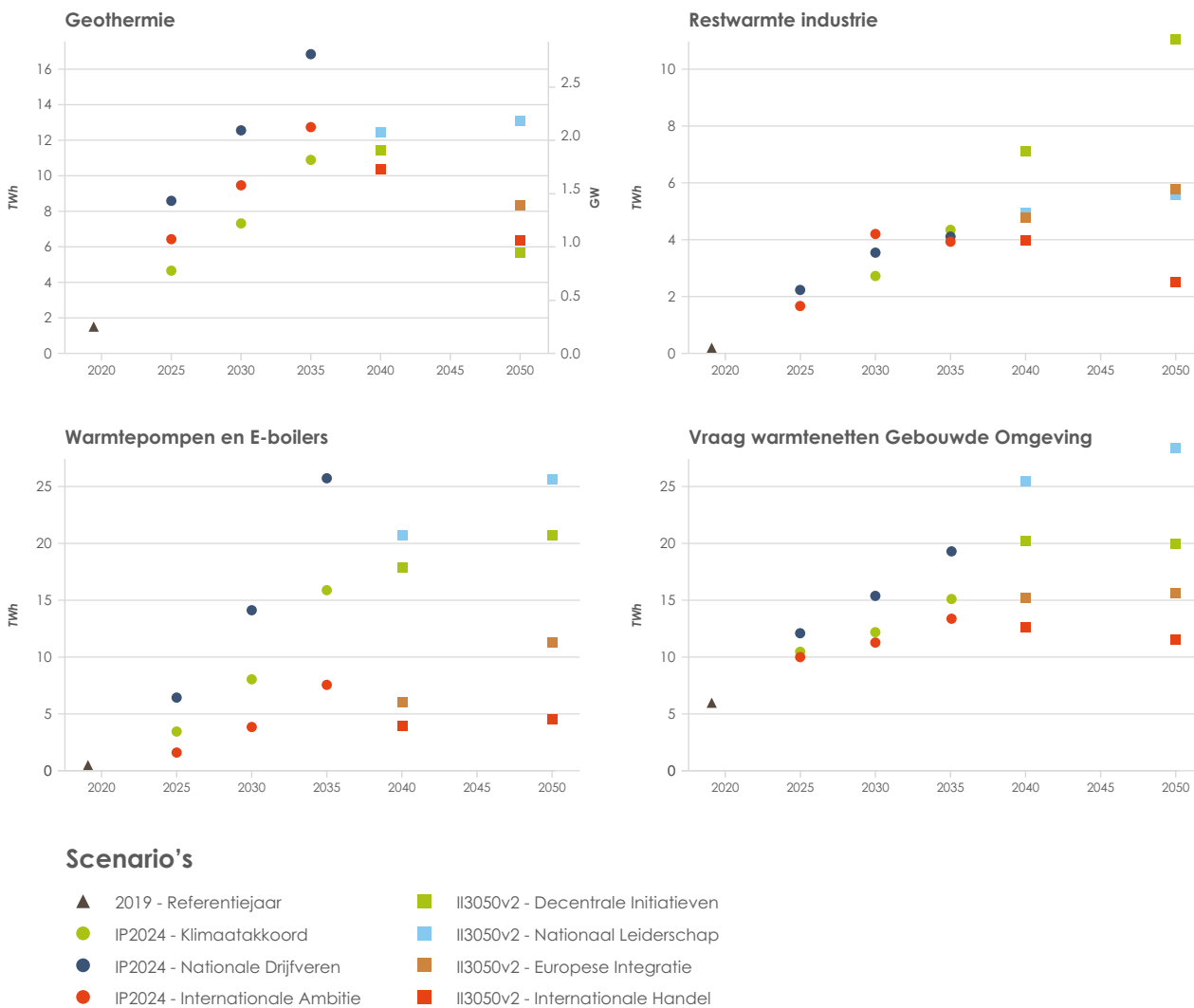
¹⁴ Als elektrolyzers grotendeels elektrische overschotten benutten dan treden bij directe elektrificatie verliezen op bij het genereren en inzetten van CO₂-vrij regelbaar vermogen en bij indirecte elektrificatie treden verliezen op bij de productie van groene waterstof. Deze verliezen zijn van dezelfde orde van grootte.

Afhankelijk van hoe de verhouding komt te liggen tussen deze verschillende bronnen en de markten waarin waterstof zal worden ingezet zal er in meer of mindere mate grootschalige opslag gerealiseerd moeten worden. Gezien de onzekerheden in deze prille markt is de business case voor opslag heel onaantrekkelijk.

Het in onderlinge samenhang tot ontwikkeling brengen van al deze elementen, afgestemd met de zich ontwikkelende vraag en de ontwikkeling in de landen om ons heen vergt een sterke programmatische aanpak. Daarbij zullen publieke en private partijen moeten samenwerken om keuzes te maken en alle aspecten op te pakken die noodzakelijk zijn om de noodzakelijke voortgang te realiseren. Net als bij elektriciteit moet deze samenwerking juridisch en organisatorisch zodanig ingericht worden dat er knopen doorgehakt kunnen worden en er vertrouwen ontstaat dat de afgesproken routes ook afgelopen worden.

Warmteketen

De onderstaande grafieken, waarin staat welke ontwikkelingen binnen de verschillende scenario's worden voorzien op een aantal cruciale ketenelementen, geven een beeld van de benodigde doorbraken binnen de warmteketen.



Figuur 4: Noodzakelijke ontwikkelingen in de warmteketen: van het aanbod van geothermie (linksboven); van het aanbod van restwarmte uit de industrie (rechtsboven); van warmteproductie door warmtepompen en elektrische boilers (linksonder); en van de vraag naar collectieve warmte uit warmtenetten in de gebouwde omgeving (rechtsonder).

Bron: IP-scenario's 2024 en klimaatneutrale energiesysteemscenario's I13050 2^{de} editie, netbeheerders.

Wat betreft de warmteketen is er binnen dit proces vooral gekeken naar het verduurzamen van de bestaande warmtenetten en de realisatie van nieuwe collectieve warmtesystemen in de gebouwde omgeving. Als er wat dat laatste betreft geen voortgang wordt geboekt, zal de beoogde groei van het aantal aansluitingen op collectieve warmtesystemen niet gerealiseerd worden. Dan zal dus ook het potentieel voor de benutting van diverse duurzame bronnen zoals geothermie, aquathermie en restwarmte, deels niet benut worden, waardoor de druk op de ontwikkeling van elektriciteit en waterstof verder vergroot wordt.

Beseft moet worden dat de realisatie van warmtenetten en de benodigde aanpassingen in de woningen en gebouwen in technologische zin betrekkelijk laagdrempelig zijn. Ook is aan de aanbodzijde technologie voor geothermie, aquathermie en ook warmtepompen beschikbaar, maar is grootschalige toepassing daarvan voor warmtenetten nog beperkt. Om dit collectieve warmte potentieel te realiseren is ook hier een programmatische aanpak nodig, deels op landelijk niveau om te beschouwen waar collectieve warmtesystemen de voorkeursbenadering zijn voor het invullen van de warmtevraag, maar vervolgens op meer regionaal/lokaal niveau om de lokale inpassing te waarborgen. Er is een aantal factoren die het succes van zo'n aanpak bepalen:

- De governance moet zodanig zijn geregeld dat er een vorm van afdwingbaarheid over de hele collectieve warmteketen, van aansluitingen in de buurt tot de infra tot de bronnen op regionaal niveau, ontstaat vanuit een publieke organisatie.
- Er moet gedegen rekening gehouden worden met mogelijke weerstanden tegen collectieve warmtesystemen onder andere door:
 - te garanderen dat de kosten niet hoger zullen zijn dan bij alternatieven.
 - helder te maken wat de waarde van collectieve warmtesystemen zijn bij het realiseren van een klimaatneutraal energiesysteem.
 - ruimte te creëren voor lokale participatie.
- Er moet rekening gehouden worden met de integratie binnen het totale energiesysteem. Lokale warmtesystemen kunnen bijdragen aan de flexibiliteit van het elektriciteitssysteem door bijvoorbeeld overschotten op te slaan in warmte met warmtepompen en e-boilers. Andersom kan warmteopslag bijdragen aan het dempen van de piekvraag naar elektriciteit. Daarnaast is de integratie met waterstof en groengas voorstelbaar om hiermee in de piekvraag naar warmte te voorzien en als back-up voor het warmtesysteem.

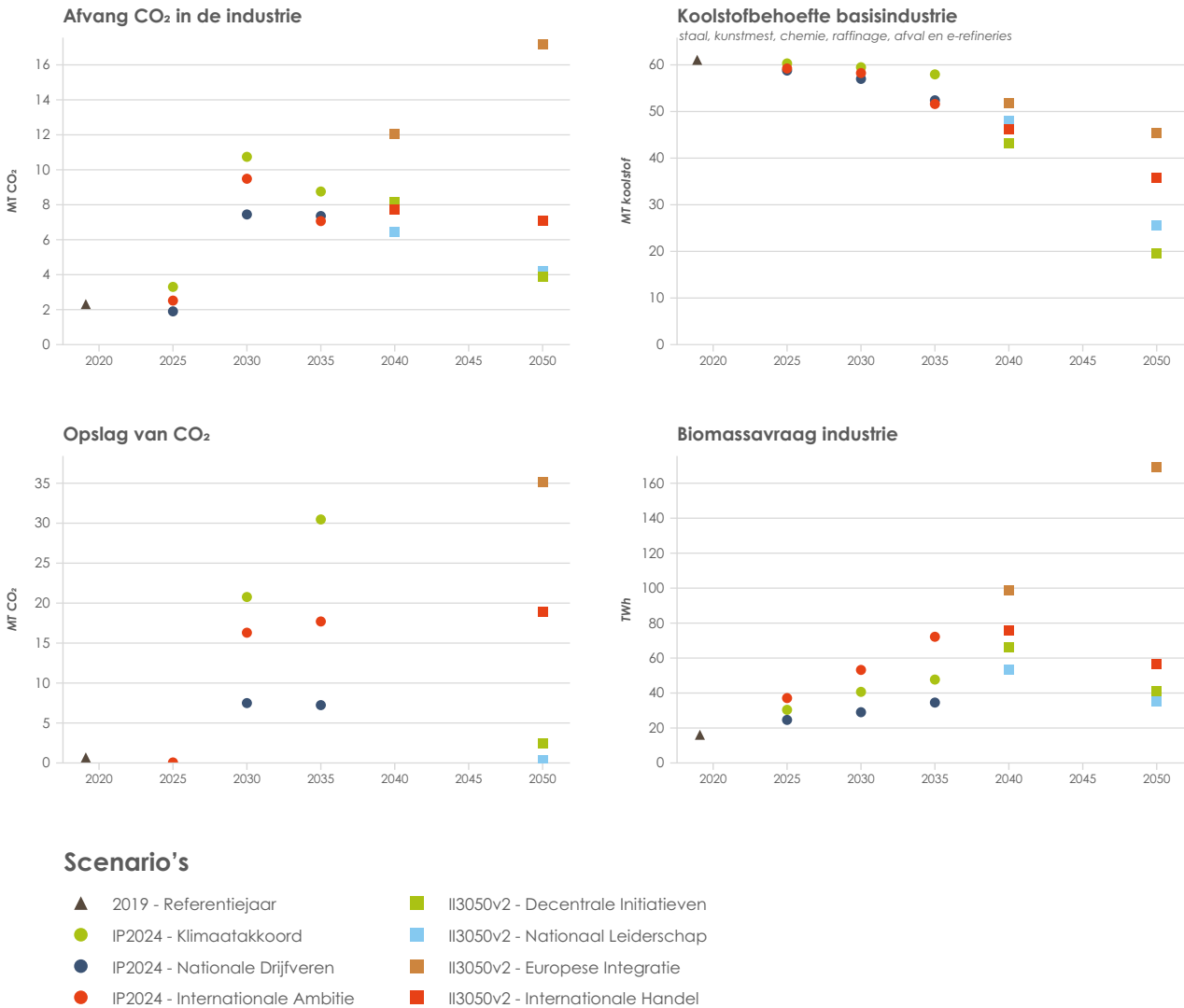
Indien er binnen de transitie niet voldoende aandacht wordt besteed aan de realisatie van collectieve warmtesystemen zullen er in de gebouwde omgeving nog veel meer individuele oplossingen als warmtepompen al dan niet hybride ingezet moeten worden. Dit heeft consequenties op systeemniveau. Bij koudere temperaturen leidt meer inzet van warmtepompen tot een hogere elektriciteitsvraag waarin bij weinig aanbod uit wind en zon met piekcentrales zal moeten worden voorzien (of we moeten tijdelijk wat minder comfort accepteren). Voor de gasketen (waterstof en/of groen gas) is het verschil tussen individuele en collectieve systemen waarschijnlijk minder groot, omdat bij piekvraag naar warmte in beide gevallen gas wordt ingezet.

Men moet beseffen dat groen gas op termijn nog maar nauwelijks beschikbaar kan zijn voor de gebouwde omgeving, omdat de waarde als grondstof (koolstof) of als brandstof in de mobiliteit waarschijnlijk hoger zal zijn. Dan zou dus waterstof - waarvan de toepassing in de gebouwde omgeving dan zou moeten opschalen – het alternatief bieden. Of we moeten in veel verdere mate gaan isoleren¹⁵ waarmee we de energievraag verlagen en de impact op systeemniveau ook bij koudere temperaturen beperken.

¹⁵ Als reden voor warmtenetten wordt vaak genoemd dat er dan minder hoeft te worden geïsoleerd. Maar ook bij warmtenetten heeft het in verdere mate isoleren wel degelijk (systeem)voordelen: met dezelfde warmtebronnen kunnen dan meer woningen en gebouwen van warmte worden voorzien; een kleinere warmtebehoefte kan ook met lage temperatuur warmtenetten worden belevd, waarbij het potentiële aanbod van lage temperatuurbronnen groter is; het dempt de piekvraag naar warmte.

Koolstofketens

Onderstaande grafieken, waarin staat welke ontwikkelingen binnen de verschillende scenario's worden voorzien op een aantal cruciale ketenelementen, geven een beeld van de benodigde doorbraken binnen de koolstofketens.



Figuur 5: Noodzakelijke ontwikkelingen in de koolstofketen: van CO₂-afvang in de industrie (linksboven); van de totale koolstofbehoefte in de industrie (rechtsboven);¹⁶ van de opslag van CO₂ (linksonder); en van de vraag naar biomassa in de industrie (rechtsonder)¹⁷.
Let op: De grafieken over afvang en opslag gaan over CO₂, de grafiek over koolstofbehoefte over de totale koolstofbehoefte (C). CO₂ in ongeveer 3,6 keer zwaarder dan C-atomen alleen.

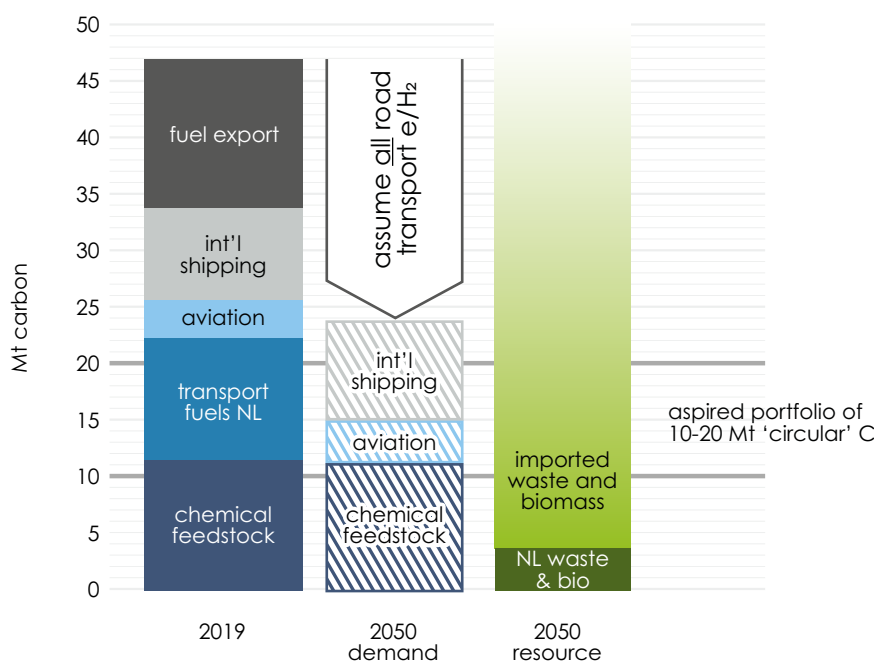
Bron: IP-scenario's 2024 en klimaatneutrale energiesysteemscenario's I13050 2^{de} editie, netbeheerders.

¹⁶ De koolstofbehoefte in zowel het heden als de toekomstscenario's van IP en I13050 komt voor ongeveer driekwart op conto van de fossiele raffinagesector. Exclusief fossiele raffinage blijft er in 2050 een koolstofbehoefte van ongeveer 10-20 Mt over. Dit is vergelijkbaar met de verwachting van Universiteit Utrecht/Sustainable Industry Lab.

¹⁷ Opslag in 2050 voor scenario Europees en Internationaal is inclusief opslag van geïmporteerde CO₂ uit Duitsland en België. Biomassavraag is inclusief biomassa voor de productie van transportbrandstoffen.

Binnen dit proces is niet expliciet gekeken naar de afbouw van de verschillende fossiele ketens maar veel meer hoe in de transitie gezorgd kan worden dat de binnen het systeem resterende koolstofbehoefte als grondstof voor producten en synthetische brandstoffen duurzaam ingevuld kan gaan worden. Daarbij komt ook de noodzaak om op termijn negatieve emissies te gaan realiseren.

Indien er wordt gekozen voor het realiseren van negatieve emissies in Nederland zal dat leiden tot een extra vraag naar duurzame koolstof.



Figuur 6: De koolstofbalans van de Nederlandse raffinage en chemische industrie naar volledig circulaair. Momenteel verwerkt de sector ca 47 megaton fossiele koolstof per jaar (ca. 1 miljoen vatenolie per dag). In de toekomst zakt de vraag naar export van wegtransportbrandstoffen. Wanneer de koolstofbronnen voor de industrie circulaair moeten zijn - een combinatie van biomassa en afval - vraagt dit aanzienlijke import, zoals de rechter balk illustreert. Hierbij moet opgemerkt dat momenteel ook de olie geïmporteerd wordt¹⁸.

Op basis van een visie op de Nederlandse industrie, met name de chemie en de brandstof productie, zal eerst in kaart gebracht moeten worden hoe de totale koolstofbehoefte zich zou kunnen gaan ontwikkelen en voor welke toepassingen: vastlegging in materialen (kunststoffen, etc), vloeibare brandstoffen en gasvormige brandstoffen (groen gas).

Vervolgens zal bekeken moeten worden hoe deze koolstofbehoefte stapsgewijs ingevuld kan gaan worden met duurzame bronnen, circulaair / recycling (incl. import), binnenlandse biograndstoffen, buitenlandse biograndstoffen, CO₂ afvang bij afvalverbranding, direct air capture, enzovoort. Nederland zal er zich in ieder geval op voor moeten bereiden dat het niet zelf in de gehele koolstofbehoefte kan voldoen en dat betekent dat er in ieder geval import moet plaatsvinden. Dat is overigens niets nieuws, we importeren op dit moment ook grote hoeveelheden weliswaar fossiele koolstof.

Er zijn verschillende procesroutes om brandstoffen en chemicaliën uit duurzame koolstofbronnen

¹⁸ Bron: Ambities voor de Nederlandse Basisindustrie in relatie tot een Systeemtransitie Klimaat; Gert Jan Kramer Universiteit Utrecht en Sustainable Industry Lab; Input voor de discussie met de vaste Kamercommissie EZK op 19 januari 2023.

te produceren. Bij de keuzes uit deze procesroutes spelen verschillende factoren een rol, waaronder investeringskosten (daarop valt te besparen door al bestaande assets te gebruiken), energie- en omzettingsefficiency en de kosten van de koolstofbron. Routes gebaseerd op biograndstoffen zijn bijvoorbeeld energetisch aanzienlijk efficiënter in vergelijking met synthetische routes die uitgaan van CCU.

Net als bij de andere ketens geldt hier dat het ontwikkelen van deze nieuwe koolstofketens vraagt om een georkestreerde aanpak waarbij publieke en private partijen samenwerken eerst om een visie te ontwikkelen op koolstofketens van de toekomst maar vervolgens om alle benodigde stappen om de ketens te kunnen realiseren te gaan uitvoeren. Het gaat daarbij in ieder geval om het ontwikkelen van een inkoopstrategie voor koolstof maar waarschijnlijk ook om het starten van een nationaal debat over duurzaamheidsvoorwaarden waaronder zo'n importstrategie aanvaardbaar is en de spreiding van risico's door diversificatie.